

## CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA E DRENAGEM INTERNA EM LATOSSOLO CULTIVADO COM CAFÉ ADUBADO COM ELEVADAS DOSES DE NITROGÊNIO

MATEUS DE PAULA GOMES<sup>1</sup>; GENELÍCIO CRUSOÉ ROCHA<sup>2</sup>; JOSÉ ADINAN SOUZA<sup>3</sup> E CARLOS HENRIQUES SILVA REZENDE<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Departamento de Solos - Universidade Federal de Viçosa - Avenida Peter Henry Rolfs, s/n, Campus Universitário, 36570-900 Viçosa, MG, Brasil. E-mail: mateusgomes2006@yahoo.com.br

<sup>2</sup> Departamento de Solos - Universidade Federal de Viçosa - Avenida Peter Henry Rolfs, s/n, Campus Universitário, 36570-900 Viçosa, MG, Brasil. E-mail: genelicio.rocha@ufv.br

<sup>3</sup> Departamento de Solos - Universidade Federal de Viçosa - Avenida Peter Henry Rolfs, s/n, Campus Universitário, 36570-900 Viçosa, MG, Brasil. E-mail: adinansouza@yahoo.com.br

<sup>4</sup> Departamento de Solos - Universidade Federal de Viçosa - Avenida Peter Henry Rolfs, s/n, Campus Universitário, 36570-900 Viçosa, MG, Brasil. E-mail: phn.carlos@gmail.com

### 1 RESUMO

O uso de altas doses de fertilizantes favorece o desenvolvimento vegetal e dos microrganismos do solo que podem modificar o processo de drenagem interna. O objetivo deste estudo foi avaliar a drenagem interna e a condutividade hidráulica de um Latossolo cultivado com café fertilizado com doses elevadas de nitrogênio. O delineamento experimental foi o de blocos casualizados, em esquema fatorial  $(3 \times 2) + 1$ , sendo três doses de nitrogênio, duas formas de ureia e um tratamento adicional sem aplicação nitrogenada. A condutividade hidráulica não saturada foi obtida em laboratório por meio da curva de retenção de água no solo e no campo por meio do Mini Disk Infiltrômetro. Os resultados foram submetidos à análise de variância e foram ajustados modelos de regressão para o efeito das doses de N na condutividade hidráulica do solo. Observou-se que acúmulos na precipitação acarretam em aumentos lineares na drenagem interna do solo. O aumento da dose de nitrogênio não influenciou na condutividade hidráulica saturada e não-saturada, nem na drenagem interna.

**Palavras-chave:** água no solo, estrutura do solo, fluxo de água.

GOMES, M. P.; ROCHA, G. C.; SOUZA, J. A.; REZENDE, C. H. S.  
HYDRAULIC CONDUCTIVITY AND INTERNAL DRAINAGE IN A LATOSSOIL  
CULTIVATED WITH COFFEE FERTILIZED IN HIGH NITROGEN DOSES

### 2 ABSTRACT

The use of high doses of fertilizers favors plant development and soil microorganisms that can modify the internal drainage process. The objective of this study was to evaluate the internal drainage and hydraulic conductivity of an Oxisol cultivated with coffee fertilized in high nitrogen doses. The experimental design was based on randomized blocks, in a factorial scheme  $(3 \times 2) + 1$ , with three nitrogen doses, two urea forms and one additional treatment with no nitrogen application. The unsaturated hydraulic conductivity was obtained in the laboratory by means of the water retention curve in the soil and in the field, through the Mini Disk Infiltrometer. The results were submitted to a variance analysis and regression models were

adjusted for the effect of N doses on soil hydraulic conductivity. It was possible to observe that accumulations in precipitation lead to linear increases in internal soil drainage. Increasing the nitrogen dose did not influence neither the saturated and unsaturated hydraulic conductivity nor the internal drainage.

**Keywords:** soil water, soil structure, water flow.

### 3 INTRODUÇÃO

Os empreendimentos agrícolas têm utilizado doses cada vez mais elevadas de fertilizantes e pesticidas com o intuito de propiciar condições ótimas para o desenvolvimento das culturas e, assim, elevar as produtividades. Essas aplicações podem representar riscos ambientais às áreas cultivadas, já que pode haver contaminação do lençol freático (BORTOLOTTO et al., 2013).

O movimento de solutos no solo depende da dinâmica da água, que se relaciona com as características do solo, tais como condutividade hidráulica, textura, densidade, etc. Fatores edafoclimáticos, como temperatura, umidade relativa do ar e as características da vegetação também interferem no movimento da água no solo (BRADY; WEIL, 2013).

