

Avaliação da condutividade hidráulica do solo saturada utilizando dois métodos de laboratório numa topossequência com diferentes coberturas vegetais no Baixo Amazonas ¹

Jean Dalmo de Oliveira MARQUES², Wenceslau Geraldes TEIXEIRA³, Ana Maria REIS⁴,
Orlando Ferreira CRUZ JUNIOR⁵, Gilvan Coimbra MARTINS⁶

RESUMO

O objetivo desse trabalho foi avaliar dois métodos de laboratório para a determinação da condutividade hidráulica do solo saturada (K_0) conhecidos como Permeâmetro de carga constante (PCC) e Permeâmetro de carga decrescente (PCD), com o intuito de verificar sua aplicabilidade e variabilidade em solos amazônicos. Coletaram-se 125 amostras de solo com estrutura indeformada, através de amostrador tipo Uhland, com anéis volumétricos, de 0,072 m de altura e 0,069 m de diâmetro, devido à variabilidade apresentada pelas determinações de tal parâmetro. Nos mesmos pontos de amostragens da K_0 , procedeu-se coleta de anéis volumétricos para a determinação da porosidade do solo. Ainda nesses pontos foram coletadas amostras com estrutura deformada para análises físicas e químicas. Os resultados obtidos demonstram que o método do PCC foi o mais apropriado para a classe dos Latossolos estudados, apresentando os menores coeficientes de variação e desvio padrão ao longo da topossequência. Os valores de K_0 estiveram distribuídos entre P1 (2,65 à 3,34 cm dia⁻¹), P2 (2,85 à 3,38 cm dia⁻¹), P3 (2,86 à 3,63 cm dia⁻¹), P4 (2,75 à 3,49 cm dia⁻¹), P5 (2,38 à 3,83 cm dia⁻¹) e P6 (2,47 à 3,52 cm dia⁻¹); havendo uma tendência para maiores valores de K_0 na superfície. A utilização de K_0 como parâmetro de análise hídrica em solos porosos na superfície e muito argilosos em profundidade, como os amazônicos, necessita ser realizada com precaução, evitando a interrupção da continuidade dos poros e compactação da amostra. Mudanças na condutividade hidráulica saturada estiveram mais relacionadas a alterações nas propriedades físicas do solo e posição no relevo do que nas alterações das coberturas vegetais ao longo da topossequência.

PALAVRAS-CHAVE: Condutividade hidráulica saturada, carga constante, carga decrescente, solos amazônicos, topossequência

Evaluation of the saturated hydraulic conductivity using two laboratory methods in a topossequence with different vegetation cover in the lower Amazon

ABSTRACT

The objective of this work was to evaluate two different laboratory methods for determining the saturated hydraulic conductivity (K_0), namely, the constant head permeameter method (PCC) and the falling decreasing head permeameter method (PCD) and their applicability and variability to Amazon soils. 125 undisturbed soil samples were collected with an Uhland soil sampler using volumetric rings of 0,072 m height and 0,069 m in diameter. Soil porosity was also estimated by volumetric ring samples collected at the same spots where K_0 was evaluated. Disturbed soil samples were also collected for chemical and particle size analysis at the same spots. The results showed that the PCC method was more appropriate for the studied soils Oxisols, leading to the lowest coefficient of variation and standard deviation throughout the topographic sequence. The K_0 values were distributed among P1 (2,65 to 3,34 cm day⁻¹), P2 (2,85 to 3,38 cm day⁻¹), P3 (2,86 to 3,63 cm day⁻¹), P4 (2,75 to 3,49 cm day⁻¹), P5 (2,38 to 3,83 cm day⁻¹) and P6 (2,47 to 3,52 cm day⁻¹); having a tendency to show higher K_0 values at soil surface. The use of K_0 as a parameter for hydraulic analysis in soils with high porosity in the surface layer and high clay content in the subsoil, as is the case in the Amazon, must be undertaken with caution to avoid compacting the sample and porous discontinuities. Throughout the studied topographic sequence, changes of saturated hydraulic conductivity were more related to changes in soil physical properties than to changes in vegetation cover throughout the studied topographic sequence.

KEY-WORDS: Saturated hydraulic conductivity; constant head permeameter; decreasing head permeameter; Amazon soils; topossequence

¹ Projeto Financiada pela Fundação de Amparo a Pesquisa do Estado do Amazonas – FAPEAM, processo nº 811/04

² Aluno do Curso de Pós-graduação em Ecologia, nível doutorado – Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia – INPA-V8. Departamento de Ecologia, Avenida. Efigênio Sales, nº 2239, Aleixo, CEP: 69.060-020, Manaus - AM. e-mail: jdomarques@hotmail.com . Bolsista CNPq

³ Pesquisador da Embrapa Amazônia Ocidental (Centro de Pesquisa Agroflorestal da Amazônia Ocidental – Manaus – AM). E-mail: lau@cpaa.embrapa.br

⁴ Aluna do Curso de Pós-graduação em Clima e Ambiente, nível doutorado, INPA/UEA. E-mail: areisreis@hotmail.com

⁵ Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia/INPA. Laboratório Temático de Solo e Planta - LTSP. E-mail: orlando@inpa.gov.br

⁶ Pesquisador da Embrapa Amazônia Ocidental (Centro de Pesquisa Agroflorestal da Amazônia Ocidental – Manaus – AM). e-mail: gilvan@cpaa.embrapa.br

INTRODUÇÃO

A condutividade hidráulica saturada do solo (K_o) representa um parâmetro chave para análise da intensidade do deslocamento da água no solo. Para a sua determinação existe uma grande variedade de métodos, com diferentes níveis de precisão; alguns aplicáveis apenas em determinadas condições ou com certos objetivos, os quais, de modo geral, podem ser agrupados em métodos indiretos ou diretos. Os métodos indiretos relacionam a condutividade hidráulica com propriedades do solo (distribuição do tamanho dos poros, textura, porosidade drenável, densidade do solo, etc.). Nos métodos diretos, a K_o pode ser determinada em condições de laboratório e campo, ressaltando-se neste trabalho, os métodos de laboratório. Klute & Dirksen (1986), salientam como os métodos de laboratório mais utilizados os permeômetros de carga constante e carga decrescente, os quais fornecem resultados aproximados sendo recomendados quando os de campo são impraticáveis. Alguns trabalhos relatam a grande variabilidade de K_o , entre esses Vieira et al. (1981); Bouma et al. (1989) e Teixeira (2001). A síntese desses trabalhos leva a concluir que as propriedades hídricas do solo medidas sob condição de saturação como a condutividade hidráulica saturada, capacidade de infiltração ou umidade de saturação têm variabilidade muito alta. Estudo comparativo entre os métodos de carga constante (laboratório) e permeômetro de guelph (campo) foram realizados como forma de testar a veracidade e variabilidade dos dados (Mohanty et al., 1994); entretanto sendo importante uma análise sobre métodos de laboratório utilizando amostras indeformadas em solos amazônicos. É comum encontrar em artigos na ciência do solo (Pedrotti, 2003; Argenton, 2005 entre outros) valores de (K_o) com um parâmetro hídrico utilizado para caracterização de solos. Nesse sentido, surge o questionamento: até que ponto os métodos utilizados em laboratório e valores de K_o obtidos são confiáveis? Discute-se nesse trabalho a aplicação de dois métodos de laboratório e o pressuposto teórico quanto à recomendação para análise da K_o .

Assim, o presente estudo compara dois métodos de laboratório para determinação da condutividade hidráulica saturada quanto a aplicabilidade para solos amazônicos e variabilidade dos valores obtidos em função de atributos do solo e sistema de uso da terra.

MATERIAL E MÉTODOS

CHARACTERIZAÇÃO DA ÁREA EXPERIMENTAL

O presente trabalho foi conduzido em uma topossequência de solos, situada no Município de Parintins (Figura 1), com coordenadas geográficas (P1 02°26'45"S e 56°26'53"W), (P2 02°26'57"S e 56°26'51"W), (P3 02°27'07"S e 56°26'54"W), (P4 02°27'07"S e 56°26'53"W) e (P5 02°27'05"S e

56°26'57"W) apresentando diferentes coberturas vegetais (floresta densa, capoeira com sete anos, capoeira com 1 ano e floresta aberta) e variações na textura, densidade, porosidade e na química do solo, em função da posição na paisagem (Figura 2), Segundo a classificação de Koppen o clima da região pode ser classificado como Afi, caracterizado por apresentar precipitação média anual de 2420 mm, com 295 mm mensais, de março a abril, e 105 mm mensais, de agosto a setembro (EMBRAPA, 1984).

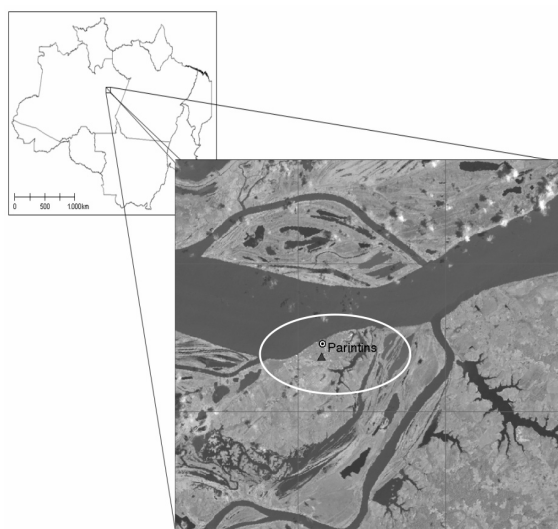


Figura 1 - Amazônia Legal (mapa acima) e localização da área estudada. FONTE: SIPAM/2005

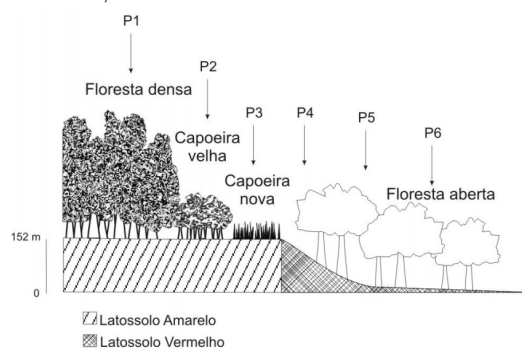


Figura 2 - Esquema demonstrativo das classes de solos e cobertura vegetal predominante na topossequência

AMOSTRAGEM DO SOLO E DETERMINAÇÕES

Foram abertos seis perfis de solo, ao longo da topossequência, com dimensão de 1,5 m x 1,5 m x 1,5 m para a descrição morfológica (Lemos & Santos, 1996), classificação de solos (EMBRAPA, 1999a), caracterização física, química e hídrica do solo (K_o). Foram coletadas amostras com estrutura deformada ao longo dos horizontes pedogenéticos identificados; para as determinações físicas e químicas até 1,5 m de profundidade. A densidade do solo (ρ) foi determinada a partir de amostras indeformadas, utilizando anéis volumétricos. A determinação

da densidade de partículas foi realizada pelo método do picnômetro conforme metodologia descrita no manual de métodos de análise físicas da EMBRAPA (1997).

