

# Aquisição do Índice de Saturação do Solo (TWI) para a avaliação de suscetibilidade a movimentos de massa na região de São Sebastião-SP

Rodolfo Georjute Lotte  
Cláudia Maria de Almeida  
Márcio de Morisson Valeriano

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE  
Caixa Postal 515 – 12227-010 – São José dos Campos - SP, Brasil  
{lotte, almeida}@dsr.inpe.br, valerian@ltid.inpe.br

**Abstract.** The susceptibility to mass movements are natural events normally triggered by the influence of climate factors on certain regions. They are normally favored by endogenous factors such as slope, land use, land cover, geology, and other factors. The impacts of such events are devastating, especially in the case of landslides. The Geographic Information Systems (GIS) and spatial analysis techniques, made possible to monitor and mitigate its effect, establishing a criteria to outline areas of risk. In order to identify susceptible areas, some environmental variables are necessary, such as geomorphologic formations, geological, land use, land cover, and especially, the slope of the region. In this work, beyond the use of the previous variables, will be also explored the use of the Topographic Wetness Index (TWI), in order to identify susceptible areas of landslides in São Sebastião, SP. This index allows to quantify the environmental variable control of local topography as the hydrological processes, indicating the spatial soil moisture distribution and saturation of the surface. This variable was obtained with the Whitebox GAT 3.2.0 spatial analysis tool. In order to map these areas, spatial techniques of Analytic Hierarchy Process - AHP and Fuzzy-Gamma were used. The results were compared with susceptibility maps without using the TWI index, in order to analyze its impact. Both techniques showed satisfactory results, being Fuzzy-Gamma even more flexible.

**Keywords:** landslide, risk analysis, geographic information systems; deslizamentos de terra, análise de risco, sistemas de informação geográfica

## 1. Introdução

Os movimentos de massa são fenômenos dinâmicos que consistem no deslocamento de volumes grandes de materiais (terra, rochas, cobertura vegetal, etc.). Normalmente, são desencadeados com maior frequência em determinados ciclos climáticos. Por vezes, as consequências de eventos de maiores proporções os colocam como sendo um dos mais importantes desastres naturais, causando danos irreparáveis tanto à natureza quanto à vida humana. Por essa razão, o mapeamento das áreas de risco tem sido frequentemente alvo de pesquisas na comunidade nacional e internacional.

Os principais fatores que influenciam na ocorrência dos movimentos de massa podem ser divididos em fatores endógenos, como a geologia do local (por exemplo, tipo do solo ou rocha), as características geomorfológicas (forma do terreno), a declividade, ou o uso do solo; e fatores exógenos, que incluem variáveis climáticas e os fatores resultantes das ações humanas, entre outros. Crepani e Medeiros (2001) classificam os movimentos de massa a partir de diferentes características do movimento gravitacional do regolito<sup>1</sup>, tais como o tipo e a velocidade do movimento, a natureza do material e a quantidade de água presente no material em movimento. Assim, os movimentos relacionados às encostas podem ser classificados em: rastejo, que consiste em movimentos mais lentos do regolito; escorregamento ou deslizamento, relacionado aos movimentos rápidos, com planos de ruptura bem definidos entre o material

<sup>1</sup>Camada de sedimentos resultantes da fragmentação de rochas subjacentes.

movimentado e não-movimentado; corridas de massa, em que o solo propício ao movimento apresenta-se saturado de água, tal que a massa encharcada pode comportar-se como um fluído altamente viscoso e deslocar-se rapidamente; as quedas, que estão relacionadas aos movimentos de blocos e fragmentos de rochas a partir de regiões com declividade acentuada. Os fragmentos se movimentam ao longo de planos inclinados, sem a necessidade de uma superfície de deslizamento. Os eventos de maior ocorrência na área de São Sebastião-SP são do tipo escorregamento ou deslizamento.

