

Índice de vulnerabilidade social (IVS) e zonas de risco no Médio Vale do Ribeira, SP

Ellen Felizardo Batista

Doutoranda, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, Brasil, ellenfp@ifsp.edu.br

Ariane Cecato Cajaiba dos Santos

Mestranda, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, Brasil, ariane.cecato@ifsp.edu.br

Larissa de Brum Passini

Docente, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, Brasil, larissapassini@ufpr.br

RESUMO: No cenário brasileiro, a incidência crescente de desastres naturais e a elevada vulnerabilidade social têm motivado estudos aprofundados sobre o tema. O presente trabalho é aplicado na região do Médio Vale do Ribeira - SP, uma área propensa a deslizamentos, caracterizada por uma significativa vulnerabilidade socioeconômica. Por meio de um Índice de Vulnerabilidade Social (IVS) e utilizando dados de 373 setores censitários, realizou-se uma análise abrangente das condições locais. Como diferencial deste estudo, destaca-se a comparação do IVS desenvolvido com o índice elaborado pelo Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA). A análise permitiu verificar a congruência e divergência das metodologias, enriquecendo a discussão sobre a realidade regional. Além disso, realizou-se a integração da avaliação de vulnerabilidade social com uma análise de risco geotécnico. O estudo possibilitou identificar as áreas de maior vulnerabilidade social em locais propensos a deslizamentos. Os resultados obtidos têm implicações significativas para estratégias de mitigação de riscos, permitindo o direcionamento de ações que visem à redução da vulnerabilidade social e contribuindo para a resiliência das comunidades locais.

PALAVRAS-CHAVE: Vulnerabilidade socioeconômica, Risco geotécnico, Escala regional.

ABSTRACT: In the Brazilian scenario, the increasing incidence of natural disasters and high social vulnerability have prompted in-depth studies on the subject. The present study focuses on the Middle Vale do Ribeira region - SP, an area prone to landslides and characterized by significant socio-economic vulnerability. Using data from 373 census tracts, a comprehensive analysis of local conditions was conducted using a Social Vulnerability Index (SVI). Comparing the developed SVI with the Institute of Applied Economic Research's (IPEA) index is a distinctive feature of this study. The analysis allowed for verifying the alignment and divergence of methodologies, enriching the discussion about regional reality. As part of the evaluation of social vulnerability, a geotechnical risk assessment also took place. The study identified areas with higher social vulnerability in locations prone to landslides. The obtained results have significant implications for risk mitigation strategies, allowing for the targeting of actions aimed at reducing social vulnerability and contributing to the resilience of local communities.

KEYWORDS: Socioeconomic vulnerability, Geotechnical risk, Regional scale.

1 INTRODUÇÃO

Na atualidade, os desastres estão ocorrendo com maior frequência e intensidade, sendo os deslizamentos de terra uma das principais ameaças (Rong et al., 2020). Esses eventos acarretam impactos físicos, perdas humanas e prejuízos econômicos substanciais (Rahman e Mapjabil, 2017), cujas consequências estão intrinsecamente ligadas à magnitude do deslizamento, à vulnerabilidade e ao valor dos elementos em risco

(Bell e Glade, 2004). Dada a dificuldade em modificar a magnitude desses deslizamentos, o estudo da exposição e vulnerabilidade dos sistemas de infraestrutura e comunidades assume prioridade na avaliação de riscos de desastres (Birkmann et al., 2017). Maskrey (1993) e Birkmann (2006) enfatizam uma mudança de foco, passando da quantificação de perigos naturais para a identificação e classificação de diversas vulnerabilidades.

Neste contexto, em resposta à demanda por estudos locais de avaliação de vulnerabilidade no Brasil, especialmente considerando as características específicas da região do Médio Vale do Ribeira, o presente estudo implementou e aplicou um Índice de Vulnerabilidade Social (IVS) na região. Os objetivos abrangeram o desenvolvimento do índice em nível de setor censitário, a análise da distribuição espacial da vulnerabilidade, a comparação dos resultados do IVS calculado com o IVS já estabelecido pelo IPEA e a aplicação do IVS em uma análise de risco, integrando mapeamentos da vulnerabilidade social, suscetibilidade a deslizamentos e exposição populacional. Os resultados visam orientar políticas públicas, direcionando esforços para reduzir a vulnerabilidade social e os riscos de deslizamentos, aumentando, assim, a resiliência da população frente a desastres.

