

CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA DE UM LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO¹

LUIS FERNANDO STONE e PEDRO MARQUES DA SILVEIRA²

RESUMO - O presente estudo foi levado a efeito no Centro Nacional de Pesquisa Arroz e Feijão, em Goiânia, GO, com o objetivo de determinar, pelo método de Hillel, a condutividade hidráulica de um Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico. As relações entre a condutividade hidráulica e a umidade do solo foram $K = 10^{-10,19195 + 36,1164 \theta}$ e $K = 10^{-8,01559 + 31,24924 \theta}$ para as camadas de 0 - 30 cm e 30 - 60 cm de profundidade do solo, respectivamente.

Termos para indexação: condutividade hidráulica, latossolo, umidade do solo, Método de Hillel, drenagem.

INTRODUÇÃO

A condutividade hidráulica não é uma propriedade que dependa exclusivamente do solo, pois relaciona-se, ao mesmo tempo, com os atributos do solo e do líquido que escoar. As qualidades do solo que afetam o valor da condutividade hidráulica, são: textura, densidade aparente, aglomerados, estabilidade estrutural, composição da solução do solo e do complexo de troca, expansibilidade e atividade microbiana. Por sua vez, a densidade e a viscosidade são os atributos do fluido que a afetam (HILLEL 1970). A condutividade hidráulica de um solo não saturado é muito variável, dependendo do seu teor de água. Para um solo saturado que tenha estrutura estável, a condutividade hidráulica pode ser considerada constante e típica. O valor oscila entre 10^{-2} e 10^{-3} cm/s, no solo arenoso, e entre 10^{-5} e 10^{-7} cm/s, no argiloso (HILLEL 1970).

Sua determinação em condições de campo envolve uma série de dificuldades, devido, principalmente, à sua alta dependência de teor de água do solo e da variabilidade das propriedades deste como material poroso (REICHARDT 1974, HILLEL et al. 1972) introduziram um método que exige a medida do potencial (H) e o teor volumétrico (θ) da água do solo em condições de drenagem livre e

impedimento da evaporação. Com os valores de H e θ definidos, pode-se, primeiro, determinar o fluxo, operando no perfil do solo, e, posteriormente, a sua condutividade hidráulica.

O conhecimento da condutividade hidráulica a diferentes níveis de potencial de água do solo é de importância no estudo da água do solo, pois o conhecimento do movimento de água no perfil é essencial para a solução de problemas que envolvem irrigação, drenagem, conservação de recarga do lençol freático, poluição, bem como infiltração e controle de enxurrada.

O objetivo deste estudo é determinar, através do método de Hillel, a condutividade hidráulica do Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico de um campo experimental do Centro Nacional de Pesquisa - Arroz e Feijão, EMBRAPA, em Goiânia, GO.

MATERIAL E MÉTODOS

A situação geográfica de Goiânia, GO corresponde à latitude $16^{\circ}45' S$, à longitude $49^{\circ}17' O$, e a uma altitude de 729,09 m.

O estudo foi realizado na área experimental do Centro Nacional de Pesquisa - Arroz e Feijão, situada a 4 km ao norte de Goiânia, em um Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico, que apresenta uma declividade de 4 a 6% no sentido leste-oeste e está rodeado de pastagem em cerca de 70 metros. As características físicas desse solo, até 60 cm de profundidade, em intervalos de 15 cm, são apresentadas na Tabela 1.

¹ Aceito para publicação em 3 de outubro de 1978.

² Eng.º Agr.º M.Sc. - EMBRAPA, CNPAF, BR 153, km 4, 74.000 - Goiânia, GO.

