

## IDENTIFICAÇÃO DE ÁREAS PROPENSAS A ESCORREGAMENTOS TRANSLACIONAIS NAS BACIAS DO TABOÃO E MATADOR, RIO DO SUL-SC

*Leonardo Rodolfo Paul<sup>1</sup>; Heron Schwarz<sup>2</sup>; Gean Paulo Michel<sup>3</sup>*

**ABSTRACT** – Rio do Sul municipality, in Santa Catarina state - Brazil, hosts frequent and intense rainfall events, resulting in the recurrence of extreme events, as floods and landslides. Although both disasters account for economic and human loss, hydrologic driven landslides are underassessed in the region. Therefore, several studies took place in investigating the effects of rainfall in slope stability. On that basis, slope stability models combining hydrologic, pedologic and morphometric parameters emerged, not only to assess slope stability but also predict susceptibility areas. Recent studies have shown better and more consistent results when applying TRIGRS (Transient Rainfall Infiltration and Grid-Based Regional Slope Stability) model in comparison to traditional slope stability models. TRIGRS is a distributed model for shallow translational landslide susceptibility studies, which calculates the factor of safety for each pixel of a digital elevation model. The present study aimed to assess slope stability of Taboão e Matador rivers catchments, in Rio do Sul, with the application of TRIGRS model. The rainfall series used on simulations correspond to the extreme events occurred in September 8 and 9 of 2011. The model's efficiency was evaluated through the rate between Success Index (Índice de Acerto - IA) and Error Index (Índice de Erro - IE). The simulation with the most satisfactory result had an initial water table depth of 105 cm, resulting in an IA/IE index rate of 6.62. The result indicates that rainfall data used on the simulations had good correspondence with the September 2011 landslide triggering events, being the main cause to landslide deflagration in that event.

**Palavras-Chave** – Estabilidade de encostas, Escorregamentos, Modelagem matemática.

### 1 - INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas o Brasil passou por um processo intenso de urbanização e crescimento populacional, transformando-se de um país tipicamente rural para urbano. Junto ao crescimento populacional, Kobiyama *et al.* (2010) percebeu um aumento na ocorrência de desastres naturais. A formação de grandes centros urbanos, a ocupação desordenada e as alterações físicas do ambiente, são fatores que potencializam o risco de desastre a que as comunidades estão expostas.

O município de Rio do Sul seguiu uma tendência de colonização comum no estado de Santa Catarina, onde inicialmente as residências eram edificadas próximas aos rios. Consequentemente, a população enfrentou inundações durante eventos de precipitação intensa. Por conta disso, as

1) IPH/UFRGS, Porto Alegre, RS, leonardorpaul@gmail.com, (47) 98881 6320

2) IPH/UFRGS, Porto Alegre, RS, heron.schwarz@ufrgs.br, (47) 98886 6938

3) IPH/UFRGS, Porto Alegre, RS, gean.michel@ufrgs.br, (51) 3308 6414

encostas começaram a ser ocupadas e parte da população tornou-se vulnerável aos movimentos de massa. Entretanto, diferentemente de uma inundação, que neste local costuma ser um progresso gradual, os escorregamentos de terra, especialmente os do tipo translacional raso, podem ocorrer de forma súbita, evoluir para um fluxo de detritos e afetar severamente a comunidade. Além disso, a recuperação dos estragos provenientes de desastres relacionados a sedimentos costuma ser mais difícil se comparado a inundações (KOBAYAMA *et al.*, 2010).

Por conta da magnitude dos danos que os movimentos de massa podem causar, a identificação de áreas propensas a escorregamentos vêm sendo alvo de estudos. A modelagem matemática em base física é uma das formas de avaliar a estabilidade das encostas considerando os efeitos hidrológicos na deflagração de escorregamentos. Com a evolução das ferramentas computacionais e do ambiente de Sistema de Informações Geográficas, esse tipo de análise ganhou força e espaço. Um dos modelos existentes é o *Transient Rainfall Infiltration and Grid-Based Regional Slope-Stability Model (TRIGRS)*, aplicado em diversas pesquisas (SALCIARINI e CONVERSINI, 2007; MICHEL, 2015, SCHWARZ e MICHEL, 2017; VIEIRA *et al.*, 2018).