2 ÁREA DE ESTUDO

O Vale do Ribeira, situado no sul do estado de São Paulo (Figura 1), apresenta uma divisão em termos de características fisionômicas e geográficas, sendo categorizado em Alto Vale, Médio Vale, Complexo Estuário Lagunar e Alto Juquiá (CBH-RB e FEHIDRO, 2016). A área objeto de estudo corresponde ao Médio Vale, compreendendo 11 municípios, uma população de aproximadamente 219.000 habitantes e uma extensão total de 8.722 km².

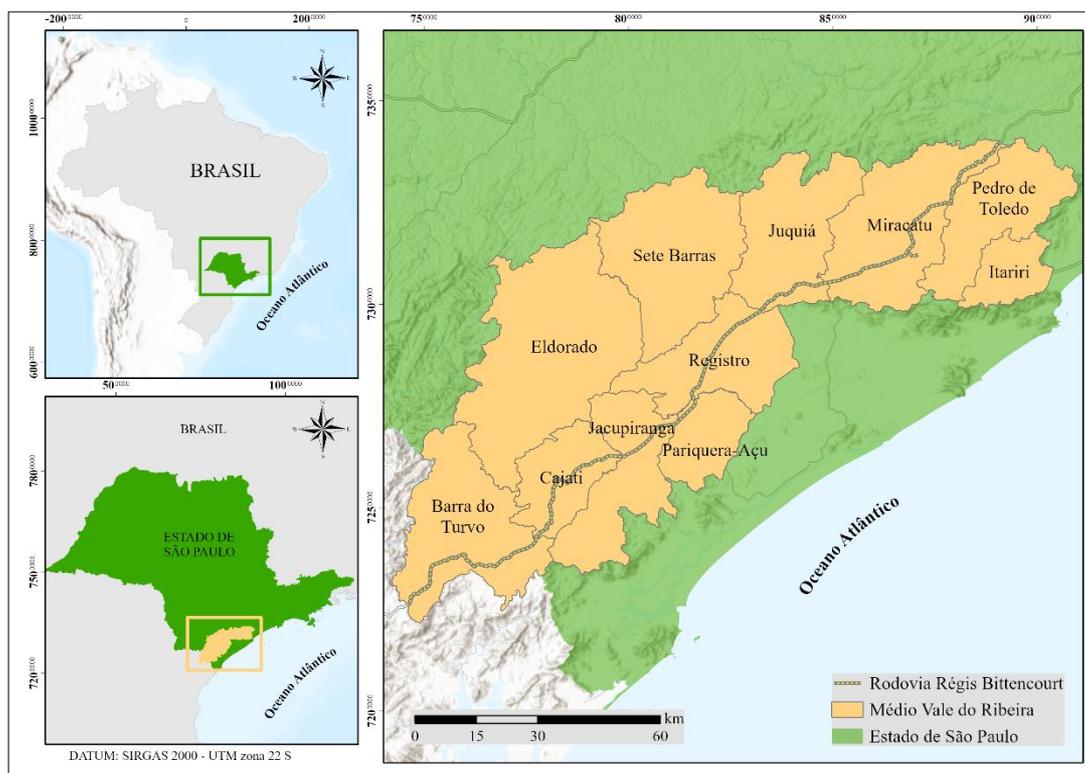


Figura 1. Localização da área de estudo.

A região abriga 80% da mata atlântica remanescente e é reconhecida como Patrimônio Natural da Humanidade pela UNESCO. Apesar disso, é uma das regiões mais pobres de São Paulo, com IDH comparável a países como Bósnia e Herzegovina (Batista et al., 2021). Com alto índice de pobreza, desigualdade e baixa escolaridade, a população depende principalmente da agricultura, pecuária e exploração extrativista (França, 2005). Localizada na Serra do Mar, a região é propensa a deslizamentos de terra devido à alta declividade, índices pluviométricos elevados e características geológicas (Vieira e Gramani, 2015), gerando significativa

vulnerabilidade. Com população majoritariamente rural e elevados níveis de pobreza, a região apresenta fatores sociodemográficos que aumentam a suscetibilidade a desastres naturais (Aguirra, 2020).

