



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÕES
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

Disciplina: SER 350-3 Introdução à Geoinformática

Discente: Marcos Vinícius Santos de Freitas

PROPOSTA DE MONOGRAFIA

TÍTULO PROVISÓRIO:

Mapeamento de susceptibilidade a deslizamentos de terra pelo modelo de Pesos de Evidência (WoE): o caso de São Sebastião - SP

JUSTIFICATIVA

Os movimentos de massa, como os deslizamentos, caracterizam-se pelo escoamento de materiais sólidos ao longo de terrenos inclinados, sendo comuns às regiões serranas. Esses processos geodinâmicos ocorrem quando a força da gravidade supera a resistência ao cisalhamento dos materiais superficiais, frequentemente desencadeados por índices pluviométricos elevados que saturam o solo e reduzem sua coesão interna (CHRISTOFOLETTI, 1980).

Apesar de ocorrerem com frequência e fazerem parte das dinâmicas serranas, fatores deflagradores como a ocupação antrópica potencializam tais processos provocando perdas econômicas e sociais significativas, a exemplo dos deslizamentos de terra que ocorreram em 2023 no município de São Sebastião.

Assim, observa-se que a contínua expansão da mancha urbana em áreas de encostas e fundos de vales com alta declividade e fragilidade geológica tem intensificado a exposição de comunidades vulneráveis a novos processos de movimentos de massa (GUERRA; CUNHA, 2013).

Nesse contexto, a modelagem espacial de tais fenômenos para a identificação de áreas suscetíveis a novos deslizamentos torna-se fundamental para a criação de produtos cartográficos voltados ao planejamento e à defesa civil. A utilização de métodos preditivos juntamente com a geoinformática permite a integração de camadas de informação espacial de fatores causadores que

possibilita o mapeamento das áreas mais predispostas a novos deslizamentos de terra.

Deste modo, o objetivo desta pesquisa consiste no mapeamento da susceptibilidade a novos deslizamentos de terra no município de São Sebastião, no Estado de São Paulo, a partir da modelagem bayesiana, por meio da técnica de pesos de evidência (*Weights of Evidence* - WoE). A aplicação desse método permite quantificar a relação espacial entre as áreas afetadas por eventos pretéritos e as influências das variáveis condicionantes na ocorrência de novos eventos de deslizamentos, resultando em um índice de suscetibilidade estatisticamente robusto (ALMEIDA, 2003; BONHAM-CARTER; AGTERBERG; WRIGHT, 1989; GETACHEW; METEN, 2021).

Assim, o produto cartográfico resultante dessa modelagem servirá como um instrumento estratégico de planejamento territorial e gestão de riscos. Tais mapas são essenciais para subsidiar a tomada de decisão governamental, orientar ações de mitigação da Defesa Civil e conter os impactos da crescente ocupação urbana em áreas de alta susceptibilidade a deslizamentos futuros.

PROBLEMATIZAÇÕES

Quais locais são mais susceptíveis à ocorrência de novos deslizamentos considerando aqueles que já ocorreram?

Quais os fatores causativos considerados apresentam maior influência estatística na susceptibilidade a novos deslizamentos?

Como as cicatrizes de deslizamentos recentes se distribuem espacialmente pelas diferentes classes de susceptibilidade calculadas pelo modelo de pesos de evidência?

Qual o grau de confiabilidade e acurácia do modelo de Pesos de Evidência no mapeamento de áreas suscetíveis a novos deslizamentos?

OBJETIVO GERAL

Mapear a susceptibilidade a deslizamentos de terra no município de São Sebastião (SP)

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Estruturar banco de dados geográficos com fatores causativos de deslizamentos e cicatrizes de deslizamentos recentes
- Aplicação do modelo de pesos de evidência (WoF)
- Geração de produto cartográfico com o índice de susceptibilidade
- Validação da capacidade preditiva do modelo

METODOLOGIA

Área de Estudo

Localizado no Litoral Norte do estado de São Paulo, o município de São Sebastião abrange uma extensão territorial de aproximadamente 402,4 km², com uma população recenseada em 81.595 habitantes (IBGE, 2022).

No contexto do arranjo produtivo regional, a cidade exerce um papel estratégico como polo logístico e de serviços, tendo como principal atividade econômica a exploração e movimentação de hidrocarbonetos, além de um consolidado setor de turismo de veraneio (SAEDE, 2021; SÃO SEBASTIÃO, 2024) .

