

CARACTERIZAÇÃO DA CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA SATURADA DO SOLO EM UMA VERTENTE SUBMETIDA A DIFERENTES USOS E COBERTURAS DO SOLO: uma análise preliminar na região serrana do Rio de Janeiro.

Sarah Lawall¹; Lúcia Maria da Silva²; Ana Carolina Ferraz²; Pamela F. C. da Silva²; Nelson Ferreira Fernandes³

RESUMO A necessidade de se entender o mecanismo de entrada da água no solo torna-se de suma importância uma vez que infiltração é uma das etapas do ciclo hidrológico responsável pela recarga dos aquíferos e estocagem de água no solo que é disponibilizada às plantas. Com isso, o presente trabalho tem como finalidade avaliar, de forma preliminar e pontual, a entrada e movimentação da água no solo bem como o papel do uso e cobertura ao longo de uma vertente com ambiente florestal e agrícola. Para isso, mensurou-se a condutividade hidráulica saturada em campo (Ksat) nos dois ambientes (três pontos nas profundidades de 20 e 50 cm) com uso de Permeômetro de Guelph Modificado. Observou-se que em ambientes florestados, a Ksat é maior nos horizontes mais rasos do perfil. Já no ambiente agrícola, verificou-se o processo contrário, ou seja, a Ksat menor nos horizontes superficiais. Este dado pode ser justificado pela intensa atividade biológica em ambiente florestal, favorecendo a entrada de água no perfil ao passo que, em áreas agrícolas, o manejo inadequado pode gerar alterações na estrutura do solo influenciando, portanto, os valores finais de Ksat.

ABSTRAT The necessity of if understanding the mechanism of entrance of the water in the ground become of utmost importance a time that infiltration is one of the stages of the responsible hydrological cycle for the recharge of the water-bearing ones and stockage of water in the ground that is offer to the plants. With this, the present work has as purpose to evaluate, of preliminary and prompt form, the entrance and movement of the water in the ground as well as the paper of the use and covering throughout a source with forest and agricultural environment. For this, it was mesure saturated hydraulic conductivity in field (Ksat) in two environments (three points in the depths of 20 and 50 cm) with use of de Guelph Permeameter. Observed that in forests environments, the Ksat is bigger in horizons shallower of the profile. No longer agricultural environment, verified the contrary process, that is, the lesser Ksat in horizons shallowest. This data can be justified by the intense biological activity in forest environment, favoring the water entrance in the profile while in agricultural areas, the inadequate handling can generate alterations in the structure of the ground influencing, therefore, the final values of Ksat

Palavras-chave: condutividade hidráulica – uso do solo

¹ Mestranda em Geografia –PPGG/UFRJ , Instituto de Geociências Caixa Postal nº 68537 – CEP 21941-972, sarahlawall@yahoo.com.br

² Graduanda em Geografia – UFRJ

³ Prof. Adjunto do Depto de Geografia –UFRJ

1- INTRODUÇÃO

O entendimento dos processos de infiltração da água no solo torna-se relevante uma vez que estes auxiliam em estudos de investigação de processos erosivos, recarga de aquíferos e contaminação de lençol freático por substâncias químicas. Dentre as variáveis que influenciam o fluxo da água no solo, a condutividade hidráulica (K) ganha destaque porque permite entender como se dá esta movimentação. A condutividade hidráulica é uma das propriedades físicas do solo mais complexas como apontado por Reichardt (1987), no entanto, seu estudo torna-se de suma importância porque é um parâmetro que mede a facilidade com a qual o solo transmite água. Assim, esta propriedade entra como um suporte para entendimento da dinâmica hidrológica dos ambientes.