3 METODOLOGIA

Na construção do IVS, foram utilizados dados do Censo 2010 do IBGE, uma vez que o Censo 2020 foi cancelado devido à pandemia, e os dados do Censo 2022 serão divulgados entre 2023 e 2025 (IBGE, 2022). O estudo concentrou-se nos setores censitários, que são as menores unidades territoriais de coleta estatística, totalizando 373 unidades de estudo. Na metodologia 30 variáveis (Tabela 1) foram normalizadas e submetidas à Análise de Componentes Principais (ACP) no *software* SPSS v.21.

Tabela 1. Conceitos e variáveis utilizadas no desenvolvimento do IVS do Médio Vale do Ribeira.

| Conceito | No. | Nome da variável | Descrição |
|-----------------------|-----|------------------|--|
| Idade | 1 | PAGE60 | Percentual da população idosa (60 + anos) |
| | 2 | PAGE5 | Percentual de crianças com menos de 5 anos |
| | 3 | PAGE6-14 | Percentual da população com idade entre 6 a 14anos |
| | 4 | PAGE15-19 | Percentual da população com idade entre 15 a 19 anos |
| | 5 | MEDAGE | Idade média |
| Ambiente construído | 6 | PLOWALL | Percentual de domicílios precários |
| | 7 | PNOWATER | Percentual de domicílios sem água encanada |
| | 8 | PNOELETRECY | Percentual de domicílios sem eletricidade |
| | 9 | PNOSEWER | Percentual de domicílios sem rede de esgoto |
| | 10 | PNOWC | Percentual de domicílios sem banheiro |
| Educação | 11 | PNOGARBAGEC | Percentual de domicílios sem coleta de lixo |
| | 12 | PILLIT | Percentual de analfabetos com 14 ou mais anos de idade |
| | 13 | PILLTHH | Percentual de responsáveis por domicílios analfabetos |
| Estrutura familiar | 14 | AVGHH | Média do número de pessoas por domicílio |
| | 15 | PFEMALEHH | Percentual de mulheres responsáveis por domicílios |
| | 16 | PHHMR | Percentual de domicílios com mais de 4 residentes |
| Gênero | 17 | PFEMALE | Percentual de população feminina |
| | 18 | PFEMLF | Percentual de mulheres empregadas |
| | 19 | QFMINC | Razão da renda mensal média feminina/masculina |
| Perda de emprego | 20 | PUNEMPLOY | Percentual de desempregados |
| Saúde | 21 | PNOFOOD | Percentual da população que não tem a capacidade financeira para se alimentar |
| | 22 | PWHITE | Percentual de população branca |
| Raça e etnia | 23 | PBLACK | Percentual de população preta |
| | 24 | PASIAN | Percentual de população amarela |
| | 25 | PPARDO | Percentual de população parda |
| | 26 | PINDIAN | Percentual de população indígena |
| Locatários | 27 | PRENTER | Percentual de população vivendo em domicílios alugados |
| Rural/Urbano | 28 | POPDEN | Densidade populacional |
| Status socioeconômico | 29 | PINCOME | Porcentagem de responsáveis com renda até USD 289.9 (salário mínimo médio em 2010) por mês |
| Dependência social | 30 | PAGEDEP | Percentual de população com idade inferior a14 anos e acima de 60 anos |

A ACP condensou as variáveis em componentes que explicam uma parcela significativa da variabilidade. Uma rotação *Varimax* foi aplicada para tornar os componentes mais interpretáveis. Posteriormente os componentes foram padronizados, garantindo valores no primeiro quadrante. A transformação visa evitar que valores negativos influenciem excessivamente os índices.

O IVS foi calculado por média ponderada, utilizando para a ponderação a raiz característica relacionada ao componente, ou seja, a proporção de explicação da variância total associada a cada componente, com valores variando de 0 a 1, indicando maior vulnerabilidade quanto mais próximo de 1. Após o cálculo, os dados foram transferidos para o *software* ArcGIS Pro 2.8.4 para mapeamento e visualização espacial, permitindo comparações entre setores censitários. A análise contribui para uma avaliação abrangente da vulnerabilidade social das regiões. As etapas detalhadas da construção do IVS são apresentadas no trabalho de Batista e Passini (2023).

