

## XXVI SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HIDRÍCOS

### ANÁLISE DA PERFORMANCE DOS SISTEMAS DE ALERTA PARA RISCO GEOLÓGICO NO MUNICÍPIO DE PETRÓPOLIS, RJ, BRASIL

*Artur Nonato Vieira Cereto<sup>1,2</sup>; Gean Paulo Michel<sup>1,2</sup>; Franciele Zanadrea<sup>1</sup>; Ivanovich Lache Salcedo<sup>1</sup>; Danúbia Teixeira Silva<sup>3</sup> & Clara Moreira Cardoso<sup>1</sup>*

**Palavras-Chave** – Deslizamentos de Terra; Landslides Early Warning Systems; Machine Learning.

#### 1 INTROUÇÃO

No Brasil, tem-se observado aumento da ocupação de áreas suscetíveis a deslizamentos de terra, em grande parte por populações em situação de vulnerabilidade social (Michel *et al.*, 2023). Os sistemas de alerta antecipado para deslizamentos de terra (*Landslides Early Warning Systems* – LEWS) têm se demonstrado uma ferramenta economicamente viável e mais facilmente implementada, quando comparada a obras estruturais ou remoções. Comumente, estes sistemas são baseados em limiares de precipitação estabelecidos de maneira empírica. (Guzzetti *et al.*, 2020). Este trabalho se propõe a analisar os LEWS em operação no município de Petrópolis, no estado do Rio de Janeiro, e comparar os seus desempenho com o de um modelo baseado em redes neurais treinado com dados de precipitação oriundos do referido município.

#### 2 METODOLOGIA

Petrópolis é um município da região serrana do estado do Rio de Janeiro, com histórico recorrente de deslizamentos de terra induzidos por chuvas intensas, sendo um dos mais vulneráveis do país a este tipo de desastre (Guerra *et al.* 2007).

Após o tratamento dos dados de 32 pluviômetros automáticos do Centro de Monitoramento e Alerta de Desastres Naturais (CEMADEN) nacional que operaram no município no período de 05/10/2015 a 23/05/2024, foram aplicadas as regras de classificação de risco geológico descritas na 3<sup>a</sup> revisão do Plano de Contingência para Chuvas Intensas (Petrópolis, 2025), tanto as relativas ao sistema do CEMADEN-RJ quanto a modificação proposta pela Defesa Civil (D.C.) do município. Para cada dia da série, foi adotada a classificação mais severa.

As classificações foram cruzadas com registros de ocorrências da D.C. do Município de Petrópolis relacionadas a movimentos de massa, tendo sido considerados dias de risco Alto e Muito alto com ocorrências registradas como Verdadeiros Positivos e aqueles sem, como Falsos Positivos. Os dias de risco Muito Baixo, Baixo e Moderado com registros de ocorrências foram considerados Falsos Negativos e aqueles sem, como Verdadeiros Negativos. Aplicou-se um filtro baseado no percentil 95 (36 mm) da distribuição de precipitações observadas a fim de somente contabilizar ocorrências em dias com precipitação maior que este valor e, portanto, com maior probabilidade de deflagrar movimentos de massa.

Por fim, os resultados foram comparados a um modelo classificador binário do tipo *Multilayer Perceptron* (MLP), treinado cruzando dados de precipitação do pluviômetro 330390617A com registros de ocorrência filtrados com o filtro do percentil 95, a partir da matriz de confusão e das métricas: sensibilidade, precisão, F1-Score, e *False Positive Rate*.

<sup>1</sup> Universidade Federal Fluminense – UFF:arturcereto@id.uff.br , [geanpmichel@gmail.com](mailto:geanpmichel@gmail.com), [francielez@id.uff.br](mailto:francielez@id.uff.br), [claramoreiracardoso@id.uff.br](mailto:claramoreiracardoso@id.uff.br)

<sup>2</sup> Instituto de Pesquisas Hidráulicas – IPH, UFRGS, [geanpmichel@gmail.com](mailto:geanpmichel@gmail.com)

<sup>3</sup> Universidade Federal do Rio de Janeiro – COPPE/UFRJ, [danubia.teixeira@ifal.edu.br](mailto:danubia.teixeira@ifal.edu.br)

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A comparação entre os LEWS, apresentada na **Tabela 1**, destaca o classificador MLP como o mais eficaz, especialmente pelas métricas de Sensibilidade e F1-Score, ambas favorecidas pela ausência de previsões de Falsos Negativos. Apesar de apresentar o maior índice de Falsos Positivos, esse aspecto é considerado menos crítico em LEWS, nos quais a priorização da redução de Falsos Negativos é fundamental, dado o risco associado à não emissão de alertas em eventos críticos. Além disso, destaca-se o efeito deletério da modificação proposta pela D.C.

**Tabela 1:** Comparação da performance dos LEWS baseados em diversas metodologias.

Sistema de Alerta	VP	FP	VN	FN
MLP	34	17	896	0
CEMADEN-RJ	22	10	857	58
SEMPDEC	5	3	864	75
Sistema de Alerta	Sensibilidade	Precisão	F1-Score	False Positive Rate
MLP	1	0.667	0.8	0.019
CEMADEN-RJ	0.275	0.688	0.393	0.011
SEMPDEC	0.062	0.625	0.114	0.003

### 4 CONCLUSÕES

O LEWS baseado em redes neurais apresentou resultados superiores àqueles em vigência no município de Petrópolis, demonstrando o potencial do emprego de redes neurais em LEWS. No entanto, é necessário o desenvolvimento de metodologias que permitam espacializar a emissão de alertas, uma vez que este foi treinado com dados de uma única estação pluviométrica.

É urgente a criação de protocolos específicos para o registro sistemático de movimentos de massa com informações espaciais e temporais precisas, a fim de permitir a maior compreensão destes desastres e desenvolvimento de ferramentas de prevenção e mitigação mais robustas.

### AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a bolsa de estudos do primeiro autor deste trabalho fornecida pelo Conselho Nacional de Pesquisa e Desenvolvimento Tecnológico referente ao projeto: Desenvolvimento do Sistema de Alerta Antecipado para Deslizamentos – SALAD Projeto, processo CNPq 446162/2023–0. Também à Defesa Civil de Petrópolis pelo fornecimento do banco de dados de ocorrências relacionadas a movimentos de massa utilizado neste trabalho.

### REFERÊNCIAS

GUERRA, A. J. T. GONÇALVES, L.F.H; LOPES, P.B.M. *Evolução histórico-geográfica da ocupação desordenada e movimentos de massa no município de Petrópolis, nas últimas décadas. Revista Brasileira de Geomorfologia*, São Paulo, v. 8, n. 1, p. 13–25, 2007.

GUZZETTI, F.; GARIANO, S. L.; PERUCCACCI, S.; BRUNETTI, M. T.; MARCHEZINI, I.; ROSSI, M.; MELILLO, M.. *Geographical landslide early warning systems. Earth-Science Reviews*, vol. 200, 1 jan. 2020. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2019.102973>.

MICHEL, Gean Paulo et al. Apontamentos acerca da susceptibilidade a deslizamentos no Brasil no contexto da expansão populacional e das mudanças climáticas. In: **SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS**, 25., 2023, Aracaju. Anais [recurso eletrônico]. Porto Alegre: ABRHidro, 2023.

**(PREFEITURA MUNICIPAL DE PETRÓPOLIS.** Plano de contingência para chuvas intensas: verão 2024/2025. 3. ed. [S.l.]: Secretaria Municipal de Proteção e Defesa Civil, 2025, publicado em 03 jan. 2025.