Para o estudo da condutividade hidráulica do solo saturada (K_o) foram utilizadas amostras com estrutura indeformada, sendo coletado um total de 125 amostras, nos horizontes pedológicos, com cinco repetições. Foi utilizado um amostrador de solo tipo Uhland, com anéis volumétricos, de 0,072 m de altura e 0,069 m de diâmetro. Após as coletas esses anéis foram acondicionados em papel alumínio para evitar perdas de umidade, sendo preparados no laboratório. Nos mesmos pontos de amostragens da K_o , foram coletadas amostras utilizando-se anéis volumétricos com 0,005 m de altura e diâmetro, para a determinação da porosidade do solo (macroporos e microporos), através da determinação da retenção de água no solo e utilização da equação da porosidade.

No laboratório, procedeu-se o processo de saturação utilizando água destilada e desaerada, aplicada com gotejador de Mariotte, levando no mínimo 24 horas para a completa saturação. Após saturadas, as amostras foram retiradas da bandeja e encaixadas nos dispositivos construídos para evitar perda de água. Em seguida, o módulo de carga constante (Figura 3) primeiro a ser testado, recebeu as amostras no intuito de manter os poros saturados. Após as avaliações pelo método de carga constante as amostras foram novamente saturadas para serem submetidas ao módulo destinado a carga decrescente (Figura 4).

A análise granulométrica foi realizada pelo método da pipeta (EMBRAPA, 1997). Foram utilizadas 50 g de solo dispersando-o com solução aquosa de pirofosfato de sódio

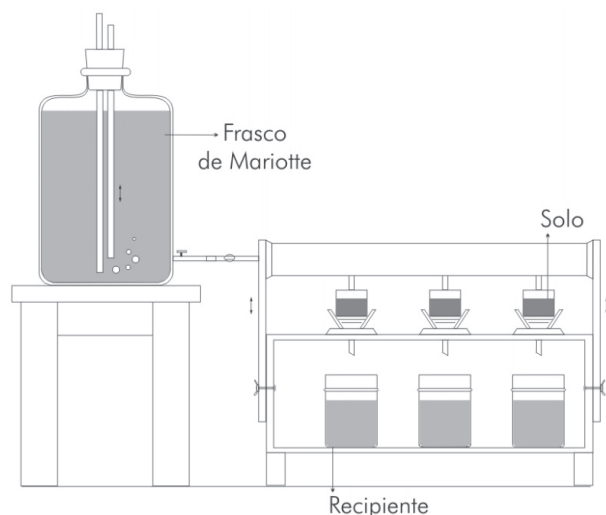


Figura 3 - Desenho esquemático do módulo do permeâmetro de carga constante utilizado na determinação da condutividade hidráulica do solo saturado

puro (6 kg m^{-3}) e de hidróxido de sódio (4 kg m^{-3}) por agitação lenta durante 16 horas. As frações grosseiras (areia fina e grossa) foram separadas por tamisação, secas em estufa e pesadas para obtenção dos respectivos percentuais. O teor de silte corresponde ao complemento dos percentuais para 100%, sendo obtido por diferença das outras frações em relação a amostra original.

As características químicas foram estudadas com base nas análises de: pH em água, fósforo, potássio, cálcio, magnésio, alumínio, carbono, nitrogênio, ferro, zinco, manganês, cobre e matéria orgânica, seguindo a metodologia descrita por EMBRAPA (1999b).

DETERMINAÇÃO DA CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA SATURADA EM LABORATÓRIO – VANTAGENS E DESVANTAGENS

Fluxo em solo saturado e não saturado representam as formas de estudar o fluxo de água no solo. A realização de estudos hídricos favorece informações importantes da velocidade com que a água se movimentava no solo, sendo aplicado para um melhor manejo e uso do solo de uma região. Apesar da aplicabilidade dos métodos para a determinação de K_o em laboratório, alguns fatores são considerados desvantajosos, como a sua grande variabilidade (Van Es et al., 1999; Marques, 2004) e procedimentos metodológicos de laboratório durante a determinação (Bagarello, 1996), dificultando a determinação de um valor representativo para uma área e até em horizontes ao longo do perfil do solo. Além

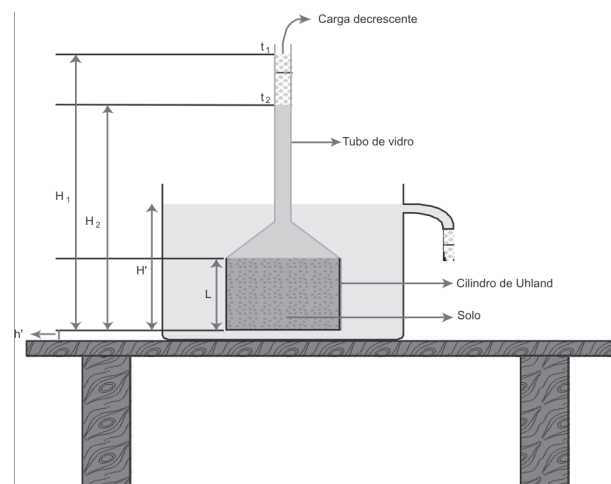


Figura 4 - Desenho esquemático do permeâmetro de carga decrescente utilizado na determinação da condutividade hidráulica do solo saturado (Marques, et al., 2004 adaptado de Libardi, 2000)

sendo:
 $\Delta t = t_2 - t_1$, intervalo de tempo para o nível de água no tubo de vidro cair de H_1 para H_2 ;
 A = área da seção transversal da coluna de solo;
 L = comprimento da amostra de solo;
 a = área da seção transversal do tubo de vidro onde se mede H ;
 H_1 e H_2 representam potenciais totais da amostra, os quais foram fixados em dois pontos no tubo e mantidos constantes ao longo das medições;
 H' = carga hidráulica na superfície da amostra.
 h' = nível de referência

disso, em muitas situações, o interesse é quantificar o fluxo em condição não saturada, situação mais comum na natureza. Nesse caso, a condutividade hidráulica passa a ser uma função direta da umidade do solo (θ), isto é, $K = K(\theta)$.

Conforme a literatura (Gardner, 1986; Libardi, 2000), os permeâmetros de carga constante, aparelhos utilizados para determinação da condutividade hidráulica do solo saturada (K_0), são recomendados para solos que apresentam alto K_0 , enquanto que os de carga decrescente são descritos como adequados para solos com baixo K_0 . Uma questão a ser discutida está relacionada à confiabilidade de aplicação dos dois métodos de determinação de K_0 no laboratório para solos argilosos e porosos como os selecionados neste estudo. Qual o método mais apropriado e quais fatores físicos e hídricos interferem na sua aplicação? Ou ainda, as diferentes coberturas vegetais influenciam nos valores obtidos?

PERMEÂMETRO DE CARGA CONSTANTE (PCC)

O método do permeâmetro de carga constante segundo (Youngs, 1991) foi determinado a partir da condução das amostras a um sistema montado para a determinação da condutividade hidráulica do solo saturada (Figura 3). O método consistiu basicamente em manter uma carga hidráulica constante, utilizando-se um Frasco de Mariotte, medindo o volume da solução drenado em função do tempo, isto é, a vazão (Q). A massa de água que passava em um tempo pré-determinado era determinada em uma balança digital, considerando-se o equilíbrio após três medidas próximas consecutivas apresentarem valores próximos.

$$\text{Partindo da equação de Darcy: } Q = KA \frac{h_1 - h_2}{L} \quad (1)$$

onde $(h_1 - h_2)$ é a diferença de carga piezométrica; A é a área da secção transversal e L o comprimento do filtro que contém a amostra; e C a condutividade hidráulica.