A dinâmica da água no solo é determinante para a produtividade das culturas, sendo fundamental para a tomada de decisão no setor agrícola. O movimento da água é dependente da condutividade hidráulica do solo, que está relacionada com a capacidade do solo em conduzir água e é influenciada pelas diferenças entre as camadas no perfil do solo (ROSSETTI; CENTURION, 2013).

A fertilização aumenta a disponibilidade de nutrientes no solo, influenciando no desenvolvimento dos microrganismos e das plantas, favorecendo o desenvolvimento radicular, que pode modificar a estrutura do solo e, conseqüentemente, alterar a drenagem interna. Além disso, alguns íons fornecidos via fertilização, como o potássio e o sódio,

podem favorecer a dispersão das partículas de argila, o que acarretaria no entupimento dos poros e, conseqüentemente, reduziria a permeabilidade do solo (UYEDA et al., 2013; BONINI et al., 2014).

Objetivou-se com este estudo avaliar a drenagem interna e a condutividade hidráulica de um Latossolo cultivado com café, adubado com elevadas doses de nitrogênio.

### 4 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido na Zona da Mata de Minas Gerais, situada a 20° 41' 57" S e 42° 52' 41" O. O local apresenta clima tropical de altitude, Cwa segundo a classificação de Koppen, com invernos frios e secos verões chuvosos (JÚNIOR, 2009).

O delineamento experimental foi em blocos casualizados e os tratamentos consistiram de três doses de nitrogênio (200, 400 e 600 kg ha<sup>-1</sup>), duas formas de ureia (com e sem inibidor de urease - NBPT- N-(n-butil) tiofosfórico triamida) e um tratamento adicional sem adubação nitrogenada, formando o esquema fatorial (3 x 2) + 1, com 4 blocos. Cada parcela foi compostas por 6 plantas, e as duas plantas centrais constituíam a parcela útil, onde foram instalados três tensiômetros nas profundidades de 0,90, 1,00 e 1,10 m. Foi instalado um pluviômetro, ao lado da área experimental, para monitorar as chuvas.

A granulometria foi determinada, em cada parcela, até a profundidade de 1.10 m, sendo as amostras coletadas em intervalos de 0,10 m com o objetivo de

verificar se haviam variações significativas na textura do solo, o que poderia interferir no processo de drenagem interna. Também foram determinados os valores de condutividade hidráulica saturada ( $K_0$ ), densidade do solo, densidade de partículas macro, micro e porosidade total, nas profundidades de 0,1; 0,3 e 0,5 m.

A adubação com fósforo, potássio e demais nutrientes foi definida com base na caracterização química do solo, que foi feita nas camadas de 0,0 – 0,2; 0,2 – 0,4 e 0,4 – 0,6 m. Foram aplicados 125 kg ha<sup>-1</sup> de K em uma única aplicação e não houve necessidade de adubação com P. A adubação nitrogenada foi realizada seguindo a época comumente realizada pelo produtor, sendo as doses divididas em três aplicações.

Em cada parcela, foram coletadas amostras de solo indeformadas a 1 m de

$$K_e = -\frac{q}{i} \quad (1)$$

sendo  $q$  o fluxo (m s<sup>-1</sup>) e  $i$ , o gradiente hidráulico (m m<sup>-1</sup>) (equações 2 e

$$q = \frac{4V}{\pi d^2 t} \quad (2)$$

em que  $V$  é o volume coletado na proveta (m<sup>3</sup>);  $d$  é diâmetro do anel

$$i = \frac{l}{L} + 1 \quad (3)$$

sendo  $l$  a lâmina de água aplicada (m) e  $L$  a altura do anel volumétrico (m).

Após a determinação de  $K_e$ ,

$$K_0 = K_e \frac{\eta_e}{\eta_{20}} \quad (4)$$

em que  $\eta_e$  é a viscosidade dinâmica da água na temperatura ambiente e  $\eta_{20}$  é a viscosidade dinâmica da água a 20 °C (centipoise).

profundidade utilizando um trado Uhland. As amostras foram coletadas em anéis volumétricos que foram acoplados a outros de mesmo diâmetro e fixados com fita adesiva. A parte superior das amostras foi recoberta com lã de vidro. Em seguida, as amostras foram saturadas por 48 h em bandejas com água.