O município de Rio do Sul não possui estudos de suscetibilidade a escorregamentos que considerem os efeitos hidrológicos. Dessa maneira, o trabalho busca identificar as áreas propensas a escorregamentos translacionais rasos nas bacias Taboão e Matador em Rio do Sul com a aplicação do TRIGRS, considerando as chuvas ocorridas nos dias 8 e 9 de setembro de 2011.

## 2 - METODOLOGIA

### 2.1 - Área de Estudo

O município de Rio do Sul está situado na mesorregião do Vale do Itajaí, em Santa Catarina, com bioma característico da Mata Atlântica. Possui clima temperado, mesotérmico brando e superúmido, com temperaturas médias de 10 a 15°C. A população segundo o Censo Demográfico de 2010 (IBGE, 2011) é de 61.198 habitantes. O município é berço do Rio Itajaí-Açu, formado pela confluência do Rio Itajaí do Oeste e Rio Itajaí do Sul. Está a uma altitude média de 340 m acima do nível do mar e possui pico de 824 metros na Serra Mirador. O ambiente urbano do município concentra-se nas partes mais baixas, próxima aos rios, entretanto diversas áreas residenciais estão localizadas em encostas e possuem tendência de expansão.

As bacias do Taboão e Matador são adjacentes e encontram-se na região sudeste de Rio do Sul. Juntas, possuem área de 54,8 km<sup>2</sup>, com ocupação tipicamente rural ao sul e urbana ao norte. Entre agosto e setembro de 2011, a região passou por um período de chuvas intensas. O pico de precipitação ocorreu no dia 9 de setembro, com 86 mm registrados, precedido por um evento de 70 mm no dia anterior. A sequência de precipitações intensas provocou diversos movimentos de massa nessas bacias.

## 2.2 - Inventário de Cicatrizes, Unidades Geotécnicas e Pontos de Amostragem

Para fins de calibração do modelo, constitui-se um inventário de cicatrizes de escorregamento por meio da inspeção visual de ortofotos de 29 de setembro de 2011, disponíveis no *software* Google Earth. A área de cada cicatriz foi delimitada com o uso do *ArcGis* 10.4.1.

Para a determinação dos pontos de amostragem, foram definidas unidades geotécnicas (UG). As UGs resultaram do cruzamento entre os mapas de solo (EMBRAPA, 2004) e de geodiversidade (CPRM, 2010), com escalas de 1:250.000 e 1:1.000.000, respectivamente. Logo, foram consideradas as diferentes combinações entre tipos de rocha e tipos de solo que constituem as bacias, gerando 4 UGs diferentes (Figura 1). Assume-se, portanto, que as áreas de uma mesma UG terão comportamento e características semelhantes.

