

CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA DE AMOSTRAS REMOLDADAS DE UM LATOSSOLO ROXO DISTRÓFICO TRATADO COM ÁGUA/VINHAÇA⁽¹⁾

E. J. V. LOBATO⁽²⁾, P. L. LIBARDI⁽³⁾ & O. A. CAMARGO⁽⁴⁾

RESUMO

Este trabalho foi realizado no CENA/USP, Piracicaba, SP, com a finalidade de obter informações relativas aos efeitos da aplicação de água/vinhaça (nas dosagens de 100, 200, 400, 800 e 1.000 m³ ha⁻¹) na condutividade hidráulica de amostras remoldadas de um Latossolo Roxo distrófico, sob condições saturadas e não saturadas. Empregou-se, para tanto, um infiltrômetro de carga constante, para a avaliação da condutividade hidráulica em solo saturado e, na caracterização da condutividade hidráulica em solo não saturado, utilizou-se o método do perfil instantâneo, sendo os dois experimentos realizados sob condições de laboratório. Com o aumento das dosagens de vinhaça, ocorreu um decréscimo gradativo da condutividade hidráulica sob condições de saturação e de forma mais pronunciada a partir das dosagens maiores que 400 m³ ha⁻¹. A aplicação do método do perfil instantâneo em condições de laboratório na caracterização da condutividade hidráulica do solo não saturado foi satisfatória, havendo concordância razoável dos valores da condutividade hidráulica do solo saturado, obtidos por esse método, com os obtidos experimentalmente pela utilização do infiltrômetro de carga constante. Não houve diferença expressiva entre os valores obtidos da condutividade hidráulica do solo não saturado entre os tratamentos com água e vinhaça.

Termos de indexação: vinhaça, condutividade hidráulica, solo não saturado.

⁽¹⁾ Recebido para publicação em julho de 1997 e aprovado em março de 1998.

⁽²⁾ Pesquisador autônomo.

⁽³⁾ Departamento de Física e Meteorologia, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", USP. CEP 13418-900 Piracicaba (SP). E-mail: pllibard@carpa.ciagri.usp.br. Bolsista do CNPq.

⁽⁴⁾ Pesquisador Científico, Seção de Pedologia, Instituto Agrônomo de Campinas. Caixa Postal 28, CEP 13001-970 Campinas (SP). E-mail: otavio@sigmabbs.com.br. Bolsista do CNPq.

SUMMARY: HYDRAULIC CONDUCTIVITY OF PACKED SAMPLES OF AN OXISOL TREATED WITH WATER/VINASSE

This study was carried out at the Center for Nuclear Energy in Agriculture (CENA), Piracicaba, State of São Paulo, Brazil, with the objective of obtaining information about the effect of different application levels of water/vinasse (100, 200, 400, 600, 800 and 1,000 m³ ha⁻¹) on hydraulic conductivity of soil samples homogeneously packed in columns. A constant head infiltrometer and the instantaneous water profile method were utilized to determine saturated and unsaturated soil hydraulic conductivity, respectively. The increase of the vinasse application levels caused a gradual decrease in the saturated hydraulic conductivity, being steeper at levels higher than 400 m³ ha⁻¹. The water profile instantaneous method to determine the hydraulic conductivity function was very well adapted to the experimental conditions, and there was a relatively good correspondence between saturated hydraulic conductivity values determined by constant head infiltrometer and those estimated by this method. There was no substantial difference in the unsaturated hydraulic conductivity values between water and vinasse treatments.

Index terms: vinasse, hydraulic conductivity, unsaturated soil.

INTRODUÇÃO

A alternativa de utilização da vinhaça como fertilizante já é rotina em muitas regiões canavieiras do País. O aumento de produção alcançada, especialmente para a cultura da cana-de-açúcar, é notório (Orlando Filho et al., 1983).

Diversos estudos desenvolvidos em nossas condições mostraram alterações nas propriedades químicas dos solos que receberam vinhaça (Camargo et al., 1983, 1984, 1987; Leal et al., 1983; Sengik et al., 1988). Com menor intensidade, estudos de microbiologia do solo (Lima, 1980; Lopes et al., 1986) e de física de solo (Rezende, 1979; Camargo et al., 1983) foram realizados.

Entre as propriedades físicas do solo, a condutividade hidráulica merece destaque, dada sua relevância em projetos de irrigação, disposição de resíduos líquidos e conservação do solo. Assim, um estudo relativo às alterações que a aplicação de vinhaça poderia acarretar na condutividade hidráulica de um solo é importante subsídio para aumentar a compreensão da dinâmica da água em tal sistema.