As amostras saturadas foram submetidas a uma lâmina de água de espessura “ $l$ ” e carga constante (equação 3), com auxílio de sistemas de “frasco de Mariotte”. Após um período de estabilização, cronometrou-se o tempo ( $t$ ) necessário para que um volume de água ( $V$ ) percolasse pelo volume de solo. Foram considerados válidos os valores de  $V$  e  $t$  que se repetiram em cinco determinações seguidas.

A condutividade hidráulica em solo saturado ( $K_e$ ) foi obtida pela equação (1):

3 respectivamente).

volumétrico (m) e  $t$  é o tempo (s).

procedeu-se o cálculo de  $K_0$  (equação 4), ou seja, a condutividade hidráulica em meio saturado a 20 °C:

A condutividade hidráulica do solo não saturado segundo Mualem (1976), utilizando a curva de retenção de água no solo e a condutividade hidráulica do solo saturado ( $K_0$ ) (equação 5):

$$K(\theta) = K_0 \omega^\ell \left[ 1 - \left( 1 - \omega^{\frac{1}{m}} \right)^m \right]^2 \quad (5)$$

Em que  $K_0$  é a condutividade hidráulica em meio saturado ( $\text{m dia}^{-1}$ ); o valor  $\ell$  tido como ótimo é 0,5 (Mualem,

$$\omega = \frac{\theta - \theta_r}{\theta_s - \theta_r} \quad (6)$$

Em que  $\theta$ ,  $\theta_r$  e  $\theta_s$  são a umidade atual ( $\text{m}^3 \text{ m}^{-3}$ ), umidade residual ( $\text{m}^3 \text{ m}^{-3}$ ) e umidade do solo saturado ( $\text{m}^3 \text{ m}^{-3}$ ), respectivamente.

A determinação de  $K(\theta)$  na

$$\theta = \theta_r + \frac{(\theta_s - \theta_r)}{\left[ 1 + (\alpha |\phi_m|)^n \right]^m} \quad (7)$$

Sendo  $\alpha$  e  $n$  os índices de ajustes da equação de van Genuchten (1980).

Os índices  $\theta_s$ ,  $\theta_r$ ,  $\alpha$ ,  $m$  e  $n$  foram obtidos por e meio do software Soil Water Retention Curve – SWRC, sendo  $m = 1 - 1/n$ , (Mualem, 1976).

A curva de retenção de água no solo foi obtida ao se determinar a umidade de equilíbrio em amostras indeformadas de solo que foram submetidas às tensões de 2, 4, 6, e 8 kPa em uma mesa de tensão. Para as tensões de 10, 30, 100, 500, 1000 e 1500 kPa usaram-se amostras deformadas no extrator tipo Richards, totalizando 10 pontos em cada curva.

$$I = C_1 t + C_2 \sqrt{t} \quad (8)$$

Em que os parâmetros  $C_1$  ( $\text{m s}^{-1}$ ) e  $C_2$  ( $\text{m s}^{-1/2}$ ) estão relacionados à condutividade hidráulica e à sorvidade do solo, respectivamente.

A sorvidade do solo não foi determinada, pois não é necessária para a

$$K = \frac{C_1}{A} \quad (9)$$

1976);  $m$  é o índice de ajuste da curva de retenção de água (van Genuchten, 1980) e  $\omega$  é a saturação efetiva do solo (equação 6).

profundidade de referência (1 m) foi realizada com potencial matricial obtido do tensiômetro instalado a 1 m, sendo  $\theta$  calculado conforme a equação (7) de van Genuchten (1980):

A determinação da condutividade hidráulica medida no campo foi realizada com o Mini Disk Infiltrometer da DECAGON DEVICES. As leituras foram realizadas nas 28 parcelas, na linha de plantio posterior à do experimento, possibilitando leituras a um metro.

A sucção utilizada foi de -2,0 cm e as leituras da quantidade de água infiltrada foram realizadas a cada 30 s, até que toda a água da câmara do equipamento infiltrasse no solo.

