

XX Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica
IX Simpósio Brasileiro de Mecânica das Rochas
IX Simpósio Brasileiro de Engenheiros Geotécnicos Jovens
VI Conferência Sul Americana de Engenheiros Geotécnicos Jovens
XI Congresso Luso Brasileiro de Geotecnia
23 a 26 de Agosto de 2022 – Campinas – SP



COBRAMSEG 2022
23 A 26 DE AGOSTO | CAMPINAS | SP | BRASIL
COBRAMSEG | SBMR | GEOJOVEM | CLBG

Metodologia para Espacialização de Suscetibilidade à Movimento de Massa em Áreas Lindeiras à Rodovias

Monyk dos Santos Sandes

Discente, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Bauru, Brasil, monyk.sandes@unesp.br

Anna Silvia Palcheco Peixoto

Docente, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Bauru, Brasil, anna.peixoto@unesp.br

RESUMO: Ao longo das duas últimas décadas, se observou um aumento considerável no número de desastres relacionados à movimento de massa, especialmente no Brasil. Muitos casos ocorrem devido ao crescimento inadequado da urbanização, instalação de megaprojetos de engenharia, causando problemas ambientais, sociais e econômicos. Sendo assim, são necessários estudos para entender melhor os fatores desencadeadores e a capacidade de resposta das comunidades. O objetivo do trabalho é apresentar uma metodologia utilizando dados abertos para a construção de mapas de suscetibilidade e vulnerabilidade para regiões lindeiras a rodovias, utilizando a região do Vale do Paraíba, adjacente à Via Dutra (BR-116), através da análise de dados de movimento de massa pretéritos, obtidos de banco de dados de órgãos governamentais, por meio da espacialização e análise multicritério. Conclui-se, na análise ambiental, que houveram muitas localidades em que a suscetibilidade foi classificada como muito alta, enquanto que na análise social, a vulnerabilidade esteve em sua maioria como média.

PALAVRAS-CHAVE: Movimento de Massa, Suscetibilidade, Rodovias.

ABSTRACT:

Over the last two decades, there has been a considerable increase in the number of disasters related to mass movement, especially in Brazil. Many cases occur due to inadequate urbanization growth, installation of mega engineering projects, causing environmental, social and economic problems. Therefore, studies are needed to better understand the triggering factors and the responsiveness of communities. The objective of this work is to present a methodology using open data for the construction of susceptibility and vulnerability maps for regions adjacent to highways, using the region of Vale do Paraíba, adjacent to Via Dutra (BR-116), through the analysis of data from past mass movement, obtained from a database of government agencies, through spatialization and multicriteria analysis. It is concluded, in the environmental analysis, that there were many localities where the susceptibility was classified as very high, while in the social analysis, the vulnerability was mostly as medium.

KEYWORDS: Mass Movement, Susceptibility, Roads.

1 Introdução

O número e a frequência dos desastres aumentaram nas últimas décadas e são devidos principalmente a uma combinação de fatores, como o crescimento populacional, segregação socioespacial, acumulação de capital em áreas perigosas e mudanças globais (Winchester e Szalachman, 2009).

Frente à essa observação, se iniciou, em 2015, uma estratégia Internacional das Nações Unidas para a Redução de Risco de Desastres (UNISDR) com o intuito de construir comunidades mais resilientes. Em complemento, foi apresentado em 2015, em Paris, o Relatório especial do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC). No mesmo ano foi destacada a adoção da agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável, gerando um documento listando 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS). Entre eles, se destacam as metas do 13º ODS: "Reforçar a resiliência e a adaptabilidade aos riscos e desastres naturais relacionados com o clima em todos os países" e do 11º ODS "Cidades e comunidades mais sustentáveis" (UNISDR, 2015), especialmente por envolver a questão de segurança às pessoas e no controle de catástrofes ambientais, como os deslizamentos.



Em escala mundial, no Brasil, houve cerca de 250 registros de desastres no período de 1900 a 2021 (EM-DAT, 2021). Sendo 132 registros entre os anos de 1900 até 2000, compreendendo um período de 100 anos e 118 registros nos últimos 21 anos.