3.1 IVS do IPEA

O IVS médio por município foi comparado com o IVS-IPEA, buscando entender como diferentes metodologias e indicadores influenciam nos resultados. No Brasil, o Índice de Vulnerabilidade Social do IPEA (Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada) avalia a vulnerabilidade social dos municípios. Calculado por uma média aritmética ponderada, o IVS-IPEA considera 16 variáveis provenientes de dados censitários, focando nos aspectos urbanos, capital humano, e renda e trabalho (Costa et al., 2018). Tanto o IVS desenvolvido no presente estudo quanto o IVS-IPEA adotam uma abordagem multidimensional, incorporando indicadores socioeconômicos, demográficos e de infraestrutura. Apesar de possuírem metodologias distintas, ambos têm o propósito de orientar políticas públicas para a redução da vulnerabilidade social e promoção da inclusão social.

3.2 Análise de risco de deslizamento

A avaliação da vulnerabilidade social na análise de risco seguiu a metodologia adaptada de Guillard-Gonçalves (2015). O mapeamento do IVS foi combinado com mapas de suscetibilidade e população exposta. O mapa de suscetibilidade utilizado foi desenvolvido por Dalmas (2013), integra dados litológicos, geomorfológicos, pedológicos e de vegetação, avaliados por Combinação Linear Ponderada; e foi validado com dados de campo.

A construção do indicador de risco envolveu uma matriz cruzando dados de vulnerabilidade e suscetibilidade, com pesos iguais e utilizando uma resolução de cinco metros. A análise identificou áreas com alta vulnerabilidade e suscetibilidade a deslizamentos no Médio Vale do Ribeira. A exposição da população foi representada pelos dados do IBGE (2010), indicando a distribuição de habitantes em cada setor censitário. A consideração da população na análise é de suma importância pois a combinação dos fatores de vulnerabilidade, exposição e ameaças definem os riscos de comunidades à desastres.

4 RESULTADOS

Na construção do IVS utilizando ACP foram extraídos sete componentes principais que explicaram 71,64% da variância dos dados. O primeiro componente, denominado de "Pobreza e Rural/Urbano", explicou 20,52% da variância e destaca-se pela alta percentagem de chefes de família com renda inferior a um salário mínimo. A pobreza está associada à vulnerabilidade, especialmente em regiões economicamente acessíveis, tornando as populações mais suscetíveis a desastres. O segundo componente "Grupos Vulneráveis", explicou 15,56% da variância, englobando populações idosas, crianças, analfabetos e grandes famílias. Crianças e idosos, devido a restrições de mobilidade, tornam-se mais vulneráveis em situações de perigo. O terceiro componente "Infraestrutura Precária", com 9,70% de variância, reflete a falta de água encanada e banheiro nos domicílios, contribuindo para a fragilidade e exposição a perigos naturais. O quarto componente "Diversidade Racial", com 8,25% de variância, destaca a vulnerabilidade diferenciada de populações negras, pardas e indígenas. O quinto componente "Desemprego", englobou o desemprego e a força de trabalho feminina, indicando impactos econômicos significativos após desastres. O sexto componente "Idade (Jovem)", representou 5,42% da variância, sendo associado a presença de jovens em áreas mais pobres a maiores vulnerabilidades. O sétimo componente "Diferença Salarial entre Gênero", com 5,07% de variância, evidencia

a disparidade salarial de gênero como fator contribuinte para a vulnerabilidade das mulheres no mercado de trabalho.

A média ponderada de cada componente do IVS resultou na representação da distribuição espacial da vulnerabilidade social para a região do Médio Vale do Ribeira (Figura 2). Entre os onze municípios, Registro e Pariquera-açu apresentaram baixos níveis de vulnerabilidade social, refletindo características econômicas e sociais favoráveis, como indicadores elevados de saúde, educação e renda. Esses municípios são marcados por industrialização, comércio regional e polo educacional em Registro, e concentração de serviços públicos de saúde em Pariquera-açu, resultando em alta densidade populacional devido à busca por acesso a serviços públicos e oportunidades de emprego.

