

Mapeamento da vulnerabilidade a inundações e deslizamentos de terra no Estado do Paraná

Jean Grassi¹
Flavio Deppe¹
Marciel Lohmann¹
Dionísio Saccol Sangui¹

¹ Instituto Tecnológico SIMEPAR, Centro Politécnico da UFPR
Caixa Postal 19100 - 81531-980 - Curitiba - PR, Brasil
{jgrassi, deppe, dionisio, marciel}@simepar.br

Abstract. One of the most effective analytical tools to mitigate and reduce the destructive effects arising from floods and landslides is the mapping of risk areas. The risk depends on the threats, characterized by natural phenomena to hit the region, and the region's vulnerability to these threats. Thus, the mapping of risk depends necessarily upon mapping the areas of vulnerability. In this sense, this study aims to produce maps of vulnerability of floods and landslides in the state of Paraná. The vulnerability was modeled based on six geophysical parameters, which were compiled, standardized and classified according to the contribution of each their classes to determine vulnerabilities. Subsequently, the parameters were ranked by AHP (Analytical Hierarchy Process), and according to their degree of importance. As a result of the modeling process, maps of vulnerability to floods and landslides were generated for the state of Paraná.

Palavras-chave: GIS, risk, natural disasters, AHP, cartography, remote sensing, SIG, risco, desastres naturais, cartografia.

1. Introdução

De acordo com o EM-DAT (Emergency Disasters Database), mantido pelo CRED (Centre for Research on the Epidemiology of Disaster), houve um aumento nas ocorrências de desastres naturais ao redor do globo a partir da década de 70. Smith (1996), com base no mesmo banco de dados, analisando o período de 1900 a 1998, cita que a média de desastres naturais ao redor do mundo salta de 50 para 250 casos/ano a partir da década de 80.

Para o período de 1900-2006, o EM-DAT lista que os principais desastres ocorridos no Brasil, por ordem de magnitude (ambiente e pessoas afetadas), são decorrentes de inundações, deslizamentos, tempestades e seca (Figura 1).



Figura 1. Ocorrência dos desastres naturais no Brasil (1900-2006). (EM-DAT 2007).

As inundações e deslizamentos são eventos com gênese em instabilidades atmosféricas severas, e não podem ser evitados. Entretanto, de acordo com Alcântara e Ayala (2002), podem-se identificar padrões comportamentais com o intuito de elaborar métodos preventivos para a atenuação e redução dos efeitos destrutivos. Neste sentido, o gerenciamento de desastres naturais apresenta-se como alternativa, tornando-se o conjunto de ações que tem como objetivo mitigar os efeitos negativos de determinados eventos extremos.

Um dos instrumentos de análise mais eficientes é o mapeamento de áreas de risco. De acordo com Marcelino et al. (2006), a partir deste mapa é possível elaborar medidas

preventivas, planificar as situações de emergência e estabelecer ações conjuntas entre a comunidade e o poder público, com o intuito de promover a defesa permanente contra os desastres naturais.

De acordo com Franco (1999), o risco depende das ameaças, caracterizadas pelos fenômenos naturais a atingir a região, e da vulnerabilidade desta região a estas ameaças, conforme a equação 1.

$$\text{RISCO} = \text{Ameaça} \times \text{Vulnerabilidade} \quad (1)$$

Deste modo, o mapeamento das áreas de risco depende, necessariamente, do mapeamento das áreas de vulnerabilidade. Neste sentido, através deste estudo objetiva-se produzir mapas de vulnerabilidade a inundações e deslizamentos de terra para o Estado do Paraná. A vulnerabilidade foi modelada com base em seis parâmetros geofísicos. Estes foram compilados, padronizados e foram classificados de acordo com a contribuição de cada uma de suas classes para a determinação das vulnerabilidades.

Posteriormente, os parâmetros foram hierarquizados através do método AHP (*Analytic Hierarchy Process*) e, de acordo com o grau de importância, modelados. Como resultado deste processo, foram obtidos os mapas de vulnerabilidade a inundações e deslizamentos para o Estado do Paraná.