A implantação dos mega projetos de engenharia é componente do desenvolvimento sócio-econômico do país e esses empreendimentos devem estar alinhados com as atividades de avaliação de riscos e impactos ambientais (CARVALHO, 1991). A rodovia Presidente Dutra BR 116, é uma região relevante para estudos de suscetibilidade de deslizamentos e quedas de barreiras, pois une condições ambientais propícias aos processos de movimentação de massas nos taludes que a circunda e a extensa área urbana formada por cidades e vilarejos que foram se desenvolvendo às margens da via.

As análises compreendem a avaliação da suscetibilidade ambiental, bem como da vulnerabilidade social uma vez que são relevantes pesquisas voltadas para o mapeamento e a compreensão local desses fenômenos, para entender os agentes desencadeadores e avaliar as condições dos elementos, visando identificar as possíveis áreas predisponentes à movimento de massa.

2 Revisão Bibliográfica

Conforme Tominaga (2009) os desastres podem ser definidos como impactos de fenômenos naturais em áreas habitadas de causar danos humanos, materiais e ambientais. A magnitude de um desastre depende da relação entre a intensidade do evento e o grau de fragilidade da sociedade afetada (RODRIGUES, 2010). As características geofísicas, seguidas de grande crescimento populacional, falta de planejamento urbano e especulação imobiliária são alguns fatores determinantes da ocorrência de desastres relacionados a escorregamentos (ANDRADE et al, 2019).

Deslizamentos superficiais (CRUDEN E VARNES 1996; HUNGR et al, 2014) são um dos perigos naturais mais difundidos em todo o mundo (UNISDR, 2017). Em território brasileiro, deslizamentos de terra rasos estão relacionados a desastres destrutivos, causando grandes prejuízos à sociedade (IBGE, 2018).

A suscetibilidade à escorregamentos é geralmente avaliada por um estudo da distribuição espacial de fatores desencadeadores e sua relação com a localização de ocorrências dos deslizamentos no passado. O mapeamento é uma ferramenta importante neste contexto, uma vez que tenta gerir o território de uma forma sistemática e espacializada. (VAN WESTERN, 2008).

Os mapas de suscetibilidade à movimento de massa, que representam a probabilidade espacial de ocorrência de deslizamentos em um determinado local são ferramentas amplamente utilizadas para o gerenciamento de riscos relacionados. Estes podem ser gerados usando métodos de análises multicritérios, geralmente envolvendo dados de campo e Sistemas de Informação Geográfica (SIG) como ferramenta de entrada no mapa final. (GUZZETTI, 2005).

Os Sistemas de Informação Geográfica (SIG) podem ser usados na preparação de dados, análise de dados e no desenho das saídas. Uma das vantagens do uso de SIG é a possibilidade de sobrepor diferentes mapas temáticos e analisar a distribuição de seus atributos em unidades espaciais apropriadas (ALCÁNTARA et al, 2018).

Palmeira et al (2019) apresentou o mapa de suscetibilidade do movimento de massa considerando os atributos físicos e o agente desencadeador, por meio da espacialização de eventos ocorridos e análise multicritério ponderada estatisticamente de acordo com o número de ocorrências conforme as características da área de estudo.

3 Materiais e Métodos

A metodologia foi desenvolvida visando uma análise cognoscível com dados disponíveis em sites de órgãos governamentais e softwares livres, para possíveis aplicações em diferentes regiões. Tratando-se do atual estudo, foi aplicado à um trecho de aproximadamente 200 quilômetros da Rodovia Presidente Dutra (BR-116), na extensão dentro do estado de São Paulo, por se tratar de uma região favorável à movimentação de massa e por cumprir um importante papel no sistema viário brasileiro (ANTT, 2021).

A via Dutra é um elemento estruturador do espaço urbano-regional. É considerada o principal corredor rodoviário entre os estados do Rio de Janeiro e São Paulo, interferindo, diretamente, no desenvolvimento econômico e no rápido processo de expansão e de conturbação dos municípios do Eixo. A via perpassa 14 dos



39 municípios que compõem a atual Região Metropolitana do Vale do Paraíba e Litoral Norte (RMVPLN), uma das regiões mais ricas do país (ANDRADE, 2019).

Dentro do trecho analisado, estão as seguintes cidades: Jacareí, São José dos Campos, Caçapava, Taubaté, Pindamonhangaba, Roseira, Potim, Aparecida, Guaratinguetá, Lorena, Canas, Cachoeira Paulista, Cruzeiro, Silveiras, Lavrinhas e Queluz.