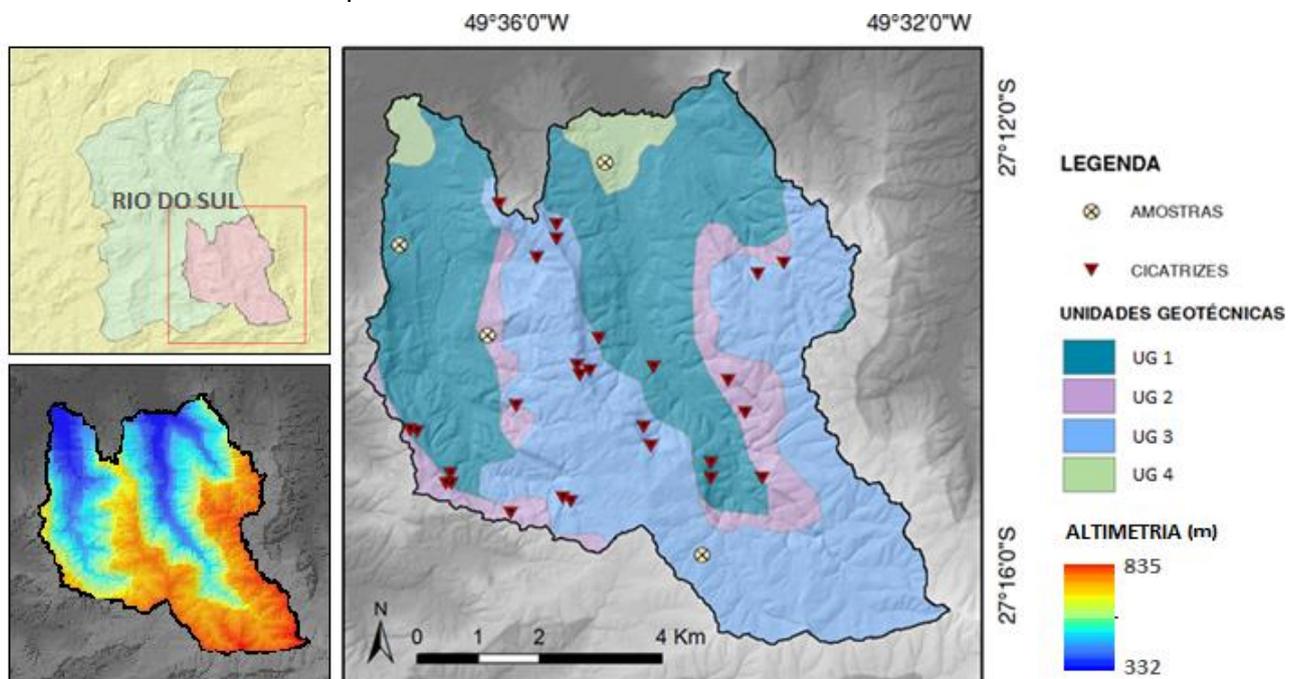


Figura 1 – Distribuição das cicatrizes e amostras na área de estudo (fonte: autoria própria).

Os tipos de solo existentes nas bacias, segundo classificação da Embrapa, são: (i) podzólico vermelho-amarelo (UG 1 e 2), (ii) cambissolo álico (UG 3); (iii) glei pouco húmico (UG 4). Quanto à geodiversidade há o predomínio de três classes de rochas sedimentares: (i) coberturas sedimentares pouco a moderadamente consolidadas, com intercalações de paraconglomerados e folhelhos; (ii) coberturas sedimentares pouco a moderadamente consolidadas, com predomínio de sedimentos siltico-argilosos e arenosos, contendo camadas de carvão (UG 2 e 3); (iii) sedimentos cenozoicos inconsolidados depositados em meio aquoso (UG 4).

Para cada ponto de amostragem foram determinados parâmetros mecânicos e hidráulicos do solo. A coesão e o ângulo de atrito interno do solo foram obtidos pela aplicação do *Borehole Shear Test* (BST) convencional e inundado entre os dias 29 de outubro a 3 de novembro de 2017. Os parâmetros hidráulicos do solo foram obtidos por pedotransferência utilizando a ferramenta

Rosetta (SCHAAP *et al.*, 2001), a partir de frações de areia, silte e argila dos solos, mensuradas por meio do método da pipeta (GEE e BAUDER, 1986).

### 2.3 - Base Teórica do TRIGRS e Aplicação do Modelo

O TRIGRS (*Transient Rainfall Infiltration and Grid-Based Regional Slope-Stability*) é um modelo desenvolvido para identificação da distribuição espacial e temporal dos escorregamentos translacionais rasos, contabilizando as mudanças de poro-pressão e as respectivas alterações no fator de segurança ao longo do tempo (BAUM *et al.*, 2008). A estabilidade é representada pelo fator de segurança (FS), calculado pela seguinte equação:

$$FS = \frac{\tan \varphi}{\tan \theta} + \frac{c - \psi(z, t) \cdot \rho_w \cdot g \cdot \tan \varphi}{\rho_s \cdot g \cdot z \cdot \cos \theta \cdot \sin \theta} \quad (1)$$

onde é  $\varphi$  o ângulo de atrito interno do solo;  $\theta$  a declividade da encosta;  $c$  a coesão do solo;  $\psi$  o potencial do solo;  $\rho_s$  a massa específica do solo;  $\rho_w$  a massa específica da água;  $g$  a aceleração gravitacional; e  $z$  a profundidade do solo. O FS é uma relação entre as forças cisalhantes e as forças resistivas. Consequentemente, valores de  $FS > 1$  indicam estabilidade,  $FS < 1$  instabilidade e  $FS = 1$  o limiar de estabilidade.

O TRIGRS combina modelos de infiltração e escoamento subsuperficial vertical, de escoamento superficial e de estabilidade de encostas. Para os modelos de infiltração, o programa possui dois modelos, uma para condições iniciais saturadas e outra para não-saturadas. O primeiro caso baseia-se na solução linearizada da equação de Richards proposta por Iverson (2000) e em soluções realizadas por Savage *et al.* e Baum *et al.* (2008). No segundo caso, o sistema é dividido em duas camadas: (i) inferior, representada pela soma da zona saturada e da franja capilar; (ii) superior, que corresponde à zona não-saturada. Logo, a zona não saturada absorve parte da água que infiltra pela superfície e o restante se acumula sobre a camada saturada, elevando a poro-pressão.

