

XXVI SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HIDRÁULICOS

DINÂMICA DA ÁGUA EM ENCOSTAS: DO MONITORAMENTO DE CAMPO A ESTIMATIVA DOS PARÂMETROS HIDRÁULICOS DO PERFIL DE SOLO

Danúbia Teixeira Silva¹; Nelson Ferreira Fernandes²; Gean Paulo Michel³; Otto Corrêa Rotunno Filho⁴ & Franciele Zanandrea⁵

Palavras-Chave: Umidade do solo, Zona vadosa do solo, Propriedades hidráulicas do solo.

INTRODUÇÃO

Vários fatores ambientais afetam a distribuição da umidade em diferentes camadas do perfil de solo. Quando se trata de solos de encostas íngremes, diversos pesquisadores, como, por exemplo, Sidle e Ochiai (2006), Fusco *et al.* (2021), Baum *et al.* (2010) e Uchida *et al.* (2001), relatam a complexidade de caracterização do escoamento subsuperficial devido a diversos tipos de heterogeneidade no solo, incluindo pequenas variações texturais (como porosidade e tamanho de partículas), estratificação, descontinuidades estruturais, canais de raízes, macroporos e grandes contrastes nas suas propriedades. A infiltração e a distribuição da umidade em solos não saturados, caracterizadas pelo fluxo em meios porosos, podem ser representadas e analisadas por meio da equação de Richards. Neste estudo, propõe-se uma metodologia baseada em dados de campo para validar a simulação do processo de infiltração de forma a estimar propriedades hidráulicas do solo em encostas submetidas a eventos de precipitação.

ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo desta pesquisa compreende duas encostas naturais situadas no primeiro distrito do município de Petrópolis, estado do Rio de Janeiro, onde foram instaladas, pelo CEMADEN, Plataformas de Coleta de Dados Geotécnicas (PCDs) São Sebastião e Chácara Flora.

METODOLOGIA

Para este estudo, o modelo Hydrus-1D, desenvolvido por Šimůnek *et al.* (2012), foi utilizado para simular a variação da umidade do solo ao longo dos perfis das encostas da área de estudo. A estimativa dos parâmetros hidráulicos que representam o perfil de solo foi realizada incorporando os dados das variáveis precipitação e umidade volumétrica do solo, obtidos do monitoramento de campo a partir da RedeGeo, mantida pelo CEMADEN, por meio das PCDs São Sebastião e Chácara Flora.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os parâmetros hidráulicos calibrados para os perfis de solo das PCDs, refletem de forma clara a heterogeneidade vertical dos solos em ambas as áreas. Essa configuração pode ser atribuída à configuração das encostas analisadas, aliada à aplicação de chuvas simuladas na superfície do solo,

¹⁾ Doutoranda no Programa de Engenharia Civil (PEC) em Recursos Hídricos e Meio Ambiente, Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia - COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro, danubia.teixeira@ifal.edu.br.

²⁾ Professor do Departamento de Geografia, Instituto de Geociências – IGEO, Universidade Federal do Rio de Janeiro, nelsonnff@acd.ufrj.br.

³⁾ Professor do Instituto de Pesquisas Hidráulicas –IPH, UFRGS, gean.michel@ufrgs.br.

⁴⁾ Professor do Programa de Engenharia Civil, Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia – COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro, otto@coc.ufrj.br.

⁵⁾ Professora da Universidade Federal Fluminense – UFF, francielez@id.uff.br.

o que induz um avanço descendente da frente de umedecimento. Para a obtenção dos valores finais utilizados nas simulações de validação, foi realizada uma média dos parâmetros hidráulicos estimados individualmente para os eventos de calibração em cada profundidade. O resultado desse processo de calibração agregada são os valores apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 – Parâmetros hidráulicos calibrados para os perfis das PCDs São Sebastião e Chácara Flora