2. Materiais e Métodos

A base cartográfica do projeto foi compilada a partir de dados provenientes de sensoriamento remoto, como o TOPODATA, e dados vetoriais provenientes de EMBRAPA (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária), IAPAR (Instituto Agronômico do Paraná), MINEROPAR (Serviço Geológico do Paraná), IPARDES (Instituto Paranaense de Desenvolvimento Econômico e Social) e DER (Departamento de Estradas de Rodagem).

Todas as informações utilizadas foram padronizadas para o sistema de coordenadas geográficas WGS-84 e convertidos para o formato matricial, com resolução de 300m, de forma a constituir uma base compatível e facilitar a interpretação visual dos dados da imagem com base nas referências espaciais das demais bases de dados.

Os mapas de vulnerabilidade a inundações e deslizamentos obtidos neste trabalho, são resultado da interação entre seis parâmetros geofísicos, sendo eles:

(i) USO - Uso do Solo e Cobertura Vegetal

Os dados de Uso do Solo e Cobertura Vegetal são provenientes do projeto GLOBCOVER, uma iniciativa da ESA (*European Space Agency*) com início em 2005 e que desenvolveu um serviço capaz de fornecer mapas de uso do solo e cobertura vegetal com resolução espacial de 300m através das observações do sensor MERIS a bordo do satélite ENVISAT.

(ii) DE - Declividades

Os dados de Declividades são provenientes do TOPODATA, produto do INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais) com resolução espacial de 30m, resultado da interpolação do SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*) que possui resolução espacial de 3", aproximadamente 90m. Os arquivos foram baixados de (<http://www.dsr.inpe.br/topodata/>), disponível em 25/10/2011, e mosaicados de forma a cobrir todo o território paranaense.

(iii) SOL - Solos

A variável "Solos" representa a condutividade hidráulica e foi calculada com base na composição granulométrica de cada tipo de solo. No programa "Splintex" construído por

Prevedello (2000), foram informadas as percentagens de areia, silte e argila. A partir do valor da densidade de partículas do solo para cada horizonte, calculou-se os valores da condutividade hidráulica saturada (Ψ_m), da umidade residual (θ_r), da umidade de saturação (θ_s), e dos coeficientes α , m e n da equação de van Genuchten, mostrada na equação 2:

$$\theta = \theta_r + \frac{(\theta_s - \theta_r)}{[1 + (\alpha \psi_m)^n]^m} \quad (2)$$

A composição granulométrica dos solos foi retirada da publicação “Levantamento de Reconhecimento dos Solos do Estado do Paraná”, Tomos I e II, EMBRAPA, 1984.

(iv) GEOM - Geomorfologia

A carta de Geomorfologia foi gerada a partir de dados provenientes do MINEROPAR do ano de 2006. Estes dados foram divididos em 5 classes, de acordo com características físicas semelhantes entre si. Como base para esta classificação, foram consultadas as publicações “Mapeamento Geomorfológico do Estado do Paraná”, de Santos et al. (2006), e “Mapeamento da Vulnerabilidade Geoambiental do Estado do Paraná”, de Santos et al. (2007).

(v) PRV - Proximidade da Rede Viária

De acordo com Marino (2008), no que diz respeito aos riscos de enchentes, a presença de arruamentos provoca o espraiamento das áreas próximas às vias, criando patamares de deposição, além de aumentar a velocidade de escoamento das águas decorrentes das chuvas. Outro fator agravante é o fato das estradas e ruas apresentarem o sistema de escoamento das águas pluviais precário, decorrente do entulhamento de bueiros e tubulação.

Quanto à “contribuição” para a ocorrência de deslizamentos, ocorrem descalçamentos de taludes e desvio do escoamento superficial, provocando infiltrações localizadas, indutoras de intemperização acentuada em porções diferentes da encosta, o que pode conduzir a tensões internas que levam à ruptura da geometria da encosta (formação de cicatrizes de desmoronamentos e deslizamentos) (Xavier da Silva, 2007).

Para a confecção da carta de proximidade da rede viária, foram utilizadas informações fornecidas pelo DER a respeito das estradas federais, estaduais e municipais, além da malha ferroviária. Estas informações foram relacionadas em um único arquivo e, posteriormente, foram efetuados buffers de 50m, 100, 150m, 200m e 250m.