TABELA 1. Características físicas do Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico.

| Horizonte | Profundidade cm | Areia % | Silte % | Argila % | Classificação Textural | Densidade Aparente g/cm ³ |
|----------------|--------------------|------------|------------|-------------|----------------------------|--|
| A ₁ | 0-15 | 51,8 | 17,2 | 31,0 | Franco-argilo-are- noso | 1,23 |
| A ₁ | 15-30 | 54,5 | 14,5 | 31,0 | Franco-argilo-are- noso | 1,22 |
| A ₃ | 30-45 | 50,2 | 13,8 | 36,0 | Franco-argilo-are- noso | 1,16 |
| A ₃ | 45-60 | 50,0 | 14,0 | 36,0 | Franco-argilo-are- noso | 1,17 |

A condutividade hidráulica foi determinada pelo método de Hillel, baseado na equação geral que descreve o fluxo de água em um perfil do solo (DARCY 1856) e pode ser apresentado como:

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} \Big|_Z = \frac{\partial}{\partial Z} \left[-K(\theta) \frac{\partial H}{\partial Z} \right]$$

A resolução desta equação diferencial com respeito a Z leva a:

$$\int \frac{\partial \theta}{\partial t} \Big|_Z dZ = \int \frac{\partial}{\partial Z} \left[-K(\theta) \frac{\partial H}{\partial Z} \right] dZ,$$

que, pela eliminação da integral, tem-se:

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} \Big|_Z \cdot \Delta Z = -K(\theta) \frac{\partial H}{\partial Z}$$

Explicitando-se para K(θ), tem-se:

$$K(\theta) = \frac{\frac{\partial \theta(Z)}{\partial t} \Delta Z}{\frac{\partial H}{\partial Z}}, \text{ onde:}$$

K(θ) - condutividade hidráulica em função da umidade do solo (θ).

$\frac{\partial \theta(Z)}{\partial t} \Delta Z$ - fluxo de água em um perfil do solo.

$\frac{\partial H}{\partial Z}$ - gradiente de potencial.

Para o emprego deste método, foi necessário determinar a curva de retenção de água do solo e a curva de umidade do solo em função do tempo.

As curvas de retenção de água do solo, para as profundidades de 0 - 15 cm, 15-30 cm, 30-45 cm e 45-60 cm, foram determinadas no Laboratório de Física dos Solos da Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, a partir de amostras de solo com estrutura deformada, inicialmente saturadas, as quais foram submetidas a diferentes pressões positivas, utilizando-se a placa porosa de RICHARDS & FIREMAN (1943), para pressões de 0,1 a 0,8 atm e a membrana de RICHARDS (1947), para pressões de 1,5 a 15 atm.

As curvas de umidade do solo em função do tempo, para as mesmas profundidades, foram obtidas pela mensuração diária da umidade do solo, segundo método gravimétrico, em uma parcela de solo previamente saturada e coberta com plástico, visando a evitar evaporação. Os valores de $\partial \theta / \partial t$ foram calculados com o auxílio dessas curvas.

As curvas de potencial total de água do solo, foram obtidas a partir das de retenção de água do solo e de umidade do solo, em função do tempo e da profundidade. Os valores do gradiente de potencial, ($\partial H / \partial Z$), foram calculados com o auxílio das curvas de potencial total de água do solo.

A condutividade hidráulica foi calculada para cada profundidade e para vários teores de umidade do solo, segundo a divisão do fluxo pelo gradiente de potencial.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os valores da umidade do solo a vários potenciais matriciais, em quatro profundidades, obtidos em laboratório, são apresentados na Tabela 2.

des, para vários intervalos de tempo, obtidos a partir das curvas de retenção de água do solo e das curvas de umidade do solo, em função do tempo.

As curvas correspondentes, são apresentadas na Fig. 6.

TABELA 2. Valores médios da umidade do solo a vários potenciais matriciais, em quatro profundidades.