3.1 Coleta de Dados

À princípio, se realizou o levantamento de dados de ocorrências de movimentos de massa ao longo da rodovia e nas cidades que as circundam, como erosões, cicatrizes de escorregamentos, deslizamentos e quedas de barreiras. Foi utilizada a base de dados do Instituto de Pesquisas Meteorológicas IPMet/UNESP entre os anos de 2000 a 2021, as principais informações foram: data, cidade, tipo de evento, coordenadas geográficas e número de vítimas, ressaltando que o banco de dados computa as ocorrências onde houve a atuação da Defesa Civil. Também foram utilizadas fotos georreferenciadas registradas por usuário da via no ano de 2016, com a identificação visual de eventos pretéritos.

Essas ocorrências, permitiram uma espacialização dos dados em ambiente SIG e um estudo detalhado das características físicas do meio, como a geologia e a geomorfologia, analisadas através das cartas concebidas por IPT (1981a, 1981b). Além dos fatores ambientais, foi importante a análise dos fatores sociais, para cada cidade foram obtidos os dados censitários, como a densidade populacional, idade, renda per capita e uso e ocupação, pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2021)ano que vc pegou a informação), usando o censo de 2010.

A densidade populacional foi calculada da relação entre a quantidade de pessoas residentes no setor e a área do mesmo. Quanto a idade, foram somadas e definidas as porcentagens da população abaixo dos 5 anos de idade e acima dos 60 anos de idade, conforme cada setor, estes considerados como grupo mais vulnerável.

A classificação da renda per capita considerou 5 faixas para a análise, sendo a primeira faixa estabelecida como linha de pobreza (abaixo de \$348), as segundas e terceiras faixas, 2 vezes esse valor, 3 vezes esse valor e as demais, acima divididas conforme . No Brasil, em escala global, a linha de pobreza é avaliada em US\$ 1,90 / dia, o cálculo foi feito para o ano de 2010, a fim de corresponder ao último censo realizado no Brasil.

A Figura 1 ilustra o uso e ocupação dos setores censitários na região de estudo, com as diferentes classificações que englobam de área urbanizada de cidade até zona rural. Essa verificação foi elaborada apenas para identificar onde não foi possível realizar o levantamento de informações (sem dados), não incluindo na análise multicritério.

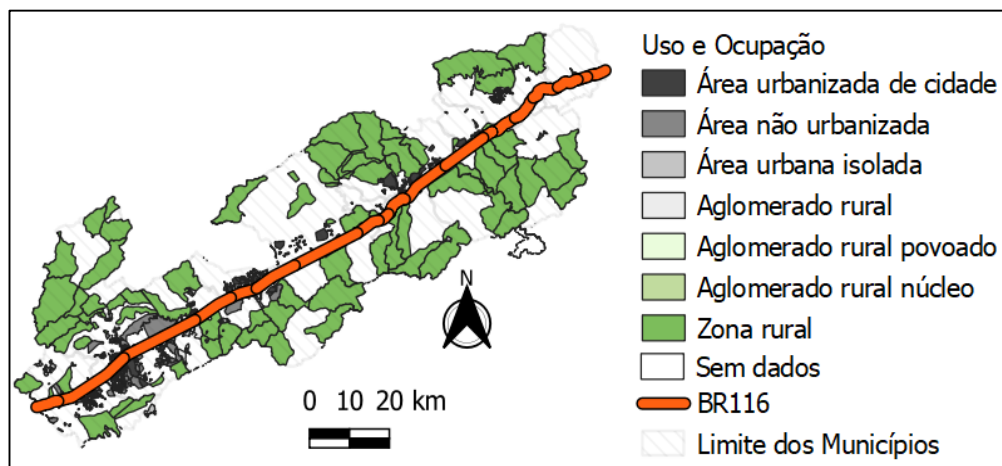


Figura 1. Uso e Ocupação

3.2 Análise de Suscetibilidade



A avaliação da suscetibilidade foi obtida por critérios ambientais, envolve a classificação dos fatores com base na Eq. (1).

$$S_{amb} = C_{geol} + C_{geom} \quad (1)$$

Onde, S_{amb} : suscetibilidade ambiental; C_{geol} : fator de caracterização geológica; C_{geom} : fator de caracterização geomorfológica.