O modelo foi aplicado considerando condição inicial não-saturada. Os parâmetros de entrada exigidos pelo programa estão listados na Tabela 1.

Tabela 1 – Parâmetros de entrada do TRIGRS

| Propriedades hidráulicas e parâmetros mecânicos  | Parâmetros hidrológicos   |
|--|---|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• Difusividade hidráulica (<math>D_0</math>);</li> <li>• Peso específico do solo (<math>\gamma_s</math>);</li> <li>• Profundidade do solo (<math>Z</math>);</li> <li>• Coesão do solo (<math>c</math>);</li> <li>• Ângulo de atrito interno (<math>\varphi</math>);</li> <li>• Parâmetro <math>\alpha</math> da equação de Gardner (<math>\alpha_{ga}</math>);</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Profundidade inicial da camada de solo saturada (<math>D</math>);</li> <li>• Conteúdo volumétrico de água em solo saturado (<math>\theta_s</math>);</li> <li>• Conteúdo volumétrico residual de água no solo (<math>\theta_r</math>);</li> <li>• Condutividade hidráulica vertical para solo saturado (<math>K_s</math>);</li> </ul> |
|  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Número de intervalos com intensidades diferentes de precipitação;</li> <li>• Intensidade de cada intervalo;</li> <li>• Duração acumulada para cada intervalo;</li> <li>• Tempo ao fim da precipitação;</li> </ul>  |

Para a extração de características topográficas requeridas pelo TRIGRS foi utilizado um modelo digital de terreno, disponibilizado pela Secretaria de Estado do Desenvolvimento Sustentável de Santa Catarina (SDS) através do Sistema de Informações Geográficas de Santa

Catarina (SIGSC), com tamanho de pixel de 1 m × 1 m, reamostrado para 5 m × 5 m, visando reduzir a necessidade de processamento computacional requerida. A profundidade do solo foi considerada uniforme em toda a bacia com valor de 1,05 m, representando a média entre os valores máximos e mínimos indicados no mapa de solos da região (EMBRAPA, 2004). Para obter o parâmetro  $\alpha$  da equação de Gardner (1958) foi feita a interpolação a partir de parâmetros da equação de Van Genuchten (1980) estimados por pedotransferência.

Foram simulados os eventos de 8 e 9 de setembro de 2011, com precipitação total de 136,2 mm em 48 horas, distribuída proporcionalmente em intervalos de 3 horas. Inicialmente foi realizada uma simulação sem chuvas, seguida de diversas simulações com as chuvas, variando a profundidade da camada de solo saturado.

O desempenho das simulações foi avaliado pela concordância entre os locais considerados instáveis pelo modelo e as áreas das cicatrizes, por meio dos Índices de Acerto (IA) e de Erro (IE) propostos por Sorbino et al. (2010):

$$IA = \sum \left( \frac{A_{dentro}}{A_{instável}} \right) \quad (2)$$

$$IE = \sum \left( \frac{A_{fora}}{A_{estável}} \right) \quad (3)$$

onde:  $A_{dentro}$  é a área classificada instável pelo modelo localizada dentro das cicatrizes de escorregamento;  $A_{instável}$  é a área das cicatrizes;  $A_{fora}$  é a área classificada como instável pelo modelo localizada fora das cicatrizes;  $A_{estável}$  é toda a área da encosta exterior às áreas das cicatrizes.  $IA$  indica positivos verdadeiros e  $IE$  falsos positivos. Para a comparação entre diferentes simulações, utiliza-se a relação entre  $IA/IE$ .

### 3 - RESULTADOS E DISCUSSÃO

Por meio dos ensaios de *borehole shear test* e análise textural, foram obtidos os parâmetros necessários para aplicação do modelo. Os valores estão organizados na Tabela 2.