A condutividade hidráulica é altamente influenciada pelas propriedades físicas do solo que determinam o fluxo de água, sendo algumas destas: a porosidade total (macroporosidade e microporosidade), a densidade do solo, a densidade de partículas, a textura e a estrutura do solo. Solos arenosos possuem, geralmente, uma condutibilidade saturada mais elevada do que solos de textura mais fina. Do mesmo modo, solos com textura granular estável conduzem água com maior rapidez do que aqueles formados de unidades estruturais instáveis, que se dissociam quando molhados (Brady, 1989). Entretanto, como aponta Mesquita e Moraes (2004) o coeficiente de permeabilidade do solo é mais dependente da estrutura, ou seja, do arranjo das partículas do que do tamanho delas em si. Neste sentido, cabe ressaltar que a morfologia, orientação e tamanho dos sistemas radiculares dos vegetais podem também afetar a condutividade hidráulica (Mesquita e Moraes, 2004), aumentando ou diminuindo significativamente a capacidade de condução de água no solo.

Vários trabalhos na literatura relacionaram a condutividade hidráulica saturada (K_{sat}) com outras propriedades dos solos e, em geral, eles estão atrelados a ambientes com atividades agrícolas, dentre os quais, aponta-se o de Souza *et al.* (1995), que visou determinar a influência da textura e da densidade aparente na variação espacial da K_{sat} . Por sua vez, Silva *et al.* (2006) sugeriram que a variação da K_{sat} refletiria nas condições de degradação e compactação dos horizontes mais superficiais do solo, justamente onde ocorrem usos mais intensos pela agricultura. Ndiaye *et al.* (2007) relacionaram diferentes usos e manejos em um tipo de solo e as suas mudanças significativas nas propriedades físicas e na própria movimentação da água no perfil. Conquanto, poucos são os trabalhos que avaliam e correlacionam em uma mesma unidade territorial, a dinâmica hidrológica do solo *in situ* submetido a diferentes tipos de uso e cobertura, tais como, cobertura florestal, ambientes agrícolas expandindo-se para análise de ambientes urbanos na dinâmica hidrológica.

Sobre esta ótica, dentre os projetos locais e regionais para região, encontra-se o Projeto EIBEX (Estudos Integrados de Bacias Experimentais – Parametrização Hidrológica na Gestão de Recursos Hídricos das Bacias da Região Serrana do Rio de Janeiro). Este projeto vem sendo desenvolvido com apoio do MCT/ FINEP/CT-HIDRO tendo como instituição executora a COPPE-UFRJ, além das instituições colaboradoras tais como, CPRM – Serviço Geológico do Brasil, IGEO – UFRJ e CATO-UERJ (FUNDAÇÃO COPPETEC, 2007) . O EIBEX tem como objetivo maior entender a dinâmica hidrológica da região, nas variadas escalas temporais e espaciais, sobre diferentes tipos de uso e ocupação do solo. Para tal, selecionou-se uma bacia representativa e três experimentais tendo como critério, o uso e ocupação predominante. Dentre as experimentais, uma é a bacia do Bonfim que, no projeto EIBEX, foi selecionada por apresentar diversas áreas com produção agrícola.

Neste viés, o presente trabalho tem como objetivo avaliar, de forma preliminar e pontual, o mecanismo de entrada e movimentação da água em um solo ao longo de uma vertente com cobertura florestal e ambiente agrícola (hortaliças) na bacia do Bonfim. Para isso, pretendeu-se mensurar a condutividade hidráulica saturada em campo nos dois ambientes e ainda identificar as principais propriedades físicas que influenciam no comportamento da movimentação da água ao longo do perfil do solo.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1. Área de estudo

A vertente escolhida para estudo apresentado está inserida na bacia hidrográfica do Bonfim, localizado na região serrana do Estado do Rio de Janeiro. Esta bacia integra umas das sub-bacias do Piabanha, rio este que corta o município de Petrópolis.