Para cada categoria (C_{geol} e C_{geom}), as ocorrências foram espacializadas e a ponderação foi calculada em função da frequência de desastres que ocorreram em cada classe. Por exemplo, analisando a geologia (Tabela 1), se verifica que a maioria dos desastres ocorreram em Complexo Embu (migmatitos), 51 eventos de um total de 95, que correspondem a 53,7 por cento. Esses valores foram normalizados aplicando a Eq. (2). Este procedimento foi repetido para a caracterização geomorfológica (Tabela 2). Em todas as feições dentro da área de estudo, próximas à rodovia, foram identificados desastres, com o número de ocorrências citados nas Tabelas 1 e 2.

Tabela 1. Caracterização Geológica

Caracterização Geológica	Número de Ocorrências	Ocorrências/ Total	Faixa Normalizada
Suítas Graníticas Facies Cantareira	17	0,179	0,306
Complexo Embu (migmatitos)	51	0,537	1,000
Sedimentos Continentais Indiferenciados	2	0,021	0,000
Sedimentos Aluvionares	2	0,021	0,000
Depósitos Fluviais (arenitos)	23	0,242	0,429

Tabela 2. Caracterização Geomorfológica

Caracterização Geomorfológica	Número de Ocorrências	Ocorrências/ Total	Faixa Normalizada
Planícies Aluviais	5	0,053	0,085
Tabuleiros (relevo colinoso)	2	0,021	0,021
Colinas Amplas	7	0,074	0,128
Colinas Pequenas com Espigões	5	0,053	0,085
Mar de morros	48	0,505	1,000
Morros Paralelos	25	0,263	0,511
Morros com Serras Restritas	1	0,011	0,000
Montanhas com Vales Profundos	1	0,011	0,000
Escarpas Festonadas	1	0,011	0,000

A soma desses valores normalizados resultou a suscetibilidade ambientais, Eq. (1), dividida em 5 classes: muito baixa (0 a 0,2), baixa (0,2 a 0,4), média (0,4 a 0,6), alta (0,6 a 0,8) e muito alta (0,8 a 1,0), Figura 2 (c).

$$X_n = \frac{(X - X_{min})}{(X_{max} - X_{min})} \quad (2)$$

Onde, X_n : valor normalizado; X : valor a ser normalizado; X_{min} : valor mais baixo de todos os mesmos; X_{max} : valor mais alto de todos os mesmos.

3.3 Análise de Vulnerabilidade

Condizente com os setores censitários, a análise de vulnerabilidade foi obtida por critérios sociais, envolve a classificação dos fatores com base na Eq. (3).

$$V_{soc} = C_{PI} + C_{PC} + C_{RC} + C_{DD} \quad (3)$$



Onde, V_{soc} : vulnerabilidade social; C_{PI} : fator de população idosa (maior que 60 anos); C_{PC} : fator de população de crianças (menor que 5 anos); C_{RC} : fator de renda per capita; C_{DD} : fator de densidade demográfica.

4 Resultados e Discussões

A Figura 2 (c) evidencia a maioria das ocorrências de muito alta suscetibilidade localizadas contíguas à rodovia, e as remanescentes, um pouco mais distantes, classificadas de alta a muito baixa suscetibilidade, considerando a influência da caracterização da geologia do Complexo Embu (migmatitos) e da geomorfologia, Mar de Morros.