Sendo $h_1 = \phi_1$ e $h_2 = \phi_2$, $z_1 - z_2 = L$ tem-se:

$$Q = KA \left(\frac{\phi_1 - \phi_2}{z_1 - z_2} \right) = KA \left(\frac{\Delta\phi}{\Delta z} \right); \text{ sendo } q = Q/A \quad (2)$$

reescrevendo na direção vertical, através do meio poroso:

$$\vec{q} = -K \left(\frac{\partial\phi}{\partial z} \right) \hat{k} \quad (3)$$

da equação de Darcy-Buckingham para solo saturado:

$$\vec{q}_0 = -K_0 \left(\frac{\partial\phi}{\partial z} \right) \hat{k} \quad (4)$$

sabendo que a substituição da equação $a = 0$ e $b = h + L/L$

na equação: $\phi_1 \equiv a \pm bz$; tem-se a solução de equilíbrio de Laplace:

$$\phi_1 \equiv \left(\frac{h \pm L}{L} \right) z \quad (5)$$

$$\text{derivando: } \frac{\partial\phi}{\partial z} \equiv \frac{h \pm L}{L} \quad (6)$$

substituindo (6) em (4) temos o módulo:

$$q_0 \equiv K_0 \frac{C + L}{L} \quad (7)$$

$$\text{Sabendo que } q \equiv \frac{V}{\Delta t} \quad (8)$$

e substituindo (8) em (7): $\frac{V}{\Delta t} \equiv K_0 \left(\frac{C + L}{L} \right)$

Assim, reagrupando, K_0 foi calculada pela seguinte expressão: $K_0 = \frac{V \cdot A \cdot L}{A \cdot t \cdot (h + L)}$ (9)

PERMEÂMETRO DE CARGA DECRESCENTE (PCD)

O permeâmetro de carga decrescente (Youngs, 1991) foi determinado com a inserção das amostras de solo em um dispositivo previamente construído composto por um tubo de vidro transparente colocado em um módulo de encaixe (Figura 4). Antes do início das medidas foram delimitados dois pontos no tubo de vidro (Figura 4) denominados de H_1 e H_2 de forma que fosse possível acompanhar os seus respectivos tempos (t_1 e t_2). A partir do momento que o nível da coluna de água ultrapassava o ponto H_1 , o cronômetro era acionado pra verificar o tempo gasto para a água ultrapassar o volume de solo amostrado. Com a chegada da coluna no ponto H_2 , tinha-se o intervalo de tempo gasto para o deslocamento da água ao longo do sistema.

$$\text{Partindo da equação: } q = \frac{\Delta V}{\Delta t} = \frac{\Delta L}{\Delta t} = \frac{\Delta \left(\frac{V}{A} \right)}{\Delta t} = \frac{1}{A} \frac{dV}{dt} \quad (10)$$

$$q = \frac{1}{A} \frac{dV}{dt} \text{ e } q = K_0 \frac{H}{L} \quad (11)$$

$$\text{derivando: } \frac{dV}{dt} = K_0 \frac{H}{L} \rightarrow \frac{dV}{dt};$$

$$\text{obtem-se: } \frac{dV}{dt} = K_0 A \frac{H}{L} \quad (12)$$

$$\text{volume total: } dV = a.d.H \rightarrow \frac{dV}{dt} = \frac{adH}{dt} \quad (13)$$

igualando (12) e (13)

$$\frac{adH}{dt} = K_0 A \frac{H}{L} \quad (14)$$

$$-\frac{dH}{H} = \frac{K_o A}{aL} dt \quad (15)$$

Integrando-se ambos os lados tem-se: $-\int \frac{dH}{H} = \frac{K_o A}{aL} \int dt$ (16)

$$-\ln H \Big|_{t_0}^t = \frac{K_o A}{aL} (t - t_0) \quad (17)$$

$$-\ln\left(\frac{b}{a}\right) = \frac{K_o A}{aL} \Delta t \quad (18)$$

Considerando $\begin{cases} a = H_1 - H' \\ b = H_2 - H' \end{cases}$ e substituindo na equação (18); tem-se

$$-\ln\left(\frac{H_2 - H'}{H_1 - H'}\right) = \frac{K_o A}{aL} \Delta t \quad (19)$$

rearranjando: $-\ln\left(\frac{H_2 - H'}{H_1 - H'}\right) \mu L = K_o A (\Delta t)$. Assim, reagrupando, K_o foi calculada pela seguinte equação:

$$K_o = \frac{aL}{A \Delta t} \ln \left[\frac{H_1 - H'}{H_2 - H'} \right] \quad (20)$$

ANÁLISE DOS DADOS

A distribuição da condutividade hidráulica é normalmente do tipo log-normal (Logsdon & Jaynes, 1996), tendo sido comprovada neste estudo com aplicação do teste de normalidade (Kolmogorov-Smirnov). A média da condutividade hidráulica saturada em cada seção do perfil estudado foi obtida a partir da média aritmética após a transformação logarítmica dos dados, aplicando-se o teste de Tukey 5% de probabilidade para comparar os métodos.

A análise do comportamento hidráulico no solo foi realizada com o auxílio de análise de variância (teste F), desvio padrão e separação de diferenças entre os valores médios de K_o para cada método. As análises estatísticas foram efetuadas com a utilização do Programa Systat 8.0 (Wilkinson, 1998).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

ATRIBUTOS FÍSICOS E QUÍMICOS NA TOPOSSEQUÊNCIA DE SOLOS

As Tabelas 1 e 2 apresentam os resultados das análises físicas e químicas dos solos ao longo da topossequência. A análise granulométrica (Tabela 1) revelou heterogeneidade na distribuição do tamanho das partículas, havendo um aumento do teor de argila com a profundidade em todos os perfis estudados, estando os valores compreendidos nos horizontes entre LAd-P1 (831 g kg⁻¹ a 920 g kg⁻¹), LAd-P2 (745 g kg⁻¹ a 910 g kg⁻¹), LAd-P3 (602 g kg⁻¹ a 870 g kg⁻¹), LVd-P4 (314 g kg⁻¹ a 706 g kg⁻¹), LVda-P5 (298 g kg⁻¹ a 653 g kg⁻¹), LVd-P6 (342 g kg⁻¹ a 421 g kg⁻¹); sendo classificados como de textura argilosa nos horizontes dos Latossolos Amarelos e textura média na superfície do Latossolo Vermelho argiloso e Latossolo Vermelho, evoluindo para argilosa e muito argilosa,

nas profundidades elevadas (Tabela 3). Os valores de densidade do solo (ρ) apresentaram comportamento similar ao da textura, com aumento em profundidade, sendo os menores valores encontrados nas camadas superficiais dos solos sob ambiente de floresta aberta (Tabela 1).

O teor de matéria orgânica decresce em profundidade (Tabela 2), sendo o seu maior conteúdo encontrado na superfície devido à incorporação de resíduos vegetais no solo, refletindo nos maiores valores de fósforo e soma de bases na superfie. A diminuição da matéria orgânica em profundidade deve ser um dos fatores que interferem nos valores de densidade do solo (Tabela 1). A capacidade de troca de cátions (T) decresceu em profundidade em todos os perfis (Tabela 2). Ainda na Tabela 2, observa-se baixa saturação por base (V%) e alta saturação por alumínio (m), fato comum em solos originados desses sedimentos argilosos.

COMPARAÇÃO DOS MÉTODOS DE LABORATÓRIO ESTUDADOS

As Tabelas 4 e 5 apresentam os resultados de K_o e $\log K_o$ pelos métodos de carga constante (PCC) e carga decrescente (PCD), respectivamente. Analisando os valores médios obtidos de K_o ao longo da topossequência de solos (Tabela 5), percebe-se que houve diferença significativa entre os métodos utilizados. Os valores de $\log K_o$ estiveram distribuídos entre P1(2,65 à 3,34 cm dia⁻¹ PCC; 1,86 à 2,89 cm dia⁻¹ PCD), P2(2,85 à 3,38 cm dia⁻¹ PCC; 2,13 à 2,91 cm dia⁻¹ PCD), P3(2,86 à 3,63 cm dia⁻¹ PCC; 2,03 à 2,93 cm dia⁻¹ PCD), P4(2,75 à 3,49 cm dia⁻¹ PCC; 1,78 à 2,95 cm dia⁻¹ PCD), P5(2,38 à 3,83 cm dia⁻¹ PCC; 1,82 à 3,02 cm dia⁻¹ PCD), P6 (2,47 à 3,52 cm dia⁻¹ PCC; 1,86 à 3,10 cm dia⁻¹ PCD. Teixeira (2001) estudando os efeitos do uso da terra sobre as propriedades hidráulicas do solo, por métodos de campo, e em pontos de amostragens pertencentes à classe de Latossolos Amarelos na Amazônia encontrou valores da K_o na ordem de 6, 62 cm dia⁻¹ a 8, 41 cm dia⁻¹. A diferença quando comparada com os encontrados neste estudo pode estar relacionada a vários fatores como: pontos de amostragem e distribuição das raízes (Tabela 5), demonstrando a grande variabilidade dessa propriedade. O mesmo autor, utilizando o infiltrômetro de tensão, ainda descreve valores de K_o variando de 2,60 cm dia⁻¹ à 4,74 cm dia⁻¹. Marques (2004) estudando parâmetros hídricos na mesma classe de solos sob sistema agroflorestal na Amazônia, encontrou valores com variações de 2,62 cm dia⁻¹ à 3,20 cm dia⁻¹ e variações de 1,93 à 3,22 cm dia⁻¹ em Latossolo Vermelho. No geral, os dois métodos de laboratório, aqui considerados, não apresentaram elevados coeficientes de variação (CV) e desvio padrão, o que torna segundo alguns autores, um dos principais inconvenientes para a utilização desses métodos como parâmetro hidráulico, já que em alguns estudos é comum variações na ordem de 52%, 1000% e 3300% (Warrick & Nielsen, 1980; Anderson & Cassel, 1986). A variabilidade e desvios padrões obtidos

deve envolver procedimentos no campo e no laboratório, conforme ressaltam, (Warrick & Nielsen, 1980; Field, 1984) e devido aos ambientes amostrados.

No decorrer da execução dos métodos, observou-se algumas diferenças de K_o para amostras pertencentes a mesma seção de amostragem, comprovando a dificuldade existente nas determinações dessa propriedade. Entretanto, analisando os valores das dez leituras realizadas em cada repetição não demonstraram discrepâncias acentuadas nos valores, evidenciando que os métodos não apresentaram fonte de erro que possam ter interferido na análise dos resultados.

