

1

Introdução

1.1. Motivação e Objetivos

A obtenção dos parâmetros geotécnicos nem sempre é uma tarefa fácil, visto que a amostra ensaiada em laboratório nem sempre representa as condições de campo ou porque ensaios de campo são geralmente custosos e demorados. Em ensaios de campo, novas metodologias tendem a baratear e apressar os ensaios em ordens de grandeza significativas.

O presente trabalho apresenta uma campanha de ensaios de campo cujo objetivo foi determinar as propriedades hidráulicas de solos residuais e ajudar a formação de uma base de dados dos solos do Rio de Janeiro.

A técnica utilizada, EIM (Ensaio de Infiltração Monitorada), é promissora para a obtenção dos parâmetros da zona vadosa a baixos valores de sucção (próximos a saturação), que no clima tropical se torna a condição natural de ocorrência. Hoje em dia, com o avanço das soluções numéricas e seus programas de interface amistosa, é possível visualizar de forma precisa e simples problemas geotécnicos antes pouco compreendidos porque estudados apenas de forma intuitiva ou analítica. Pode-se, portanto, utilizar tais ferramentas para auxiliar na metodologia proposta no trabalho que faz uso do programa Hydrus 2D/3D com a finalidade de retroanalisar (problema inverso) os parâmetros hidráulicos não saturados a partir da curva de $\Psi(t)$ (sucção com o tempo), obtido em campo, em um problema axissimétrico de contorno conhecido com o uso de um permeâmetro de carga constante.

As soluções numéricas ou analíticas do problema de fluxo em solos não saturados são baseadas na solução da equação de Richards, que requer informações sobre as propriedades hidráulicas do solo, tais como a curva característica $\theta(h)$, a curva de condutividade hidráulica $K(h)$ e as condições de pressão ou umidade no solo. A obtenção destas propriedades pode ser feita em

campo ou em laboratório, com vantagens e desvantagens para cada metodologia empregada.

Os ensaios hidráulicos podem ser feitos em regime de fluxo permanente ou transiente, com o último tendo a vantagem do tempo de execução reduzido. Outra diversificação dos ensaios é a forma de obtenção dos parâmetros que pode ser direta ou inversa. A primeira exige que haja um grande controle do ensaio por parte do equipamento para que as leis de movimento e massa se cumpram, pois a equação de Richards é altamente não linear. A última assume que as leis se cumpriram a partir de observações feitas no domínio e então busca os parâmetros do modelo.

A modelagem do problema inverso com soluções numéricas traz a vantagem de não se prender às restrições das soluções analíticas. Apesar das vantagens da modelagem inversa, tem-se que o problema é mal posto, e caracteriza-se pela identificabilidade, unicidade e estabilidade da solução (Carrera e Neuman, 1986; Russo, *et al.* 1991; Yeh, 1986 *Apud* Kumar *et al.*, 2010).

Ressaltando a importância do estudo de solos não saturados, pode-se dizer que qualquer problema de fluxo em solos (meios porosos) que ocorra entre a atmosfera e o lençol freático incide na condição transiente (solução de Richards, 1931) e não saturada. A situação mais comum endereçada a esta área se manifesta através do ciclo hidrológico. A circulação de água pelo planeta, que mantém a vida, passa pelos estágios de precipitação, infiltração, *runoff* e evapotranspiração, gerando recarga e descarga dos aquíferos.

Outros problemas não menos importantes que ocorrem na zona não saturada são o cultivo de plantações e transporte de contaminantes.

Um grande problema associado ao Rio de Janeiro são os movimentos de massa, alguns deles catastróficos, como os ocorridos em 1966/67, 1988, 1996, 2011, sendo dos mais variados tipos, dentre eles, translacional raso, rotacionais ou grandes corridas de detritos. Este último foi intensamente estudado sobre o ponto de vista geológico, geomorfológico e geotécnico (Amaral *et al.*, 1996; Coelho, 1997; Macias *et al.*, 1997; Vieira *et al.*, 1997,1998; e outros; *Apud* Vieira, 2004).