Andrioli (1982), comparando os valores de profundidade da frente de molhamento (penetrabilidade) para água pura e água de vinhaça infiltradas em colunas de solo no horizonte B de um Podzólico Vermelho-Amarelo, verificou que as equações de disponibilidade e de penetrabilidade podem ser utilizadas na descrição do processo de infiltração horizontal de água da vinhaça no solo. Por sua vez, Silva et al. (1976) notaram que infiltrações repetidas de vinhaça em Latossolo Vermelho-Amarelo promoveram acentuada diminuição nos valores de penetrabilidade.

Este trabalho teve por objetivos: a) realizar um estudo sobre o efeito da aplicação de vinhaça em diversas dosagens na condutividade hidráulica do solo saturado (K_0) em condições de laboratório, usando um infiltrômetro de carga constante para sua determinação; b) caracterizar a função $K(\theta)$, isto é, a condutividade hidráulica em função da umidade do solo θ durante o período de redistribuição da água, aplicando o método do perfil instantâneo, sob condições de laboratório, usando água e vinhaça (1.000 m³ ha⁻¹).

MATERIAL E MÉTODOS

Solo

A amostra utilizada foi coletada no horizonte Ap de um Latossolo Roxo distrófico, Unidade Barão Geraldo (Oliveira et al., 1979) com 360 g kg⁻¹ de argila, $\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}} = 5,3$, soma de bases 14,6 mmol_{c(+)} kg⁻¹ e $V\% = 28$.

Vinhaça

A vinhaça empregada era oriunda da destilaria de álcool da Usina Santa Helena, Piracicaba (SP), e apresentava relação C/N = 6, potássio 2.940 µg mL⁻¹, cálcio 1.300 µg mL⁻¹, magnésio = 250 µg mL⁻¹ e 15 µg mL⁻¹ de sódio. A vinhaça foi aplicada, previamente, no início das determinações às colunas com as amostras de solo em doses correspondentes a 0 (testemunha), 100, 200, 400, 600, 800 e 1.000 m³ ha⁻¹. Em experimento paralelo, o mesmo procedimento foi utilizado, aplicando-se iguais quantidades de água.

Preparação das amostras de solo e seu acondicionamento em colunas

As amostras de solo utilizadas foram deixadas secar à sombra e passadas em peneira de malha 1 mm. O acondicionamento foi feito em colunas de plástico acrílico de 0,60 e 1,20 m de comprimento, 57 mm de diâmetro interno e com espessura de parede de 3,0 mm. As colunas de 0,60 m de comprimento foram utilizadas na determinação da condutividade hidráulica do solo saturado pelo método do infiltrômetro de carga constante. As colunas de 1,20 m de comprimento foram utilizadas na determinação da função $K(\theta)$, pelo método de Libardi et al. (1980). Essas colunas eram abertas numa extremidade e fechadas na outra com filtro de papel.

Para o enchimento da coluna, um funil de haste longa era introduzido na coluna e cheio com a terra. Depois, o funil era levantado vagarosamente, permitindo a passagem da terra para a coluna; no mesmo tempo em que era colocada mais terra no funil. Isto permitia uma separação mínima das partículas de solo. Uma vez cheia, batia-se na coluna com ajuda de um martelo de borracha, até obter a densidade que o solo apresentava nas condições naturais de campo ($1,19 \text{ Mg m}^{-3}$). Evidentemente, neste processo, era simulada apenas a densidade do solo, não sendo possível reproduzir sua estrutura. Finalmente, retirava-se quantidade suficiente de terra para deixar um espaço livre de 0,10 m entre a superfície da amostra de solo e a borda superior da coluna.

Verificação da uniformidade de compactação das colunas de solo

Com a finalidade de verificar a influência da uniformidade de compactação sobre os valores de condutividade hidráulica obtidos para as diversas dosagens de água e vinhaça utilizadas, realizou-se um experimento preliminar de infiltração vertical em colunas de solo, sem aplicação prévia de água ou vinhaça, com três repetições, obedecendo, rigorosamente, aos critérios de preparação e acondicionamento das amostras descritos no item anterior.

Condutividade hidráulica do solo saturado (K_0) determinada por meio de um infiltrômetro de carga constante

Aplicou-se a dose selecionada de vinhaça (ou água) na coluna de solo, conforme os tratamentos anteriormente descritos (por exemplo, para a dosagem de $1.000 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$, o volume de líquido aplicado, tendo em conta a área da coluna, foi de 0,255 L) para, depois de 24 horas, proceder-se à infiltração vertical de água. Iniciou-se o processo de infiltração, registrando a leitura numa bureta de Mariotte (que mantinha uma carga hidráulica de 0,001 m sobre a superfície do solo) e o tempo com

auxílio de um cronômetro. Periodicamente, o tempo e o volume de água adicionado ao solo eram medidos até ser atingida a condição de infiltração constante.