A paisagem do município é marcada pelo contato abrupto entre as escarpas da Serra do Mar e a estreita planície flúvio-marinha, caracterizando-se por encostas de elevada declividade cobertas pela floresta ombrófila densa (ROSS; MOROZ, 2011). Essa configuração geomorfológica associada à presença de cambissolos e neossolos litólicos (IPT, 2014) e à ocorrência de eventos climáticos extremos, foi determinante nos processos de movimentos de massa ocorridos em fevereiro de 2023.

Nesse sentido, o desencadeamento destes deslizamentos de terra evidenciam a vulnerabilidade socioambiental e a susceptibilidade deste território

frente à interação resultante dos componentes físico-bióticos e os padrões de uso da terra.

Organização de banco de dados Geográficos

A organização do banco de dados pode ser dividida em dois grupos, como observado na tabela abaixo: um contendo o inventário das cicatrizes de deslizamentos e o grupo dos fatores causais de deslizamentos.

Ano	Fonte de Dados	Tipo de Dado	Descrição
2025	Bando de INformações de Transportes (DNIT)	Vetorial	Caracterização do sistema rodoviário Federal
2025	Departamento de Estradas de Rodagem (DER)	Vetorial	Caracterização do sistema rodoviário Estadual
2024	Fundação Brasileira para o Desenvolvimento Sustentável (FBDS)	Vetorial	Classes de Uso e Cobertura da Terra
2024	Fundação Brasileira para o Desenvolvimento Sustentável (FBDS)	Vetorial	Caracterização Hidrográfica
2023	Lab. Cities (INPE)	Vetorial	Digitalização de cicatrizes de deslizamentos
2014	Instituto De Pesquisas Tecnológicas Do Estado De São Paulo (SGB)	Matricial	Modelo digital de Terreno
2014	Instituto De Pesquisas Tecnológicas Do Estado De São Paulo (SGB)	Vetorial	Caracterização Geológica e litológica
2014	Instituto De Pesquisas Tecnológicas Do Estado De São Paulo (SGB)	Vetorial	Caracterização Geomorfológica

Pré-processamento de dados:

A necessidade do inventário de cicatrizes históricas baseia-se na probabilidade tanto futura quanto passada da relação entre a ocorrência de deslizamentos e seus fatores causais (conjunto de treinamento). Ademais, parte das cicatrizes mapeadas integrará o método de validação do modelo de pesos de evidência (conjunto de validação)(BATAR; WATANABE, 2021).

Os fatores causais selecionados que não forem do tipo *raster* serão convertidos em dados matriciais, respeitando-se a padronização do tamanho de *pixels* para todas as camadas. Após esse procedimento, para cada nível de informação, será realizada a divisão dos dados em várias classes, de acordo com os métodos mais abordados na literatura correlata.

Todos os geoprocessamentos serão realizados no *software* QGIS, aplicando-se álgebra de mapas e modelagem numérica a partir de operações topológicas e análise de relacionamentos espaciais.

Modelo de Pesos de Evidência:

O método de Pesos de Evidência (*Weights of Evidence – WoE*) fundamenta-se no Teorema de Bayes, assumindo que a probabilidade de ocorrência de um fenômeno futuro pode ser estimada a partir de evidências pretéritas . O modelo pressupõe que, para determinado fenômeno, os fatores preditivos são condicionalmente independentes entre si, o que permite que a contribuição de cada variável seja calculada de forma individual e cumulativa para a atualização da probabilidade final de ocorrência futura (BATAR; WATANABE, 2021; BONHAM-CARTER; AGTERBERG; WRIGHT, 1989).

Dessa forma, a aplicação do modelo atribui pesos estatísticos a cada classe dos fatores causais de deslizamentos, baseando-se na presença (W^+) ou ausência (W^-) de cicatrizes de eventos passados na área de estudo. Subsequentemente, os resultados obtidos demandam a reclassificação dos valores de *pixels* para cada uma das camadas temáticas (GETACHEW; METEN, 2021).

Após a execução de operações complementares via álgebra de mapas, obtém-se o contraste de peso padronizado (W_{std}) com os valores positivos indicando que o fator causal é favorável à ocorrência de deslizamentos, enquanto valores negativos indicam uma condição desfavorável.