A condutividade hidráulica foi determinada por meio da avaliação da infiltração acumulada versus tempo e os dados coletados são aplicados na equação 8:

determinação da condutividade. O valor de  $C_1$  foi obtido através do software disponibilizado pelo fabricante. A condutividade hidráulica do solo ( $K$ ) foi então calculada a partir da equação 9:

Em que 'A' é obtido de van Genuchten (1980) para cada tipo de solo a determinada sucção, e o raio do

$$A = \frac{11.65(n^{0.1}-1)\exp[2.92(n-1.9)\alpha h_0]}{(\alpha r_0)^{0.91}}$$

$$A = \frac{11.65(n^{0.1}-1)\exp[7.5(n-1.9)\alpha h_0]}{(\alpha r_0)^{0.91}}$$

Em que n e  $\alpha$  são os parâmetros de van Genuchten (1980) para um determinado solo,  $r_0$  é o raio do disco, e  $h_0$  é a sucção escolhida. Foram coletadas amostras de solo deformadas para a determinação da umidade do solo no momento das leituras (EMBRAPA, 1997).

Os dados foram analisados com o auxílio do Statistical Analysis System – SAS. Os resultados foram submetidos à análise de variância e foram ajustados modelos de regressão para o efeito das doses de N na condutividade do solo

infiltrômetro de disco calculado a partir das equações 10 e 11:

$$n \geq 1.9 \quad (10)$$

$$n \leq 1.9 \quad (11)$$

(saturada e não saturada) e para a drenagem interna em função da precipitação.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O solo não apresentou grandes variações texturais (Tabela 1) que pudessem interferir na drenagem interna. A condutividade hidráulica ( $K_0$ ), macro, micro e porosidade total (Tabela 2) também não apresentaram grandes variações ao longo do perfil.

**Tabela 1.** Valores médios de textura do solo para as 28 parcelas

Prof. (m)	AG	AF	Argila	Silte
	----- (dag kg <sup>-1</sup> ) -----			
0,0 - 0,1	20,84	13,15	51,37	14,65
0,1 - 0,2	19,56	13,62	52,40	14,43
0,2 - 0,3	19,79	12,89	53,57	13,76
0,3 - 0,4	19,59	12,65	53,31	14,46
0,4 - 0,5	19,22	11,88	54,89	14,00
0,5 - 0,6	18,93	12,28	55,20	13,60
0,6 - 0,7	19,00	12,60	54,48	13,93
0,7 - 0,8	18,19	12,48	55,21	14,12
0,8 - 0,9	18,70	13,08	54,02	14,20
0,9 - 1,0	18,54	13,17	53,79	14,51
1,0 - 1,1	18,83	13,20	54,73	13,25
1,1 - 1,2	18,57	13,26	54,34	13,83
Média	19,15	12,85	53,94	14,06
CV (%)	3,74	3,8	2,15	2,95

AG - Areia grossa; AF - Areia fina.

Durante os 170 dias de condução do experimento foi coletado um total de 1172 mm de precipitação (Figura 1B). Houve

pequenos veranicos de 4 a 5 dias do 1º ao 47º dia e, ainda, um veranico de 33 dias do 47º ao 80º dia (Figura 1A), período em que

se observa a inversão do fluxo da água no plano de referência (1 metro), em que a

ascensão capilar acumulada média foi de 12,1 mm.

**Tabela 2.** Valores médios da condutividade hidráulica em solo saturado, porosidade total, macro e microporosidade, densidade de partículas e densidade do solo.

Profundidade (m)	$K_0$ (mm h <sup>-1</sup> )	PT ----- (m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup> )	Macro. ----- (m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup> )	Micro. ----- (m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup> )	Dp ----- (kg m <sup>-3</sup> )	Ds ----- (kg m <sup>-3</sup> )
0,1	121	0,56	0,19	0,37	2670	1180
0,3	94	0,57	0,17	0,40	2680	1150
0,5	106	0,56	0,14	0,42	2580	1130