Determinação do valor $K(\theta)$ pelo método de Libardi et al. (1980) sob condições de laboratório

Inicialmente, procedeu-se à infiltração vertical de água ou vinhaça (na dosagem de $1.000 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$) na coluna de solo, atendendo aos mesmos critérios relativos ao procedimento experimental para determinação da condutividade do solo saturado (K_0) por meio do infiltrômetro de carga constante. Atingida a condição de infiltração constante, interrompeu-se o processo de infiltração, e iniciou-se o de redistribuição, imediatamente, com o auxílio da técnica de radiação gama (Ferraz, 1983). Foram realizadas diversas determinações ao longo da coluna, para obtenção do perfil de umidade (θ vs z) em $t = 0$, ou seja, início do processo de redistribuição.

A condutividade hidráulica obtida durante o período de redistribuição de água foi estimada pelo método de Libardi et al. (1980), sob condições de laboratório, nos seguintes tempos: 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15 e 20 dias. De acordo com o método, durante o período de redistribuição, a equação que relaciona a umidade com o tempo é:

$$\theta = \theta_0 - \frac{1}{\beta} \ln \left(1 + \frac{K_0 t}{az} \right) \quad (1)$$

em que:

θ e θ_0 = umidade do solo ($\text{m}^3 \text{ m}^{-3}$) nos tempos (s) $t = t$ e $t = 0$;

t = tempo de redistribuição (s);

a = parâmetro que relaciona a umidade do solo na profundidade z e a umidade média do solo desde a superfície até a profundidade z ;

A partir desta equação, podem-se calcular os valores de K_0 e de β de cada profundidade com os quais se obtém diretamente a equação que relaciona a condutividade hidráulica K com a umidade θ :

$$K = K(\theta) = K_0 e^{\beta(\theta - \theta_0)} \quad (2)$$

em que:

K = condutividade hidráulica do solo (m s^{-1}) na umidade θ ($\text{m}^3 \text{ m}^{-3}$);

K_0 = condutividade hidráulica do solo no tempo zero de redistribuição ($t = 0$);

θ_0 = umidade do solo ($\text{m}^3 \text{ m}^{-3}$) no tempo (s) $t = 0$;

β = constante que traduz a rapidez com que K diminui com θ .

Umidade das colunas de solo

A umidade ao longo da coluna de solo foi determinada pelo método da atenuação da radiação gama (Davidson et al., 1963). A fonte radioativa

emissora de raios γ utilizada foi o ^{137}Cs de atividade atual de 96 mCi, e o sistema de detecção foi um conjunto da Nuclear Chicago de detecção por cintilação sólida.

Os feixes de radiação, tanto o emergente da fonte quanto o incidente no cristal, foram devidamente colimados numa área circular de 4,45 mm². A coluna de solo para medida da umidade era sempre colocada na horizontal e perpendicularmente ao feixe de radiação sobre um trilho de ferro que facilitava sua movimentação e fazia com que os raios gama atravessassem a parte mais espessa da coluna.

A equação utilizada no cálculo da umidade θ ao longo da coluna foi:

$$\theta = \frac{\ln I/I'}{\mu_a x} \quad (3)$$

em que I = intensidade do feixe de radiação (cpm) emergente da amostra com a umidade inicial (solo seco ao ar); I' = intensidade do feixe de radiação (cpm) emergente da amostra após o processo de infiltração de água, μ_a = coeficiente de atenuação de massa da água (cm² g⁻¹) e x = espessura da amostra de solo (cm).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Uniformidade de compactação das colunas de solo

Os resultados do teste prévio de infiltração, para verificar a influência da uniformidade de compactação na condutividade hidráulica, encontram-se na figura 1. A grande semelhança dos valores de K_0 e da lei de infiltração das três

repetições (Figura 1) comprova que a maneira utilizada para acondicionar o solo à coluna não causaria variação nos valores de K_0 e da função $K(\theta)$ obtidos nas diversas colunas, se se utilizasse uma só repetição. A realização desse experimento se fez necessária, para verificar se foram dadas condições de igualdade em todos os tratamentos, no que se refere ao grau de compactação, o qual, certamente, influiria nos valores de condutividade hidráulica obtidos.