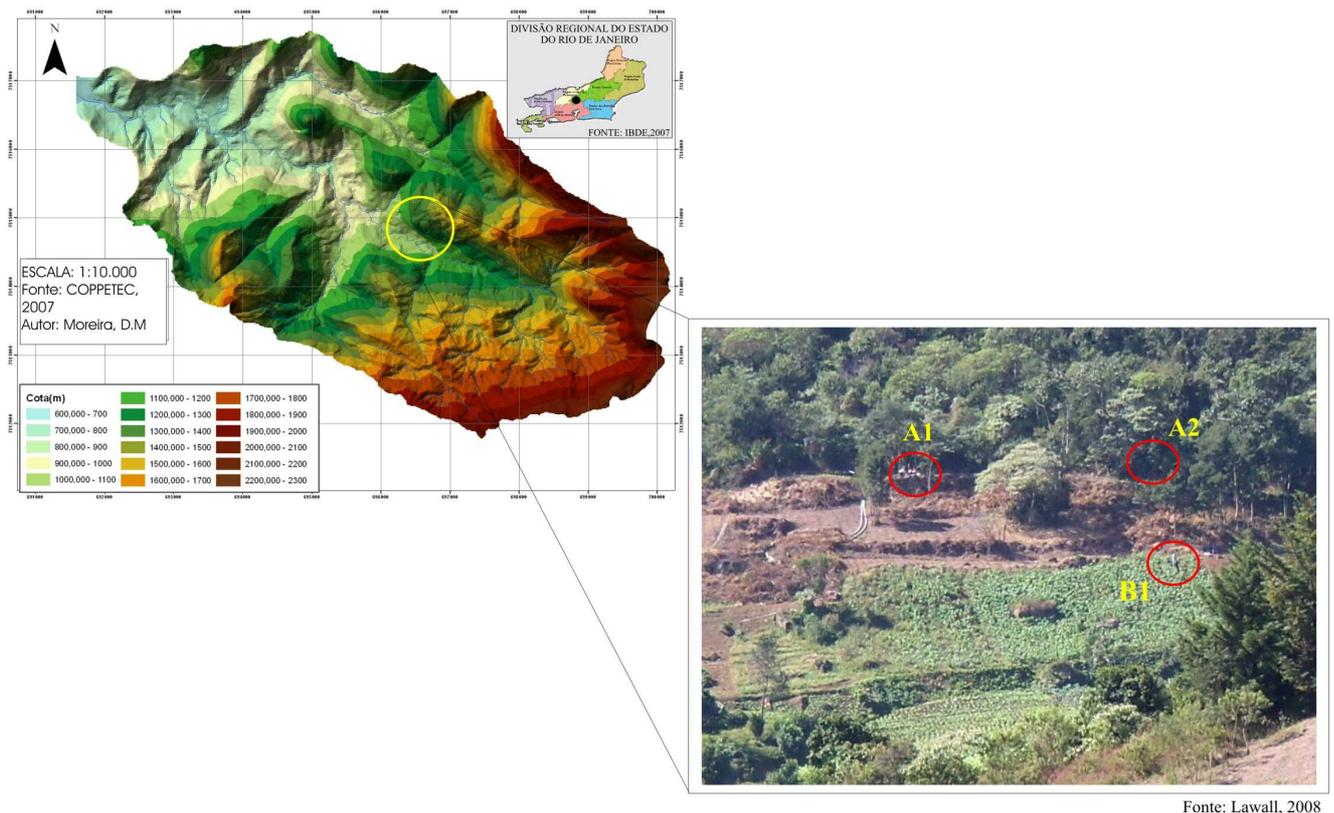


Figura 1: Área de estudo na bacia hidrográfica do Bonfim, RJ. A1 e A2 ensaios em ambientes florestados. B1 ensaios em ambiente agrícola (hortaliças).

Em relação às características ambientais avaliadas na Bacia do Bonfim segundo Goulart (1999), esta se caracteriza por um clima mesotérmico úmido, com chuvas intensas e temperaturas amenas. Os altos índices pluviométricos são encontrados próximos aos divisores de drenagem, sendo estes com média anual de 2000 mm, decrescendo abruptamente no seu terço médio para 1.300 mm podendo atingir 900 mm nos períodos de secas (entre os meses de abril a agosto).