| Potencial Matricial (atm) | Unidade Volumétrica (cm ³ cm ⁻³) | | | |
|---------------------------|---|------------|------------|------------|
| | 0 - 15 cm | 15 - 30 cm | 30 - 45 cm | 45 - 60 cm |
| 15,0 | 0,1493 | 0,1526 | 0,1487 | 0,1577 |
| 10,0 | 0,1362 | 0,1434 | 0,1326 | 0,1550 |
| 8,0 | 0,1598 | 0,1575 | 0,1509 | 0,1555 |
| 6,0 | 0,1609 | 0,1600 | 0,1526 | 0,1630 |
| 4,0 | 0,1675 | 0,1627 | 0,1567 | 0,1626 |
| 2,0 | 0,1772 | 0,1723 | 0,1630 | 0,1677 |
| 1,5 | 0,1820 | 0,1720 | 0,1565 | 0,1707 |
| 0,8 | 0,1792 | 0,1761 | 0,1662 | 0,1723 |
| 0,6 | 0,1992 | 0,1874 | 0,1772 | 0,1809 |
| 0,4 | 0,2042 | 0,1921 | 0,1902 | 0,1797 |
| 0,1 | 0,3379 | 0,3085 | 0,2803 | 0,2686 |

Nas Fig. 1, 2, 3 e 4, podem ser observadas as curvas de retenção de água do solo para as profundidades de 0 - 15 cm, 15 - 30 cm, 30 - 45 cm e 45 - 60 cm, respectivamente. Nelas se verifica que a maioria da água disponível do solo situa-se entre os potenciais matriciais de 100 cm e 1000 cm. Os teores de umidade mostram que, nesta faixa de potencial, ocorre uma tendência de diminuição da retenção de água com a profundidade. Como o solo apresenta uma homogeneidade textural, esta maior retenção de água próxima da superfície, na camada arável, deve-se à provável maior presença de carbono orgânico, de acordo com WINKLER & GOEDERT (1972) e FREIRE & SCARDUA (1978).

As curvas de umidade do solo, em função do tempo, para quatro profundidades, são apresentadas na Fig. 5. Observa-se que, nas quatro profundidades estudadas estas mostraram um comportamento similar. Após dez dias, a variação diária da umidade do solo foi muito pequena.

Na Tabela 3, encontram-se os valores do potencial total de água do solo, em quatro profundida-

Na Tabela 4, encontram-se calculados os valores do fluxo de água no solo, em função da profundidade e do tempo.

Os valores da condutividade hidráulica podem ser observados na Tabela 5.

A condutividade hidráulica apresentou uma relação semi-logarítmica com a umidade do solo. Encontrou-se que, para as camadas de 0 - 15 e 15 - 30 cm, a relação é, aproximadamente a mesma, podendo, portanto, ser representada por uma única equação. O mesmo ocorreu com a relação nas camadas de 30 - 45 e 45 - 60 cm, que também foi representada por uma única equação. Isto provavelmente se deva, apesar das camadas apresentarem uma homogeneidade textural, às suas densidades aparentes, que são diferentes, sendo as das camadas de 0-15 e 15-30 cm muito semelhantes, o mesmo ocorrendo nas camadas de 30-45 e 45-60 cm. Este resultado corrobora a HILLEL (1970), quando afirma que a densidade aparente é uma das características do solo que afeta a condutividade hidráulica.

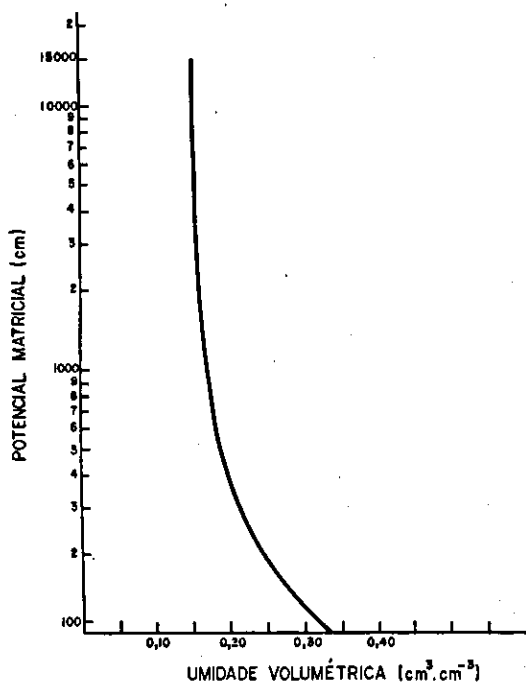


FIG. 1. Curva de retenção de água do solo para a profundidade de 0 - 15 cm.