A ocorrência de deslizamentos de terra pode ser induzida por muitos fatores geomorfológicos, tipicamente associados a períodos chuvosos intensos, em que determinados tipos de solo tendem a saturar com maior facilidade em relação a outros. Um dos importantes fatores responsáveis pelo disparo desse efeito incluem a declividade da região, composição dos materiais e pressão de escoamento da água (LATIF; AMAN; PRADHAN, 2012). Além desses, o Índice de Saturação do Solo (*Topographic Wetness Index-TWI*) (BEVEN; KIRKBY, 1979) é essencial na caracterização de similaridade hidrológica de áreas propensas a deslizamento de terra ao quantificar o controle da topografia local em processos hidrológicos e ainda indica a distribuição espacial da umidade do solo e saturação de superfície (QIN et al., 2011).

Para uma boa estimativa no mapeamento das áreas de risco é essencial que se determine fatores que afetam diretamente a ocorrência desse tipo de desastre. Estudos como o de (CREPANI; MEDEIROS, 2000) e de (BISPO et al., 2009), permitiram a visualização dessas áreas na região de São Sebastião-SP. No primeiro estudo, foram utilizadas as variáveis geológica, geomorfológica, solos, uso e cobertura da terra e declividade. Posteriormente, no estudo realizado por (BISPO et al., 2009), foram acrescentados também as informações de encostas, como curvatura vertical, horizontal e orientação de vertentes. Segundo a metodologia aplicada pelos autores acima na região de São Sebastião-SP, neste trabalho será explorada a aquisição do TWI por meio da ferramenta WhiteBox GAT 3.2, de forma a apresentar um roteiro de aquisição do índice e, posteriormente, realizar a análise de suscetibilidade a movimentos de massa juntamente com as demais variáveis ambientais utilizadas nos estudos anteriores.

## 2. Material e Método

### 2.1. Área de estudo

A área de estudo situa-se na porção norte do litoral do estado de São Paulo, no município de São Sebastião (Figura 1). A região de estudo está localizada nas coordenadas geográficas  $23^{\circ} 55'$  de latitude Sul e o  $45^{\circ} 19'$  de longitude Oeste. O município de São Sebastião possui aproximadamente 80.000 mil habitantes, concentrados em uma área de  $400km^2$  e densidade demográfica de  $185hab/km^2$  (IBGE, 2014). O presente estudo é realizado em toda a área de São Sebastião, incluindo suas ilhas.

### 2.2. Dados

A escolha dos fatores que são correlacionados ou que predispõem à ocorrência dos movimentos de massa é a principal etapa da análise de suscetibilidade (JEBUR; PRADHAN; TEHRANY, 2014). A pesquisa quanto aos movimentos de massa na região de São Sebastião-SP foi iniciada por (CREPANI; MEDEIROS, 2000) com o uso das variáveis ambientais de declividade, geomorfologia, geologia, solos e uso e cobertura da terra, assim como em (MUÑOZ, 2005). (BISPO et al., 2009) realizaram o estudo dos movimentos de massa na mesma região com a inclusão das variáveis geomorfométricas curvatura vertical (kv) e curvatura horizontal (kh).

Tanto as características geomorfológicas da região quanto o conteúdo precipitado são circunstâncias climatológicas que afetam diretamente os movimentos de massa. Portanto, além dos fatores anteriormente utilizados por (CREPANI; MEDEIROS, 2000), nesse estudo é

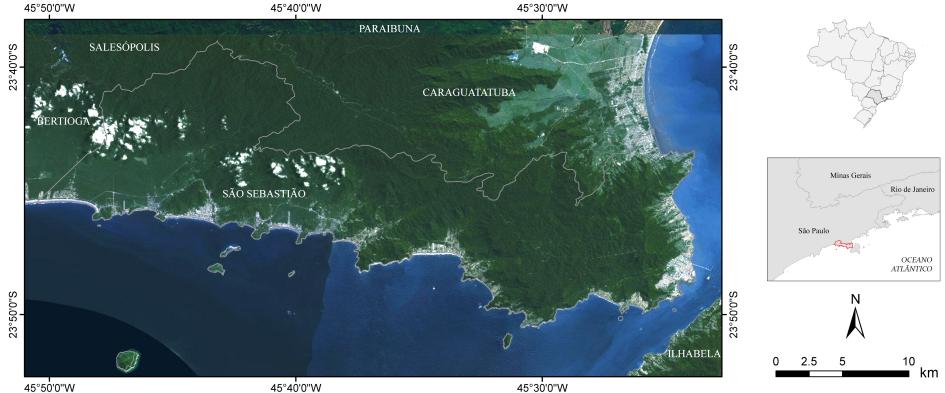


Figura 1: Localização da área de estudo. Limite do município de São Sebastião no estado de São Paulo.