Os municípios de Cajati, Jacupiranga e Sete Barras exibiram níveis moderados de vulnerabilidade social, caracterizados por economia agrícola, maior concentração populacional em áreas rurais e percentuais elevados de analfabetismo. Os municípios mais socialmente vulneráveis, Barra do Turvo, Eldorado, Juquiá, Miracatu e Itariri, destacam-se pela diversidade racial, com presença significativa de comunidades remanescentes de quilombos, caixaras e índios guaranis. Os elevados valores do IVS nessas áreas são atribuídos à extrema pobreza e às altas taxas de desemprego na região.

4.1 Comparação dos IVS com o IVS-IPEA

Analisando os valores do IVS médio (Figura 2A) com o IVS-IPEA (Figura 2B), para os municípios do Médio Vale do Ribeira, temos que o IVS desenvolvido pelo método de ACP apresentou valores superiores em relação ao IVS-IPEA (Figura 2). Em ambos, nenhum município é classificado como muito alta e muito baixa vulnerabilidade social, porém no IVS-IPEA a distribuição concentra-se em média e baixa vulnerabilidade, enquanto o IVS por ACP indicou alta e média vulnerabilidade. Por exemplo, os municípios como Barra do Turvo, Eldorado, Sete Barras, Juquiá, Miracatu e Itariri apresentaram média vulnerabilidade pelo IVS-IPE. Enquanto, pelo IVS por ACP Barra do Turvo, Eldorado, Miracatu e Itariri apresentaram alta vulnerabilidade social. O IVS-IPEA indicou para Cajati, Jacupiranga, Pariquera-açu, Registro e Pedro de Toledo baixa vulnerabilidade social, diferentemente do IVS por ACP, que indicou média vulnerabilidade. Sendo assim, o IVS por ACP refletiu mais precisamente as situações de vulnerabilidade nos municípios do Médio Vale do Ribeira.

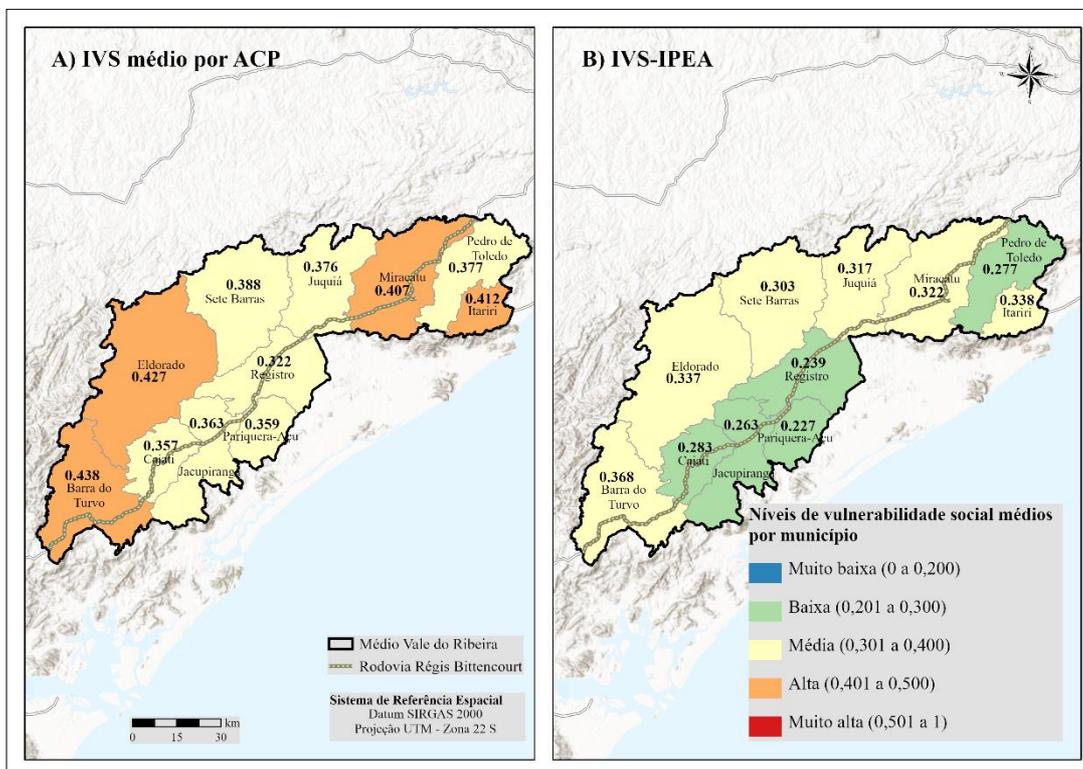


Figura 2. Comparação dos IVS médio por ACP com o IVS-IPEA dos municípios do médio Vale do Ribeira.