Tabela 2 – Valores utilizados para os parâmetros de entrada do modelo

| Parâmetro                                    | UG 1     | UG 2     | UG 3     | UG 4     |
|--|----------|----------|----------|----------|
| $\theta_r$ (m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> ) | 0,0953   | 0,09     | 0,0547   | 0,0874   |
| $\theta_s$ (m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> ) | 0,4808   | 0,4638   | 0,3946   | 0,4595   |
| $\alpha_{ga}$ (1/m)                          | 0,1645   | 0,1897   | 0,3881   | 0,1952   |
| $K_s$ (m/s)                                  | 1,62E-03 | 1,38E-03 | 1,70E-03 | 1,40E-03 |
| $D_o$ (m <sup>2</sup> /s)                    | 2,55E-02 | 1,94E-02 | 1,29E-02 | 1,93E-02 |
| $\gamma_s$ (N/m <sup>3</sup> )               | 21211,84 | 21045,24 | 20367,08 | 21003,10 |
| $\varphi$ (°)                                | 31,18    | 29,97    | 35,15    | 35,49    |
| $c$ (kPa)                                    | 6,98     | 3,10     | 1,20     | 5,10     |

Para a simulação sem chuvas, 2,51% da área foi classificada instável, com  $IA$  de 22,3%. Apesar de se esperar estabilidade sem a incidência do evento deflagrador, a existência de instabilidade pode estar relacionada à generalização da profundidade do solo sobre toda a área. Regiões muito declivosas das encostas não costumam possuir camadas profundas de solo e

chegam a apresentar afloramentos rochosos e, segundo Michel (2015), o modelo é bastante sensível ao parâmetro de profundidade do solo.

Em seguida, as simulações foram realizadas considerando diferentes profundidades da camada de solo saturada. As respostas obtidas, sumariadas pelos índices de erro e acerto, estão presentes na Tabela 3.

Tabela 3 - Índices de erro e acerto para as simulações com chuvas

| Profundidade da camada saturada (cm) | IA (%) | IE (%) | IA/IE | Área Instável (%) |
|--------------------------------------|--------|--------|-------|-------------------|
| 105,0                                | 38,67  | 5,84   | 6,62  | 5,86              |
| 90,0                                 | 41,86  | 6,69   | 6,25  | 6,72              |
| 80,0                                 | 44,26  | 7,33   | 6,03  | 7,36              |
| 70,0                                 | 46,39  | 7,86   | 5,90  | 7,90              |
| 60,0                                 | 47,52  | 8,45   | 5,63  | 8,48              |
| 50,0                                 | 47,99  | 9,20   | 5,22  | 9,24              |
| 1,0                                  | 47,99  | 9,20   | 5,22  | 9,24              |

Por meio da Tabela 3 é possível perceber que ao diminuir a profundidade da camada de solo saturado, o valor do IA aumentou, atingindo um máximo de 47,99%. Como o modelo não é capaz de prever a influência que um ponto de instabilidade provoca nos pontos adjacentes, a capacidade de um ponto instável propagar a instabilidade em seu entorno (como esperado em uma situação real) não é considerada. Desta forma, a existência de ao menos um pixel instável dentro da cicatriz pode resultar na deflagração de escorregamentos de maiores proporções. Seguindo tal lógica, em todas as simulações 63% das cicatrizes possuíam ao menos um pixel instável dentro de seus limites, indicando eficiência do modelo em traduzir o efeito dos processos ocorridos na encosta.

Apesar de haver um crescimento dos índices de acerto conforme a diminuição da profundidade da camada saturada, a quantidade de falsos positivos também aumentou. Dessa forma, a relação entre IA/IE diminuiu até atingir a profundidade de camada saturada de 50 cm, onde percebeu-se uma mudança no comportamento dos resultados. Entre 50 cm e 1 cm de profundidade, todas as simulações possuíam resultados semelhantes. Uma possível explicação reside na quantidade de chuva utilizada na simulação. Ou seja, a chuva é capaz de tornar o solo majoritariamente saturado até o fim da simulação a partir de uma altura inicial de camada saturada.

Ao comparar as simulações, o resultado de melhor desempenho é aquele que possui um valor maior de IA/IE, uma vez que indica maior quantidade de acertos com baixa presença de falsos positivos. A maior relação IA/IE obtida foi de 6,62 para a profundidade inicial de camada saturada lençol de 105 cm (Figura 2). Nesse caso, a profundidade do solo é equivalente ao da camada saturada, o que significa que não há saturação inicial. O fato deste ser o melhor cenário indica que o evento utilizado nas simulações seria o suficiente para o desencadeamento dos escorregamentos ocorridos em setembro de 2011. Schwarz e Michel (2017), ao aplicarem o modelo no município de Ibirama, SC, obtiveram relações de IA/IE que variaram de 0,29 a 0,94,

onde o melhor resultado foi obtido com profundidade do lençol a 45 cm. Tais autores concluíram que a precipitação utilizada para as simulações não foi a única responsável pelos escorregamentos em sua área de estudo, havendo considerável efeito de precipitações anteriores na saturação da camada de solo e, conseqüentemente, na deflagração de escorregamentos.

