



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

## **CONSTRUÇÃO DE UMA ROTINA AUTOMATIZADA DE PREVISÃO E VALIDAÇÃO DE ESCORREGAMENTOS TRANSLACIONAIS: APLICAÇÃO DO MODELO SHALSTAB**

Leonardo Sattler Cassará<sup>(a)</sup>, João Paulo C. Araújo<sup>(b)</sup>, Nelson Ferreira  
Fernandes<sup>(c)</sup>

<sup>(a)</sup> Departamento de Geografia/IGEO, Universidade Federal do Rio de Janeiro,  
leocassara@igeo.ufrj.br

<sup>(b)</sup> Departamento de Geografia/IGEO, Universidade Federal do Rio de Janeiro,  
jpaulo\_igeo@hotmail.com

<sup>(c)</sup> Departamento de Geografia/IGEO, Universidade Federal do Rio de Janeiro,  
nelsonff@acd.ufrj.br

**Eixo: Geotecnologias e modelagem aplicada aos estudos ambientais**

### **Resumo/**

Um dos problemas inerentes ao uso de modelos determinísticos de previsão de escorregamentos é a parametrização das propriedades do solo. Dada uma área, a correta consideração de aspectos geotécnicos, hidrológicos e topográficos é de extrema importância para a identificação dos locais susceptíveis a escorregamento. Esse trabalho apresenta uma rotina automatizada de múltiplas modelagens, validação e ranqueamento dos resultados do modelo SHALSTAB. A rotina combina valores dos parâmetros do solo para produzir os cenários que melhor respondam às condições de instabilidade da área considerada. Testes preliminares indicam que a ferramenta satisfatoriamente analisa o sistema físico, gerando mapas de classificação consistentes para áreas estáveis e instáveis. Ademais, benchmarks com dados de campo são necessários para explorar ainda mais a validade do algoritmo.

**Palavras chave:** Escorregamentos, Parametrização do Solo, SHALSTAB, Matlab



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

## 1. Introdução

O SHALSTAB (*Shallow Landsliding Stability Model*) (MONTGOMERY e DIETRICH, 1994) é um modelo de previsão de escorregamentos translacionais, amplamente discutido pela literatura, que integra um modelo de estabilidade baseado na teoria do talude infinito e um modelo hidrológico *steady state*. Baseando-se nele, a equação que fornece o valor crítico necessário para instabilizar uma encosta, dada pela razão entre o fluxo de água  $q$  (em m/dia) no solo e sua transmissividade  $T$  (em m<sup>2</sup>/dia), sob fluxo constante de chuva, é da forma

$$\frac{q}{T} = \left(\frac{b}{a}\right) \sin \theta \left[ \frac{c}{\rho_w g z \cos^2 \theta \tan \varphi} + \frac{\rho_s}{\rho_w} \left(1 - \frac{\tan \theta}{\tan \varphi}\right) \right],$$

onde  $a$  representa a área de contribuição à montante (em m<sup>2</sup>),  $b$  é o comprimento do contorno na base do pixel considerado (em m),  $\theta$  é declividade e  $\varphi$  o ângulo de atrito interno do solo, ambos em graus,  $c$  é coesão do solo (em Pa),  $\rho_w$  a densidade da água e  $\rho_s$  a do solo, ambos em kg/m<sup>3</sup>,  $g$  aceleração da gravidade (em m/s<sup>2</sup>), e  $z$  a espessura do solo (em m). O resultado pode ser interpretado via classes de susceptibilidade a partir do  $\log(q/T)$ .

O objetivo deste trabalho é apresentar o algoritmo que resolve a equação supracitada realizando combinação de diversos valores para os parâmetros do solo. O mapa de susceptibilidade gerado a partir da razão  $q/T$  é validado via diferentes métodos, com atenção global para a correspondência entre áreas classificadas como instáveis e áreas de ocorrência de cicatrizes. O programa é modular e altamente otimizado, admite inputs no formato de lista de valores ou *grid* e possui salvamento automático do estado das simulações para retomada em caso de interrupção. Detalhes do algoritmo, métodos de validação utilizados e resultados preliminares são apresentados nas seções a seguir.