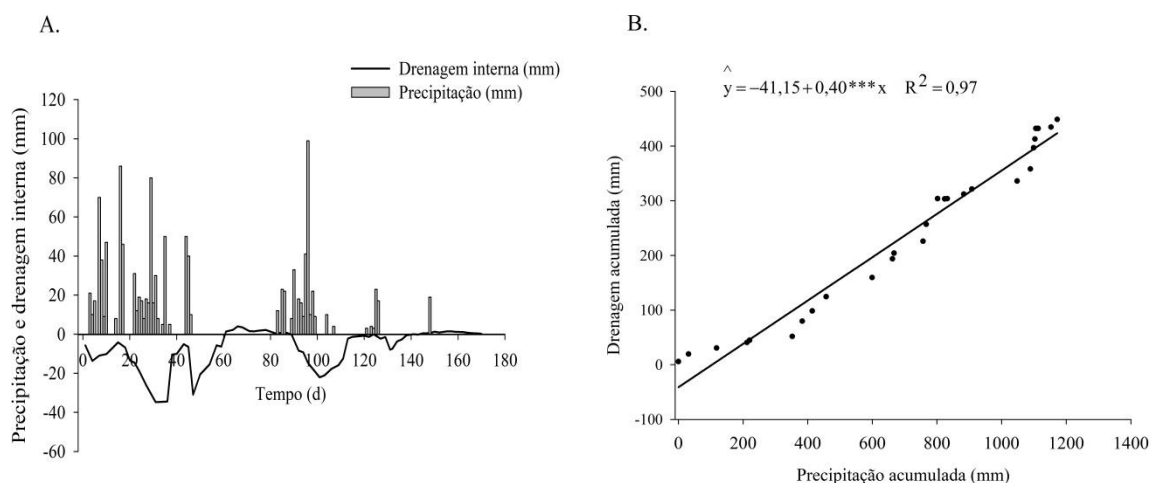
Realizado conforme EMBRAPA (1997).  $K_0$  = Condutividade hidráulica saturada, PT = Porosidade total, Macro = Macroporosidade, Micro = Microporosidade, Dp = Densidade de partículas, Ds = Densidade do solo. Análises realizadas em amostras de solo acima do plano de referência (1 m).

Não houve diferença na drenagem interna, a 1 m de profundidade, entre os tratamentos com ureia comum e ureia tratada com NBPT, a 5% de probabilidade pelo teste F. A análise de regressão não indicou influência das doses de N na drenagem interna do solo (Tabela 3). Os efeitos de diferentes manejos nos atributos físicos dos solos são mais acentuados nas camadas superficiais dos solos (HICKMANN et al., 2012). Possivelmente, a profundidade escolhida como plano de referência foi muito grande, ocultando o efeito que o crescimento radicular do café

teria sobre as propriedades hídricas do solo.

A adubação nitrogenada pode favorecer o crescimento e o desenvolvimento das culturas, que pode refletir nas relações hídricas do solo, favorecendo a extração de água e, com isso, a drenagem interna poderá ser menor, enquanto a ascensão capilar poderá ser maior nos tratamentos com aplicação de N (BRITO et al., 2009). Fernandes & Libardi (2009) relataram redução de 5,8 vezes na drenagem interna do solo cultivado com milho, quando a dose de N passou de zero para 120 kg ha<sup>-1</sup>.

**Figura 1.** (A) - Precipitação e média da drenagem interna do solo, (B) – Média da drenagem interna acumulada em função da precipitação acumulada. Sendo \*\*\* significativo a 0,1% de probabilidade.



Os acúmulos na precipitação resultam em aumentos lineares na drenagem interna acumulada do solo (Figura 1 B). A drenagem interna média acumulada foi de 448,82 mm, correspondendo a 38,3 % do total precipitado (Tabela 3). O solo em estudo apresenta elevada macroporosidade,

favorecendo a drenagem. Além disso, a área experimental conta com sistema de terraço que foi implantado no plantio da lavoura, porém, o fato de estar localizada no terço médio de uma toposequência com elevada declividade pode ter favorecido a perda de parte da água precipitada por escoamento superficial.

**Tabela 3.** Médias gerais para a drenagem interna acumulada, condutividade hidráulica em solo saturado e em solo não saturado.

	<b>K<sub>0</sub></b>	<b>K</b>
Médias (mm h <sup>-1</sup> )	90,54	67,93
CV (%)	41,24	36,30

K<sub>0</sub> = Condutividade hidráulica em solo saturado, obtida por meio da curva de retenção de água. K = condutividade hidráulica em solo não saturado, obtida em campo. CV (%) = Coeficiente de variação.

As condutividades hidráulicas, em solo saturado e não-saturado, não diferiram entre os tratamentos (Tabela 3). A condutividade hidráulica é um dos atributos do solo que apresentam maior variabilidade (SANTOS et al., 2012). Descreve a funcionalidade de sistema poroso do solo, englobando propriedades tais como quantidade, tamanho, morfologia, continuidade e orientação dos poros. Outros fatores como a textura e a estabilidade de agregados também influenciam nos valores da condutividade hidráulica, assim como a cultura e o manejo do solo (FONTANA et al., 2016).