Parâmetros hidráulicos calibrados										
	PCD São Sebastião					PCD Chácara Flora				
	θ_r	θ_s	α	n	Ks (m/s)	θ_r	θ_s	α	n	Ks (m/s)
prof_0,5m	0,0336	0,2944	0,0020	1,4345	8,87E-06	0,04242	0,35199	0,00124	1,46003	7,82E-07
prof_1,0m	0,0225	0,3068	0,0012	1,2603	8,07E-07	0,02926	0,38498	0,00127	1,25303	4,76E-06
prof_1,5m	0,0118	0,3558	0,0010	1,6498	5,02E-07	0,04324	0,38849	0,00100	1,61175	5,91E-07
prof_2,0m	0,0442	0,4225	0,0010	1,1804	8,79E-07	0,02935	0,36213	0,00211	1,17848	4,74E-07
prof_2,5m	0,0497	0,4506	0,0006	1,1086	7,54E-06	0,04970	0,40363	0,00414	1,14250	2,01E-06
prof_3,0m	0,0120	0,4279	0,0004	1,1418	2,23E-06	0,04716	0,41298	0,00154	1,12807	6,30E-07

CONCLUSÕES

O monitoramento contínuo da umidade volumétrica em encostas, por meio de sensores FDR baseados em capacitors, tem proporcionado avanços na caracterização da dinâmica hídrica em ambientes naturais. A integração desses dados com modelos numéricos tem se mostrado eficaz na estimativa de parâmetros hidráulicos do solo, sobretudo quando associada ao conhecimento das condições iniciais de umidade, contribuindo para a maior acurácia de modelos transientes voltados à previsão de deslizamentos induzidos por chuva.

AGRADECIMENTOS

Inicialmente, os autores agradecem a bolsa de estudos concedida para a primeira autora fornecida pela CAPES. Agradecimentos são estendidos à FAPERJ, por meio do projeto FAPERJ – Pensa Rio – Edital 34/2014 (2014-2025) – E-26/010.002980/201, ao CNPq, por meio dos projetos CNPq Edital no 09/2023 – Processo 309073/2023, ao CNPq/BRICS Multilateral Projects - Processo 440014/2024-7, bem como pelo apoio da CAPES - Código de Financiamento 001 e Financiadora de Estudos e Projetos (REMADEN/REDEGEO Projeto—MCTI/FINEP/FNDCT 01.16.0068.00), e Conselho Nacional de Pesquisa e Desenvolvimento Tecnológico (Desenvolvimento do Sistema de Alerta Antecipado para Deslizamentos – SALAD Projeto, processo CNPq 446162/2023-0).

REFERÊNCIAS

- BAUM, R. L., GODT, J. W., SAVAGE, W. Z. "Estimating the timing and location of shallow rainfall-induced landslides using a model for transient, unsaturated infiltration", Journal of Geophysical Research: Earth Surface, v. 115, n. F3, p. F03013, 2010. DOI: 10.1029/2009JF001321.
- FERNANDES, N. F., GUIMARÃES, R. F., GOMES, R. A. T., *et al.* "Condicionantes-Geomorfológicos-dos-Deslizamentos-nas-Encostas", v. 2, 2001.
- FUSCO, F., MIRUS, B. B., BAUM, R. L., *et al.* "Incorporating the effects of complex soil layering and thickness local variability into distributed landslide susceptibility assessments", Water (Switzerland), v. 13, n. 5, 2021. DOI: 10.3390/w13050713.
- SIDLE, R.C.; OCHIAI, H. Landslides: Process, Prediction, and Land Use. American Geophysical Union. Washington, 2006.
- ŠIMŮNEK, J.; SEJNA, M.; VAN GENUCHTEN, M. Th. HYDRUS: Model Use, Calibration, and Validation. Transactions of the ASABE, v. 55, n. 4, p. 1261-1274, 2012. DOI: 10.13031/2013.42247.
- UCHIDA, T., KOSUGI, K. N. I., MIZUYAMA, T. "Effects of pipeflow on hydrological process and its relation to landslide: A review of pipeflow studies in forested headwater catchments", Hydrological Processes, v. 15, n. 11, p. 2151–2174, 2001. DOI: 10.1002/hyp.281.