empregada a variável denominada Índice de Saturação do Solo (TWI). O TWI é adquirido por meio da sequência de processamentos sobre os dados de altimetria obtidos a partir do TOPODATA (TOPODATA, 2014), que fornece dados SRTM com resolução espacial de 30 metros. Inicialmente, para que o dado de altimetria adquirido no respectivo repositório de dados fosse então transformado em dado de declividade foi necessário um sequência de operações utilizando as ferramentas GlobalMapper® 16.0 e Idrisi® Selva, adotadas neste trabalho para a transformação dos dados de elevação em formato 32bits no GlobalMapper e posteriormente, para recorte da área de estudo e transformação do mapa de pontos em vetor no Idrisi.

### 3. Metodologia

A declividade possui influência direta na velocidade de deslocamento de materiais, portanto, muitas vezes é considerada como o principal fator dentre aqueles que predispõem aos movimentos de massa. Além disso, as rochas metamórficas, aquelas que são formadas por meio de transformações de outras rochas quando submetidas a pressões internas ou a temperaturas elevadas, o uso e cobertura da terra e os tipos de solo da região, a geomorfologia, fatores climáticos, entre outros podem ser combinados a fim de se obter uma avaliação das áreas com maior predisposição a deslocamentos.

#### 3.1. Aquisição do TWI

O conceito primeiramente apresentado por (BEVEN; KIRKBY, 1979) descreve a propensão de saturação para uma determinada região dada a sua área de contribuição e as características de declividade locais. O índice permite quantificar o controle da topografia local quanto aos processos hidrológicos e indica a distribuição espacial da umidade do solo e saturação da superfície. É utilizado comumente na caracterização de similaridade hidrológica (BEVEN; KIRKBY, 1979; MOORE et al., 1993), sendo, portanto, um importante indicador para a modelagem de processos geográficos relacionados à topografia em escala de captação.

O cálculo do TWI é obtido, a princípio, por meio do modelo digital de elevação (*Digital Elevation Model - DEM*). Por definição, o TWI é dado por:

$$TWI = \ln \left( \frac{\alpha}{\tan \beta} \right) \quad (1)$$

em que  $\alpha$  é a área de captação (*Specific Catchment Area - SCA*), estimada utilizando algoritmos de fluxo de acumulação, como o determinístico de 8 direções (D8) (CALLAGHAN; MARK, 1984), e  $\beta$ , a declividade da região.

Para a aquisição do índice, inicialmente, obtém-se o dado de altimetria da região de estudo, disponibilizado pelo projeto TOPODATA (VALERIANO, 2005)<sup>2</sup>. Para o cálculo do índice em questão a partir do DEM, foi adotada a ferramenta de análise espacial *open-source* WhiteBox GAT 3.0.2. No WhiteBox, após a inserção do dado altimétrico, é realizado primeiramente o processo de filtragem pelos operadores de (i) preenchimento de depressões e remoção de áreas planas (*Fill depression*) e (ii) remoção de células isoladas (*Fill Single-Cell Pits*). Após a filtragem, são obtidos o (iii) mapa de declividade (*Slope*) e finalmente (iv) o indicador de fluxo (*Flow Pointer*), que utiliza o método de diferença finita de terceira ordem de (HORN, 1981) e o método D8 (CALLAGHAN; MARK, 1984), respectivamente. Obtidos a declividade e o indicador de fluxo, calcula-se então o SCA pelo operador (v) de fluxo de acumulação por D8/Rho8 (*D8/Rh8 Flow Accumulation*). Por fim, o índice é adquirido por meio da Equação 1, utilizando-se para  $\alpha$  a grade SCA e  $\beta$  a grade de declividade. A Figura 2 ilustra o fluxo das operações descritas acima, de modo que a cada processamento é obtida uma entrada para o processo seguinte.