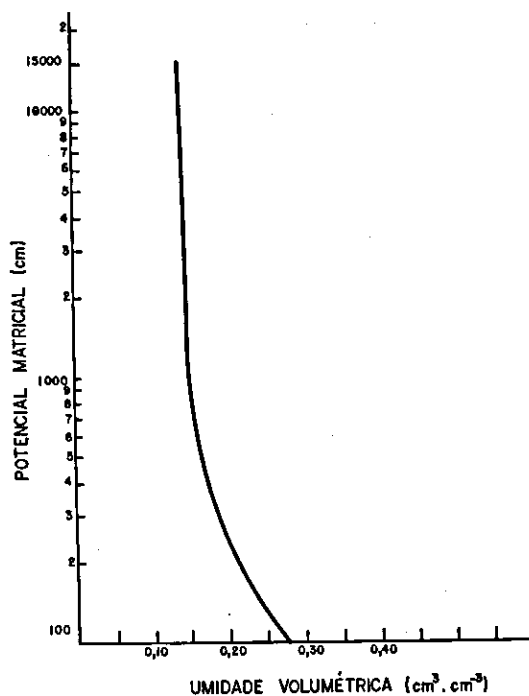


FIG. 3. Curva de retenção de água do solo para a profundidade de 30 - 45 cm.

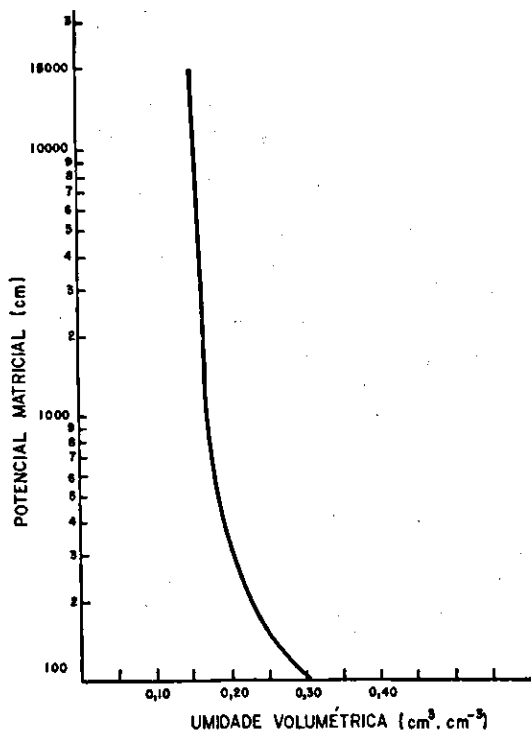


FIG. 2. Curva de retenção de água do solo para a profundidade de 15 - 30 cm.

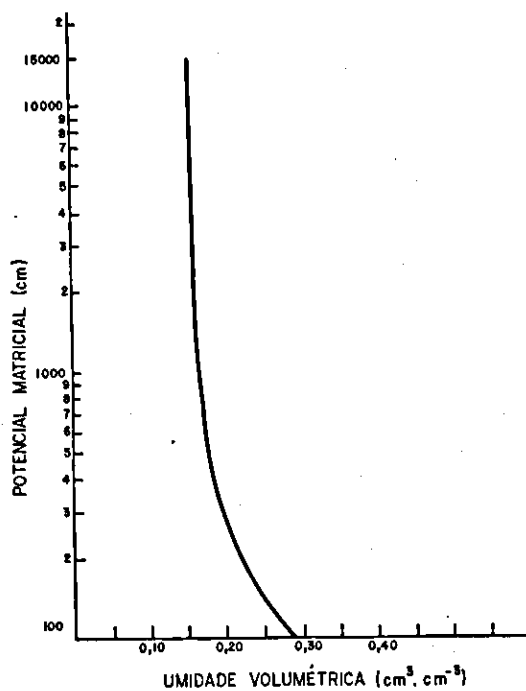


FIG. 4. Curva de retenção de água do solo para a profundidade de 45 - 60 cm.