(vi) PRL - Proximidade de Superfícies Líquidas

A carta de Proximidades de Superfícies Líquidas é um parâmetro bastante importante uma vez que a medida se aproxima destas, maior a probabilidade de ocorrência de enchentes, agravados pela presença de assentamentos irregularmente instalados.

O mapa de proximidades foi construído, definindo-se cinco buffers de distâncias das superfícies líquidas, 200m, 400m, 600m, 800m e 1000m, respectivamente. A cada um destes buffers foi atribuído um peso, de acordo com o risco a deslizamentos ou inundações.

2.1. Hierarquização de classes dos layers

A hierarquização dos layers foi realizada com base nas ocorrências registradas e disponibilizadas pela Defesa Civil do Paraná. As informações fazem parte do banco de dados geoespaciais da entidade, alimentado desde 2005, e se caracterizam na delimitação espacial de cada ocorrência, permitindo também a recuperação de informações relevantes, como a data, hora e tipo de evento.

Inicialmente, as ocorrências foram divididas em dois diferentes grupos, o primeiro contemplando eventos de inundação I , como inundações bruscas, graduais e alagamentos. O segundo contemplando eventos de deslizamentos e escorregamentos de terra D .

Posteriormente, cada um dos grupos teve suas ocorrências divididas em duas partes, resultando em quatro *shapefiles*, dois com ocorrências de inundação I_1 e I_2 , e dois com ocorrências de deslizamentos D_1 e D_2 . Permitindo, assim, a hierarquização e a modelagem através de I_1 e D_1 , e a posterior validação dos mapas de vulnerabilidade através de I_2 e D_2 (Figura 2).



Figura 2. Esquematização para a utilização das ocorrências registradas.

Para a classificação e hierarquização dos dados de cada parâmetro selecionado, cada uma das matrizes, dos seis parâmetros utilizados, foi classificada em diferentes classes. Como critério para a classificação, foram agrupadas as classes que possuíam mais características comuns entre si. Assim, por exemplo, no parâmetro “uso do solo e cobertura vegetal”, as classes “campos”, “pastos” e “solo exposto” foram agrupadas em uma única classe, e “cerrado” e “capoeira” agrupadas em uma classe distinta.

Efetuada a classificação, os *shapefiles* I_1 e D_1 foram utilizados como máscara de corte para cada um dos seis parâmetros, resultando em doze unidades matriciais, seis referentes a inundação e seis referentes a deslizamento.

Posteriormente, em cada uma das doze matrizes foi realizada a contagem de pixels, de modo a definir quais as classes de cada parâmetro exercem maior influência para a ocorrência do desastre (Figura 3). Destaca-se que por se tratarem de buffers, os parâmetros “Proximidade de Rede Viária” e “Proximidade de Superfícies Líquidas” não foram hierarquizados desta forma, mas sim de acordo com a distância de cada buffer.

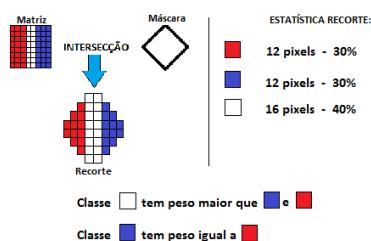


Figura 3. Exemplo de hierarquização de classes dos layers.

Realizada a contagem de pixels, os dados de cada parâmetro foram submetidos a uma normalização de 0 a 10, de acordo com a vulnerabilidade de cada classe, sendo 0 para de menor e 10 para a de maior vulnerabilidade.

2.2. Hierarquização dos layers – Método AHP

Com o intuito de se estabelecer a importância relativa de cada parâmetro, utilizou-se o método AHP para a hierarquização das variáveis envolvidas. No método AHP os diferentes

fatores que influenciam a tomada de decisão são comparados dois a dois, de acordo com a importância estabelecida. Variáveis de maior importância transmitem sua influência para as variáveis menos importantes, em níveis hierárquicos mais baixos, que por sua vez contribuem também com a funcionalidade e coerência nos níveis superiores (Saaty, 1986; Barros et al., 2007).