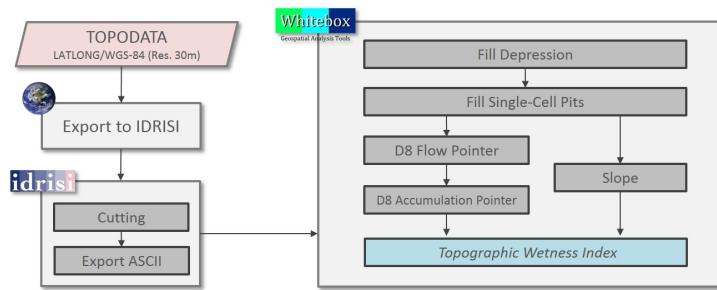


Figura 2: Fluxo de aquisição do TWI por meio do *software* WhiteBox GAT.

Na Seção 4 (Figura 3(a)), é mostrado o TWI após a execução das etapas de aquisição no Whitebox descritas acima. Na figura, é ilustrado o plano de informação temático no SPRING após o processo de fatiamento segundo suas categorias de suscetibilidade a movimentos de massa.

### 3.2. Análise espacial

O advento dos Sistemas de Informação Geográfica (SIGs) e de modernas técnicas em sensoriamento remoto tem facilitado o desenvolvimento de inúmeros métodos, aumentando consequentemente a pesquisa quanto à predição e investigação de desastres naturais, a exemplo do mapeamento de áreas suscetíveis a movimentos de massa (YAO; THAM; DAI, 2008). Uma vez obtido o índice, as avaliações são realizadas por meio de mapas temáticos ou numéricos, gerados normalmente pelos SIGs, que unem esse conjunto de mapas por meio de funções ou modelos de inferência, resultando, no caso, em um mapa com as potenciais áreas de suscetibilidade. Para tanto, adotaram-se duas técnicas de inferência espacial por média ponderada com suporte AHP (Processo Analítico Hierárquico, do inglês *Analytic Hierarchy Process*)<sup>3</sup> e *Fuzzy-Gamma*.

O suporte AHP auxilia a tomada de decisões baseado-se em critérios qualitativos e quantitativos, ou seja, não só considera a importância de cada elemento no conjunto, mas também a influência que cada elemento possui sobre os outros (Tabela 3.2) por meio da inserção de conhecimento de um especialista, aumentando a precisão do modelo. A técnica divide o problema em avaliações de menor importância e mantém a participação desses problemas menores na decisão global. Chen, Yeh e Yu (2011) alertam sobre as desvantagens do uso da

<sup>2</sup>Disponível em: <http://www.webmapit.com.br/inpe/topodata/>.

<sup>3</sup>Técnica utilizada no auxílio a tomada de decisões por meio de comparações pareadas.

técnica de média ponderada por AHP. Entretanto, o fator de incerteza não pode ser totalmente resolvido justamente pelo julgamento humano já estar, de alguma forma, envolvido no modelo (JEBUR; PRADHAN; TEHRANY, 2014).

Tabela 1: Média Ponderada por AHP. Pesos estimados a partir das combinações pareadas.

Categoría	Prioridade	Rank
Declividade	38,2%	1
Geomorfologia	25,0%	2
Geologia	16,0%	3
Solos	10,1%	4
Cobertura e uso da terra	6,4%	5
TWI	4,3%	6

A técnica de inferência por *Fuzzy-Gamma* consiste no produto entre a soma algébrica fuzzy e o produto algébrico fuzzy, que recai na metodologia de classificação de classes sem necessariamente se definirem limites rígidos de decisão (CÂMARA, 1996). Os modelos baseados na técnica permitem uma maior flexibilidade no que diz respeito a combinações de mapas com diferentes pesos, podendo, assim, serem inseridos em SIGs a partir de uma linguagem específica. Ainda, a técnica permite realizar previsões de acordo com diferentes cenários, de modo a agregar situações mais ou menos otimistas. Os cenários são adaptados de acordo com os diferentes valores do índice gamma ( $\gamma$ ) (BONHAM-CARTER, 1994).