Quanto à geologia local e especificamente na área selecionada, corresponde ao predomínio de rochas do tipo Gnaisses Granitóides da Série Serra dos Órgãos. Com topografia bastante acidentada, nota-se a presença de grandes maciços arredondados de rochas aflorantes bem fraturadas, matacões e depósitos de tálus distribuídos ao longo das vertentes e leitos fluviais como aponta Goulart (1999)

Em relação aos aspectos geomorfológicos e pedológicos típicos de regiões serranas, apresenta-se morfologia de zonas montanhosas escarpadas, de declividade acentuada com predomínio de vertentes convexas e retilíneas, como é o caso da localidade onde foram feitos ensaios de Ksat.

Seguindo a geologia e a geomorfologia local para Goulart (1999) nos solos da região predominam os de origem litólica que são mais rasos, seguido dos solos mais profundos e intermediários da classe dos Latossolos e Cambissolos, respectivamente.

2.2 Métodos

Para determinação da K_{sat} e análise preliminar do comportamento hidrológico dessa secção, utilizou-se como principal instrumento o Permeâmetro de Guelph Modificado (PGM). Possuidor de mesmo princípio físico do Permeâmetro de Guelph (PG) fabricado pela *Soilmoisture Equip*, o PGM, desenvolvido pelo Instituto Agrônomo de Campinas (IAC), possui algumas adaptações em sua estrutura e pontos positivos em sua utilização em campo. Esses pontos foram destacados por Vieira (2001) que, em sua dissertação de mestrado, utilizou tanto o PG quanto PGM. Este fato lhe permitiu elencar as vantagens e desvantagens de ambos com destaque para as abordagens de fácil manuseio e o menor custo do PGM em detrimento ao PG.

Este instrumento é um tipo de permeâmetro de carga constante que possibilita obter medições *in situ* da condutividade hidráulica de campo saturada, além de outras propriedades físicas como sorptividade e potencial mátrico. Em sua composição, tem-se uma garrafa de Mariotte para controlar o nível constante de água dentro do furo, um tubo de acrílico onde se insere a água e um tripé para sustentação. Na figura 2 observa-se o PGM (permeâmetro de Guelph Modificado) na área de estudo, ambiente florestado.



Figura 2: Permeâmetro de Guelph Modificado utilizado no campo.

O estudo da Ksat foi realizado em três pontos selecionados na vertente. Dois deles (A1 e A2) se localizam no terço superior onde foram feitos ensaios nas profundidades de 20 cm e 50 cm. O terceiro ponto (B1) localizado no terço médio, área submetida ao plantio de hortaliças (couve e alface) o onde também foram realizados ensaios nas profundidades anteriormente citadas. Na figura 3, tem-se um esboço dos pontos de observação de Ksat em campo.

