



XVIII
SBGFA

SIMPÓSIO BRASILEIRO DE
GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA

GEOGRAFIA FÍSICA E AS MUDANÇAS GLOBAIS

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ • FORTALEZA - CE • 11 A 15 DE JUNHO DE 2019

RETROPARAMETRIZAÇÃO DO MODELO SHALSTAB PARA PREVISÃO DE ESCORREGAMENTOS

João Paulo de Carvalho Araújo^(a), Leonardo Sattler Cassará^(b), Renato Fontes
Guimarães^(c), Nelson Ferreira Fernandes^(d)

^(a) Departamento de Geografia, Universidade Federal do Rio de Janeiro,
jpaulo_geo@hotmail.com

^(b) Departamento de Geografia, Universidade Federal do Rio de Janeiro,
leocassara@igeo.ufrj.br

^(c) Departamento de Geografia, Universidade de Brasília, renatofg@unb.br

^(d) Departamento de Geografia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, nelsonff@acd.ufrj.br

Eixo: Geotecnologias e modelagem aplicada aos estudos ambientais

Resumo/

A modelagem determinística de previsão de escorregamentos translacionais demanda parâmetros geotécnicos do solo, muitas vezes difíceis de serem obtidos. Este trabalho apresenta uma rotina de retromodelagem automatizada para estimar valores dos parâmetros do solo no modelo SHALSTAB. A rotina foi implementada em MATLAB e inclui métodos automatizados de validação e ranqueamento dos resultados. Os procedimentos de modelagem foram aplicados nas bacias piloto do Quitite e Papagaio, na cidade do Rio de Janeiro, produzindo 17.010 resultados e 68.040 validações.

Palavras chave: Movimentos de massa, Retromodelagem, SHALSTAB

1. Introdução

Escorregamentos são fenômenos controlados por leis mecânicas e podem ser modelados empiricamente, estatisticamente ou por métodos determinísticos (GUZZETTI *et al.*, 1999). Modelos determinísticos, particularmente os modelos desenvolvidos sobre bases físicas, apresentam a vantagem de estarem respaldados pelas leis físicas que controlam a



XVIII
SBGFA

SIMPÓSIO BRASILEIRO DE
GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA

GEOGRAFIA FÍSICA E AS MUDANÇAS GLOBAIS

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ • FORTALEZA - CE • 11 A 15 DE JUNHO DE 2019

estabilidade das encostas e proporcionam, desta forma, uma melhor informação quantitativa (Safaei *et al.*, 2011).

O modelo SHALSTAB (*Shallow, Landslide Stability Model*) (MONTGOMERY e DIETRICH, 1994) é um dos modelos físicos de estabilidade mais utilizados mundialmente (FERNANDES, 2016; VIEIRA e MARTINS, 2016). O SHALSTAB combina um modelo hidrológico “*steady state*” com um modelo de estabilidade baseado na teoria do talude infinito e pode ser descrito pela equação 1.

$$\frac{q}{T} = \frac{b}{a} \cdot \sin \theta \left[\frac{\rho_s}{\rho_w} \cdot \left(1 - \frac{\tan \theta}{\tan \Phi} \right) + \frac{C'}{(\cos \theta^2) \cdot \tan \Phi \cdot \rho_w \cdot g \cdot z} \right] \quad \text{Eq. 1}$$

Onde: q [m/d] é a taxa de recarga uniforme; T [m²/d] é a transmissividade do solo; a [m²] é a área de contribuição a montante; b [m] é o comprimento de contorno; ρ_w [1000kg/m³] é a massa específica da água; ρ_s [kg/m³] é a massa específica do solo úmido; θ [graus] é o ângulo da encosta; Φ [graus] é o ângulo de atrito interno do solo; C [N/m²] é a coesão total; g [9,8m/s²] é a aceleração da gravidade; z [m] é a espessura do solo.

Os parâmetros distribuídos “ângulo de encosta θ ” e “área de contribuição a ” são facilmente obtidos do modelo digital do terreno (MDT). Entretanto, os parâmetros do solo “ ρ_s , z , C e Φ ” são obtidos através de trabalhos de campo e análises laboratoriais e, portanto, demandam tempo, esforço de pesquisa e investimentos financeiros.