## 2. Área de Estudo

Foram selecionadas duas bacias piloto, denominadas bacias dos rios Quitite e Papagaio (5,4 km<sup>2</sup>), localizadas na cidade do Rio de Janeiro, na parte oeste do Maciço da



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

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).

### 3. Materiais e Métodos

O programa, desenvolvido em Matlab (*MATrix LABORatory*) tem atualmente mais de duas mil linhas de código. Ele trabalha com dois inputs básicos da área de estudo, que são os mapas de **área de contribuição** e **declividade** da bacia, e quatro parâmetros discretos a serem testados para a área, que são o ângulo de atrito interno  $\phi$  (em graus), densidade do solo  $\rho_s$  (em  $\text{kg/m}^3$ ), coesão do solo  $c$  (em Pa) e espessura do solo  $z$  (em metros). Os parâmetros discretos também podem ser adicionado como distribuídos, via arquivo .tif.

Para um *run* que teste 2 valores para cada um dos 4 parâmetros discretos do solo, o código realizará  $2 \times 2 \times 2 \times 2 = 16$  simulações distintas. Caso um dos inputs seja um grid de valores distribuídos ao longo da bacia, por exemplo um mapa .tif de espessura do solo, o número de combinações será reduzido para  $2 \times 2 \times 2 \times 1 = 8$ . O trabalho computacional, portanto, depende do número e tamanho das listas, ou seja, quantidade de combinações a serem testadas.

Após as simulações de todas as combinações possíveis, uma pontuação é atribuída para cada combinação dada sua performance nas diferentes validações, e um ranking é gerado. Para tanto, o algoritmo utiliza dois métodos de validação: índice de ajuste ou I.A. (GUIMARÃES et al., 2003) e área abaixo da curva ou integral (DIETRICH et al., 1998). Ao final, é gerado um ranking com a performance individual das combinações em cada método (I.A. e integral) e também um ranking geral, com a média das performances em cada método de validação. Plots são automaticamente gerados para as combinações do topo dos rankings.

### 3. Resultados e Discussões

Foi produzido um teste com os seguintes parâmetros:  $\phi = [25 \ 30 \ 35 \ 40 \ 45]$ ,  $\rho_s = [1000 \ 1500 \ 2500]$ ,  $c = [0 \ 5000 \ 10000 \ 20000]$  e  $z = [0.1 \ 5 \ 10 \ 20]$ , totalizando 240 combinações de parâmetros. O teste foi concluído em menos de 1 hora. A Figura 1 é o mapa



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

gerado pela combinação de parâmetros que alcançou melhor ranqueamento geral, configurando o 1° no ranking das integrais e 3° para I.A., resultando no primeiro lugar com uma média global de posição  $(1 + 1 + 3)/3 = 1.6667$ .

Os resultados da ferramenta são  $\phi = 25^\circ$ ,  $\rho_s = 1500 \text{ kg/m}^3$ ,  $c = 10^4 \text{ Pa}$  e  $z = 5 \text{ m}$ . O mapa gerado indica considerável correspondência entre áreas classificadas como instáveis e áreas de ocorrência de escorregamento. De fato, 84.62% de pixels de cicatrizes pertencem às três classes mais instáveis. Mais que isso, 55.89% desses pixels pertencem somente à classe incondicionalmente instável (ver mapa de cicatrizes, Figura 1).