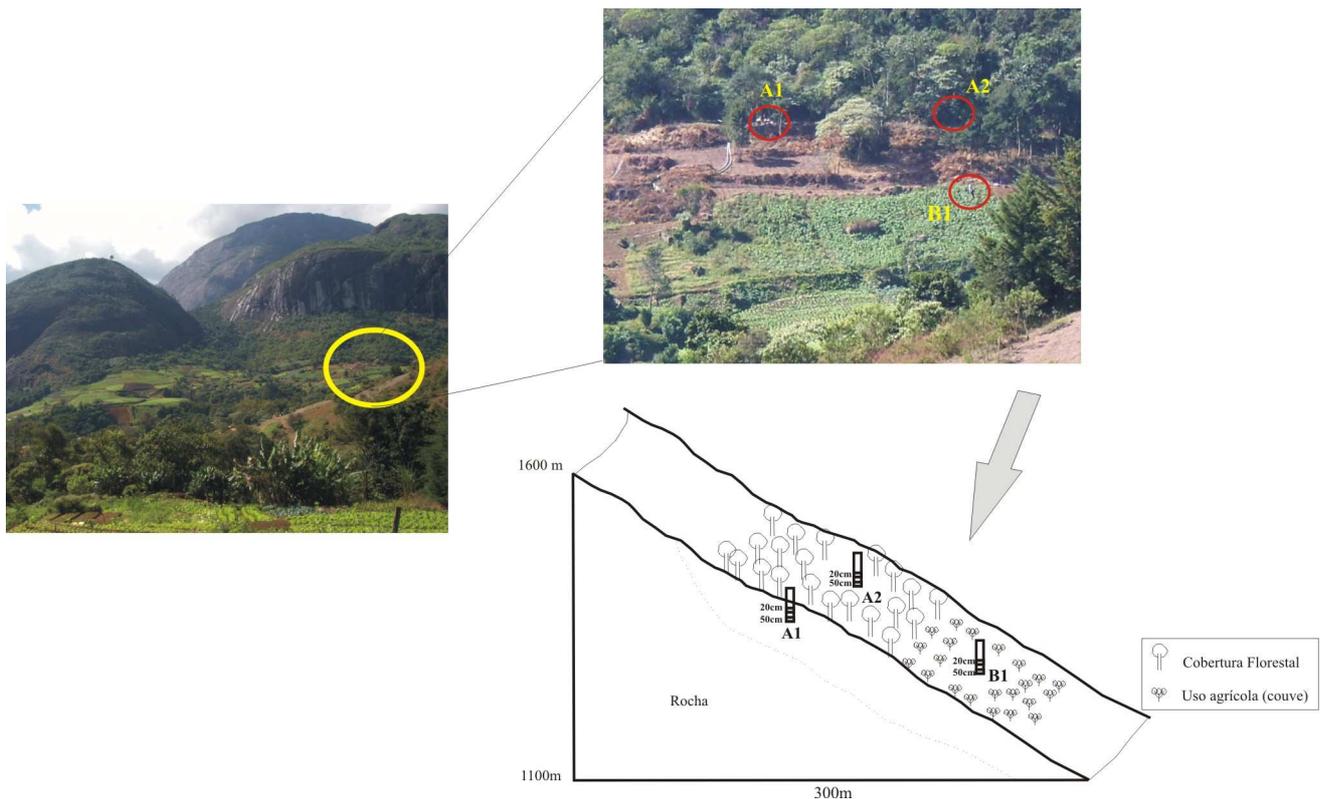


Figura 3: Esboço e fotografias dos pontos de ensaio de Ksat com Permeômetro de Guelph Modificado.

Em cada ponto de ensaio e profundidades mencionadas aplicou-se duas cargas constantes, uma de 5 cm e outra de 10 cm, permitindo assim, a observação do fluxo contínuo saturado em relação à um determinado tempo constante. Concomitantemente aos ensaios foram observadas e descritas algumas características morfológicas do solo dentre elas, a estrutura, macroporosidade, textura (frações grosseiras) com material extraído do orifício da tradagem para a mensuração de Ksat, seguindo a proposta de Lemos & Santos (1994).

Cabe ressaltar que para cada ponto de ensaio de Ksat serão coletadas amostras indeformadas para obtenção da porosidade total (macro e microporosidade) e densidade do solo que são extraídos conforme procedimento descrito pela EMBRAPA (1997) através da mesa de tensão.

Para a determinação quantitativa da Ksat empregou-se, primeiramente, o método das equações simultâneas proposto por Reynolds al (1985) conforme apresentado a seguir nas equações 1 e 2,

$$Q_1 = \left[\left(\frac{2\pi H_1^2}{C_1} \right) + \pi a^2 \right] K_{sat} + \left(\frac{2\pi H_1}{C_1} \right) \Phi_m \quad (1)$$

$$Q_2 = \left[\left(\frac{2\pi H_2^2}{C_2} \right) + \pi a^2 \right] K_{sat} + \left(\frac{2\pi H_2}{C_2} \right) \Phi_m \quad (2)$$

onde,

Ksat = Condutividade hidráulica saturada (cm/s)

Q = vazão constante (cm³/s)

H = Carga hidráulica aplicada (cm)