A ordem de grandeza dos dados de K_o pelos dois métodos foram diferentes, havendo contraste entre si (Tabela 5). O método do PCC demonstrou ao longo das determinações valores de K_o maiores que o PCD, entretanto, em algumas comparações não significativo. (Tabela 5). Um dos pontos observados durante a utilização do PCC está relacionado a manutenção da carga hidráulica sobre a amostra. Como as amostras tendem a apresentar fluxos diferentes, torna-se difícil, a constância da carga igual para módulos com capacidade para 5 amostras, exceto em sistemas com controle da saída de água. Primeiramente, utilizou-se um permeâmetro para três amostras (Figura 3), reduzindo-o a seguir para 1 amostra (Figura 5), devido a ocorrência de fluxo diferente apresentado pelas amostras e a dificuldade de se manter um nível constante. No caso do PCD, o inconveniente apresentado está relacionado ao manuseio da amostras, já que foi necessário movimentar o modulo elaborado com mais constância para o início das leituras.

A premissa da escolha do método PCC ou PCD pelo pressuposto teórico solos com baixa e alta condutividade foi constatada, tendo sido o método do PCC o mais indicado

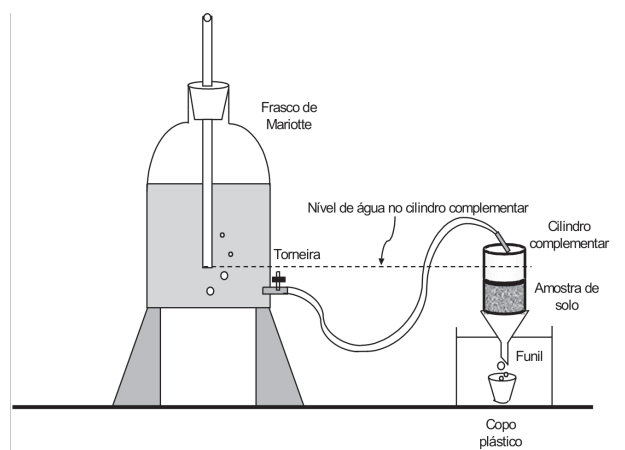


Figura 5 - Desenho esquemático do permeâmetro de carga constante para uma amostra utilizado na determinação da condutividade hidráulica do solo saturado (Fonte: Teixeira, 2005)

para as classes de Latossolos Amarelos Distrófico, Latossolo Vermelho Distrófico, Latossolo Vermelho Distrófico argissólico identificados ao longo da topossequência, apresentando baixo CV e desvio padrão (Tabela 5).

ESPAÇO POROSO NA DETERMINAÇÃO DE K_o EM SOLOS AMAZÔNICOS VS VARIAÇÕES DO AMBIENTE AO LONGO DA TOPOSEQUÊNCIA

Possíveis problemas quanto à relação da porosidade vs K_o é constatada na Figura 8 A à F, observando-se que sensíveis variações na macroporosidade promove mudanças em K_o , havendo uma tendência para maiores valores de K_o na superfície, relacionando-se com maiores valores de macroporos (Tabela 1).

Outros parâmetros físicos foram observados, evidenciando que nesses solos, a densidade e o teor de argila são inversamente proporcionais a K_o . Isso permitiu inferir que compactação durante a amostragem em solos argilosos e muito argilosos como os aqui estudados (Tabela 3) pode alterar os resultados obtidos, pois K_o também apresentou relação direta com a densidade do solo (Figura 8 A à F).

A forma e a continuidade dos poros em superfície (Tabela 1) podem conduzir a erros de amostragem com cilindros pequenos nesses solos, já que os anéis podem ficar dispostos em pontos com alta, baixa ou sem a presença de poros com diâmetros grandes, influenciando nas variações de K_o (Figura 7) (Tabela 5). Um outro fator que deve ser salientado no estudo de K_o em solos argilosos e porosos como os amazônicos é o tamanho do cilindro volumétrico de forma a apresentar um número representativo dos poros de cada horizonte. A situação de amostras na superfície com grande índice radicular (Tabela 3) surge como outro inconveniente, pois a continuidade vertical dos macroporos deve ser observada. Nessa profundidade ocorre um maior índice de raízes pequenas finas (Tabela 3) que contribuem com translocação da MO em profundidade e estruturação do solo (Gonçalves & Mello, 2000).

Um procedimento a ser considerado para uma melhor quantificação de K_o em sistemas com macroporos, como os amazônicos, é a coleta de amostras em cilindros grandes ou a determinação direta no campo, minimizando as influências negativas que pequenas amostras exercem na determinação desse parâmetro.

Analisando os dados de K_o em função da cobertura vegetal, observam-se maiores valores no sistema de floresta aberta (8 D, E e F) (figura 8), desenvolvidos sobre solos com textura média e maiores porosidades. Nota-se na Tabela 1 que o teor de argila foi a propriedade física que contribuiu para que K_o capoeira nova (8C) > K_o capoeira 7 anos (8B) > K_o floresta densa (8A). Apesar da textura em todos os horizontes desses sistemas serem muito argilosa (Tabela 3), K_o foi sensível a

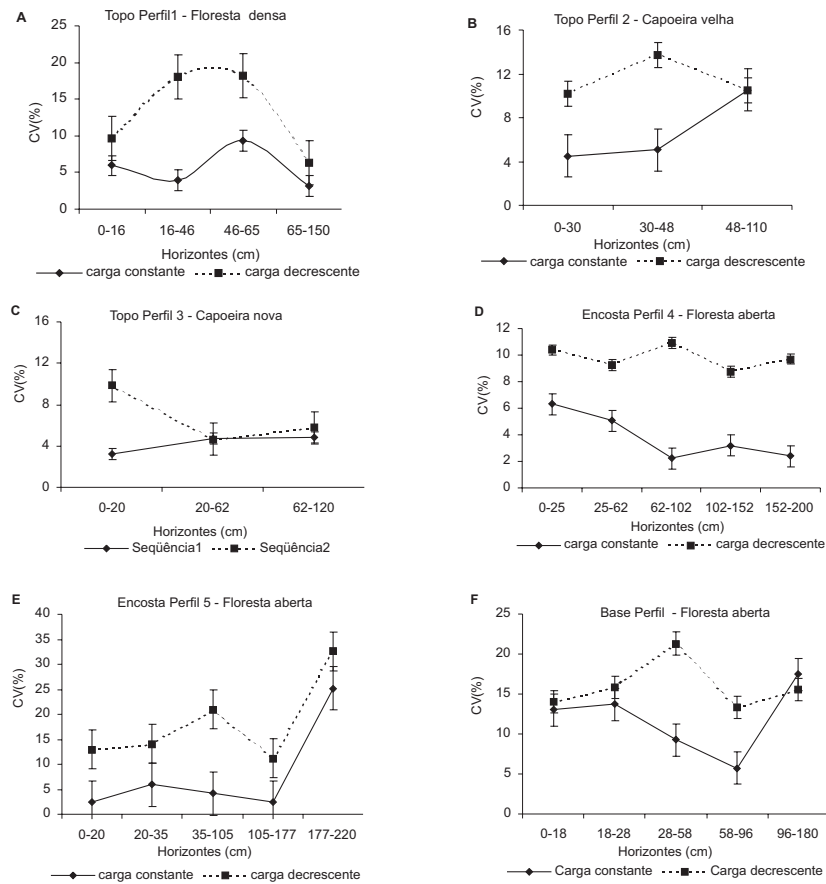


Figura 6 - Gráfico demonstrativo do comportamento coeficiente de variação pelos dois métodos utilizados

Tabela 1 - Distribuição granulométrica, densidade dos sólidos e do solo, porosidade nos horizontes dos perfis da toposequência, Serra de Parintins-AM.

Prof. (m)	Hor	Areia			Silte	Argila Total	ρ	ρ_s	Porosidade			N	C	C/N
		Grossa	Fina	Total					Total	Ma	Mi			
		-----g kg ⁻¹ -----			-----g kg ⁻¹ -----	-----kg m ⁻³ -----	-----m ³ m ⁻³ -----			-----%-----				
P1 - LAd - Latossolo Amarelo Distrófico – Floresta Densa – Platô														
0,00 – 0,16	A1	10,8	8,68	19,48	149,53	831	670	2320	0,71	0,35	0,36	0,11	2,08	18,90
0,16 – 0,46	AB	8,24	9,22	17,46	129,53	853	900	2470	0,63	0,25	0,38	0,22	3,91	17,77
0,46 – 0,65	Bw1	7,84	7,84	15,68	97,33	887	1040	2470	0,58	0,18	0,40	0,12	2,05	17,08
0,65 – 1,50 ⁺	Bw2	9,76	5,19	14,95	65,05	920	1130	2500	0,55	0,14	0,41	0,21	2,83	13,47
P2 - LAd - Latossolo Amarelo Distrófico – Capoeira velha 7 anos – Platô														
0,00-0,30	A1	126,40	12,48	138,88	116,12	745,00	782	2708	0,71	0,32	0,38	0,21	3,05	14,31
0,30 – 0,48	AB	17,91	9,41	27,32	232,18	740,50	1025	2601	0,60	0,21	0,39	0,11	1,95	17,59
0,48 – 1,10 ⁺	Bw1	21,16	10,07	31,23	58,77	910,00	1001	2587	0,61	0,24	0,36	0,06	0,85	12,72
P3 - LAd - Latossolo Amarelo Distrófico – Capoeira nova (3 anos) – Platô														
0,00-0,20	A1	64,98	73,84	138,82	258,69	602,50	800	2760	0,65	0,30	0,35	0,18	2,99	16,61
020 – 0,62	AB	18,10	7,20	25,30	314,70	660,00	1060	2500	0,60	0,20	0,40	0,10	1,76	17,60
0,62 – 1,20 ⁺	Bw1	12,00	16,45	28,45	101,55	870,00	1000	2480	0,50	0,20	0,30	0,07	0,70	10,00
P4 - LVd - Latossolo Vermelho Distrófico – Floresta aberta – Encosta														
0,00 – 0,25	A1	160,17	108,19	268,36	417,64	314,00	454	2577	0,82	0,48	0,33	0,67	7,80	11,54
0,25 – 0,60	A2	79,10	66,43	145,53	427,97	426,50	457	2730	0,83	0,47	0,36	0,56	7,71	13,74