De acordo com Barros et al. (2007) e Oliveira et al. (2009), para a obtenção do modelo hierárquico, constroem-se matrizes quadradas recíprocas positivas, cuja ordem será igual ao número de alternativas. Posteriormente, para cada critério fez-se o mesmo, progressivamente. Essas comparações por pares fornecem pesos para cada alternativa, dentro de cada critério, após comparações recíprocas. Esses pesos são obtidos por meio do cálculo do autovetor principal de cada matriz quadrada. Ao final do processo, esses pesos geram uma função de agregação aditiva, na qual, para cada alternativa específica, atribuiu-se um valor final que possibilitou a ordenação global de todas as alternativas.

A partir da escolha dos critérios para a comparação e do estabelecimento da importância relativa de cada plano de informação, o modelo AHP informa uma razão de consistência (CR). Essa é utilizada para determinar o grau de coerência, ou seja, indica a probabilidade de que as comparações tenham sido geradas aleatoriamente (Alphonse, 1997; Dai et al., 2001; Oliveira et al., 2009). A razão de consistência deve ser inferior a 0,10, e quando ocorrem valores superiores a esse é necessária a realização de revisões nas comparações realizadas. Neste estudo, a CR obtida foi de 0,03 para inundações e 0,08 para deslizamentos, atestando assim a coerência na hierarquização dos dados.

Para o cálculo do AHP foi utilizado o software livre ASSISTAT Versão 7.6, desenvolvido na Universidade Federal de Campina Grande pelo Prof. Dr. Francisco de Assis Santos e Silva.

2.3. Modelagem e geração dos mapas de vulnerabilidade

De posse dos 6 (seis) parâmetros geofísicos, procedeu-se a álgebra para a geração dos mapas de vulnerabilidade a inundações e deslizamentos.

A álgebra de mapas foi realizada no software ArcGIS, com base nas equações (3) e (4), inundaçāo e deslizamento, respectivamente. Os pesos utilizados no processo foram mesmos obtidos no AHP para cada parâmetro, multiplicados por 100.

$$V.\text{INUND.} = \frac{(35*PSL)+(20*DE)+(25*GEOM)+(10*USO)+(6*SOL)+(4*PRV)}{100} \quad (3)$$

$$V.\text{DESLIZ.} = \frac{(5*PSL)+(34*DE)+(21*GEOM)+(11*USO)+(26*SOL)+(3*PRV)}{100} \quad (4)$$

Como resultado das duas álgebras de mapas relacionando os parâmetros, foram obtidos dois arquivos matriciais, um para cada vulnerabilidade analisada. Para a confecção do mapa propriamente dito, os dados de cada um dos arquivos matriciais foram classificados, de modo a atribuir cada um dos índices numéricos obtidos na álgebra (0 a 10) a classes de risco. Por convenção, os índices 0 e 1 foram alocados na classe de risco “Muito Baixa”, os índices 2 e 3 foram alocados na classe de risco “Baixa”, os índices 4 e 5 foram alocados na classe de risco “Moderada”, os índices 6 e 7 foram alocados na classe de risco “Alta” e, por fim, os índices 8, 9 e 10 foram alocados na classe de risco denominada “Extrema”.

3. Resultados e Discussão

3.1. Análise da vulnerabilidade a inundações

De acordo com a Figura 4, a maior parte do estado do Paraná possui vulnerabilidade baixa / moderada, e as áreas mais susceptíveis a inundações estão localizadas em regiões que, predominantemente, abrigam rios com leitos de grande dimensão, como Iguaçu, Tibagi, Paranapanema e Paraná.

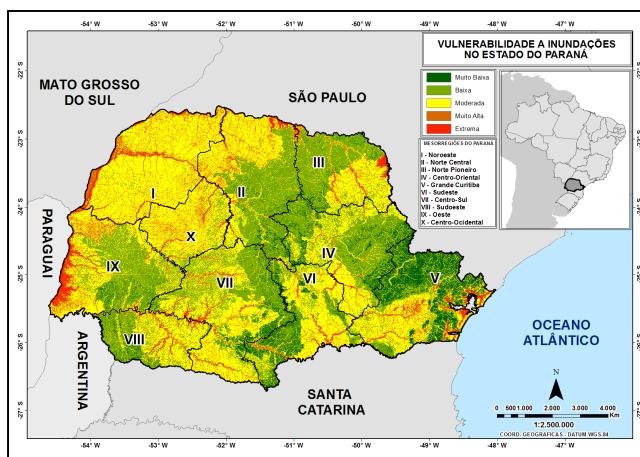


Figura 4. Mapa de vulnerabilidade a inundações.