Taxa de infiltração em função do tempo decorrido e condutividade hidráulica do solo saturado (K_0)

Igualmente ao experimento preliminar, com os valores medidos do volume de água que entrou na coluna de solo por unidade de área de sua secção transversal e do tempo decorrido, calcularam-se os valores da taxa de infiltração. Para o cálculo da condutividade hidráulica do solo saturado (K_0), para cada tratamento, foram feitos os gráficos da taxa de infiltração em função do tempo. Quando a taxa de infiltração praticamente não mais variava com o tempo, o valor obtido nesse momento, conforme a teoria clássica da infiltração (Libardi, 1995), era considerado como o valor de K_0 . No caso presente, os valores de K_0 foram estimados pela média dos quatro últimos valores da taxa de infiltração. Com os valores de K_0 assim obtidos, elaborou-se o gráfico mostrado na figura 2.

Nesta figura, observa-se que, com o aumento nas dosagens água/vinhaça, os valores de K_0 foram diminuindo gradativamente e, de forma substancial, para os tratamentos com mais de 400 m³ ha⁻¹, sofrendo um decréscimo de até 77%, se comparados aos do tratamento sem água e vinhaça (0 m³ ha⁻¹, Figura 1) com aquele com 1.000 m³ ha⁻¹ de vinhaça.

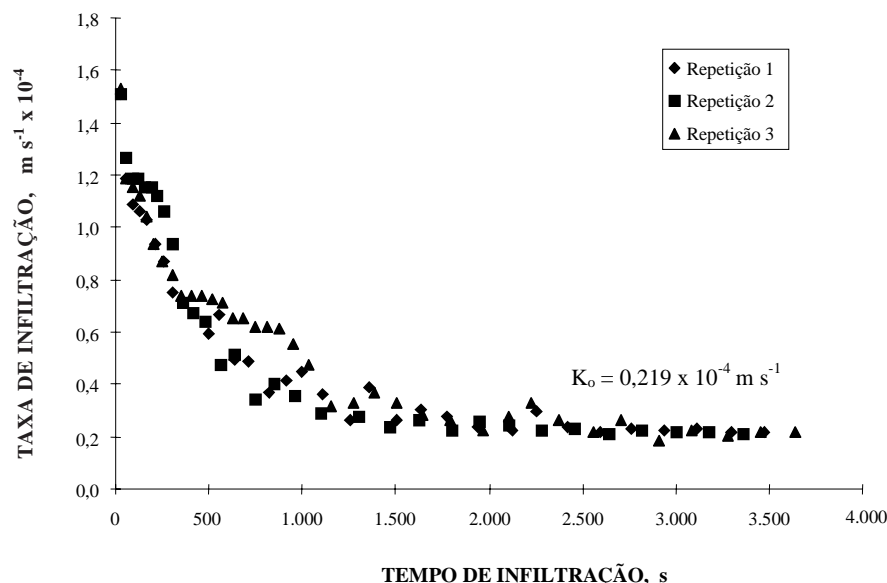


Figura 1. Teste de infiltração para as três repetições do experimento preliminar.

Em termos médios, os valores de K_0 para as dosagens 100, 200 e 400 $\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$ foram 22% inferiores nos tratamentos com vinhaça do que nos tratamentos com água. Nas dosagens 600, 800 e 1.000 $\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$, a diminuição foi, em média, de 52%. Portanto, em dosagens menores (até 400 $\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$), os valores de K_0 , embora também tenham apresentado diminuição, esta não passou de 25%, o que constitui decréscimo muito pequeno e, provavelmente, pouco importante, uma vez que a maioria das usinas nunca usa dosagens superiores a 150 $\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$ em soqueiras de cana-de-açúcar. Um detalhe a ser ressaltado refere-se à variação dos valores de K_0 para as diferentes dosagens de água. Teoricamente, era esperado que os valores de K_0 para essas dosagens se mantivessem constantes, o que realmente não ocorreu. As quedas de K_0 para os tratamentos com água ocorreram paralelamente aos tratamentos com vinhaça, porém com menor magnitude. Possivelmente, isto decorreu do molhamento prévio de amostras de solo por ocasião da aplicação das dosagens, conforme os tratamentos estabelecidos, o qual deve ter causado alteração na distribuição das partículas de solo. O decréscimo constatado com maior amplitude para vinhaça pode estar ligado ao fato de haver uma acumulação dos sólidos em suspensão no líquido ao longo do perfil, formando uma camada de alta impedância hidráulica, o que já foi constatado por Bouwer & Chaney (1974) e Rawitz & Burns (1981).