Destaca-se que, apesar das metodologias e indicadores distintos entre o IVS por ACP e IVS-IPEA, ambos compartilham uma abordagem multidimensional para avaliar a vulnerabilidade social. Dessa forma, esses índices foram desenvolvidos com o objetivo de fornecer subsídios para políticas públicas e ações que visam reduzir a vulnerabilidade social. Portanto, ao realizarmos a comparação, é importante considerarmos as diferenças metodológicas e entender que cada índice pode capturar diferentes aspectos e nuances da vulnerabilidade social.

4.2 Delimitação de zonas de risco no Médio Vale do Ribeira

A combinação do mapa de suscetibilidade com o mapa do IVS por ACP considerando os setores censitários possibilitou a identificação das áreas com muito alta vulnerabilidade e também com alta e muita alta suscetibilidade a deslizamentos (Figura 3A). O mapeamento das zonas de risco resultou do cruzamento das cinco classes de suscetibilidade (Dalmas, 2013) com as cinco classes de vulnerabilidade social (Figura 3B).

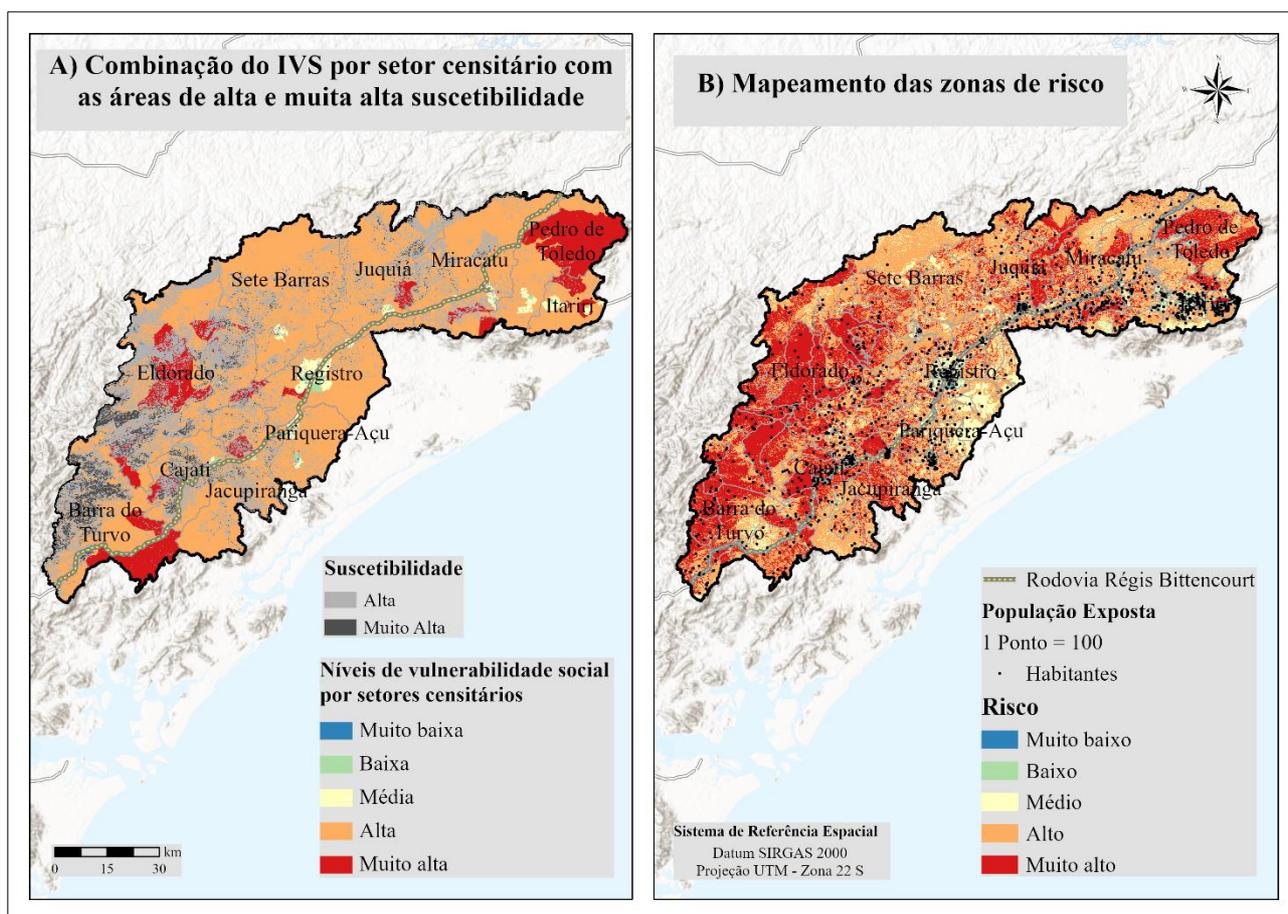


Figura 3. Combinação dos mapas de IVS por setor censitário com a suscetibilidade e mapeamento das zonas de risco baseado nas componentes de suscetibilidade, vulnerabilidade e exposição.

A análise revelou que áreas com alta suscetibilidade coincidem com aquelas com alta vulnerabilidade, indicando ocupação em regiões propensas a deslizamentos. Os Municípios com maiores áreas de risco correspondem à Barra do Turvo, Cajati, Eldorado, Juquiá e Pedro de Toledo. Observou-se também uma concentração populacional próxima a rodovias, corroborando com a Fundação SOS Mata Atlântica (1993, citado por Cortez et al., 2004) que estimou que cerca de 60% da ocupação humana nas unidades de conservação do Vale do Ribeira estava ao longo do trecho de influência de rodovias. Identificaram-se áreas de alto risco com elevada densidade populacional em, Cajati, Eldorado, Juquiá e Pedro de Toledo. O mapeamento proporcionou uma visão abrangente dos riscos e das populações afetadas em potenciais desastres, servindo

como instrumento para auxiliar em decisões futuras para projetos de mitigação direcionados às áreas prioritárias.

5 CONCLUSÕES

Este artigo apresenta a construção de um índice de vulnerabilidade social IVS e sua aplicação em uma análise de risco para a região do Médio Vale do Ribeira. Adicionalmente, procedeu-se a comparação entre o IVS e o índice desenvolvido pelo Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA), permitindo a verificação das semelhanças e diferenças das metodologias. A região de estudo possui elevada suscetibilidade à deslizamentos, em função da alta declividade das encostas, dos elevados índices pluviométricos, das características geológicas, somada à ação do homem sobre o meio físico. Os deslizamentos na região podem causar perdas e impactos, humanos, materiais, econômicos e ambientais. A construção do IVS à nível de setor censitário permitiu a visualização da distribuição espacial da