C = Constante de proporcionalidade adimensional

a = Raio do furo (cm)

Φm = Potencial Matricial (anulado com uso das equações simultâneas)

Segundo Reynolds & Elrick (1985) em função da heterogeneidade do meio poroso e à presença de grandes macroporos, o cálculo através dessas equações anteriormente mencionadas pode levar a valores irreais de Ksat (negativos), o que invalida o resultado final. A solução deste problema foi encontrada por Elrich *et al.* (1989) que propuseram a validação de uma carga e um valor para o parâmetro α . Parâmetro este que tem como base fundamental as características do meio poroso, em especial, a granulometria e estrutura do material. A seguir apresenta-se a equação 3 empregada para solucionar o problema dos valores irreais, como acontecido neste trabalho. Cabe destacar que, com a ocorrência dos valores irreais na pesquisa, foram calculados os valores de Ksat utilizando a carga hidráulica de 10 cm.

$$K_{sat} = \frac{CQ}{\left[2\pi H^2 + C\pi a^2 + \left(\frac{2\pi}{\alpha} \right) \right]} \quad (3)$$

Onde,

α = parâmetro de correção do meio poroso (cm/s)

3. Resultados Parciais e Discussões

Os resultados preliminares obtidos podem ser verificados na tabela 1 a seguir.

Tabela 1: Resultado preliminar dos ensaios de Ksat

| Ponto do ensaio | Cobertura e uso do solo | Profundidade (cm) | Ksat (10^{-6} cm/s) |
|-----------------|-------------------------|----------------------|---------------------------|
| A1 | Florestal | 20 cm | 5,0 |
| | | 50 cm | 0,21 |
| A2 | Florestal | 20 cm | 3,2 |
| | | 50 cm | sd* |
| B1 | Agrícola | 20 cm | 1,4 |
| | | 50 cm | 22,0 |

* sd: sem dados em função de problemas na estrutura física do instrumento

Pode-se observar através da geração dos dados preliminares que a Ksat é maior na profundidade de 20 cm em ambiente com cobertura florestal. No entanto, no ambiente agrícola observou-se inversão desse comportamento, ou seja, os maiores valores (aproximadamente 4 vezes maior) foram encontrados nas maiores profundidades. Nos ambientes florestados esses valores podem ser justificados pela intensa atividade biológica nos horizontes próximos a superfície. A presença de raízes associada à ação da microfauna no solo intensifica a formação de pequenos dutos que são bons condutores de água para dentro do perfil.

Outro dado importante está relacionado ao arranjo das partículas do solo em áreas com raízes onde há predominantemente estrutura do tipo granular que condicionam o fluxo tanto na vertical quanto na lateral.

Por outro lado, nos horizontes mais profundos, afastados da zona enraizada, a estrutura encontra-se essencialmente na forma de blocos angulados conduzindo em geral o fluxo no sentido vertical, ocasionando uma mudança na dinâmica pontual. Paralelamente, também se verificou, ainda que em campo, uma redução na fração granulométrica do solo. Observou-se maior presença de grãos finos (argila/silte) que associados aos dados de estrutura podem justificar a redução no valor da condutividade hidráulica (de 5,0 para $0,21 \times 10^{-6} \text{ cm s}^{-1}$).

Já na área agrícola, no horizonte mais superficial (20 cm) o Ksat encontra-se mais baixo em relação ao horizonte mais profundo (50 cm). Essa alteração em relação ao ambiente florestado pode ser compreendida pelo modo em que são realizadas as atividades agrícolas. Estas carecem de práticas conservacionistas que podem significar em mudanças na estrutura do solo, redução do tamanho dos poros e, por conseguinte, baixos valores de condutividade hidráulica. Este fator foi observado no campo uma vez que o cultivo é realizado em áreas de acentuada declividade e sem orientação quanto ao uso e manejo adequado, o que pode levar a compactação e perdas de solo por escoamento superficial.