TABELA 3. Valores do potencial total de água do solo, em função do tempo de drenagem acumulado, para quatro profundidades.

| Tempo Acumulado (dias) | Potencial Total | | | |
|------------------------|-----------------|------------|------------|------------|
| | 0 - 15 cm | 15 - 30 cm | 30 - 45 cm | 45 - 60 cm |
| 1 | 147,5 | 149,5 | 159,5 | 180,5 |
| 2 | 172,5 | 163,5 | 195,5 | 203,5 |
| 3 | 188,5 | 180,5 | 227,5 | 222,5 |
| 4 | 205,5 | 188,5 | 247,5 | 236,5 |
| 5 | 217,5 | 197,5 | 251,5 | 243,5 |
| 7 | 227,5 | 204,5 | 258,5 | 248,5 |
| 10 | 237,5 | 210,5 | 263,5 | 253,5 |
| 16 | 247,5 | 215,5 | 268,5 | 256,5 |

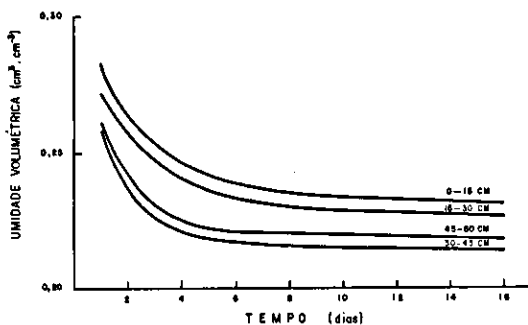


FIG. 5. Umidade do solo em função da profundidade e do tempo, durante a drenagem interna do perfil.

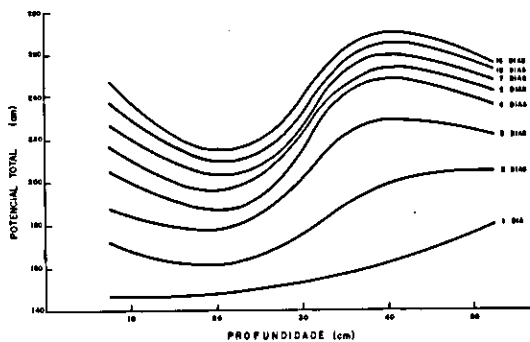


FIG. 6. Potencial total de água do solo em função da profundidade e do tempo, durante a drenagem interna do perfil.

A dependência funcional da condutividade hidráulica (K), com a umidade do solo, (θ) é dada por:

$$K = 10^{-10,19195 + 36,11647 \theta}$$

para 0 - 30 cm de profundidade

$$K = 10^{-8,01559 + 31,24924 \theta}$$

para 30 - 60 cm de profundidade

Para as equações acima os coeficientes de correlação linear (r) foram, respectivamente, 0,94 e 0,87. Comparando-se estas equações, observou-se que, para um mesmo valor da umidade do solo, a condutividade hidráulica é maior na camada de 30-60 cm, devido, provavelmente, à menor densidade aparente desta camada em relação à de 0-30 cm, indicando uma menor compactação do solo, o que, segundo HILLEL (1970), contribui para um maior valor da condutividade hidráulica.

Na Fig. 7, podem ser observadas as curvas de condutividade hidráulica em função da umidade do solo para as profundidades de 0 - 30 cm e 30 - 60 cm.