Este trabalho apresenta uma rotina de retromodelagem automatizada, que combina listas dos intervalos dos parâmetros do solo no modelo SHALSTAB. A rotina inclui diferentes métodos automatizados de validação e ranqueamento dos resultados. O número de resultados possíveis é equivalente ao número de combinações proporcionadas pelas listas. A rotina de retromodelagem automatizada é adequada para as seguintes situações: i) ausência de dados de campo na área de estudo. Neste caso, os parâmetros do solo são obtidos por revisão bibliográfica; ii) em situações onde o pesquisador, de posse dos dados obtidos em campo e em laboratório, medidos em diferentes locais na área de estudo, deseje encontrar, dentro dos intervalos medidos, a combinação dos parâmetros do solo que melhor respondam aos cenários de instabilidade.



XVIII
SBGFA

SIMPÓSIO BRASILEIRO DE
GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA

GEOGRAFIA FÍSICA E AS MUDANÇAS GLOBAIS

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ • FORTALEZA - CE • 11 A 15 DE JUNHO DE 2019

2. Área de Estudo

Foram selecionadas duas bacias piloto, denominadas bacias dos rios Quitite e Papagaio (5,4 km²), localizadas na cidade do Rio de Janeiro, na parte oeste do Maciço da Tijuca. Em fevereiro de 1996, a área de estudo foi atingida por chuvas de 380mm, em menos de 24h, que deflagraram centenas de escorregamentos translacionais (GEORIO, 1996).

Dentre os muitos trabalhos realizados na área de estudo, (GUIMARÃES *et al.*, 2003) combinaram dos parâmetros ϕ , ρ_s e C'/z (125 combinações) a fim de obter o melhor resultado no modelo SHALSTAB. A melhor combinação foi: $\phi = 45^\circ$; $\rho_s = 1.500 \text{ kg/m}^3$; e $C'/z = 2 \text{ kPa/m}$.

3. Materiais e Métodos

3.1 Pré Processamento

Um modelo digital do terreno (MDT) pré-rutpura foi produzido a partir de uma base de dados LIDAR (*Ligh Detection And Ranging*) (2m), adquirida pela Fundação Instituto de Geotécnica “Geo-Rio”, amplamente discutida por (Barbosa, 2015). O ângulo da encosta e a área de contribuição foram calculados pelo *software* livre SAGA (Conrad *et al.*, 2015). A área de contribuição foi calculada pelo algoritmo de fluxo múltiplo (QUINN *et al.*, 1991). Para mais detalhes sobre o MDT pré ruptura, consultar (Araújo, Cassrá, *et al.*, *in prep.-a*).

3.2 Implementação do Modelo SHALSTAB

O modelo SHALSTAB (Eq. 1) foi implementado em MATLAB (*MATrix LABoratory*). Os parâmetros do solo utilizados nas listas de intervalos, nas múltiplas modelagens, foram obtidos em locais com características físicas/ambientais semelhantes à área de estudo, ou na própria área de estudo (COSTA Nunes, 1969; DE PLOEY, 1979; DE CAMPOS, 1992; DE CAMPOS *et al.*, 1997; GOMES *et al.*, 2016; SEEFELDER *et al.*, 2017; ARAÚJO, *et al.*, *in prep.*): ($\phi = 25^\circ, 27.5^\circ, 30^\circ, 32.5^\circ, 35^\circ, 37.5^\circ, 40^\circ, 42.5^\circ$ e 45° ; $\rho_s = 1.000, 1.200, 1.400, 1.600, 1.800, 2.000, 2.200, 2.400$ e 2.600 kg/m^3 ; $C' = 0, 1, 2, 4, 6, 8, 10, 12, 14, 16, 18, 20$,



XVIII
SBGFA

SIMPÓSIO BRASILEIRO DE
GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA

GEOGRAFIA FÍSICA E AS MUDANÇAS GLOBAIS

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ • FORTALEZA - CE • 11 A 15 DE JUNHO DE 2019

22, 24 kN/m², onde C' é a coesão efetiva; $z = 0, 0.5, 1, 1.5, 2, 2.5, 3, 3.5, 4, 5, 7, 9, 11, 13, 15$ m).