vulnerabilidade social e da estruturação dos seus principais componentes. O conhecimento dos fatores que elevam a vulnerabilidade de determinada região possibilita o direcionamento de ações que visem a redução da vulnerabilidade. No estudo foram identificados as áreas mais vulneráveis e os fatores que contribuíram para esta vulnerabilidade. A avaliação da vulnerabilidade social evidenciou as características socioeconômicas da região. O cruzamento do mapeamento do IVS com o mapa de suscetibilidade à deslizamento juntamente com a sobreposição do mapa de exposição da população local, forneceu a definição das zonas de riscos. A avaliação de riscos pode ajudar os agentes públicos nas tomadas de decisões para a aplicação de estratégias de mitigação de riscos à nível de setores censitários. Os resultados também demonstraram a sobreposição dos riscos à deslizamentos em determinadas áreas onde há elevada presença de comunidades mais vulneráveis do ponto de vista de seus indicadores sociais, econômicos e de acesso a serviços e infraestrutura. Essa sobreposição indica a necessidade de investimentos em fatores prioritários como políticas habitacionais, educação e infraestrutura nessas regiões.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aguirra, I. C. R. (2020) *Modos de vida rurais no Vale do Ribeira: Diferenças no uso de recursos florestais e efeitos do Programa Bolsa Família nas práticas de subsistência e segurança alimentar*. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Ciência Ambiental, Instituto de Energia e Ambiente, Universidade de São Paulo / USP, 144 p.
- Batista, E. F., Passini, L. B. (2023) Development and application of a social vulnerability index (SOVI) to landslide risk analysis in Ribeira Medium Valley, Brazil. *Observatório de la Economía Latinoamericana*, v.21, n. 5, p. 2801-2829.
- Batista, R. A. W., Nery, L. M., Matus, G. N., Simonetti, V. C., da Cunha, D. C. (2021) Estimativa do fator de erosividade do solo da região do Vale do Ribeira Paulista, Brasil. *Formação (Online)*, v.28, n.53, p. 441-460.
- Bell, R., Glade, T. (2004) Multi-hazard analysis in natural risk assessments. *Management Information Systems*, v. 9, p. 197-206.
- Birkmann, J. (2006) Measuring Vulnerability to Natural Hazards: towards disaster resilient societies. *Measuring vulnerability to promote disaster-resilient societies: Conceptual frameworks and definitions*. v. 1, p. 9-54.
- Birkmann, J., Sorg, L., Welle, T. (2017) Disaster Vulnerability. *The Palgrave Handbook of Unconventional Risk Transfer*, p.329-356.
- CBH-RB, FEHIDRO. (2016) *Elaboração do plano da bacia hidrográfica do Ribeira de Iguape e Litoral Sul - UGRHI 11: Relatório I*.
- Cortez, G. R. de P., Arzolla, F. A. R. P., Vilela, F. E. S. P. (2004) A ocupação humana irregular na faixa de influência da rodovia Régis Bittencourt (BR 116) e a degradação das florestas na porção central do Parque Estadual de Jacupiranga. *Congresso Brasileiro de Unidades De Conservação*, p. 298-306.