O TRIGRS mostrou-se capaz de identificar áreas propensas a escorregamentos com um baixo número de falso positivos. Este comportamento é demonstrado por Salciarini e Conversini (2007) ao comparar diferentes modelos de estabilidade de encostas, onde o TRIGRS mostrou uma taxa menor de erros, principalmente quando a área de estudo era dividida em cinco zonas com características de solo diferentes. A taxa de acertos e de falsos positivos encontrados por esses autores foi de 80,0% e 4,3% respectivamente.

Algumas das cicatrizes podem não ter sido contempladas devido a limitações intrínsecas aos pressupostos utilizados no modelo: (i) como se trata de uma precipitação longa, existe a possibilidade de ocorrência de escoamento subsuperficial horizontal determinante na deflagração de escorregamentos; (2) ao tratar as características do solo como isotrópicas, solos com características heterogêneas entre seus horizontes, como é o caso dos podzólicos vermelho-amarelo, podem possuir pontos de instabilidades geradas pela alteração brusca dos valores de condutividade hidráulica; (3) uma vez que as funcionalidades do modelo não incluem a estimativa de volume de solo deslocável nas áreas de instabilidade, não é possível identificar o efeito destes na deflagração de novos escorregamentos.

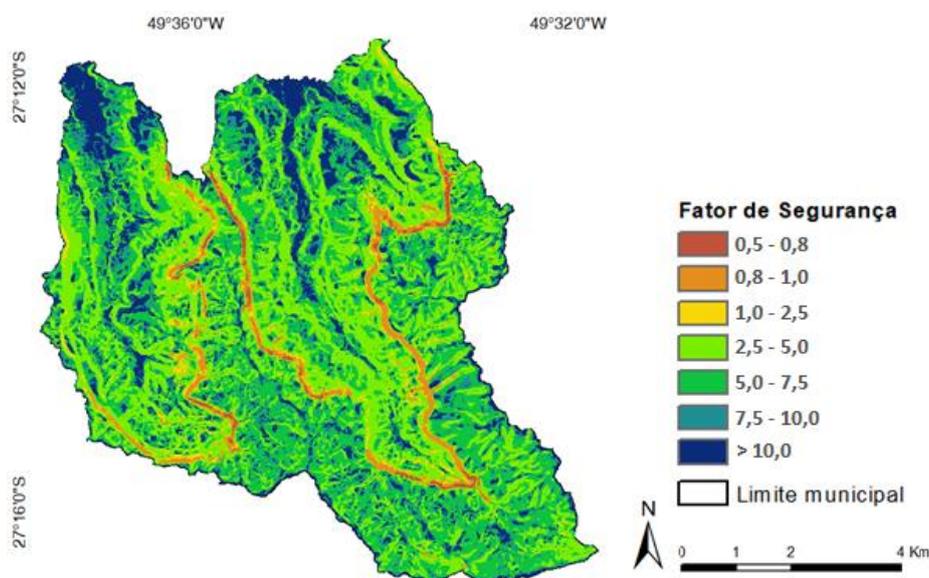


Figura 2 – FS para simulação com profundidade do lençol a 105,00 cm (fonte: autoria própria).

## 4 - CONSIDERAÇÕES FINAIS

i. O modelo TRIGRS obteve uma boa previsão das áreas suscetíveis a escorregamentos, considerando o evento de 8 e 9 de setembro de 2011, atingindo valores de IA/IE de 6,62 e 5,86% de área instável no cenário com profundidade do lençol a 1,05 m.

ii. O melhor desempenho do cenário inicialmente sem camada de solo saturada indica que a precipitação utilizada na modelagem é suficiente para desencadear escorregamentos na área de estudo, independentemente de eventos anteriores.

iii. O modelo é sensível às condições iniciais. A existência de áreas instáveis na simulação sem chuva, concentradas nas áreas declivosas, deve-se a variabilidade espacial de alguns parâmetros de difícil mensuração, especialmente a profundidade do solo.