Tabela 1 - Continuação

Prof. (m)	Hor	Areia			Silte	Argila Total	ρ	ρ_s	Porosidade			N	C	C/N
		Grossa	Fina	Total					Total	Ma	Mi			
		-----g kg ⁻¹ -----			-----g kg ⁻¹ -----	-----kg m ⁻³ -----	-----m ³ m ⁻³ -----			-----%-----				
0,60 – 1,02	BA	137,61	63,24	200,85	290,66	508,50	632	2700	0,76	0,43	0,33	0,26	4,55	17,49
1,02 – 1,52	Bw1	136,91	42,65	179,56	129,94	690,50	1051	2570	0,59	0,26	0,32	0,08	1,73	19,70
1,52 – 2,00+	Bw2	148,16	37,41	185,57	108,44	706,00	1170	2710	0,56	0,21	0,35	0,04	0,69	16,20
P5 - LVda - Latossolo Vermelho Distrófico argissólico – Floresta aberta – Encosta														
0,00 – 0,20	A1	128,63	81,67	210,30	491,20	298,50	457	2684	0,82	0,46	0,36	0,74	8,41	11,33
0,20 – 0,33	A2	162,65	122,24	284,89	410,11	305,00	485	2624	0,81	0,42	0,39	0,48	7,43	15,33
0,33 – 1,05	BA	122,08	83,39	205,46	350,54	444,00	691	2720	0,74	0,32	0,41	0,27	5,31	19,50
1,05 – 1,77	Bw1	170,00	41,42	211,42	126,58	662,00	880	2660	0,66	0,27	0,39	0,10	2,46	22,94
1,77 – 2,20+	Bw2	179,24	47,41	226,66	120,34	653,00	1392	2667	0,48	0,08	0,40	0,04	0,82	19,40
P6 - LVd - Latossolo Vermelho Distrófico – Floresta aberta – Encosta														
0,00 – 0,18	A1	377,72	131,25	508,97	149,03	342,00	1280	2668	0,52	0,17	0,35	0,21	2,82	13,44
0,18 – 0,28	BA	316,48	131,27	447,75	163,75	388,50	1390	2613	0,47	0,15	0,32	0,10	1,60	14,94
0,28 – 0,58	Bw1	306,97	113,75	420,72	146,28	433,00	1480	2667	0,53	0,20	0,34	0,08	1,04	12,88
0,58 – 0,96	Bw2	292,04	133,03	425,07	99,93	475,00	1510	2686	0,46	0,14	0,32	0,05	0,60	11,31
0,96 – 1,80+	Bw3	362,75	141,21	503,96	75,04	421,00	1590	2629	0,44	0,14	0,30	0,04	0,48	10,72

Ma = macroporosidade; Mi = microporosidade; ρ = densidade do solo; ρ_s = densidade das partículas

Tabela 2 - Resultados das análises químicas dos perfis da topossequência, Serra de Parintins-AM.

Prof. (m)	Hor.	pH	C	MO	P	K	Na	Ca	Mg	Al	H+Al	SB	T	m	V	Fe	Zn	Mn	Cu
		H ₂ O	----- g kg ⁻¹ -----	----- mg dm ⁻³ -----	----- mg dm ⁻³ -----	----- mg dm ⁻³ -----	----- mg dm ⁻³ -----	----- mg dm ⁻³ -----	----- mg dm ⁻³ -----	----- mg dm ⁻³ -----	----- mg dm ⁻³ -----	----- mg dm ⁻³ -----	----- mg dm ⁻³ -----	----- mg dm ⁻³ -----	----- % -----	----- mg dm ⁻³ -----	----- mg dm ⁻³ -----	----- mg dm ⁻³ -----	----- mg dm ⁻³ -----
P1 - LAd - Latossolo Amarelo Distrófico – Floresta Densa – Platô																			
0,00-0,16	Ap	5,0	56,5	97,3	3,5	8,7	3,4	0,6	0,1	39,5	196,0	12,8	208,8	75,5	6,1	235	0,4	0,6	0,1
0,16-0,46	BA	4,0	34,5	59,9	2,0	2,0	1,3	0,9	0,1	20,3	110,3	4,3	114,6	82,5	3,7	201	0,4	0,7	0,0
0,46-0,65	Bw1	4,6	17,2	29,6	1,4	0,5	0,8	0,8	0,1	13,8	63,8	2,2	66,0	86,2	3,3	134	0,1	0,6	0,0
0,65-1,50+	Bw2	4,7	2,0	3,5	1,4	0,5	0,4	0,7	0,0	9,2	30,7	1,6	32,3	85,1	4,9	64	0,1	0,2	0,0
P2 - LAd - Latossolo Amarelo Distrófico – Capoeira velha 7 anos – Platô																			
0,00-0,30	A1	4,05	35,07	60,32	2	11	3	0,04	0,04	1,73	10,90	0,12	11,02	93,44	1,1	46	0,28	0,90	0,10
0,30 – 0,48	AB	4,27	13,84	23,80	1	5	3	0,04	0,03	1,06	6,44	0,10	6,54	91,71	1,4	50	0,38	0,77	0,07
0,48 – 1,10+	Bw1	4,45	3,83	6,59	1	2	2	0,03	0,02	0,59	3,03	0,06	3,09	90,24	2,0	0	0,16	0,33	0,13
P3 - LAd - Latossolo Amarelo Distrófico – Capoeira nova (3 anos) – Platô																			
0,00-0,20	A1	4,9	40,0	68,8	2,0	5,1	2,6	1,4	0,7	17,4	103,2	9,8	113,0	63,9	8,6	321	0,31	1,54	0,04
0,20 – 0,62	AB	4,7	18,72	29,32	1,0	4,8	2,6	1,0	0,6	15,0	80,77	9,0	89,77	16,70	10,0	180	0,21	0,89	0,02
0,62 – 1,20+	Bw1	5,0	8,50	15,70	1,0	2,5	2,0	1,0	0,6	14,0	60,23	6,1	66,33	21,10	9,19	82	0,10	0,31	0,01
P4 - LVd - Latossolo Vermelho Distrófico – Floresta Aberta – Encosta																			
0,00 – 0,25	A1	4,22	33,39	57,43	11	9	10	0,08	0,04	0,69	12,13	0,19	12,32	78,62	1,51	32	0,53	1,32	0,15
0,25 – 0,60	A2	4,83	13,04	22,42	3	3	1	0,04	0,02	0,32	10,68	0,07	10,75	81,53	0,67	15	0,21	0,78	0,10
0,60 – 1,02	BA	4,85	30,26	52,05	7	2	1	0,03	0,02	0,37	7,62	0,06	7,68	86,28	0,77	26	0,40	0,63	0,15
1,02 – 1,52	Bw1	4,72	4,19	7,20	2	1	1	0,03	0,02	0,71	3,58	0,06	3,64	92,58	1,56	34	0,18	0,28	0,11
1,52 – 2,00+	Bw2	4,63	3,18	5,48	1	1	1	0,03	0,01	0,61	1,83	0,05	1,87	92,88	2,50	14	0,08	0,11	0,07
P5 – LVda - Latossolo Vermelho Distrófico argissólico – Floresta Aberta – Encosta																			
0,00 – 0,20	A1	3,93	23,75	40,85	7	18	8	0,08	0,06	1,06	13,78	0,22	14,00	82,73	1,58	27	0,45	1,45	0,11
0,20 – 0,33	A2	4,74	11,85	20,39	4	5	4	0,06	0,03	0,27	10,11	0,12	10,23	68,88	1,17	17	0,25	0,81	0,15
0,33 – 1,05	BA	4,82	31,83	54,75	7	2	2	0,03	0,01	0,24	7,41	0,05	7,46	81,93	0,72	21	0,15	0,42	0,14
1,05 – 1,77	Bw1	4,83	5,56	9,56	2	1	2	0,03	0,01	0,68	3,87	0,05	3,93	92,95	1,31	38	0,19	0,27	0,09
1,77 – 2,20+	Bw2	4,72	1,43	2,46	1	1	1	0,03	0,01	0,43	2,00	0,05	2,04	90,25	2,30	14	0,18	0,09	0,06
P6 - LVd - Latossolo Vermelho Distrófico – Floresta Aberta – Encosta																			
0,00 – 0,18	A1	3,51	19,18	32,99	6	26	15	0,09	0,13	1,79	8,42	0,35	8,77	83,58	4,01	149	0,48	1,50	0,23

Tabela 2 - Continuação

Prof. (m)	Hor.	pH	C	MO	P	K	Na	Ca	Mg	Al	H+Al	SB	T	m	V	Fe	Zn	Mn	Cu
		H ₂ O	g kg ⁻¹	g kg ⁻¹	mg dm ⁻³	mg dm ⁻³	mg dm ⁻³	mg dm ⁻³	mg dm ⁻³	mg dm ⁻³	mg dm ⁻³	mg dm ⁻³	mg dm ⁻³	mg dm ⁻³	mg dm ⁻³	mg dm ⁻³	mg dm ⁻³	mg dm ⁻³	mg dm ⁻³
0,18 – 0,28	BA	3,89	7,00	12,04	2	7	3	0,05	0,03	1,06	4,73	0,11	4,84	90,56	2,29	189	0,38	1,04	0,21
0,28 – 0,58	Bw1	4,06	4,59	7,89	1	4	1	0,04	0,02	0,92	4,15	0,07	4,23	92,50	1,76	151	0,18	1,05	0,16
0,58 – 0,96	Bw2	4,23	2,78	4,78	2	4	3	0,05	0,02	0,76	3,55	0,09	3,65	89,12	2,56	89	1,23	0,94	0,26
0,96 – 1,80+	Bw3	4,17	1,84	3,17	3	1	1	0,04	0,01	0,69	3,42	0,06	3,48	92,38	1,64	60	0,19	0,51	0,17

