



# Avaliação da Vulnerabilidade para Análise de Risco em Trecho da Rodovia Régis Bittencourt Pertencente a Serra Pelada

Ellen Felizardo Batista

Universidade Federal do Paraná, Curitiba, Brasil, ellenfp@ifsp.edu.br

Larissa De Brum Passini

Universidade Federal do Paraná, Curitiba, Brasil, larissapassini@ufpr.br

Alessander Christopher Morales Kormann

Universidade Federal do Paraná, Curitiba, Brasil, alessander@ufpr.br

**RESUMO:** As rodovias brasileiras em sua maioria atravessam maciços terrosos e rochosos, estando suscetíveis aos riscos de deslizamentos. A avaliação da vulnerabilidade é fundamental na análise de risco de escorregamentos, pois auxilia as tomadas de decisões nos projetos de mitigação de risco. A presente pesquisa teve como objetivo a análise da vulnerabilidade através da atribuição de fatores de perdas de 0 (zero) à 1 (um) à conjuntos de elementos expostos, quantificando os prejuízos corporais, os danos estruturais e as perturbações funcionais. O trecho estudado pertencente à BR 116, inserido na Serra Pelada (SP), selecionado em função dos históricos de deslizamentos de terra na região, intenso volume de tráfego e importância econômica da via. A avaliação da vulnerabilidade permitiu a identificação da suscetibilidade condicionada às características intrínsecas dos elementos expostos da região de estudo, apresentando as habitações, as rodovias e as Obras de Arte Especiais (OAE) como os elementos mais vulneráveis.

**PALAVRAS-CHAVE:** Deslizamentos de Encosta, Índices de Perdas, Gestão de Risco.

## 1 INTRODUÇÃO

Os deslizamentos de terra na Serra do Mar são decorrentes das características geológicas, geotécnicas e geomorfológicas, bem como das descontinuidades hidrológicas, causadas pelo clima quente e úmido local, o que torna a região profundamente intemperizada e substancialmente propensa a deslizamentos (Cruz, 2018). Ademais, a região é composta por estruturas antropogênicas ao longo de sua extensão, como urbanização, agricultura e desmatamento, criando inúmeras áreas de risco (Nery, 2015). Essas áreas tem elevado grau de exposição, ou seja, as populações estão expostas a eventos de ocorrência súbita, como os deslizamentos de terra.

A vulnerabilidade pode ser compreendida como a suscetibilidade dos elementos, que estão em áreas de risco, de sofrerem danos e prejuízos caso ocorra o acidente, por sua fragilidade física frente a ele e pela incapacidade de resposta e deficiência para absorver o impacto (Nogueira, 2002).

O estudo da vulnerabilidade é fundamental na avaliação do risco de escorregamentos por entender a interatividade entre um determinado escorregamento e os elementos sujeitos a ele (Leone et al., 1996).

A vulnerabilidade pode ser avaliada quantitativamente ou qualitativamente e pode ser caracterizada pelos parâmetros referentes aos graus de exposição e de fragilidade; número de vidas em risco e impacto na qualidade de



vida; valores econômicos afetados e impactos ambientais potenciais (Mora et al., 2006).

Diversos autores apresentam diferentes conceitos de vulnerabilidade, entre eles temos a definição de Fell (1994) que descreve a vulnerabilidade como o grau de perda para um dado elemento ou conjunto de elementos dentro de uma área afetada por um ou mais escorregamentos, podendo ser expressa em uma escala de indicadores de 0 (zero) à 1 (um), onde 0 corresponde à sem danos e 1 à perda total.

A presente pesquisa teve como objetivo a análise da vulnerabilidade através da atribuição de fatores de perdas à conjuntos de elementos expostos, de forma a auxiliar as futuras tomadas de decisões em projetos de mitigação de riscos.

## 2 ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo se estende por 13.12 km<sup>2</sup>, pertencente à cadeia montanhosa da Serra do Mar, na região geológica da Serra Pelada, localizada no estado de São Paulo, no município de Barra do Turvo (Figura 1).



Figura 1. Área de estudo

A região é atravessada por 15 km da rodovia BR 116/SP (Figura 2), sendo um trecho que exerce papel econômico essencial na malha viária brasileira, pois faz parte da rota do Mercosul e do principal corredor rodoviário de interligação dos mais importantes polos econômicos dos estados de São Paulo (SP) e do Paraná (PR). Estando também localizada à 180

km e 347 km dos portos de Paranaguá (PR) e Santos (SP) respectivamente, sendo estes os portos de maior influência econômica no país, apresentando elevado volume diário de tráfego de usuários e mercadorias.