Segundo Campos (1984), os escorregamentos em solos residuais (solos do estudo) são, em geral, superficiais e planares, sustentando a finalidade da obtenção dos parâmetros não saturados a profundidades rasas neste tipo de solo. No estudo feito por Amaral (1996), o autor constata uma frequência bem alta de

deslizamentos nesse estrato, cerca de 40% da totalidade dos movimentos, e que na grande maioria, apesar de serem locais e de pequeno volume, possuem consequências catastróficas quando no interior das favelas.

As chuvas (regime de infiltração), segundo Brand (1984) (*Apud* Au, 1998), são o maior agente deflagrador de escorregamentos, cujas causas são o acréscimo de poropressão devido ao fluxo subsuperficial (Vargas *et al.* 1986; Bruggers *et al.*, 1997; Lacerda *et al.*, 1997, *Apud* Vieira, 2004) e o decréscimo dos valores de sucção (Wolle e Hachich, 1989; Vargas *et al.*, 1990; Campos *et al.*, 1992, *Apud* Vieira 2004). Demonstra-se que, além dos problemas de fluxo, há uma consolidação da importância dos solos não saturados no que tange às tensões, que promove conforme esclarecem os trabalhos de Fredlund *et al.* (1978), Vanapalli *et al.* (1996).

Sustentando a iniciativa de obtenção e gerenciamentos de parâmetros hidráulicos, citam-se algumas bases de dados no âmbito da geotecnia/agronomia que foram criadas com o objetivo principal de entender, comparar e disponibilizar informações sobre os diversos tipos de solos. Na área dos solos brasileiros não saturados, pode-se citar os esforços de Silva (2005) com a BDNSat e Ferreira (2010) em solos residuais; já no exterior pode-se citar a base de dados da agricultura dos Estados Unidos, UNSODA.

Dos estudos criados a partir das bases de dados, existe a tentativa de se estabelecer correlações entre as propriedades básicas dos solos (ex: texturais) com diversas funções e no caso, com as propriedades hidráulicas (Wösten *et al.*, 2001; Schaap *et al.*, 1998; Tomasella & Hodnett, 1998).

Além dos diversos aspectos supracitados, se espera com este trabalho que a metodologia do EIM seja melhor compreendida, comparando-a com resultados de outros trabalhos, seja pelas funções de pedotransferência, por ensaios de campo (permeâmetro de Guelph), ou por ensaios de laboratório (papel filtro e permeabilidade saturada). Este trabalho também engloba os erros associados e incertezas do problema inverso (identificabilidade, unicidade, estabilidade e uso de outros algoritmos) a tentativa de simplificar o método (2D para 1D) a visualização do comportamento dos parâmetros obtidos em um perfil de infiltração 1D, assim como considerações quanto às hipóteses do ensaio (relações para fixar θ_s). Por fim, espera-se que os dados obtidos nesta pesquisa possam alicerçar futuras classificações de solos residuais (na região próxima a saturação),

assim como estudos comparativos perante outras metodologias que, no futuro, irão dizer com mais propriedade sobre a qualidade dos dados obtidos.

1.2.

Estrutura da Dissertação

Este trabalho está estruturado em 7 capítulos, incluindo esta introdução como capítulo 1, e as referências bibliográficas sendo o último capítulo.

No Capítulo 2 apresenta-se brevemente as parcelas da formulação do fluxo transiente (equação de Richards), E que inclui uma apresentação dos modelos de propriedades hidráulicas de solos não saturados (curva característica, ou retenção e a função de condutividade hidráulica).

É abordada também uma introdução sobre a formulação do problema inverso e suas peculiaridades (a descrição dos conceitos de função objetivo e alguns algoritmos de otimização).

No Capítulo 3. é feita uma revisão sobre os ensaios hidráulicos tradicionais (diretos) em solos não saturados, além de uma breve revisão sobre ensaios hidráulicos inversos de campo e laboratório.

No Capítulo 4. são apresentadas as metodologias e os equipamentos utilizados

No Capítulo 5 são apresentadas as localizações dos pontos e detalhes sobre a geologia local e sobre os solos residuais

No Capítulo 6 se encontram os resultados obtidos.

No Capítulo 7 são apresentadas as conclusões e sugestões para trabalhos futuros.

No Capítulo 8 é apresentada a bibliografia.