Caracterização do parâmetro $K(\theta)$ em coluna de solo com infiltração de água e com infiltração de vinhaça

Com os valores da umidade volumétrica para os diversos tempos e profundidades, durante o período de redistribuição da água, para as colunas de solo

infiltradas com água e com vinhaça na dosagem de 1.000 $\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$, obtiveram-se, por meio do método de Libardi et al. (1980), as seguintes equações para a condutividade hidráulica:

usando água:

$$K(\theta) = 8,036 \times 10^{-6} \exp 52,910 (\theta - 0,424) \rightarrow \text{m s}^{-1} \quad (4)$$

e usando vinhaça:

$$K(\theta) = 3,716 \times 10^{-6} \exp 54,645 (\theta - 0,413) \rightarrow \text{m s}^{-1} \quad (5)$$

Os dados de umidade, que deram origem às equações (4) e (5) e parte do gráfico da figura 3, encontram-se nos quadros 1 e 2, respectivamente. No tempo zero de redistribuição, a frente de molhamento encontrava-se a, aproximadamente, 0,35 m de profundidade (Figura 3). Dada a grande homogeneidade das colunas de solo e, tendo em vista o interesse de comparação dos dois tratamentos (água e vinhaça), trabalhou-se com os dados médios de θ dos quadros 1 e 2 para obtenção das equações para $K(\theta)$. Na obtenção dessas equações por este método, os dados precisavam ser ajustados à equação (1). Para ambos os tratamentos, a regressão de θ versus $\ln t$ (Libardi et al. 1980) mostrou coeficiente de determinação (R^2) maior do que 0,94, condição necessária para a aplicação do método. Com esses resultados, pode-se concluir que o método referido para caracterização da função $K(\theta)$ se aplica para condições de laboratório, nas condições estudadas.

Pelas equações (4) e (5), que nada mais são que a equação (2) para o solo em questão, pode-se verificar que, para a água, $K_0 = 0,803 \times 10^{-5} \text{ m s}^{-1}$ e, para a vinhaça, $K_0 = 0,372 \times 10^{-5} \text{ m s}^{-1}$. Os valores obtidos pelo infiltrômetro (Figura 2) nesta dosagem (1.000 $\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$) foram, respectivamente, $1,083 \times 10^{-5} \text{ m s}^{-1}$ e $0,517 \times 10^{-5} \text{ m s}^{-1}$, o que mostra que, em ambos os casos

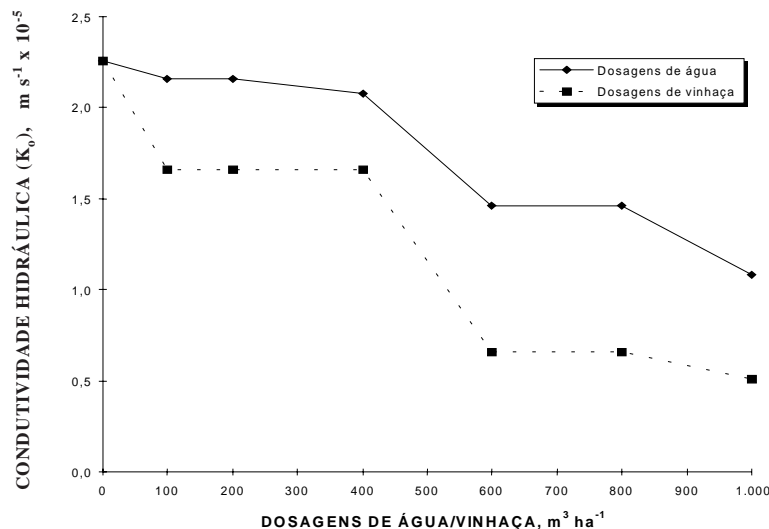


Figura 2. Condutividade hidráulica do solo saturado, K_0 , obtida pelos gráficos da taxa de infiltração versus tempo decorrido, em função das dosagens de água/vinhaça aplicadas em colunas de solo homogêneo.

(água e vinhaça), o valor de K_0 , obtido pelo método do infiltrômetro, foi maior do que o valor de K_0 , obtido pelo método de Libardi et al. (1980). No caso da água, o desvio foi de 34,8% e, no caso da vinhaça, de 39%.

Nos quadros 1 e 2, observa-se que, no tratamento com água, a umidade de saturação foi superior ($0,424 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$) à do tratamento com vinhaça

($0,413 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$). Tal fato pode explicar os valores maiores de K_0 no tratamento com água em relação ao tratamento com vinhaça do método da infiltração (Figura 2). Utilizando essas duas equações e, com base na faixa de valores de umidade da figura 2, elaborou-se o quadro 3 para se ter uma idéia da variação da condutividade hidráulica com a umidade.