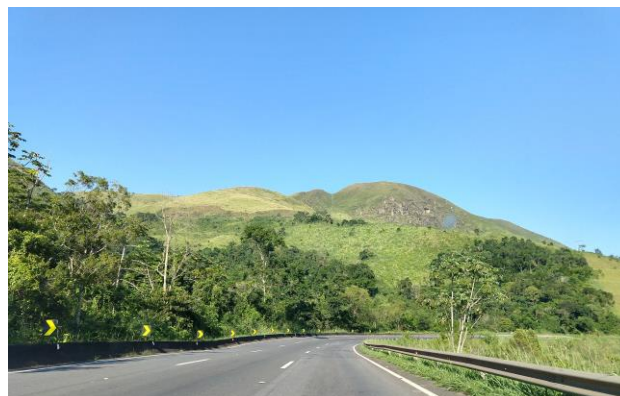


Figura 2. Rodovia BR 116/SP

Dessa forma, por já ter apresentado processos de deslizamentos pretéritos, decorrentes de suas condições topográficas, geológicas e do regime de chuvas intensas característico de regiões tropicais úmidas, a região torna-se de interesse para estudos visando à redução de riscos.

## 3 METODOLOGIA

A avaliação da vulnerabilidade foi realizada através da atribuição de índices de perdas a conjuntos de elementos expostos, ou seja, todos os elementos ameaçados por um fenômeno de deslizamento.

Através de visitas técnicas na área de estudo, foram identificados os seguintes elementos expostos: habitantes, edificações, OAE (Obras de Arte Especiais), rodovias, estradas rurais e áreas de cultivo de bananas.

A partir da definição dos elementos expostos, foram determinados os indicadores que caracterizam os prejuízos corporais, os danos estruturais e as perdas funcionais, aos quais esses elementos podem estar vulneráveis.



Índices de perda entre 0 (zero) e 1 (um) foram atribuídos a cada conjunto de elementos expostos, sendo o valor 1 (um) considerado a classe mais vulnerável.

Para elementos com ausência de dados foram utilizados valores de indicadores presentes na literatura. Para os demais, foram estipulados valores através do número de habitantes, número de usuários e das classes de declividades dos taludes.

A Figura 3 apresenta de forma esquemática a metodologia utilizada na avaliação da vulnerabilidade.

Para os habitantes, como indicador da vulnerabilidade corporal foi utilizado o número de habitantes, pois a probabilidade da presença de vítimas em determinado espaço aumenta em função dele. O número de habitantes foi obtido através do número de edificações, que corresponde à 143 casas, multiplicado por 3,3 habitantes por domicílio (IBGE, 2011), resultando em 472 habitantes.

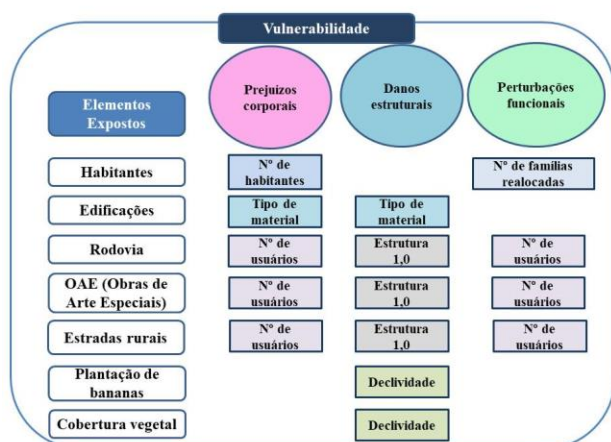


Figura 3. Indicadores utilizados na avaliação dos prejuízos corporais, danos estruturais e perturbações funcionais

A vulnerabilidade dos habitantes envolve vários aspectos como, idade atrelada à mobilidade, velocidade do deslizamento, localização espacial e tipo de material. Sendo assim, foi atribuído um índice de 1,0 para cada habitante, correspondente a danos muito graves,

considerando a pior situação (Finlay e Fell, 1997).

O número de famílias que deverão ser realocadas em caso de deslizamento representa o indicador de perdas funcionais com atribuição do índice de perda correspondente a 1,0 para cada família.

Quanto às edificações a vulnerabilidade depende de componentes como: a técnica de construção, material de construção, estado de conservação e número de pavimentos. O indicador de tipo de material foi utilizado como referência para atribuição do fator de perda, tanto na avaliação dos danos estruturais causados nas edificações, quanto nos prejuízos corporais, tendo em vista a probabilidade da presença de habitantes nas edificações.