A aplicação das técnicas de inferência, a edição dos planos de informações gerados pelo processamento, bem como a montagem e manipulação do banco de dados que os compõem foram realizados no *software* SPRING 5.2.6, Sistema de Processamento de Informações Georreferenciadas<sup>4</sup>, desenvolvido pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). As inferências foram realizadas por meio da Linguagem Espacial de Geoprocessamento Algébrico (LEGAL), incorporada ao *software*. As variáveis ambientais que dizem respeito às características geológicas, geomorfológicas, de solo, uso e cobertura da terra e declividade foram extraídas do banco de dados do estudo anteriormente realizado por (CREPANI; MEDEIROS, 2000). Foram definidas cinco diferentes classes de suscetibilidade para suas variáveis conforme sugerido por (CREPANI; MEDEIROS, 2000), a saber: Muito Alta (MA); Alta (A); Média (M); Baixa (B) e Muito Baixa (MB). Da mesma forma, cada uma das categorias de suscetibilidade adquiridas pelos métodos de inferência foram classificadas de modo equivalente.

#### 4. Resultados e Discussão

Entre os fatores que predispõem à ocorrência de deslizamentos, dois deles são considerados como sendo os mais importantes: a declividade da região e a precipitação acumulada que interferirá diretamente na saturação do solo. Sendo assim, além da utilização das variáveis de declividade, geomorfologia, geologia, solos e uso e cobertura da terra, um novo índice é inserido no modelo de modo a introduzir no contexto da análise os níveis de saturação local segundo suas características topográficas. Na Figura 3(a), pode-se notar que as regiões de vales possuem maiores tendências à saturação, pois em vista de sua declividade rasa o fluxo de água durante os períodos chuvosos tende a se acumular nessas regiões, as quais constituem predominantemente a classe de muito alta de suscetibilidade. Naturalmente, as regiões de encostas e cumes possuem menor tendência à saturação.

Neste trabalho, adotou-se a utilização das inferências espaciais por média ponderada com suporte AHP e *Fuzzy-Gamma*. Na Figura 3, é mostrado o geocampo temático obtido após

<sup>4</sup>Disponível em: [www.dpi.inpe.br/spring](http://www.dpi.inpe.br/spring).

a aplicação da média ponderada AHP, conforme os pesos indicados na Tabela 3.2. A partir do resultado obtido com a respectiva inferência, nota-se que as áreas de alta declividade são mapeadas perfeitamente como sendo de muito alta suscetibilidade, assim como as áreas urbanas, mapeadas corretamente nos níveis muito baixo e baixo de suscetibilidade.



Figura 3: Geocampo temático obtido com o SPRING. (a) Índice de Saturação do Solo (TWI) obtido após o fluxograma 2. (b) Inferência por média ponderada com suporte AHP.

Os resultados por inferência *Fuzzy-Gamma* mostram maior distribuição das áreas de suscetibilidade quando comparados àqueles gerados pela média ponderada com suporte AHP, tal como verificado também em (BISPO et al., 2009). Além disso, a técnica possui maior flexibilidade no que diz respeito à simulação de diferentes cenários. O respectivo ajuste é realizado pela modificação dos valores de  $\gamma$ , em que valores próximos de 0 representam cenários mais otimistas, enquanto que valores próximos de 1 correspondem a cenários mais pessimistas. A Figura 4 apresenta os resultados obtidos para os seguintes valores de  $\gamma = 0, 60; 0, 65; 0, 70$  e  $0, 75$ .