MO = matéria orgânica; T = capacidade de troca de cátions (S+H⁺+Al³⁺); m = saturação por alumínio (Al³⁺/S+H⁺).100; V = saturação por bases (100.S/T)

Tabela 3 - Características morfológicas dos perfis estudados, topossequências, Serra de Parintins - AM

Prof.(m)	Hor.	Textura	Cor úmida	Estrutura tipo, classe, grau	Consistência seca, úmida, molhada	Porosidade	Raízes	Transição
P1 - LAd - Latossolo Amarelo Distrófico – Floresta Densa – Platô								
0,00 -0,16	Ap	M.argilosa	10YR 4/4	bl. sub., peq. e média, moderada	lig. dura, friável, pl. e pegajoso	m. gr., p. peq.	c.gr. e peq finas. finas	Grad.e Horiz.
0,16 – 0,46	BA	M.argilosa	10YR 7/6	bl. sub., peq. e média, fraca	macio, friável, pl. e peg.	m. gr., p. peq.	c.gr. e c. peq finas	Dif. e Hor.
0,46 – 0,65	Bw1	M.argilosa	10YR 7/7	bl. sub., peq. e média, fraca	macio, friável, pl. e peg.	p. gr. e m. peq.	r. gr., c. peq. finas	Dif. e Hor.
0,65 – 1,50	Bw2	M.argilosa	10YR 7/8	bl. sub., peq. e média, fraca	macio, friável, plástico e pegajoso	r. gr. e m. peq.	r.gr., ab. peq. finas	Dif. e Hor.
P2 - LAd - Latossolo Amarelo Distrófico – Capoeira 7 anos – Platô								
0,00 – 0,30	A	M.argilosa	10YR 4/3	bl. sub., peq. e média, moderada	lig. dura, friável, não pl., lig. peg.	c. peq. e gr.	ab.peq finas., p. gr	Grad.e Hor.
0,30 – 0,48	AB	M.argilosa	10YR 4/4	bl. sub., peq. e média, moderada	lig. dura, friável, lig. pl., lig. peg.	m. peq., p. gr.	p.peq finas., p. gr.	Clara e Hor.
0,48 – 1,10	Bw1	M.argilosa	10YR 7/8	bl. sub., peq. e média, fraca	lig. dura, m.friável, pl, peg.	m. peq., p. gr.	r. peq finas., r. gr.	Dif. e Hor.
P3 -LAd - Latossolo Amarelo Distrófico – Capoeira nova (3 anos) – Platô								
0,00-0,20	A	M.argilosa	10YR 4/4	bl. sub., peq. e média, moderada	lig. dura, friável, não pl., lig. peg.	c. peq. e méd.	ab.peq finas., p. gr	Grad. e Horiz.
0,20 – 0,62	AB	M.argilosa	10YR 4/3	bl. sub., peq. e média, moderada	lig. dura, friável, lig. pl., lig. peg.	m. peq., p. gr.	p.peq finas., p. gr.	Clara e Horiz.
0,62 – 1,20+	Bw1	M.argilosa	10YR 7/7	bl. sub., peq. e média, fraca	lig. dura, m.friável, pl, peg.	m. peq., r. gr.	r. peq finas., r. gr.	Dif. e Hor.
P4 – LVd - Latossolo Vermelho Distrófico – Floresta Aberta – Encosta								
0,00 – 0,25	A1	Média	2,5 YR 3/2	bl. sub., m. peq., fraca	macio, friável, n-plástico, n-peg.	c.gr., p.peq.	ab. peq. finas, r.méd.; c.gr	Grad. e Hor.
0,25 – 0,60	A2	Argilosa	2,5 YR 3/2	bl. sub., m. peq., fraca	macio, friável, n-plástico, n-peg.	m.gr., p.peq.	ab. finas, r. méd., p.gr.	Grad. e Hor.
0,60 – 1,02	BA	Argilosa	2,5 YR 3/6	bl. sub., peq., fraca	macio, friável, n-plástico, n-peg.	c. méd. e gr.; com. peq.	r. peq.; p. méd.; r. gr.	Grad. e Hor.
1,02 – 1,52	Bw1	M.argilosa	2,5 YR 5/8	bl. sub., peq., moderada	lig.duro, m.friável, plástico, lig. peg.	c. peq.; r. gr. e méd.	p. peq., p. méd., r. gr.	Dif. e Hor.
1,52 – 2,00+	Bw2	M.argilosa	2,5 YR 5/8	bl. sub., média, moderada	lig.duro, m.friável, plástico, peg.	c.peq.; r.gr e méd.	r. peq., méd. e gr.	Dif. e Hor.
P5 – LVda - Latossolo Vermelho Distrófico argissólico – Floresta Aberta – Encosta								
0,00 – 0,20	A1	Média	2,5 YR 2/2	bl. sub., pequena, fraca	macio, friável, lig.plástico, lig. pegajoso	c.gr., p.peq.	ab.peq finas e méd., p. gr.	Dif. e Hor.
0,20 – 0,33	A2	Média	2,5 YR 3/2	bl. sub., média, fraca	lig.duro; friável; lig.plástico, lig. pegajoso	m.gr., p.peq.	c.méd.; p.peq., r.gr.	Dif. e Hor.
0,33 – 1,05	BA	Argilosa	2,5 YR 3/4	bl. sub., média, fraca	lig.duro; friável; lig.plástico, lig. pegajoso	c. méd. e gr.; com. peq.	p.peq., p.méd., r.gr.	Grad. e Hor.

Tabela 3 - Continuação

Prof. (m)	Hor.	Textura	Cor úmida	Estrutura tipo, classe, grau	Consistência seca, úmida, molhada	Porosidade	Raízes	Transição
1,05 – 1,77	Bw1	M.argilosa	2,5 YR 4/8	bl. sub., média, moderada	duro; firme; plástico; pegajoso	c. peq.; r. gr. e méd.	p.peq., p.gr., r.méd.	Clara e Hor.
1,77 – 2,20+	Bw2	M.argilosa	2,5 YR 5/8	bl. sub., média, forte	duro, firme, m. plástico, m.pegajoso	c.peq.; r.gr e méd.	p.peq., r.méd. e gr.	Dif. e Hor.
P6 - LVd - Latossolo Vermelho Distrófico – Floresta Aberta – Encosta								
0,00 – 0,18	A	Média	2,5 YR 4/6	bl. sub. peq e m. peq., moderada	lig.duro, friável, lig.plástico, lig. pegajoso	c.gr., p.peq.	ab.peq finas e méd., p. gr.	Grad. e Hor.
0,18 – 0,28	BA	Média	2,5 YR 4/6	bl. sub. peq e média, moderada	lig.duro, friável, plástico, lig. pegajoso	m.gr., p.peq.	c.méd.; p.peq., r.gr.	Grad. e Hor.
0,28 – 0,58	Bw1	Argilosa	2,5 YR 5/8	bl. sub. peq. e média, forte	duro, friável, plástico, lig. pegajoso	c. méd. e gr.; com. peq.	p.peq., p.méd., r.gr.	Dif. e Hor.
0,58 – 0,96	Bw2	Argilosa	2,5 YR 5/8	bl. sub. média, forte	duro, m. friável, plástico, lig. pegajoso	c. peq.; r. gr. e méd.	p.peq., p.gr., r.méd.	Dif. e Hor.
0,96 – 1,80+	Bw3	Argilosa	2,5 YR 6/8	bl. sub. média, forte	duro, m. friável, plástico, lig. pegajoso	c.peq.; r.gr e méd.	p.peq., r.méd. e gr.	Dif. e Hor.

bl. sub. = bloco subangular; peq. = pequena; lig. = ligeiramente; m. = muito; pl. = plástico; peg. = pegajoso; m. gr. = muito grande; p.peq. = pouco pequenos; c. peq. = comuns pequenos; r. gr. = raros grandes; c. méd. = comuns médios; c. gr. = comuns grandes; ab. peq. = abundantes pequenos; Grad. = gradual; Hor. = horizontal; Dif. = difusa

Tabela 4 - Parâmetros estatísticos dos dados de condutividade hidráulica (cm dia⁻¹), valores originais, em diferentes coberturas vegetais de uma topossequência de solos localizada na Serra de Parintins, Manaus, obtida em laboratório pelo método do permeâmetro de carga constante e decrescente utilizando amostras indeformadas.