Os índices de perdas foram embasados na resistência estrutural dos materiais, sendo igual a 0,5 para alvenaria de tijolos e 1,0 para madeira (Silva e Pereira, 2014). Na região de estudo foram observados como materiais construtivos a predominância de madeira e tijolo de forma igualitária.

Para a rodovia, OAE, e estradas rurais, o número de usuários foi utilizado como indicador da vulnerabilidade corporal e das perturbações funcionais, pois quanto maior a densidade do tráfego, maior os danos provenientes do deslizamento. O volume diário de usuários da rodovia corresponde à 33.696 usuários/dia (DNIT, 2016) e para as estradas rurais, considerou-se a quantidade de 472 habitantes da região de estudo, estabelecendo-se assim, o índice de perda igual a 1,0 para as rodovias, em função do maior tráfego, e o índice proporcional de 0,01 para as estradas rurais. Em relação ao indicador de danos estruturais, foi atribuído o fator de perda de 1,0 considerando uma situação crítica com danos muito graves (Leone et al., 1996).

Para a plantação de bananas e a cobertura vegetal, as declividades das encostas representaram o indicador de danos estruturais,



pois quanto maior a declividade do talude maior é a vulnerabilidade ao deslizamento.

Os índices de perda foram estabelecidos proporcionalmente em função das seis classes de classificação do relevo (Embrapa, 2006), conforme o aumento do percentual de declividade dos taludes.

Após a definição dos índices atribuídos (Tabela 1) aos elementos expostos da área de estudo, os mesmos foram processados em um Sistema de Informações Geográficas (SIG) com projeção UTM SIRGAS 2000, Zona 22S, como diferentes camadas de dados. Os polígonos gerados foram transformados em formato raster com um tamanho de pixel de  $1 \times 1$  m.

Tabela 1. Índices atribuídos aos elementos expostos.

Elementos	Tipologia	Índices
Edificações	Alvenaria de tijolos	0,50
	Madeira	1,00
Rodovias	BR - Régis Bittencourt	1,00
	Estradas rurais	0,01
Taludes – Classificação do relevo	0% – 3%	0,17
	3% - 8%	0,34
	8% - 20%	0,51
	20% - 45%	0,68
	45% - 75%	0,85
	>75%	1,00

A vulnerabilidade total foi cartografada através da média dos mapas de prejuízos corporais, danos estruturais e perturbações funcionais.

A escolha pelo modo de média aritmética simples foi realizada visando-se a obtenção da vulnerabilidade mediante a influência de todos os indicadores anteriormente estabelecidos.

#### 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

O mapeamento dos prejuízos corporais (Figura 4) apresentou as edificações, rodovias e OAE como os elementos com maior vulnerabilidade, ou seja, são áreas com elevada possibilidade de ocorrência de vítimas frente a um deslizamento.

O detalhamento permite uma melhor visualização da distribuição dos índices de vulnerabilidade.

Os índices foram classificados em intervalos naturais, permitindo que os dados com menor variação sejam agrupados, estabelecendo de maneira estatística os padrões espaciais dos índices.

Para elaboração do mapa de danos estruturais, inicialmente realizou-se o mapa de danos estruturais em função do tipo de material das edificações e estrutura, seguido da realização do mapa de danos estruturais em função da declividade.

Através da média entre os mapas de danos estruturais em função da declividade e do tipo de material e estrutura, obteve-se o mapa de danos estruturais totais (Figura 5).

O mapeamento permitiu a identificação das áreas das rodovias, OAE, estradas rurais e edificações como as regiões com maior vulnerabilidade em relação aos danos estruturais.

O mapeamento das perturbações funcionais (Figura 6) apresentou como elementos de maior vulnerabilidade, as áreas das rodovias, OAE e habitações.

Através da média dos mapas de prejuízos corporais, danos estruturais e perturbações funcionais, obteve-se o mapa de vulnerabilidade total (Figura 7).

A análise do mapa permitiu a identificação das áreas das edificações, rodovia e OAE como os elementos com maior vulnerabilidade.

O método empregado na avaliação da vulnerabilidade apresentou como limitação, não considerar todos os elementos de risco que compõe a região de estudo, como por exemplo, torres de energia, e parâmetros como a magnitude do deslizamento.

As atribuições dos índices de perda também apresentam limitações devido à subjetividade. Em contrapartida, embora a avaliação seja subestimada, ela ilustra sua importância na realização de análises de risco e contribui para o aumento de estudos nacionais sobre o tema.