- Costa, M. A., dos Santos, M. P. G., Marguti, B., Pirani, N., Pinto, C. V. D. S., Curi, R. L. C., Lima, A. F. R., Ribeiro, C. C., de Albuquerque, C. G. (2018) *Vulnerabilidade Social no Brasil: conceitos, métodos e primeiros resultados para municípios e regiões metropolitanas brasileiras* (n. 2364). Texto para Discussão.
- Dalmas, F. B. (2013) *Análise da evolução do uso e ocupação do solo na UGRHI-11 e avaliação de cenários futuros em função de processos erosivos e de movimentos de massa utilizando técnicas de geoprocessamento*. Tese de Doutorado, Programa de Pós-Graduação em Recursos Minerais e Hidrogeologia, Universidade de São Paulo / USP, 165 p.
- França, A. M. (2005) *Vale do Ribeira (SP): Proposições econômicas, sociais, políticas e ambientais para o crescimento e desenvolvimento sustentável dos municípios da região administrativa de Registro*. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Economia Política, Pontifícia Universidade Católica de São Paulo / PUC, 323 p.
- Guillard-Gonçalves, C., Cutter, S. L., Emrich, C. T., Zêzere, J. L. (2015) Application of Social Vulnerability Index (SoVI) and delineation of natural risk zones in Greater Lisbon, Portugal. *Journal of Risk Research*, v. 18, n. 5, p. 651-674.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. (2010) *Censo Demográfico*. Disponível em: <<https://censo2010.ibge.gov.br>>. Acesso em: 14 fev. 2024.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. (2022) *Divulgação dos Resultados*. Disponível em: <<https://censo2022.ibge.gov.br/etapas/divulgacao-dos-resultados.html>>. Acesso em: 14 fev. 2024.
- Maskrey, A., Cardona, O., García, V., Lavell, A., Macías, J. M., Romero, G., Chau, G. W. (1993) *Los desastres no son naturales*. Bogotá: Tercer Mundo.
- Rahman, H. A., Mapjabil, J. (2017) Landslides disaster in Malaysia: an overview. *Health*, v. 8, n. 1, p. 58-71.
- Rong, G., Li, K., Han, L., Alu, S., Zhang, J., Zhang, Y. (2020) Hazard mapping of the rainfall-landslides disaster Chain based on GeoDetector and Bayesian Network Models in Shuicheng County, China. *Water*, v.12, n.9, p. 2572.
- Vieira, B. C., Gramani, M. F. (2015) Serra do Mar: the most “tormented” relief in Brazil. *Landscapes and landforms of Brazil*, p. 285-297.