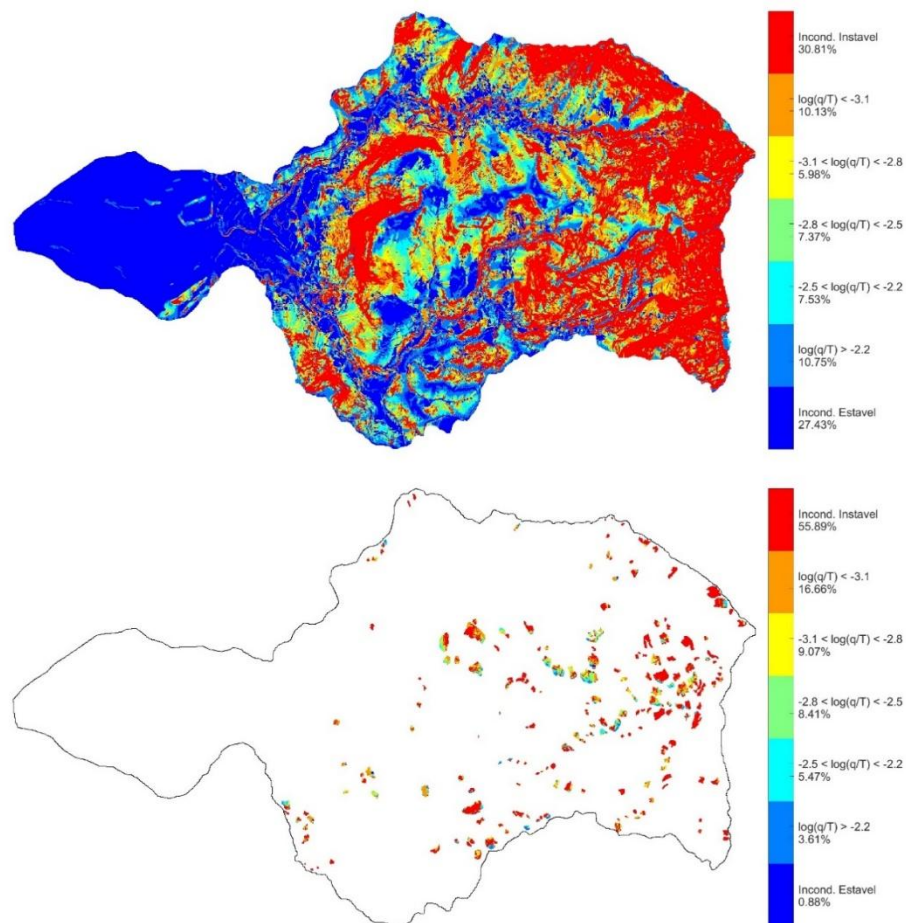


Figura 1 - Resultado de simulação para  $\phi = 25^\circ$ ,  $\rho_s = 1500 \text{ kg/m}^3$ ,  $c = 10^4 \text{ Pa}$  e  $z = 5 \text{ m}$ . Acima, mapa de susceptibilidade da bacia; abaixo, das cicatrizes. As classes são representadas via  $\log(q/T)$ . Ao lado, a barra de cor exhibe a porcentagem de pixels pertencentes a cada classe.





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

#### 4. Considerações Finais

Além da importante característica modular do código, permitindo diferentes inputs simultâneos, e seu curto tempo de processamento mesmo para grandes combinações, testes preliminares mostram que a ferramenta é capaz de corretamente classificar áreas com ocorrência de escorregamento como instáveis. Sua performance nas demais áreas da bacia também foi satisfatória, visto que não se observa um viés de classificação de área de risco para o mapa como um todo (45.71% da bacia foi classificada como área estável contra 46.92% de área instável, com 7.37% dela pertencendo à classe intermediária, representada pela cor verde-clara).

Constatada a capacidade da rotina desenvolvida, mais testes se fazem necessários, a fim de explorar sua aplicabilidade para diferentes locais, testando sua validade em áreas com extenso mapeamento e maior disponibilidade de dados geotécnicos. Estudos para validação direta com dados de campo estão em andamento. Após benchmarks mais rígidos, o objetivo final será a disponibilização da ferramenta para a comunidade científica.

#### 3. Referências Bibliográficas

DIETRICH, William E. et al. A validation study of the shallow slope stability model, SHALSTAB, in forested lands of Northern California. **Stillwater Ecosystem, Watershed & Riverine Sciences. Berkeley, CA, 1998.**

FUNDAÇÃO GEORIO. Estudos geológicos geotécnicos a montante dos condomínios Capim Melado e Vilarejo, Jacarepaguá. **Relatório Técnico, 1996.**

GUIMARÃES, Renato Fontes 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. 99-108, 2003.

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