CONCLUSÕES

Nas condições em que este estudo foi realizado, pode-se concluir:

1. Para a profundidade de 0 - 30 cm, a relação entre a condutividade hidráulica e a umidade do solo foi igual a

$$K = 10^{-10,19195 + 36,11647 \theta} \text{ com } r = 0,94;$$

2. Para a profundidade de 30 - 60 cm, a relação entre a condutividade hidráulica e a umidade do solo foi igual a

$$K = 10^{-8,01559 + 31,24924 \theta} \text{ com } r = 0,87.$$

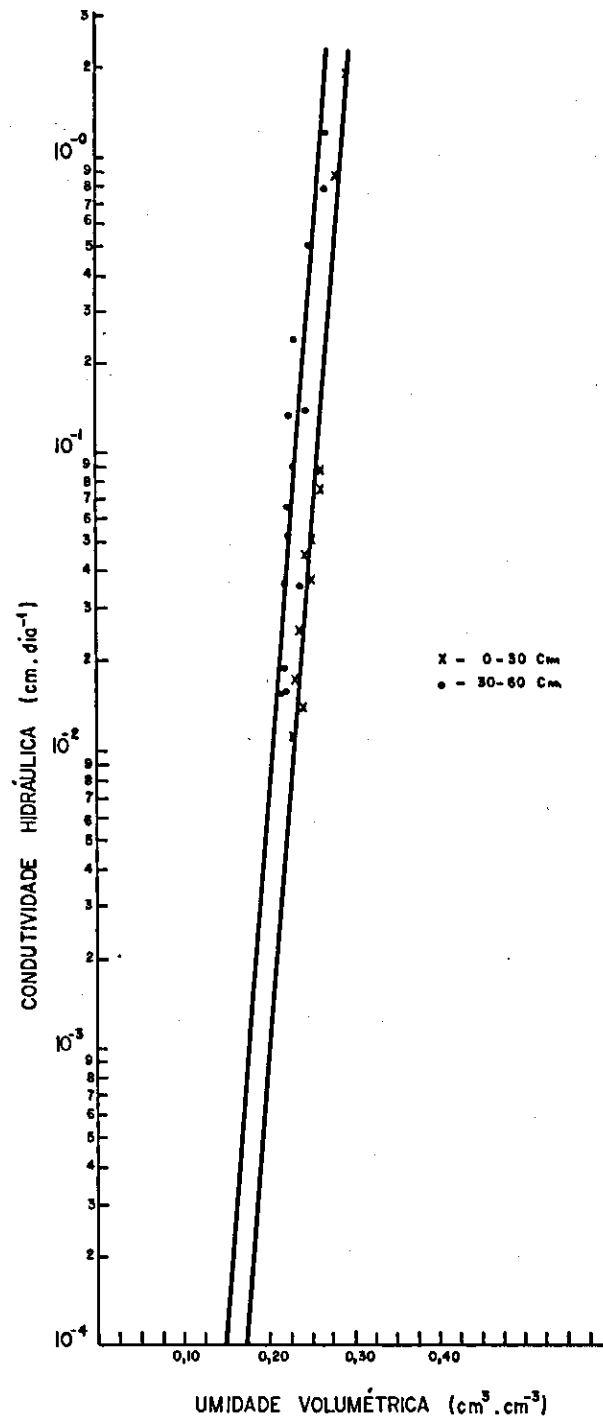


FIG. 7. Condutividade hidráulica em função da umidade do solo para as profundidades de 0-30 e 30-60 cm.

TABELA 4. Cálculo do fluxo de água no solo, segundo o método de Hillel.