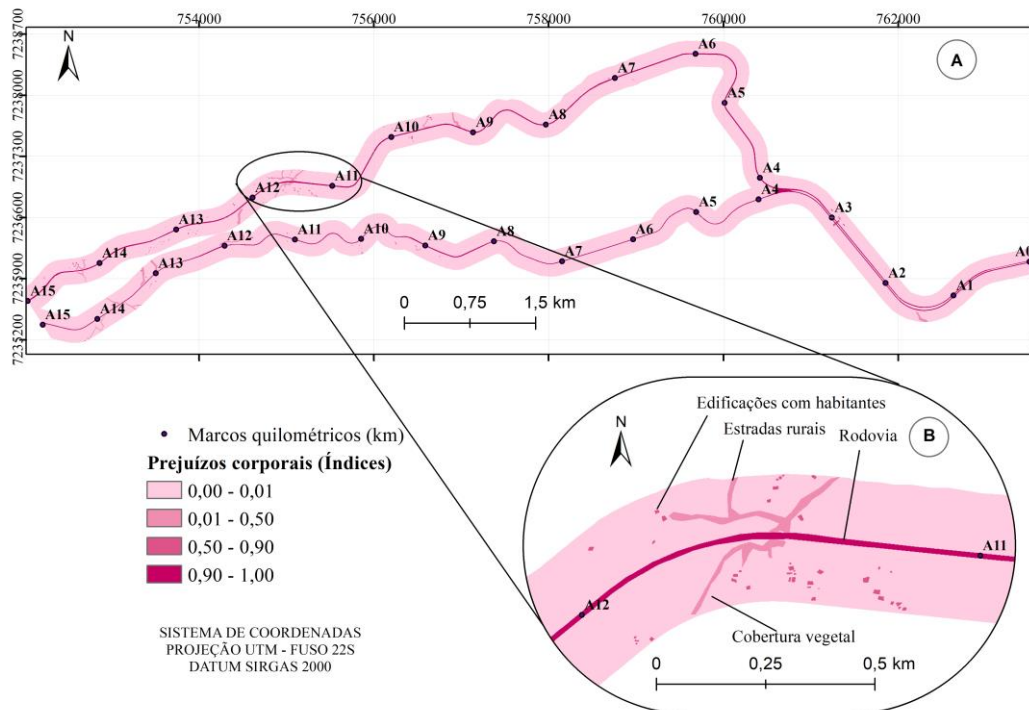


Figura 4. Mapa de prejuízos corporais da Serra Pelada

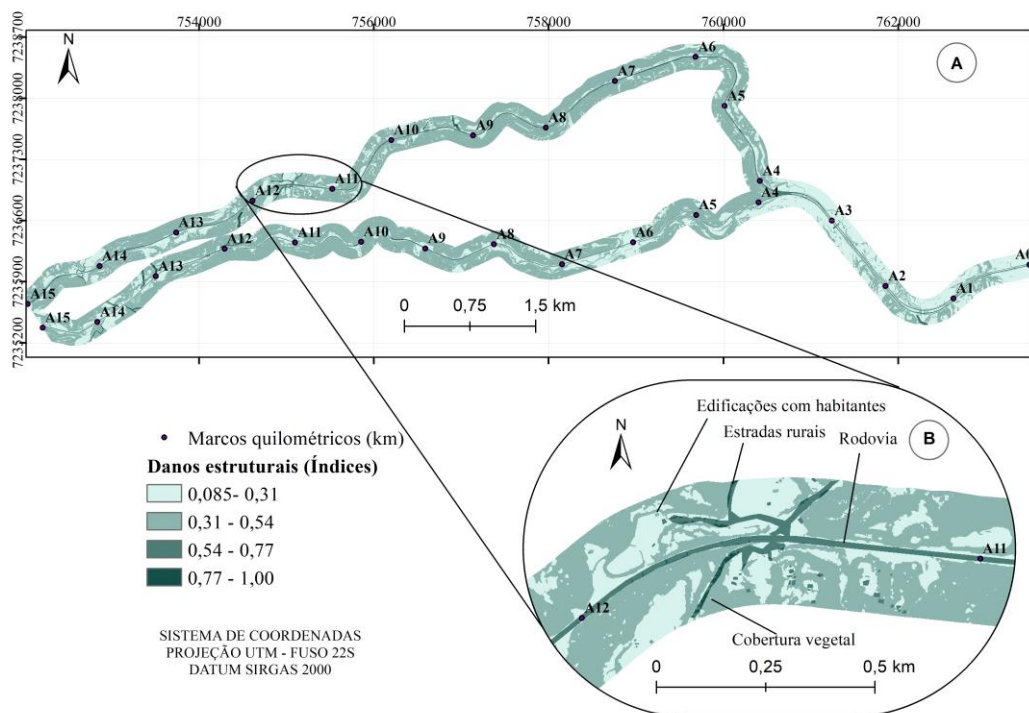


Figura 5. Mapa de danos estruturais totais da Serra Pelada

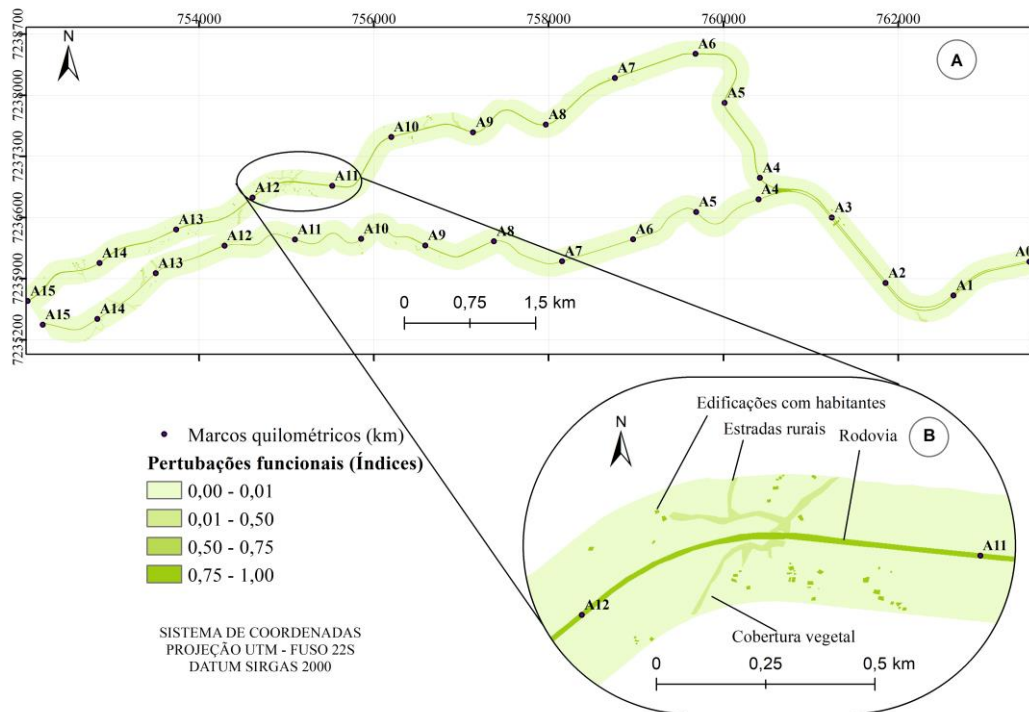


Figura 6. Mapa de perturbações funcionais da Serra Pelada

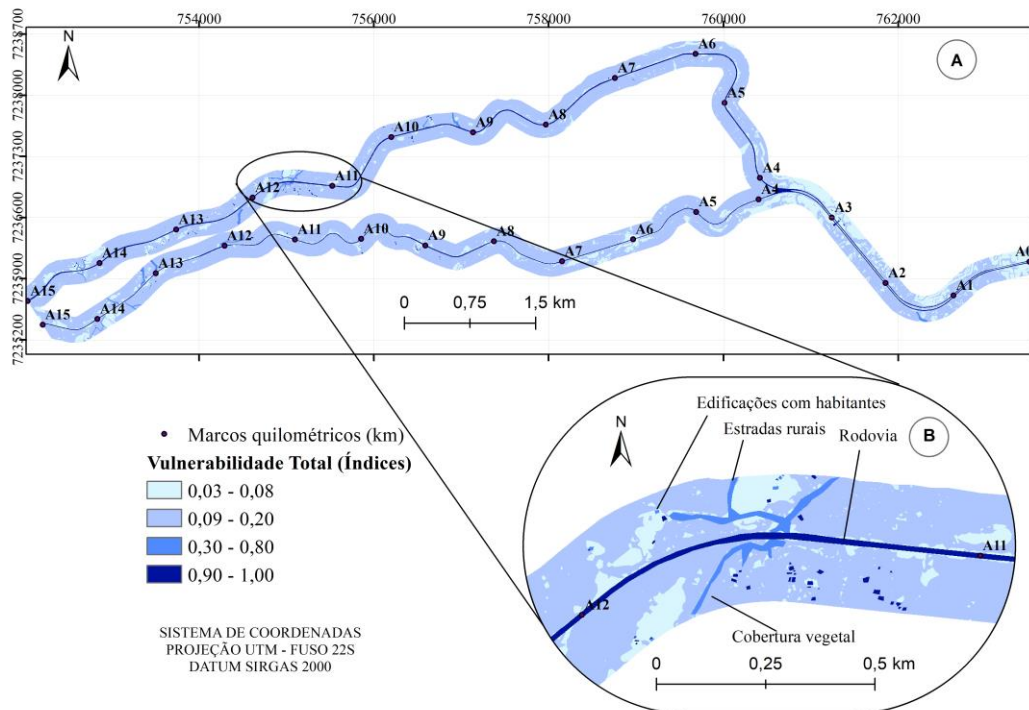


Figura 7. Mapa de vulnerabilidade total da Serra Pelada



## 5 CONCLUSÕES

A avaliação da vulnerabilidade através da aplicação de índices permitiu a identificação das regiões na Serra Pelada (SP) com maiores graus de perdas frente à ocorrência de um deslizamento de terra, auxiliando dessa forma o processo de tomada de decisões no estudo de projetos de mitigação de riscos.

Os resultados apresentaram as edificações, a rodovia, as OAE e as estradas rurais como elementos expostos com maior vulnerabilidade.

O mapeamento com as identificações das áreas mais vulneráveis é de suma importância, pois permite identificar as regiões com maiores perdas, possibilitando o direcionamento dos esforços de mitigação e aumentando a eficácia do gerenciamento de risco.