Quadro 1. Umidade volumétrica (θ) para os diversos tempos (t) e profundidades (z), durante o período de redistribuição da água, para coluna de solo tratada com água, na dosagem de $1.000 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$

Tempo	Umidade volumétrica θ ($\text{m}^3 \text{ m}^{-3}$)							$\bar{\theta}$
	z = 0,02	z = 0,05	z = 0,10	z = 0,15	z = 0,20	z = 0,25	z = 0,30	Média
Hora	cm							
0	0,4450	0,4360	0,4320	0,4180	0,4250	0,4160	0,3970	0,4241
24	0,3420	0,3370	0,3260	0,3240	0,3160	0,3120	0,3100	0,3239
48	0,3380	0,3340	0,3200	0,3220	0,3120	0,3080	0,3090	0,3204
72	0,3340	0,3300	0,3160	0,3190	0,3060	0,3070	0,3050	0,3167
96	0,3270	0,3250	0,3090	0,3160	0,3000	0,3020	0,3010	0,3114
120	0,3220	0,3200	0,3060	0,3140	0,2940	0,2960	0,2950	0,3067
144	0,3180	0,3160	0,3030	0,3100	0,2900	0,2910	0,2920	0,3029
168	0,3140	0,3120	0,2980	0,3070	0,2860	0,2870	0,2900	0,2991
192	0,3100	0,3070	0,2960	0,2980	0,2820	0,2830	0,2860	0,2946
240	0,3080	0,3040	0,2920	0,2940	0,2770	0,2780	0,2840	0,2910
264	0,3040	0,3030	0,2850	0,2920	0,2740	0,2750	0,2800	0,2876
312	0,3000	0,2990	0,2800	0,2860	0,2700	0,2720	0,2770	0,2834
336	0,2960	0,2950	0,2770	0,2840	0,2660	0,2680	0,2740	0,2800
360	0,2920	0,2930	0,2730	0,2820	0,2620	0,2640	0,2720	0,2769
480	0,2860	0,2900	0,2700	0,2800	0,2560	0,2600	0,2710	0,2733

Quadro 2. Umidade volumétrica (θ) para os diversos tempos (t) e profundidades (z), durante o período de redistribuição da vinhaça, para coluna de solo tratada com vinhaça, na dosagem de $1.000 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$

Tempo	Umidade volumétrica θ ($\text{m}^3 \text{ m}^{-3}$)							$\bar{\theta}$
	z = 0,02	z = 0,05	z = 0,10	z = 0,15	z = 0,20	z = 0,25	z = 0,30	Média
Hora	cm							
0	0,4360	0,4200	0,4120	0,4000	0,4150	0,4090	0,3960	0,4126
24	0,3480	0,3440	0,3280	0,3340	0,3220	0,3240	0,3250	0,3321
48	0,3370	0,3360	0,3200	0,3320	0,3140	0,3160	0,3200	0,3250
72	0,3330	0,3300	0,3180	0,3290	0,3100	0,3120	0,3180	0,3214
96	0,3280	0,3240	0,3100	0,3260	0,3060	0,3050	0,3160	0,3164
120	0,3240	0,3200	0,3080	0,3240	0,2970	0,2980	0,3110	0,3094
144	0,3200	0,3170	0,3040	0,3200	0,2950	0,2930	0,3100	0,3084
168	0,3160	0,3130	0,3000	0,3150	0,2920	0,2880	0,3090	0,3047
192	0,3130	0,3100	0,2910	0,3130	0,2900	0,2860	0,3070	0,3014
240	0,3100	0,3080	0,2900	0,3100	0,2890	0,2750	0,2990	0,2973
264	0,3070	0,3060	0,2860	0,3080	0,2870	0,2720	0,2950	0,2944
312	0,3040	0,3030	0,2820	0,3060	0,2780	0,2700	0,2930	0,2909
336	0,2990	0,3010	0,2790	0,3040	0,2740	0,2680	0,2920	0,2880
360	0,2940	0,2980	0,2740	0,3030	0,2690	0,2640	0,2880	0,2843
480	0,2930	0,2960	0,2700	0,3000	0,2600	0,2620	0,2840	0,2807