Prof. (m)	Hor	Permeâmetro de carga constante						Permeâmetro de carga decrescente					
		Mín.	Máx.	MD	Média	s	CV(%)	Mín.	Máx.	MD	Média	s	CV(%)
P1 - LAd - Latossolo Amarelo Distrófico – Floresta Densa – Platô													
0,00 - 0,16	Ap	1101,30	4129,01	2065,23	2466,09	1073,90	43,54	1151,30	1726,98	863,49	937,68	489,89	52,24
0,16 – 0,46	BA	862,41	1035,12	862,40	805,77	195,64	24,28	115,13	690,79	690,79	1013,16	859,72	84,85
0,46 – 0,65	Bw1	299,08	396,09	396,09	533,88	326,93	61,23	95,50	345,39	172,69	368,33	402,82	109,36
0,65 – 1,50	Bw2	705,71	832,19	678,20	645,33	127,58	19,77	57,88	62,79	62,79	75,94	22,27	29,32
P2 - LAd - Latossolo Amarelo Distrófico – Capoeira velha (7 anos) – Platô													
0,00 – 0,30	A1	2180,90	2793,93	2257,53	2571,08	914,90	35,58	345,40	1883,98	714,61	1026,29	649,22	63,25
0,30 – 0,48	AB	877,93	1336,92	877,92	925,33	285,10	30,81	115,13	172,69	230,26	414,47	303,30	73,17
0,48 – 1,10	Bw1	272,39	519,62	519,62	891,16	572,22	64,21	98,68	115,13	115,13	162,28	110,99	68,39
P3 - LAd - Latossolo Amarelo Distrófico – Capoeira nova (3 anos) – Platô													
0,00-0,20	A1	2610,00	5120,16	4761,51	4405,23	1014,90	23,03	345,40	1726,98	986,84	1049,34	594,06	6,61
0,20 – 0,62	AB	1890,00	4038,88	4038,88	3709,41	1309,80	35,31	230,26	460,52	345,39	322,36	86,15	26,73
0,62 – 1,20+	Bw1	829,91	869,26	838,49	758,04	186,44	24,59	76,19	172,69	98,68	112,27	32,65	29,08
P4 - LVd - Latossolo Vermelho Distrófico – Floresta Aberta – Encosta													
0,00 – 0,25	A1	3815,60	4913,94	3815,63	3199,34	1385,90	43,31	345,40	2302,64	1151,32	1128,29	707,47	62,70
0,25 – 0,60	A2	1074,50	3109,27	2145,54	1972,74	719,80	36,48	222,84	901,03	313,99	477,54	269,88	56,51
0,60 – 1,02	BA	2708,10	2718,04	2718,04	3148,37	601,75	19,11	40,39	98,68	84,58	75,43	30,98	41,07
1,02 – 1,52	Bw1	645,86	724,42	574,74	581,37	108,71	18,69	38,37	57,56	57,56	69,01	26,05	37,75
1,52 – 2,00+	Bw2	651,66	757,06	651,66	633,83	96,34	15,20	38,37	57,56	57,56	66,20	27,87	42,10
P5 - Latossolo Vermelho Distrófico argissólico – Floresta Aberta – Encosta													
0,00 – 0,20	A1	5957,60	8210,45	5957,56	6242,93	1277,30	20,46	276,32	2302,64	986,84	1529,55	1181,44	77,24
0,20 – 0,33	A2	6452,00	10822,90	6451,99	7707,59	3539,60	45,92	272,68	2072,38	272,68	714,72	708,58	99,13
0,33 – 1,05	BA	2429,90	2759,62	2759,62	2593,51	726,26	28,00	213,65	2302,64	1726,98	1326,37	984,21	74,20

Tabela 4 - Continuação

1,05 – 1,77	Bw1	472,60	615,53	503,12	510,62	75,51	14,78	35,18	52,59	56,93	74,86	35,67	47,65
1,77 – 2,20+	Bw2	93,63	783,32	121,06	601,11	729,82	121,41	61,31	98,68	98,68	1459,75	2724,26	186,62
P6 - LVd - Latossolo Vermelho Distrófico – Mata Ciliar – Encosta													
0,00 – 0,18	A1	1919,50	11510,10	1919,53	5674,80	5173,60	91,16	227,54	1649,65	1649,65	1860,12	1258,88	67,67
0,18 – 0,28	BA	625,54	816,98	816,98	1165,36	961,14	82,47	281,81	3301,20	296,26	959,92	1182,93	123,23
0,28 – 0,58	Bw1	1453,70	2650,75	2650,75	2409,92	1249,40	51,84	232,85	1726,98	1726,98	1619,86	1308,91	80,80
0,58 – 0,96	Bw2	167,34	393,53	355,80	309,92	87,81	28,33	33,60	48,25	80,79	87,32	50,61	57,95
0,96 – 1,80+	Bw3	228,49	636,45	948,11	2509,90	3532,20	140,73	61,31	115,31	156,99	237,74	229,47	96,52

MD = mediana; S = desvio padrão; CV = coeficiente de variação. Os valores foram obtidos a partir de, no mínimo, 4 leituras em cada amostra, sendo cada horizonte, constituído por 5 repetições.

Tabela 5 - Parâmetros estatísticos dos dados transformados de condutividade hidráulica (cm dia⁻¹) utilizando o método do permeâmetro de carga constante e decrescente em amostras de uma topossequência no Município de Parintins-AM.

Prof. (m)	Hor.	Permeâmetro de carga constante						Permeâmetro de carga decrescente					
		Mín.	Máx.	MD	Média	s	CV(%)	Mín.	Máx.	MD	Média	s	CV(%)
P1 - LAd - Latossolo Amarelo Distrófico – Floresta Densa – Platô													
0,00 – 0,16	Ap	3,04	3,61	3,31	3,34a	0,19	5,96	3,06	3,23	2,93	2,89b	0,27	9,60
0,16 – 0,46	BA	2,93	3,01	2,93	2,89a	0,11	3,96	2,06	2,83	2,83	2,77a	0,49	17,98
0,46 – 0,65	Bw1	2,47	2,59	2,59	2,65a	0,24	9,32	1,98	2,53	2,23	2,34a	0,42	18,19
0,65 – 1,50	Bw2	2,84	2,92	2,83	2,80a	0,08	3,14	1,76	1,79	1,79	1,86b	0,11	6,32
P2 - LAd - Latossolo Amarelo Distrófico – Capoeira velha (7 anos) – Platô													
0,00 – 0,30	A1	3,33	3,44	3,35	3,38a	0,15	4,47	2,53	3,27	2,85	2,91b	0,29	10,21
0,30 – 0,48	AB	2,94	3,12	2,94	2,94a	0,14	5,08	2,06	2,23	2,36	2,48b	0,34	13,75
0,48 – 1,10	Bw1	2,43	2,71	2,71	2,85a	0,29	10,52	1,99	2,06	2,06	2,13b	0,22	10,49
P3 - LAd - Latossolo Amarelo Distrófico – Capoeira nova (3 anos) – Platô													
0,00-0,20	A1	3,41	3,70	3,67	3,63a	0,11	3,17	2,53	3,23	2,99	2,93b	0,28	9,85
0,20 – 0,62	AB	3,27	3,60	3,60	3,53a	0,16	4,76	2,36	2,66	2,53	2,49b	0,11	4,65
0,62 – 1,20+	Bw1	2,91	2,93	2,92	2,86a	0,13	4,79	1,88	2,23	1,99	2,03b	0,11	5,74
P4 - LVd Latossolo Vermelho Distrófico – Floresta Aberta – Encosta													
0,00 – 0,25	A1	3,58	3,69	3,58	3,45a	0,21	6,31	2,53	3,36	3,06	2,95b	0,30	10,38
0,25 – 0,60	A2	3,03	3,49	3,33	3,26a	0,16	5,06	2,34	2,95	2,49	2,61b	0,24	9,25
0,60 – 1,02	BA	3,43	3,43	3,43	3,49a	0,07	2,23	1,60	1,99	1,92	1,83b	0,20	10,90
1,02 – 1,52	Bw1	2,81	2,86	2,75	2,75a	0,08	3,18	1,58	1,76	1,76	1,80b	0,15	8,73
1,52 – 2,00+	Bw2	2,81	2,87	2,81	2,79a	0,06	2,40	1,58	1,76	1,76	1,78b	0,17	9,69
P5 - LVda - Latossolo Vermelho Distrófico argissolico – Floresta Aberta – Encosta													
0,00 – 0,20	A1	3,77	3,91	3,77	3,78a	0,08	2,36	2,44	3,36	2,99	3,02b	0,39	12,96
0,20 – 0,33	A2	3,80	4,03	3,80	3,83a	0,22	5,97	2,43	3,31	2,43	2,67b	0,37	14,08
0,33 – 1,05	BA	3,38	3,44	3,44	3,39a	0,14	4,13	2,32	3,36	3,23	2,84a	0,59	20,99
1,05 – 1,77	Bw1	2,67	2,78	2,70	2,70a	0,06	2,43	1,54	1,72	1,75	1,82b	0,20	11,19
1,77 – 2,20+	Bw2	1,97	2,89	2,08	2,38a	0,60	25,17	1,78	1,99	1,99	2,33a	0,76	32,56
P6 - LVd - Latossolo Vermelho Distrófico – Floresta Aberta – Encosta													
0,00 – 0,18	A1	3,28	4,06	3,28	3,52a	0,45	13,00	2,35	3,21	3,21	3,10a	0,43	14,03
0,18 – 0,28	BA	2,79	2,91	2,91	2,90a	0,39	13,70	2,45	3,51	2,47	2,72a	0,43	15,82
0,28 – 0,58	Bw1	3,16	3,42	3,42	3,29a	0,30	9,26	2,36	3,23	3,23	2,90a	0,61	21,31
0,58 – 0,96	Bw2	2,22	2,59	2,55	2,47a	0,14	5,76	1,52	1,68	1,90	1,86b	0,24	13,35
0,96 – 1,80+	Bw3	2,35	2,80	2,97	3,03a	0,53	17,46	1,78	2,06	2,19	2,22b	0,34	15,55

MD = mediana; S = desvio padrão; CV = coeficiente de variação. Os valores foram obtidos a partir de, no mínimo, 4 leituras em cada amostra, sendo cada horizonte, constituído por 5 repetições. Letras iguais representam similaridade quanto Ko e diferentes desigualdade quanto Ko considerando os dois métodos utilizados. Utilizou-se Tukey 5% de probabilidade.