3.3 Validação dos Resultados

Os mapas de susceptibilidade gerados pela rotina de múltiplas modelagens foram validados e ranqueados automaticamente. O método de validação utilizado foi o Índice de Ajuste (I.A) entre o mapa de cicatrizes e as áreas mais instáveis de cada modelo de susceptibilidade (GUIMARÃES *et al.*, 2003), de acordo com a equação 2.

$$I.A = PMC/PC \quad \text{Eq. 2}$$

Onde, PMC é o número de *pixels* instáveis do modelo localizados nas cicatrizes e PC é o número total de *pixels* nas cicatrizes.

O I.A utiliza apenas uma parte dos dados em cada teste, a saber 5%, 10%, 20% e 30% dos *pixels* mais instáveis (maiores valores de $\text{Log } q/T$) de cada mapa de susceptibilidade produzido. O ranking final é obtido por uma média aritmética das colocações de cada mapa das diferentes faixas percentuais. Para mais informações as etapas da modelagem, consultar (CASSARÁ *et al.*, 2019; ARAÚJO *et al.*, *in prep.-b*).

4. Resultados e Discussões dos Resultados

A rotina automatizada de múltiplas modelagens produziu 17.010 combinações entre os parâmetros do solo e realizou 68.040 validações pelo método de I.A. O melhor resultado foi obtido pelas combinações entre os parâmetros $\phi 25^\circ$, $\rho_s 1.200 \text{ kg/m}^3$, $C' 18 \text{ kN/m}^2$ e $z 11\text{m}$.

Os resultados apresentados diferem daqueles obtidos por Guimarães *et al.* (2003) pelas seguintes razões metodológicas: i) os autores supracitados utilizaram um MDE 1:10.000 produzido por técnica de restituição aerofotogramétrica; ii) as técnicas de mapeamento de cicatrizes diferem daquelas utilizadas neste trabalho; iii) este trabalho utiliza rotinas automatizadas e, portanto, realizou maior número de combinações entre os parâmetros do solo.



XVIII
SBGFA

SIMPÓSIO BRASILEIRO DE
GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA

GEOGRAFIA FÍSICA E AS MUDANÇAS GLOBAIS

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ • FORTALEZA - CE • 11 A 15 DE JUNHO DE 2019

5. Conclusões

Não raro, na modelagem física de estabilidade, há a necessidade de testar diferentes cenários para escolher o mais adequado ao mundo real (validação utilizando as cicatrizes). Este trabalho apresenta soluções automatizadas para produzir diferentes cenários de susceptibilidade a escorregamentos, utilizando listas dos parâmetros do solo. Entretanto, os parâmetros do solo apresentados nesse trabalho (melhor combinação) ainda precisam ser validados em campo e em laboratório.

6. Bibliografia

ARAÚJO, J. P. C. et al. Comparação entre modelos digitais de terreno pré-ruptura e pós-ruptura na análise da estabilidade de encostas utilizando um modelo determinístico. *in prep.-a.*

_____. Parametrização automática das propriedades do solo de um modelo determinístico para previsão de escorregamentos translacionais: estudo de caso das bacias do Quitite e Papagaio na cidade do Rio de Janeiro., *in prep.-b.*

ARAÚJO, J. P. C.; GOMES, G. J. C.; FERNANDES, N. F. Levantamento em campo da espessura do regolito e discretização em laboratório do saprolito e do solo pedogenético nas bacias do Quitite e Papagaio, na cidade do Rio de Janeiro. *in prep.*

BARBOSA, L. S. **Avaliação de Modelos Digitais do Terreno por escaneamento a laser (LIDAR) no Maciço da Tijuca, RJ.** 2015. 107 Mestrado (Mestrado). Programa de Pós-Graduação em Geografia, UFRJ, Rio de Janeiro.