iv. Sugere-se que trabalhos futuros utilizem metodologias para a estimativa distribuída da profundidade do solo e façam a avaliação da sensibilidade do modelo aos parâmetros de entrada.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BAUM, R. L.; SAVAGE, W. Z.; GODT, J. W. *“TRIGRS — A Fortran Program for Transient Rainfall Infiltration and Grid-Based Regional Slope-Stability Analysis, Version 2.0”*. (2008) U.S. Geological Survey Open-File Report, n. 2008–1159, 75 p.
- CPRM. Serviço Geológico do Brasil. *Carta Geológica Da Folha Curitiba*. Mapa. 1:1000000. Brasília, 2010. Disponível em <<http://geobank.cprm.gov.br/>>. Acesso em 28 de agosto de 2017.
- GARDNER, W. R. *“Some steady-state solutions of the unsaturated moisture flow equation with application to evaporation from a water table”*. Soil Science, v. 85, p. 228-232, 1958.
- GEE, G. W.; BAUDER, J. W. Particle-size analysis. In: KLUTE, A. *“Methods of soil analysis”*. American Society of Agronomy. p. 383-411. 1986.
- EMBRAPA. *Mapa de Reconhecimento de Solos do Estado de Santa Catarina*. Mapa. 1:250000. Brasília: EMBRAPA Solos, 2004. Disponível em: <[http://ciram.epagri.sc.gov.br/ciram\\_arquivos/arquivos/iff/zip/solos\\_santa\\_catarina\\_250000\\_2004.zip](http://ciram.epagri.sc.gov.br/ciram_arquivos/arquivos/iff/zip/solos_santa_catarina_250000_2004.zip)>.
- IBGE. *Base de informações do Censo Demográfico 2010: Resultados do Universo por Setor Censitário*. Rio de Janeiro, IBGE. 2011.
- IVERSON, R. M. *“Landslide triggering by rain infiltration”*. Water Resources Research, v. 36, n. 7, p. 1897-1910, 2000.
- KOBIYAMA, M; MONTEIRO, L. R.; MICHEL, G. P. *“Aprender hidrologia para prevenção de desastres Naturais”*. Florianópolis: UFSC/CTC/ENS/LabHidro, 2006b. 12p.(apostila), 2010.
- MICHEL, G. P. *“Estimativa da profundidade do solo e seu efeito na modelagem de escorregamentos”*. 2015. 164 f. Tese (Doutorado)-Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, Porto Alegre, BR-RS, 2015.
- SAVAGE, W. Z.; GODT, J. W.; BAUM, R. L. *“A model for spatially and temporally distributed shallow landslide initiation by rainfall infiltration”*. In: RICKENMANN, D.; CHEN, C. (Org.). Debris Flow Hazards Mitigation: Mechanics, Prediction, and Assessment, Vols 1 and 2, p. 179-187, 2003.
- SALCIARINI, D.; CONVERSINI, P. *“A comparison between analytic approaches to model rainfall-induced development of shallow landslides in the central Apennine of Italy”*. In: Landslides and Climate Change: Challenges and Solutions, p. 185-196. 2007.
- SCHAAP, M. G.; LEIJ, F. J.; VAN GENUCHTEN, M. T. *“Rosetta: a computer program for estimating soil hydraulic parameters with hierarchical pedotransfer functions. Journal of Hydrology”*, v. 251, n. 3–4, p. 163-176, 2001.
- SCHWARZ, H; MICHEL, G. P. *“Avaliação de encostas com uso do modelo TRIGRS no município de Ibirama – SC”*. In Anais do XXII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, Florianópolis/SC, 2017, pp 1-8.
- SORBINO, G.; SICA, C.; CASCINI, L. *“Susceptibility analysis of shallow landslides source areas using physically based models”*. Natural Hazards, v. 53, n. 2, p. 313-332, 2010.
- VAN GENUCHTEN, M. T. *“A Closed-form Equation for Predicting the Hydraulic Conductivity of Unsaturated Soils”*. Soil Science Society of America Journal, v. 44, n. 5, p. 892, 1980.
- VIEIRA, B. C. et al. *“Assessing shallow landslide hazards using the TRIGRS and SHALSTAB models, Serra do Mar, Brazil”*. Environmental Earth Sciences, v. 1, n. 77, p. 1–15, 2018.