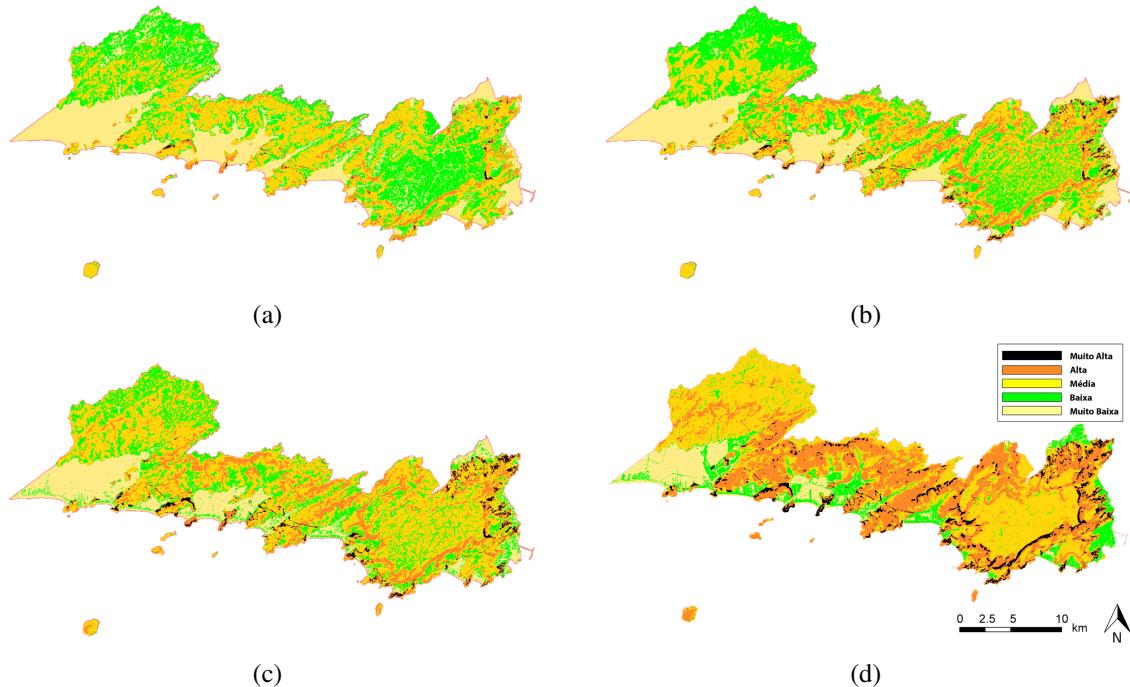


Figura 4: Geocampo temático obtido com o SPRING após a aplicação da inferência pelo método *Fuzzy-Gamma*. (a)  $\gamma = 0, 60$ . (b)  $\gamma = 0, 65$ . (c)  $\gamma = 0, 70$ . (d)  $\gamma = 0, 75$ .

O valor de  $\gamma = 0, 75$  mostrou-se apropriado para realçar as áreas de declividade acentuada como sendo de muito alta suscetibilidade. O cenário com  $\gamma = 0, 60$  mostra que as áreas de

alta declividade, situadas principalmente na região sudeste do município, são mapeadas como pertencentes às classes de média e alta suscetibilidade.

Os mapas temáticos resultantes da aplicação de inferências espaciais por média ponderada com suporte AHP e *Fuzzy-Gamma* foram gerados tanto com a variável TWI quanto sem a mesma. Ao fim, os mapas foram comparados, e as áreas divergentes realçadas (Figura 5).

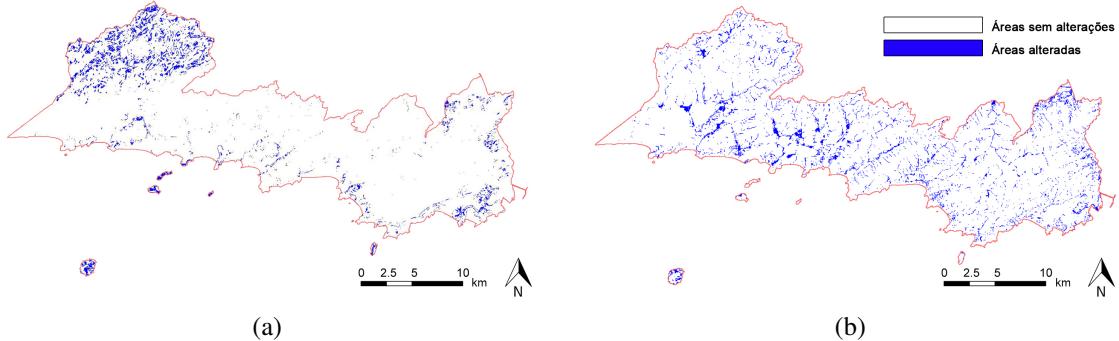


Figura 5: Diferença entre os geocampos temáticos sem e com a utilização do TWI por: (a) média ponderada AHP. (b) *Fuzzy-Gamma*, sendo  $\gamma = 0,75$ .