| TEMPO (dias) | PROFUNDIDADE INTERVALO ΔZ (cm) | $\partial\theta/\partial t$ (dia ⁻¹) | $\Delta Z \cdot \partial\theta/\partial t$ (cm.dia ⁻¹) | FLUXO (cm.dia ⁻¹) |
|-----------------|--|---|---|----------------------------------|
| 1 | 0 - 15 | 0,02175 | 0,32625 | 0,32625 |
| | 15 - 30 | 0,01937 | 0,29055 | 0,61680 |
| | 30 - 45 | 0,01731 | 0,25965 | 0,87645 |
| | 45 - 60 | 0,01697 | 0,25455 | 1,13100 |
| 2 | 0 - 15 | 0,01030 | 0,15450 | 0,15450 |
| | 15 - 30 | 0,00921 | 0,13815 | 0,29265 |
| | 30 - 45 | 0,00825 | 0,12375 | 0,41640 |
| | 45 - 60 | 0,00810 | 0,12150 | 0,53790 |
| 3 | 0 - 15 | 0,00665 | 0,09975 | 0,09975 |
| | 15 - 30 | 0,00596 | 0,08940 | 0,18915 |
| | 30 - 45 | 0,00535 | 0,08025 | 0,26940 |
| | 45 - 60 | 0,00526 | 0,07890 | 0,34830 |
| 4 | 0 - 15 | 0,00488 | 0,07320 | 0,07320 |
| | 15 - 30 | 0,00438 | 0,06570 | 0,13890 |
| | 30 - 45 | 0,00393 | 0,05895 | 0,19785 |
| | 45 - 60 | 0,00386 | 0,05790 | 0,25575 |
| 5 | 0 - 15 | 0,00384 | 0,05760 | 0,05760 |
| | 15 - 30 | 0,00345 | 0,05175 | 0,10935 |
| | 30 - 45 | 0,00310 | 0,04650 | 0,15585 |
| | 45 - 60 | 0,00305 | 0,04575 | 0,20160 |
| 7 | 0 - 15 | 0,00267 | 0,04005 | 0,04005 |
| | 15 - 30 | 0,00240 | 0,03600 | 0,07605 |
| | 30 - 45 | 0,00216 | 0,03240 | 0,10845 |
| | 45 - 60 | 0,00213 | 0,03195 | 0,14040 |
| 10 | 0 - 15 | 0,00182 | 0,02730 | 0,02730 |
| | 15 - 30 | 0,00164 | 0,02460 | 0,05190 |
| | 30 - 45 | 0,00148 | 0,02220 | 0,07410 |
| | 45 - 60 | 0,00145 | 0,02175 | 0,09585 |
| 16 | 0 - 15 | 0,00117 | 0,01755 | 0,01755 |
| | 15 - 30 | 0,00106 | 0,01590 | 0,03345 |
| | 30 - 45 | 0,00096 | 0,01440 | 0,04785 |
| | 45 - 60 | 0,00094 | 0,01410 | 0,06195 |

REFERÊNCIAS

- DARCY, H. Les fontaines publique de la ville de Dijon. Paris, Victor Dalmont, 1856. 52 p.
- FREIRE, J.C. & SCARDUA, R. Curvas caracterfsticas de retenção de água de um latossolo roxo distrófico do município de Lavras, Minas Gerais. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Campinas, 2 (2):95-8, 1978.
- HILLEL, D. Solo e água. Porto Alegre, Meridional Emma, 1970. 231 p.
- . KRENTOS, V.D. & STYLIANOU, Y. Procedure and test of an internal drainage method for measuring soil hydraulic characteristics in situ. Soil Sci, 114: 395-400, 1972.
- REICHARDT, K. Determinação da condutividade hidráulica em condições de campo para estimativa da drenagem profunda em balanços hídricos. Piracicaba, 1974. 21 p. (CENA, Boletim Técnico, 15).
- RICHARDS, L.A. & FIREMAN, M. Pressure-plate apparatus for measuring moisture absorption and transmission by soils. Soil Sci., 56:395-404, 1943.
- . Pressure membrane apparatus, construction and use. Agric. Eng., 28:451-4, 1947.
- WINKLER, E.I.G. & GOEDERT, W.J. Caracterfsticas hídricas dos solos de Pelotas, R.S., Pesq. agropec. bras., 7:1-4, 1972.

ABSTRACT - HYDRAULIC CONDUCTIVITY OF YELLOW-RED LATOSOL.

The present study was conducted at the National Rice and Bean Research Center, Goiânia, GO, with the objective to determine hydraulic conductivity of a dystrophic Yellow-Red Latosol by Hillel's method. The relationships between hydraulic conductivity and soil-water content were $K = 10^{-10,19195 + 36,11647 \theta}$ and $K = 10^{-8,01559 + 31,24924 \theta}$ for the 0 - 30 cm and 30 - 60 cm depths, respectively.

Index terms: hydraulic conductivity, latosol, soil moisture, Hillel's method, drainage.