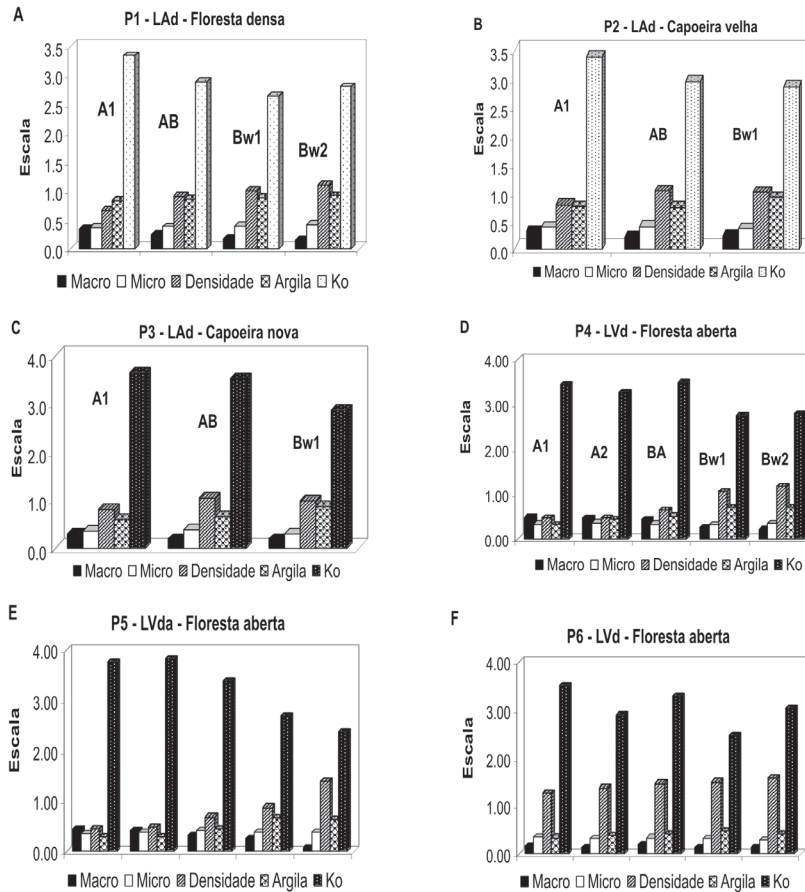


Figura 8 - Gráfico representativo da macroporosidade ($m^3 m^{-3}$), microporosidade ($m^3 m^{-3}$), densidade ($Mg m^{-3}$), teor de argila ($g g^{-1}$) e condutividade hidráulica saturada – Ko ($cm dia^{-1}$)

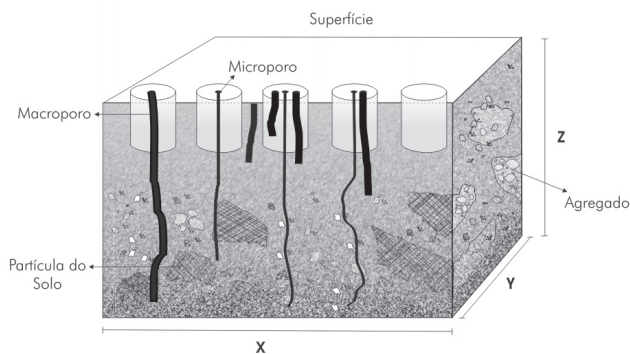


Figura 7 - Desenho esquemático representativo de diferentes disposições dos macroporos nos solos

pequenas variações no teor de argila. Outro fator que pode explicar o maior valor de Ko na capoeira nova é a forma de utilização da área (pousio e rotação de cultura), promovendo a agregação do solo. Talvez Ko seja mais sensível a mudanças nas propriedades físicas do solo do que as alterações nas coberturas vegetais sobre o solo.

CONCLUSÕES

O método do PCC é o mais apropriado para a classe dos Latossolos estudados, apresentando os menores coeficientes de variação e desvio padrão ao longo da topossequência;

Os valores de Ko para a topossequência de solos amazônicos estudada estiveram distribuídos entre P1(2,65 à 3,34 $cm dia^{-1}$), P2(2,85 à 3,38 $cm dia^{-1}$), P3(2,86 à 3,63 $cm dia^{-1}$), P4(2,75 à 3,49 $cm dia^{-1}$), P5(2,38 à 3,83 $cm dia^{-1}$) e P6

(2,47 à 3,52 cm dia⁻¹); havendo uma tendência para maiores valores de K_0 na superfície;

A escolha de K_0 como parâmetro hídrico de análise em solos porosos na superfície e muito argilosos necessita ser realizada com precaução, evitando a interrupção do poros e compactação da amostra.

Devido o desenvolvimento de maior incidência de macroporos na superfície em áreas de floresta, bem como a presença de raízes grandes e finas, recomenda-se a utilização de métodos de campo para determinação de K_0 .

Mudanças na condutividade hidráulica saturada estiveram mais relacionadas a alterações nas propriedades físicas do solo e posição no relevo do que nas alterações das coberturas vegetais ao longo da toposequência.

AGRADECIMENTOS

À FAPEAM, pelo financiamento do projeto 811/04. Ao Laboratório de Análise de Solo da EMBRAPA e ao Laboratório Temático de Solo e Planta do INPA, pela oportunidade de realização das análises físicas, químicas e hídricas. Ao INPA pelo apoio na continuidade do projeto, na pessoa do Dr. Flávio Luizão.

LITERATURA CITADA

- ANDERSON, S.N. & CASSEL, D. 1986. Statistical and autoregressive analysis of soil physical properties of Portsmouth Sandy Loam. *Soil Science Society of American Journal*, 50: 1096-1104.
- ARGENTON, J.; ALBUQUERQUE, J.A.; BAYER, C.; WILDNER, L.P. 2005. Comportamento de atributos relacionados com a forma da estrutura de Latossolo Vermelho sob sistemas de preparo e plantas de cobertura. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 29: 425-435
- BAGARELLO, V.; PROVENZANO, G. 1996. Factors affecting field and laboratory measurement of saturated hydraulic conductivity. *American Society of Agricultural Engineers*, 39(1):153-159.
- BOUMA, J.; JONGMANS, A.; STEIN, A. 1989. Characterizing spatially variable hydraulic properties of a boulder clay deposit in the Netherlands. *Geoderma*, 45: 19-29.
- EMBRAPA. 1984. Centro Nacional de Pesquisa Agroflorestal. *Boletim Agrometeorológico*. Manaus, EMBRAPA – UEPAE (Documento, 6).
- EMBRAPA. 1997. *Manual de Métodos de Análise de Solo*. 2ª edição. rev. atual. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Rio de Janeiro, 212p. (EMBRAPA-CNPS. Documentos; 1).
- EMBRAPA. 1999a. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Rio de Janeiro, EMBRAPA-CNPS, 412 p.
- EMBRAPA. 1999b. Manual de Análises Químicas de Solos, Plantas e Fertilizantes. Embrapa Solos. Brasília: Embrapa comunicação para transferência de tecnologia, 370 p.
- GARDNER, W.H. 1986. Water content. In: KLUTE, A. ed. *Methods of soil analysis*. Part I. Agronomy Monograph Séries nº 9, Madison, Winconsin, Cap. 21, p. 493-544.
- GONÇALVES, J.L.M.; MELLO, S.L.M. 2000. O sistema radicular das arvores. In: GONÇAVES, J.L.M.; BENEDETTI, V. (ed). *Nutrição e fertilização florestal*. Piracicaba: IPEF/FAPESP, p. 219-267.
- HILLEL, D. 1971. *Soil and water. Physical principles and processes*. New York, Academic Press, 288p.
- HILLEL, D. 1982. *Introduction to Soil Physics*. New York, Academic Press, 365p.
- LEMOES, R.C.; SANTOS, R.D. dos. 1996. *Manual de descrição e coleta de solo no campo*. 3ª ed. Campinas, SP:SBCS/CNPS, 83p.
- LIBARDI, P.L. *Dinâmica da água no solo*. 2ª edição. Piracicaba, 2000: o autor. 509p.
- LOGSDON, S.D.; JAYNES, D.B. 1996. Spatial variability of hydraulic conductivity in a cultivated field at different times. *Soil Science Society of America Journal*, 60: 703-709.
- MARQUES, J.D.; LIBARDI, P.L. ; TEIXEIRA, W.G.; REIS, A.M. 2004. Estudo de parâmetros físicos, químicos e hídricos de um Latossolo Amarelo, na região Amazônica. *Acta Amazônica*, 34(2):145-154.
- MOHANTY, B.P.; KANWAR, R.S.; EVERTS, C.J. 1994. Comparison of saturated hydraulic conductivity measurement methods for a glacial-till soil. *Soil Science Society of America Journal*, 58(3):672-677.
- TEIXEIRA, C. F. A.; MORAES, S. O.; SIMONETE, M. A. 2005. Desempenho do Tensiômetro, TDR e Sonda de Nêutrons na determinação da Umidade e Condutividade Hidráulica do Solo. *Revista brasileira de Ciência do Solo*, v. 29, n. 2, p. 161-168.
- TEIXEIRA, W.G. 2001. Land use effects on Soil Physical and Hydraulic Properties of a Clayey Ferralsol in the Central Amazon. University of Bayreuth. Bayreuth – Alemanha *Tese de Doutorado*. 255p.
- VAN ES, H.M.; OGDEN, C.B.; HILL, R.L.; SCHINDELBECK, R.R.; TSEGAYE, T. 1999. Integrated assessment of space, time, and management-related variability of soil hydraulic properties. *Soil Science Society of American Journal*, 63: 1599-1608.
- VIEIRA, S.R.; NIELSEN, D.R.; BIGGAR, J.W. 1981. Spatial variability of field-measured infiltration rate. *Soil Science Society of America Journal*, 45: 1040-1048.
- YOUNGS, E.G. 1991. Hydraulic conductivity of saturated soils. In: SMITH, K.A.; MULLINS, C.E. (Ed). *Soil analysis: physical methods*. New York: Marcel Dekker. cap. 4, p. 161-207.
- WARRICK, A.W.; NIELSEN, D.R. 1980. Spatial variability of soil physical properties in the field. In: HILLEL, D. (ed). *Applications of soil physics*. New York: Academic Press, cap. 13, p. 319-344.
- Wilkinson, L. 1998. *Systat*. The system for statistics. Evanston, IL, Systat Inc.

Recebido em 09/01/2006

Aceito em 02/05/2008