4. Considerações Finais

Como se trata de um estudo preliminar, o resultado gerado proporcionou uma análise do comportamento hidrológico dos perfis mensurados. No entanto, é sabido que estes dados não são suficientes para se entender a dinâmica da vertente e da bacia, interesse da pesquisa como um todo.

Ressalta-se que estão em processo de execução novos ensaios de campo com número maior de repetições para cada uso e cobertura selecionada haja vista a heterogeneidade local. Em conjunto com ensaios de Ksat e visando melhores resultados, pretende-se monitorar, a umidade, direção dos fluxos nos perfis através do potencial matricial e a capacidade de infiltração.

Finalmente, este trabalho reforça o quão é complexo e de suma importância entender a dinâmica hidrológica em diferentes escalas espaciais e temporais a fim de planejar ambientes e conservar, sobretudo, esses dois recursos emblemáticos, solo e água.

AGRADECIMENTOS:

Agradecemos pelo incentivo e apoio ao CNPq e CPRM – Serviço Geológico do Brasil.

4- Referências Bibliográficas

BRADY, N.C.(1983). Natureza e propriedades dos solos. 6ª. ed. Rio de Janeiro: Freitas Bastos,.

ELRICH, D.E, REYNOLDS, W.D.& TAN, K.A. (1989) Hydraulic conductivity measurements in the unsaturated zone using improved well analyses. Ground Water Monitoring Review. 9:184-193

II Simpósio de Recursos Hídricos do Sul-Sudeste

EMBRAPA (1997). Manual de métodos de análises do solo. 2ª ed. EMBRAPA-CNPS, Rio de Janeiro.

FUNDAÇÃO COPPETEC. (2007) Relatório 1 do Projeto EIBEX (Estudos Integrados de Bacias Experimentais – Parametrização Hidrológica na Gestão de Recursos Hídricos das Bacias da Região Serrana do Rio de Janeiro). MCT/ FINEP/CT-HIDRO- Bacias Representativas: Rio de Janeiro.

GOULART, D.R. (1999) Diagnóstico de Susceptibilidade à Erosão dos Solos da Bacia Hidrografia de Bonfim – Correas Petrópolis/RJ. (Dissertação de Mestrado) PPGG/IGEO. UFRJ.

LEMONS, R.C. & SANTOS, R.D. (1994) Manual de descrição e coleta de solo no campo. 2 ed. Campinas: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo.

MESQUITA, M. G. B. F. & S. O. MORAES (2004). "A dependência entre a condutividade hidráulica saturada e os atributos físicos do solo." Ciência Rural **34**(3): 963-969.

NDIAYE, B. et al (2007) Effects of agricultural practices on hydraulic properties and water movement in soils in Brittany (France). Soil & Tillage Research. 93: 251-263.

REICHARDT, K. Água em sistemas agrícolas. São Paulo: Manole. 1987

REYNOLDS, W. D., D. E. ELRICK, et al. (1985). "The Constant Head Well Permeameter: Effect of Unsaturated Flow." Soil Science **139**(2): 172-181.

SILVA, S. R., Barros, N. F. e COSTA, L. M. (2006). Atributos físicos de dois Latossolos afetados pela compactação do solo. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande, v.10, n.4, p. 842-84.

Soil Moisture Equipment Corp. (1986) Guelph Permeameter 2800KI – Operating Instructions. (free.pdf. download www.soilmoisture.com)

SOUZA, L. S., PAIVA, A. Q., RIBEIRO, A. C., COSTA, L. M., e SANTANA, M. B. (1997). Porosidade e condutividade hidráulica saturada em solos dos tabuleiros costeiros. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 26, 1997, Rio de Janeiro, Anais... Rio de Janeiro: SBCS, 1997, CDrom.

VIEIRA, B.C. (2001). Caracterização *in situ* da condutividade hidráulica saturada dos solos e sua influência no condicionamento dos deslizamentos na bacia do rio Papagaio, maciço da Tijuca (RJ). (Dissertação de Mestrado) PPGG/IGEO. UFRJ.