Elaboração de Produto Cartográficos:

O mapa do índice de suscetibilidade a deslizamentos resulta do somatório dos contrastes de pesos padronizados (W_{std}) atribuídos a cada pixel das variáveis preditivas (geo-campos). Valores elevados ou positivos indicam uma alta suscetibilidade à ocorrência de deslizamentos, ao passo que valores baixos ou negativos denotam baixa suscetibilidade. A categorização das classes do mapa final é estabelecida pelo método de Quebras Naturais (*Jenks*), por meio de geoestatística (NEUHÄUSER; DAMM; TERHORST, 2012).

Validação do modelo:

A validação do modelo de suscetibilidade a deslizamentos é realizada por meio da área sob a curva (*Area Under the Curve – AUC*), derivada das curvas de taxa de sucesso e de predição. Um valor de AUC próximo a 1,0 indica elevada acurácia do modelo, enquanto valores próximos a 0,5 indicam imprecisão. A curva de taxa de sucesso é elaborada a partir da sobreposição dos deslizamentos do conjunto de treinamento ao índice de suscetibilidade gerado; simultaneamente, a curva de taxa de predição é obtida pela sobreposição dos deslizamentos do conjunto de validação ao mapa de susceptibilidade a deslizamentos (ARAÚJO; BARELLA; FERNANDES, 2021; BATAR; WATANABE, 2021).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, C. M. **Modelagem da dinâmica espacial como uma ferramenta auxiliar ao planejamento: simulação de mudanças de uso da terra em áreas urbanas para as cidades de Bauru e Piracicaba (SP), Brasil**. 2003. 321 p. (INPE-10567-TDI/942/A). Tese (Doutorado em Sensoriamento Remoto) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE, São José dos Campos. 2003. Disponível em: < <http://urlib.net/sid.inpe.br/jeferson/2003/12.18.07.29> >. Acesso em: 31 mar. 2026

ARAÚJO, J. P. D. C.; BARELLA, C. F.; FERNANDES, N. F. Modelagem Da Susceptibilidade De Escorregamentos Utilizando O Método De Pesos De Evidência Em Uma Região Montanhosa De Clima Tropical. **Geosciences**, [S. l.], v. 40, n. 1, p. 137–155, 24 mar. 2021.

BATAR, A. K.; WATANABE, T. Landslide Susceptibility Mapping and Assessment Using Geospatial Platforms and Weights of Evidence (WoE) Method in the Indian

Himalayan Region: Recent Developments, Gaps, and Future Directions. **ISPRS International Journal of Geo-Information**, [S. l.], v. 10, n. 3, p. 114, 27 fev. 2021.

BONHAM-CARTER, G. F.; AGTERBERG, F. P.; WRIGHT, D. F. Weights of evidence modelling: a new approach to mappin mineral potential. **Geological Survey of Canada**, Ontario, v. 89, p. 171–183, 1989.

CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia**. São Paulo: Edgard Blucher, 1980. 188p.

GETACHEW, N.; METEN, M. Weights of evidence modeling for landslide susceptibility mapping of Kabi-Gebro locality, Gundomeskel area, Central Ethiopia. **Geoenvironmental Disasters**, [S. l.], v. 8, n. 1, p. 6, dez. 2021.

GUERRA, A. J. T. ; CUNHA, S. B. **Impactos Ambientais urbanos no Brasil**. 10^a ed. Rio de Janeiro: Bertrand, 2013. 418 p.

NEUHÄUSER, B.; DAMM, B.; TERHORST, B. GIS-based assessment of landslide susceptibility on the base of the Weights-of-Evidence model. **Landslides**, [S. l.], v. 9, n. 4, p. 511–528, dez. 2012.

ROSS, J. L. S.; MOROZ, I. C. MAPA GEOMORFOLÓGICO DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Revista do Departamento de Geografia**, [S. l.], v. 10, p. 41–58, 2011.

SÃO SEBASTIÃO. Lei Complementar nº 311/2024. **Dispõe sobre o Plano Diretor de Turismo 2024-2027 do Município da Estância Balneária de São Sebastião**.2024. Disponível em:
<<https://www.saosebastiao.sp.gov.br/sistemas/oficialdocs/arquivos/24240311.pdf>>.
Acesso em: 18 abr. 2026

SISTEMA ESTADUAL DE ANÁLISE DE DADOS (SEADE). **Perfil dos Municípios Paulistas**. Desenvolvido pela Fundação SEADE. São Paulo. 2021. Disponível em:
<<https://perfil.seade.gov.br/>>. Acesso em: 18 abr. 2026.