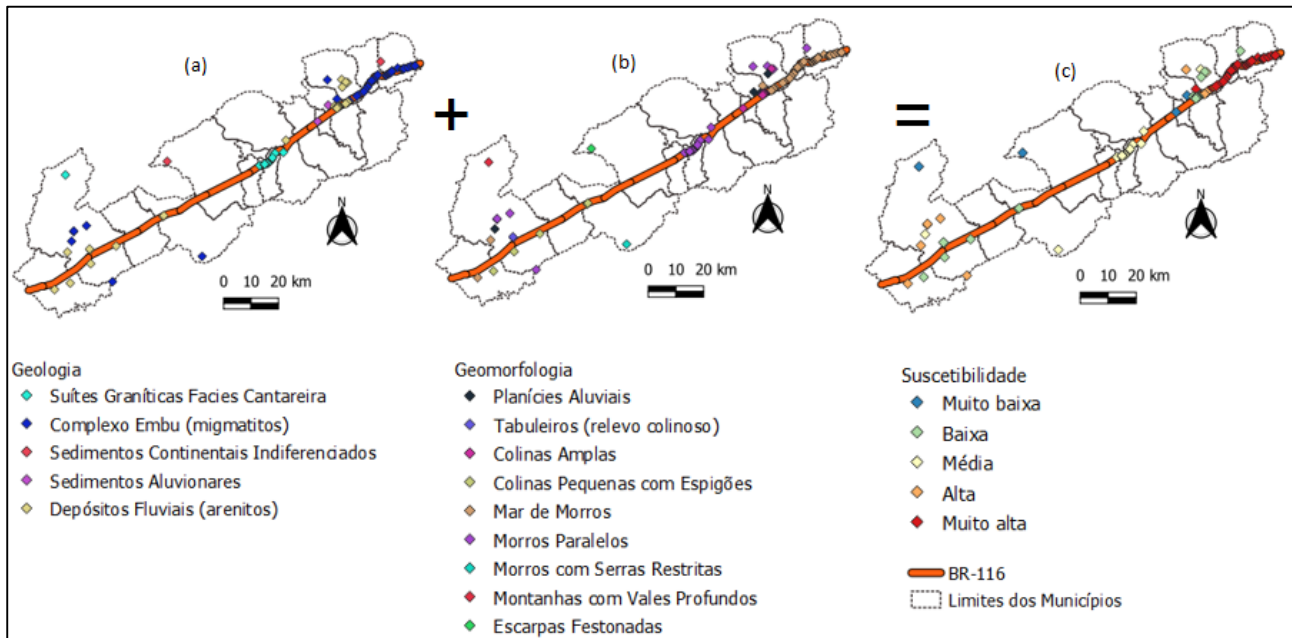


Figura 2. (a) Geologia (b) Geomorfologia (c) Suscetibilidade

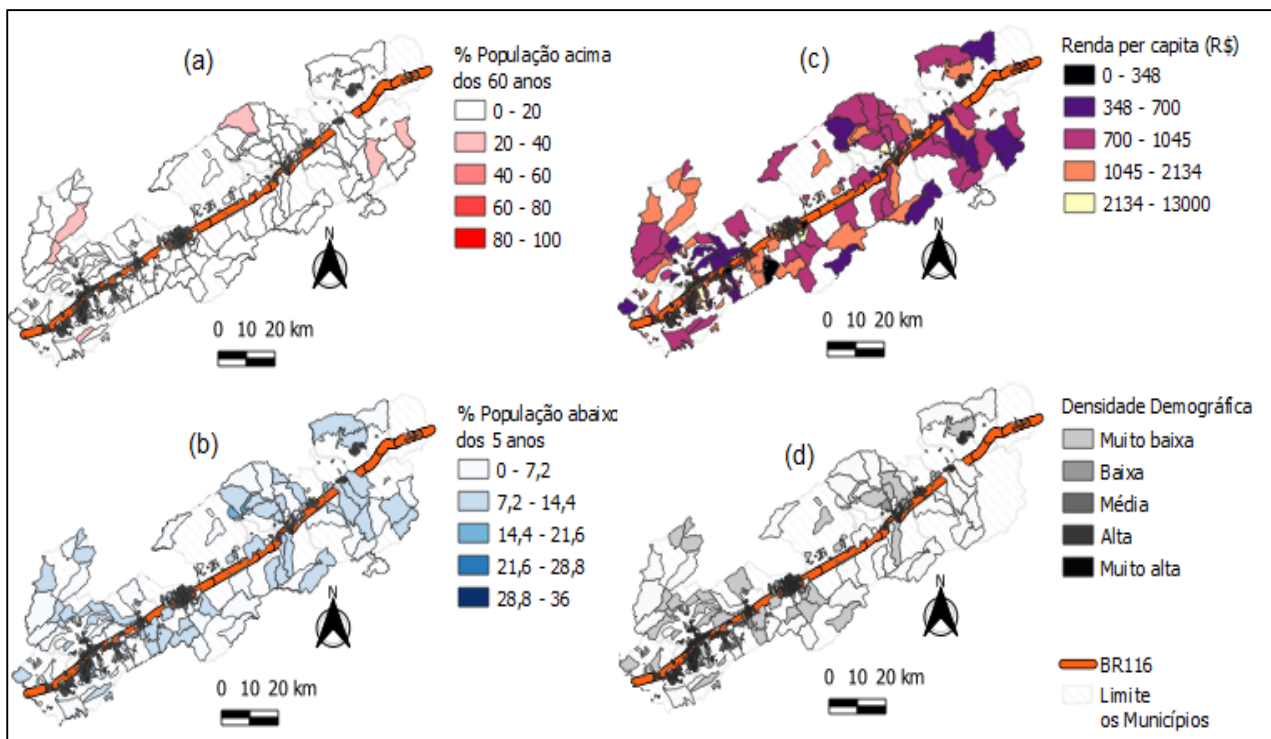


Figura 3. Critérios Sociais



A Figura 3 representa a análise dos dados de acordo com o especificado no item 3.1 sobre os fatores sociais. Assim, as porcentagens das populações mais vulneráveis podem ser observadas em 3 (a) e 3 (b), a renda per capita em 3 (c) e a densidade demográfica em 3 (d), todos estes classificados em 5 faixas. Esses valores foram normalizados aplicando a Eq. (2), da mesma forma que a análise de suscetibilidade, nesse caso, conforme as respectivas divisões dos setores censitários.

A soma desses valores normalizados resultou a vulnerabilidade social, Eq. (3), dividida em 5 classes: muito baixa (0 a 0,2), baixa (0,2 a 0,4), média (0,4 a 0,6), alta (0,6 a 0,8) e muito alta (0,8 a 1,0), Figura 4.

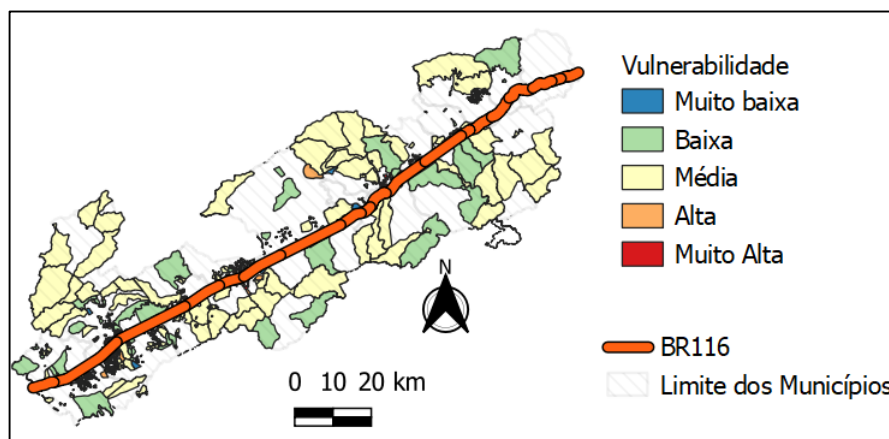


Figura 4. Vulnerabilidade Social

Os resultados permitiram estimar onde, e quando, os escorregamentos futuros poderão acontecer, sem determinar um período específico.

5 Conclusão

Concluiu-se que a maioria dos movimentos de massa ocorreram em regiões habitadas, ressaltando a influência do uso e ocupação, além das ocorrências ao longo do corredor rodoviário, ou seja, o processo de urbanização e a implantação da rodovia, foram fatores relevantes para o desencadeamento desses fenômenos. Relacionando a área de estudo como propícia ao processo de conurbação urbana.

A suscetibilidade ambiental permitiu observar as feições geológicas e geomorfológicas, respectivamente, que mais contribuíram para o desencadeamento de deslizamentos, escorregamentos e quedas de barreira, identificando o Complexo Embu (migmatitos) e Mar de Morros com mais incidências, cada um em torno de 50% dos valores totais para cada análise.

O mapa de vulnerabilidade realçou a importância da inclusão da análise social, forneceu indicadores da localização dos grupos mais vulneráveis, como a população idosa e de crianças menores de 5 anos de idade, aqueles com renda per capita abaixo da linha de pobreza (menor que \$348) e os locais com densidade demográfica alta e muito alta. Sendo estes os que demandam mais atenção no caso de ocorrência de desastres.