As áreas realçadas na cor azul consistem naquelas que apresentaram alterações quanto à utilização do TWI, sendo que essas alterações significam qualquer variação entre as classes resultantes oriundas de modelos de inferência espacial distintos. Na Figura 5(a), nota-se que as áreas com maior alteração concentram-se na região noroeste do município, caracterizadas pela presença de encostas de média e baixa declividade. Com a inserção do índice, altera-se para média suscetibilidade as classes originalmente assinaladas como alta, o que remete à baixa saturação do solo nessa região, sinalizando, portanto, a influência do TWI. Da mesma forma, na Figura 5(b), nota-se que as regiões influenciadas pelo índice utilizando o método *Fuzzy-Gamma* abrangem todo o município. Neste caso, as alterações ocorreram principalmente em áreas com baixa declividade, tal que algumas regiões mapeadas como classes de média e baixa suscetibilidade foram respectivamente mapeadas como baixa e muito baixa suscetibilidade (vales).

## 5. Considerações finais

Os atributos relativos à topografia de uma região têm sido definidos como a principal causa da ocorrência dos movimentos de massa, tal que as áreas de declividade mais acentuada ( $37,6^\circ$  ou 77%) são associadas às classes de muito alta suscetibilidade e, abaixo de  $5,7^\circ$  ou 10%, como de muito baixa suscetibilidade. Desta forma, neste trabalho explorou-se a aquisição e utilização de um novo fator que permite estimar o grau de saturação de uma determinada região conforme sua topografia.

A média ponderada com suporte AHP mostrou-se um método consistente, uma vez que os pesos foram determinados de forma mais criteriosa a partir de uma comparação qualitativa pareada entre variáveis. Os resultados mostraram-se satisfatórios, visto que as áreas com tendências quase nulas a deslizamentos, tais como os centros urbanos, foram mapeadas adequadamente como classes de muito baixa suscetibilidade, enquanto que as áreas de alta declividade foram também corretamente mapeadas como sendo de muito alta suscetibilidade. A análise por *Fuzzy-Gamma* demonstrou ser o método mais flexível para subsidiar o processo de tomada de decisão, pois possibilita a geração de diversos cenários de suscetibilidade a movimentos de massa em função da variação do valor do índice gama. O cenário com  $\gamma = 0,75$  mostrou-se mais favorável para representar a especificidade da região, porém, mais pessimista

quando comparado ao resultado por média ponderada AHP. Embora o impacto da inserção da variável TWI no modelo não tenha sido expressivo, sua utilização foi contudo satisfatória pois permitiu incrementar a classificação, tal como evidenciado na Figura 5, tendo sido uma importante variável no mapeamento da suscetibilidade ao evento.

Cabe ressaltar que não foi realizada a validação dos resultados em virtude da indisponibilidade de dados de referência, já que para isso seria necessário o mapeamento de cicatrizes de eventos recentes de movimentos de massa na área de estudo.

## Agradecimentos

Os autores agradecem o apoio financeiro da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES). Agradecemos também aos colegas Dr. Edison Crepani e Dr. José Simeão Medeiros pelo fornecimento dos dados.