A ureia exerce influência sobre o crescimento e o desenvolvimento das plantas, portanto, esperava-se que pudesse atuar indiretamente nas propriedades hídras do solo, o que não foi observado. Rossetti & Centurion (2013) encontraram resultados semelhantes na condutividade hidráulica saturada de solos que receberam manejo convencional e plantio direto com diferentes tempos de implantação (6, 8 e 10 anos). Segundo os autores, o efeito da compactação não foi suficiente para alterar o sistema poroso do solo, o que explica a semelhança nas condutividades entre os tratamentos.

Nota-se que a condutividade hidráulica em solo saturado foi superior à condutividade medida no campo (Tabela 3). Isso porque a condutividade hidráulica é máxima em solo saturado, nessa condição todos os poros estão conduzindo água, porém em solo não saturado, os poros preenchidos por ar não conduzem água e a condutividade hidráulica é menor (HILLEL, 1971).

## 6 CONCLUSÕES

A adubação nitrogenada não influenciou na condutividade hidráulica saturada e não-saturada, nem na drenagem interna. A drenagem interna média acumulada foi de 38,3 % do total precipitado.

## 7 AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001. Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), à

Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG), à Universidade Federal de Viçosa (UFV).

## 8 REFERÊNCIAS

BONINI, M. A.; SATO, L. M.; BASTOS, R.G.; SOUZA, C. F. Alterações nos atributos químico e físicos de um Latossolo Vermelho irrigado com água residuária e vinhaça. **Revista Brasileira Biociências**, v.20, p.78-85, 2014.

BORTOLOTTI, R. P.; BRUNO, I. P.; DOURADO-NETO, D.; TIMM, L. C.; SILVA, A. N.; REICHARDT. Nitrate leaching through climatologic water balance in a fertigated coffee plantation. **Revista Ceres**, v.60, p.785-792, 2013.

BRADY, N. C.; WEIL, R.R. Elementos da natureza e propriedades dos solos. 3.ed. Porto Alegre: Bookman, 704p, 2013.

BRITO, A. S.; LIBARDI, P. L.; GHIBERTO, P. J. Componentes do balanço de água no solo com Cana-de-açúcar, com e sem adubação Nitrogenada. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.33, p.295-303, 2009.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA — EMBRAPA. Manual de métodos de análises de solo. 2.ed. Rio de Janeiro, Ministério da Agricultura e do Abastecimento, 212, 1997.

FERNANDES, F. C. S.; LIBARDI, P. L. Drenagem interna e lixiviação de nitrato em um Latossolo sob sucessão milho-braquiária-milho, com diferentes doses de nitrogênio. **Revista Brasileira de Ciência Solo**, v.33, p.1163-1173, 2009.

FONTANA, A.; TEIXEIRA, W. G.; BALIEIRO, F. C.; MOURA, T. P. A.; MENEZES, A. R.; SANTANA, C. I. Características e atributos de Latossolos sob diferentes usos na região Oeste do Estado da Bahia. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.51, p.1457-1465, 2016.

HICKMANN, C.; COSTA, L. M.; SCHAEFER, C. H. G. R.; FERNANDES, R. B. A.; ANDRADE, C. L. T. Atributos físico-hídricos e carbono orgânico de um argissolo após 23 anos de diferentes manejos. **Revista Caatinga**, v. 25, p.128-136, 2012.

HILLEL, D. Soil water: Physical principles and processes. New York, **Academic Press**. 288p. 1971.

JÚNIOR, A. S. Aplicação da classificação de Köppen para o zoneamento climático do estado de Minas Gerais. 2009. 113p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, Minas Gerais.

MUALEM, Y. A new model for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated porous media. **Water Resources Research**, v.12, p.513-522, 1976.



ROSSETI K, V.; CENTURION, J. F. Sistemas de manejo e atributos físico-hídricos de um Latossolo Vermelho cultivado com milho. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.17, p.472-479, 2013.

SANTOS, K. S.; MONTENEGRO, A. A. A.; ALMEIDA, B. G.; MONTENEGRO, S. M. G. L.; ANDRADE, T. S.; JÚNIOR, R. V. P. F. Variabilidade espacial de atributos físicos em solos de vale aluvial no semiárido de Pernambuco. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.16, p.828-835, 2012.

UYEDA, C. A.; MIRANDA, J. H.; DUARTE, S. N.; MEDEIROS, P. R. F.; DIAS, C. T. S. Avaliação dos efeitos da aplicação de vinhaça em características físico-químicas de diferentes solos. **Revista Engenharia Agrícola**, v.33, p.1-10, 2013.

van GENUCHTEN, M. T. A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soil. **Soil Science Society of America Journal**, v.44, p.892-898, 1980.