CASSARÁ, L. S.; ARAÚJO, J. P. D. C.; FERNANDES, N. F. **Construção de uma rotina automatizado de previsão e validação de escorregamentos: aplicação do modelo SHALSTAB - in press.** XVIII Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada (SBGFA). Fortaleza, CE: 5 p. 2019.

CONRAD, O. et al. System for Automated Geoscientific Analyses (SAGA) v. 2.1.4. **Geosci. Model Dev.**, v. 8, n. 7, p. 1991-2007, 2015. ISSN 1991-9603.

COSTA NUNES, A. J. Landslides in soils of decomposed rock due to intense rainstorms., 7th Int. Confer. on Soil Mech. and Found. Eng., 1969, Mexico. p.547-554.



XVIII
SBGFA

SIMPÓSIO BRASILEIRO DE
GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA

GEOGRAFIA FÍSICA E AS MUDANÇAS GLOBAIS

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ • FORTALEZA - CE • 11 A 15 DE JUNHO DE 2019

DE CAMPOS, T. M. P., ANDRADE, M.H.N. E VARGAS JR., E.A. Unsaturated Colluvium Over Rock Slide in a Forested Site in Rio de Janeiro. 6th International Symposium on Landslides, 1992, Christchurch. p.1357-1364.

DE CAMPOS, T. M. P. et al. **Instabilization factors of the residual soil slope in Nova Friburgo. II PSL COBRAE: Conferência Brasileira sobre Estabilidade de Encostas.** Rio de Janeiro (BR). 2: 967-975 p. 1997.

DE PLOEY, J., AND CRUZ, O. **Landslides in the Serra do Mar, Brazil.** Catena. 6: 111-122 p. 1979.

FERNANDES, N. F. Modelagem em Geografia Física: Teoria, Potencialidades e Desafios. **Espaço Aberto**, v. 6, n. 1, p. 209-247, 2016. ISSN 2237-3071.

GEORIO. **Estudos geológico-geotécnicos a montante dos condomínios capim melado e vilarejo, Jacarepaguá.** Fundação Instituto de Geotécnica -GEORIO. Órgão da Secretaria Municipal de Obras da cidade do Rio de Janeiro -RJ. 1996

GOMES, G. J. C. et al. **In-situ regolith depth measurements by DPL tests.** XVIII Brazilian Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering. The Sustainable Future of Brazil goes through our Minas. COBRAMSEG 2016. Belo Horizonte, MG. 2016.

GUIMARÃES, R. F. et al. Parameterization of soil properties for a model of topographic controls on shallow landsliding: Application to Rio de Janeiro. **Engineering Geology**, v. 69, n. 1-2, p. 98-108, 2003.

GUZZETTI, F. et al. Landslide Hazard Evaluation: A Review of Current Techniques and their Application in a Multi-Scale Study, Central Italy. **Geomorphology**, v. 31, p. 181-216, 1999.

MONTGOMERY, D. R.; DIETRICH, W. E. A physically based model for the topographic control on shallow landsliding. **Water Resources Research**, v. 30, n. 4, p. 1153-1171, 1994.

QUINN, P. et al. The prediction of hillslope paths for distributed hydrological modeling using digital terrain models. **Hydrological Processes**, v. 5, p. 59-79, 1991.

SAFAEI, M. et al. Deterministic Rainfall Induced Landslide Approaches, Advantage and Limitation **EJGR**, v. 16, p. 1619-1650, 2011.



XVIII
SBGFA

SIMPÓSIO BRASILEIRO DE
GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA

GEOGRAFIA FÍSICA E AS MUDANÇAS GLOBAIS

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ • FORTALEZA - CE • 11 A 15 DE JUNHO DE 2019

SEEFELDER, C. L. N.; KOIDE, S.; MERGILI, M. Does parameterization influence the performance of slope stability model results? A case study in Rio de Janeiro, Brazil. **Landslides**, v. 14, n. 4, p. 1389-1401, August 01 2017. ISSN 1612-5118.

VIEIRA, B. C.; MARTINS, T. D. Modelos em geografia física: conceitos e aplicações na previsão de escorregamentos. **GEOUSP: Espaço e Tempo (Online)**, v. 20, n. 1, p. 194-206, 2016. ISSN 2179-0892.