## Referências

- BEVEN, K.; KIRKBY, M. A physically based, variable contributing area model of basin hydrology/un modèle à base physique de zone d'appel variable de l'hydrologie du bassin versant. *Hydrological Sciences Journal*, Taylor & Francis, v. 24, n. 1, p. 43–69, 1979.
- BISPO, P. C. et al. Avaliação da suscetibilidade aos movimentos de massa na região de são sebastião-sp com o uso de técnicas de geoprocessamento. In: REMOTO, S. B. de S. (Ed.). *Anais XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*. Natal, Brasil, 2009. XIV, p. 3583–3590.
- BONHAM-CARTER, G. *Geographic information systems for geoscientists: modelling with GIS*. [S.I.]: Elsevier, 1994.
- CALLAGHAN, J. F.; MARK, D. M. The extraction of drainage networks from digital elevation data. In: VISION, G. C.; PROCESS, I. (Ed.). *Computer Vision, Graphics, and Image Process*. [S.I.: s.n.], 1984. v. 28, n. 3, p. 323–344.
- CÂMARA, G. *Anatomia de sistemas de informação geográfica*. [S.I.]: UNICAMP-Instituto de Computação, 1996.
- CHEN, Y.-R.; YEH, C.-H.; YU, B. Integrated application of the analytic hierarchy process and the geographic information system for flood risk assessment and flood plain management in taiwan. *Natural hazards*, Springer, v. 59, n. 3, p. 1261–1276, 2011.
- CREPANI, E.; MEDEIROS, J. S. de. Sensoriamento remoto e geoprocessamento aplicados ao estudo da vulnerabilidade a movimentos de massa no município de são sebastião-sp. In: REMOTA, S. L. de P. (Ed.). *Simpósio Latinoamericano de Percepción Remota (SELPER)*. Missiones, Argentina: [s.n.], 2000. (Argentina: SELPER, v. 9), p. Capítulo Argentina.
- CREPANI, E.; MEDEIROS, J. S. de. Sensoriamento remoto e geoprocessamento aplicados ao estudo de vulnerabilidade a movimentos de massa no município de caraguatatuba-sp. In: REMOTO, S. B. de S. (Ed.). *Anais X, Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*. Foz do Iguaçu: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2001. X, p. 931–933.
- HORN, B. K. P. Hill shading and the reflectance map. In: IEEE, P. of (Ed.). *Proceedings of IEEE*. [S.I.: s.n.], 1981. v. 69, n. 1, p. 14–47.
- IBGE. *Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística*. 2014. Disponível em: <<http://cidades.ibge.gov.br/>>.
- JEBUR, M.; PRADHAN, B.; TEHRANY, M. Manifestation of lidar-derived parameters in the spatial prediction of landslides using novel ensemble evidential belief functions and support vector machine models in gis. *Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing, IEEE Journal of*, PP, n. 99, p. 1–17, 2014. ISSN 1939-1404.
- LATIF, Z. A.; AMAN, S. N. A.; PRADHAN, B. Landslide susceptibility mapping using lidar derived factors and frequency ratio model: Ulu klang area, malaysia. In: IEEE. *Signal Processing and its Applications (CSPA), 2012 IEEE 8th International Colloquium on*. [S.I.], 2012. p. 378–382.
- MOORE, I. et al. Soil attribute prediction using terrain analysis. *Soil Science Society of America Journal*, p. 443–452, 1993.
- MUÑOZ, V. A. *Análise Comparativa de Técnicas de Inferência Espacial para Identificação de Unidades de Suscetibilidade aos Movimentos de Massa na Região de São Sebastião - SP*. Dissertação (Monografia. (Aperfeiçoamento/Especialização em Curso Internacional em Sensoriamento Remoto)) — Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos-SP, 2005.
- QIN, C.-Z. et al. An approach to computing topographic wetness index based on maximum downslope gradient. *Precision Agriculture*, Springer, v. 12, n. 1, p. 32–43, 2011.
- TOPODATA. *Banco de dados Geomorfométricos do Brasil*. Junho 2014. Acesso em: Junho de 2014. Disponível em: <<http://www.webmapit.com.br/inpe/topodata/>>.
- VALERIANO, M. M. Modelo digital de variáveis morfométricas com dados srtm para o território nacional: o projeto topodata. In: REMOTO, S. B. de S. (Ed.). *XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*. Goiânia-GO: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2005. XII, p. 3595–3602.
- YAO, X.; THAM, L.; DAI, F. Landslide susceptibility mapping based on support vector machine: a case study on natural slopes of hong kong, china. *Geomorphology*, Elsevier, v. 101, n. 4, p. 572–582, 2008.