A metodologia utilizando dados abertos para a construção de mapas de suscetibilidade e vulnerabilidade, possibilita a aplicação em outras áreas, como uma ferramenta útil para a mitigação de desastres, dando aporte para a elaboração de sistemas de alerta precoce de escorregamentos e a implantação de contenções em locais necessários. Perante as eventuais readequações e atualizações no processo de gerenciamento das rodovias e políticas públicas, a pesquisa possui expressíveis interesses no auxílio ao processo de desenvolvimento sustentável e gestão de riscos.



REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Andrade, D. J., Souza, A. A. M., Gomes C. (2019). *Análise Temporal da Expansão Urbana nos Municípios do Vale do Paraíba Paulista*. Fortaleza, Mercator, v.18, e18005. ISSN:1984-2201.
- Alcántara, A. I. et al. (2018) *Landslide Disaster Risk Awareness In Mexico: Community Access To Mapping At Local Scale*. *Landslides*, v. 15, n. 8, p. 1691–1704.
- ANTT- Agência Nacional de Transportes Terrestres (2021). Estradas: informações gerais. Disponível em: <<https://portal.antt.gov.br/nova-dutra>>. Acesso em: jul. 2021.
- Brasil (2016) Terceira Comunicação Nacional do Brasil à Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima – Sumário Executivo. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação, Brasília.
- Carvalho, P. A. S. (1991) *Manual de Geotecnia – Taludes de Rodovias*. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT) – Departamento de Estradas e Rodagem (DER). 388p.
- Cruden DM, Varnes DJ (1996) *Landslides types and processes*. Techreport 36-75, US National Research Council.
- EM-DAT: CRED - Centre for Research on the Epidemiology of Disasters (2021) The international disaster database. Disponível em: <<http://www.emdat.be/database>>. Acesso em: ago. 2021.
- Guzzetti, F.; Reichenbach, P.; Cardinali, M.; Galli, M.; Ardizzone, F (2005). *Probabilistic landslide hazard assessment at the basin scale*. *Geomorphology*, 72, 272–299.
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2018) Perfil dos municípios brasileiros.
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2021) Dados Censitários de 2010. Disponível em: <<https://censo2010.ibge.gov.br/>>.
- IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas (1981a) Carta Geotécnica do Estado de São Paulo.
- IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas (1981b) Carta Geomofológica do Estado de São Paulo.
- Juliev M, Mergili M, Mondal I, Nurtaev B, Pulatov A, Hübl J (2019) *Comparative analysis of statistical methods for landslide susceptibility mapping in the Bostanlik district, Uzbekistan*. *Sci Total Environ* 653:801–814.
- Palmeiras, O. F.; Peixoto, A. S. P.; Kaiser, I. M. (2019) *Map of Mass Movement in a Region of the State of São Paulo, Brazil*. *Geotechnical Engineering in the XXI Century: Lessons Learned and Future Challenges* N.P. López-Acosta et al (Eds.). doi: 10.3233/STAL190228.
- Tominaga, L. K., Santoro, J., Amaral, R. (2009) *Desastres Naturais: conhecer para Prevenir*, Instituto Geológico Secretaria do Meio Ambiente Governo do Estado de São Paulo. 1ª edição. São Paulo: Instituto Geológico.
- UNISDR (2015) Disaster Risk Reduction and Resilience in the 2030 Agenda for Sustainable Development. United Nations office for Disaster Risk Reduction.
- UNISDR (2017) Landslide hazard and risk assessment. Tech. rep., United Nations Ofce for Disaster Risk Reduction. Acesso em: <<https://www.undrr.org/publication/landslide-hazard-and-risk-assessment>>
- Van Westen, C.J., Castellanos, E., Kuriakose, S.L. (2008) *Spatial data for landslide susceptibility, hazard, and vulnerability assessment: An overview*. *Eng. Geol.* 102, 112–131.
- Winchester, L., Szalachman, R. (2009) *The urban poor's vulnerability to the impacts of climate change in Latin America and the Caribbean*. A policy agenda. Proceedings of Fifth Urban Research Symposium, Marseille.