## AGRADECIMENTOS

Os autores gostariam de agradecer ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Construção Civil - PPGECC/UFPR e ao apoio dos Recursos de Desenvolvimento Tecnológico - RDT, da Concessionária Arteris SA, sob o controle da Agência Nacional de Transportes Terrestres - ANTT, por possibilitar a realização desta pesquisa.

## REFERÊNCIAS

- Cruz, O. (2018). Studies on the geomorphic processes of overland flow and mass movements in the Brazilian geomorphology. *Rev. Bras. Geociências*, 30, 504–507. doi: 10.25249/0375-7536.2000303504507.
- Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT). (2016). Pesquisa Nacional de Tráfego (PNT). Disponível em: <<http://servicos.dnit.gov.br/dadospnt/Pnt/2016>>. Acesso em: 13 maio 2019.
- Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA). (2006). Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. Centro Nacional de Pesquisa de Solos, Rio de Janeiro, Brasil, 2006, ISBN: 978-85-7035-198-2.
- Fell, R. (1994). Landslide risk assessment and acceptable risk. *Canadian Geotechnical Journal*, vol 31.
- Finlay, P. J. e Fell, R. (1997). Landslides: risk perception

and acceptance. *Can. Geotech. J.*, 34, 169–188. doi: 10.1139/t96-108.

- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). (2011). Censo demográfico 2010: Características da população e dos domicílios: Resultados do universo. Rio de Janeiro, Brasil, ISSN: 0104-3145.
- Leone, F.; Asté, J. P. e Leroi, E. (1996). Vulnerability assessment of elements exposed to mass-movement: working toward a better risk perception. *Landslides-Glissements de Terrain*. Balkema, Rotterdam, 263–270.
- Mora, S.; Keipi, K. (2006). Disaster risk management in development projects: models and checklists. *Bull. Eng. Geol. Environ.*, 65, 155–165. doi: 10.1007/s10064-005-0022-1.
- Nery, T. D.; Vieira, B. C. (2015). Susceptibility to shallow landslides in a drainage basin in the Serra do Mar, São Paulo, Brazil, predicted using the SINMAP mathematical model. *Bull. Eng. Geol. Environ.* 74, 369–378. doi: 10.1007/s10064-014-0622-8.
- Nogueira, F. R. (2002). *Gerenciamento de riscos ambientais associados a escorregamentos: contribuição às políticas públicas para áreas de ocupação subnormal*. Tese de Doutorado, Instituto de Geociências e Ciência Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 253p.
- Silva, M. e Pereira, S. (2014). Assessment of physical vulnerability and potential losses of buildings due to shallow slides. *Nat. Hazards*, 72, 1029–1050. doi: 10.1007/s11069-014-1052-4.