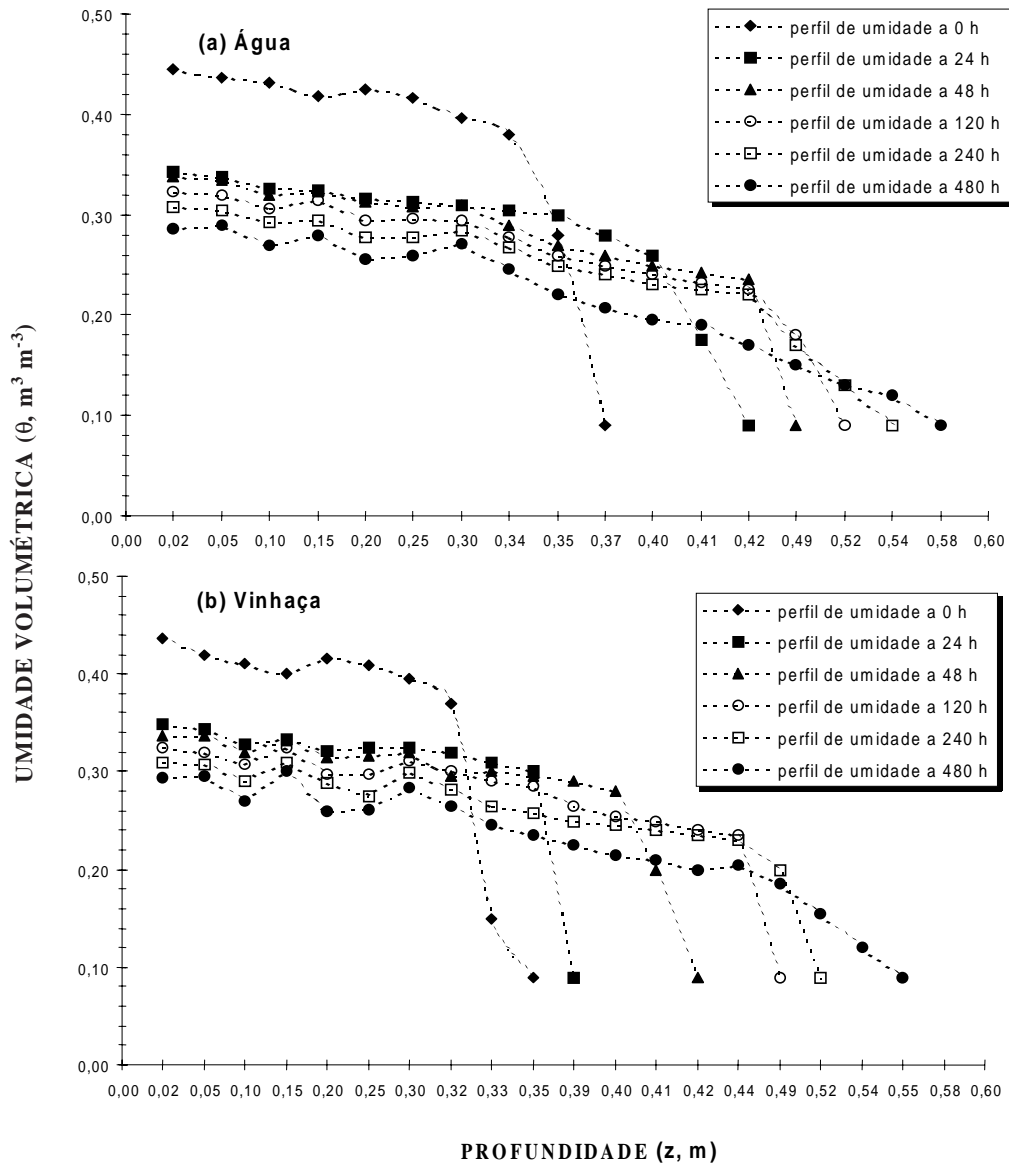


Figura 3. Perfis de umidade durante o processo de redistribuição em coluna de solo tratado com água (a) ou vinhaça (b), na dosagem de 1.000 m³ ha⁻¹.

Quadro 3. Relação entre condutividade hidráulica e umidade do solo

Umidade	Condutividade hidráulica (m s ⁻¹)	
	Água	Vinhaça
m ³ m ⁻³		
0,424	8,036 10 ⁻⁶	-
0,413	4,490 10 ⁻⁶	3,716 10 ⁻⁶
0,380	7,834 10 ⁻⁷	6,122 10 ⁻⁷
0,340	9,437 10 ⁻⁸	6,881 10 ⁻⁸
0,300	1,137 10 ⁻⁸	7,733 10 ⁻⁹
0,250	8,068 10 ⁻¹⁰	5,032 10 ⁻¹⁰
0,200	5,730 10 ⁻¹¹	3,270 10 ⁻¹¹

Observa-se que, para valores de umidade inferiores a 0,30 m³ m⁻³, a condutividade hidráulica é praticamente nula e que, para a faixa úmida (superior a 0,30 m³ m⁻³), a diferença entre os valores de condutividade hidráulica obtidos entre os tratamentos com água e vinhaça não foi expressiva, apesar de se notar uma tendência de valores maiores para o tratamento com água (Quadro 3).

CONCLUSÕES

1. Na condição de saturação, a condutividade hidráulica diminui com o aumento das dosagens de vinhaça, notadamente para os tratamentos com mais de 400 m³ ha⁻¹.

2. Na condição de não-saturação, a condutividade hidráulica aparentemente não sofreu qualquer interferência expressiva, quando se utilizou vinhaça na dosagem de $1.000 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ para sua determinação, apesar de se notar certa tendência de valores maiores na determinação com água.

LITERATURA CITADA

- ANDRIOLI, I. Movimento da vinhaça no solo podzolizado Lins e Marília var. Marília. Jaboticabal, Universidade Estadual de São Paulo, 1982. 89p. (Tese de Mestrado)
- BOUWER, H. & CHANEY, R.L. Land treatment of waste water. *Adv. Agron.*, 26:133-176, 1974.
- CAMARGO, O.A.; BERTON, R.S.; GERALDI, R.N. & VALADARES, J.M.A.S. Alterações de características químicas em um latossolo roxo distrófico incubado com resíduo da indústria álcool açucareira. *Bragantia*, 43:125-139, 1984.
- CAMARGO, O.A.; VALADARES, J.M.A.S. & GERALDI, R.N. Características químicas e físicas de solo que recebeu vinhaça por longo tempo. Campinas, Instituto Agronômico, 1983. 30p. (Boletim Técnico, 76)
- CAMARGO, O.A.; VALADARES, J.M.A.S.; BERTON, R.S. & TEÓFILO SOBRINHO, J. Aplicação de vinhaça no solo e efeito no teor de nitrogênio, fósforo e enxofre inorgânicos e no de alguns metais pesados. Campinas, Instituto Agronômico, 1987. 15p. (Boletim Técnico, 8)
- DAVIDSON, J.M.; BIGGAR, J.M. & NIELSEN, D.R. Gamma radiation attenuation for measuring bulk density and transient water flow in porous materials. *J. Geoph. Res.*, 68:4777-4783, 1963.
- FERRAZ, E.S.B. Gamma ray attenuation to measure water content and/or bulk densities of porous media. IAEA-SM-267/41. SYMPOSIUM, AIX-EN-PROVENCE, France, 1983. Proceedings. (s.l., s.ed.), 1983. p.449-460.
- LEAL, J.R.; AMARAL SOBRINHO, N.M.B.; VELLOSO, A.C.X. & ROSSIELO, R.O.P. Potencial redox e pH: variações em um solo tratado com vinhaça. *R. Bras. Ci. Solo*, 7:257-261, 1983.
- LIBARDI, P.L.; REICHARDT, K.; NIELSEN, D.R. & BIGGAR, J.W. Simple field methods for estimating soil hydraulic conductivity. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 44:3-7, 1980.
- LIBARDI, P.L. "Dinâmica da água no solo". Piracicaba, DFM/ESALQ/USP, 1995. 497p.
- LIMA, I.J. Efeitos de aplicação de vinhaça sobre a microflora do solo. Rio de Janeiro, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, 1980. 150p. (Tese de Mestrado)
- LOPES, E.S.; PERON, S.C.; PORTUGAL, E.P.; CAMARGO, O.A. & FREITAS, S.S. Atividades respiratória de solo tratado com vinhaça e herbicida. *Bragantia*, 45:205-210, 1986.
- OLIVEIRA, J.B.; MENK, J.R.F. & ROTTA, C.L. Levantamento pedológico semi-detalhado dos solos do Estado de São Paulo - Quadrícula de Campinas. Rio de Janeiro, IBGE, 1979. 172p.
- ORLANDO FILHO, J.; SILVA, G.M.A. & LEME, E.J.A. Utilização agrícola dos resíduos da agroindústria canavieira. In: ORLANDO FILHO, J., coord. Nutrição e adubação da cana-de-açúcar no Brasil. Piracicaba, IAA/PLANALSUCAR, 1983. p.227-264.
- RAWITZ, E. & BURNS, S. The effects of sodium and organic matter in sewage effluent on water retention properties of soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 45:487-493, 1981.
- REZENDE, J.O. Conseqüências da aplicação de vinhaça sobre algumas propriedades físicas de um solo aluvial (estudo de um caso). Piracicaba, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 1979. 112p. (Tese de Doutorado)
- SENGIK, E.; RIBEIRO, A.C. & CONDE, A.R. Efeito da vinhaça em algumas propriedades de amostras de solos de Viçosa (MG). *R. Bras. Ci. Solo*, 12:11-15, 1988.
- SILVA, G.M.A.; CASTRO, L.U.P. & MAGRO, J.A. Comportamento agroindustrial da cana-de-açúcar em solo irrigado e não irrigado com vinhaça. In: SEMINÁRIO COOPERSUCAR DA AGROINDÚSTRIA AÇÚCAREIRA, 4., Águas de Lindóia, 1976. Anais. Águas de Lindóia, COPERSUCAR, 1976. p.107-122.