Conforme o registro de ocorrências da Defesa Civil do Paraná, o município paranaense mais afetado com inundações é União da Vitória. De fato, como se pode verificar nas Figuras 5, o mapa de vulnerabilidade a inundações, sinaliza a vulnerabilidade extrema do município a este tipo de evento extremo.

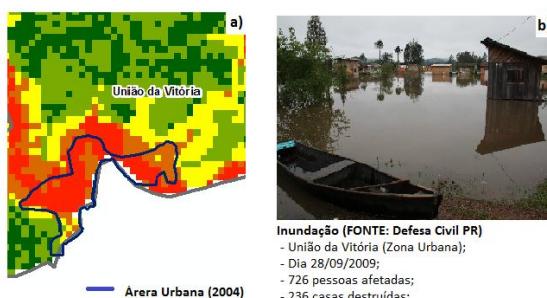


Figura 5. (a) Vulnerabilidade a inundações na área urbana de União da Vitória. (b) Ocorrência de inundações em União da Vitória (FONTE: Defesa Civil PR).

3.2. Análise da vulnerabilidade a deslizamentos

De acordo com a Figura 6, a região mais vulnerável a deslizamentos é a da zona de transição entre o Segundo e o Terceiro Planalto Paranaense, além da Serra do Mar.

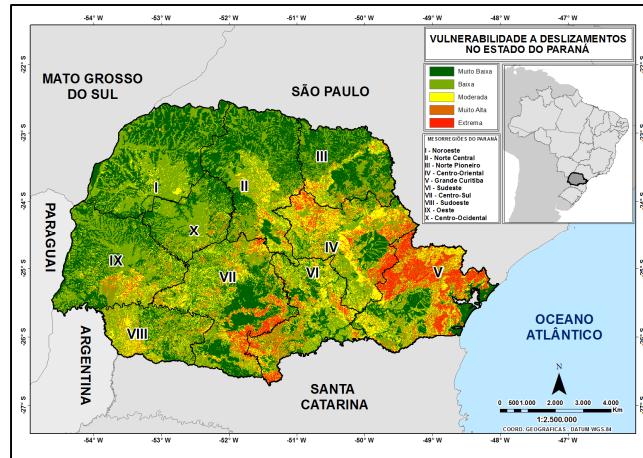


Figura 6. Mapa de vulnerabilidade a deslizamentos.

Conforme o registro de ocorrências da Defesa Civil do Paraná, o município paranaense mais afetado com deslizamentos de terra é Rio Branco do Sul. De fato, como se pode verificar na Figura 7, o mapa de vulnerabilidade a deslizamentos sinaliza a vulnerabilidade do município a este tipo de evento.

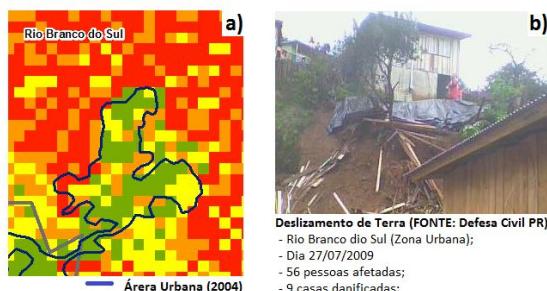


Figura 7. (a) Vulnerabilidade a deslizamentos de terra na área urbana de Rio Branco do Sul.
(b) Deslizamento de terra ocorrido em Rio Branco do Sul (FONTE: Defesa Civil PR).

3.3. Validação dos resultados

Para a validação dos resultados, procedeu-se a interseção entre os mapas de vulnerabilidade e seus respectivos shapefiles I_2 e D_2 , visando-se obter a classificação de vulnerabilidade para as áreas de controle. Ao final do processo, foi possível fazer a contagem de pixels, e estabelecer o grau de confiança dos mapas (Tabelas 1 e 2).

Tabela 1. Nível de confiança: Vulnerabilidade a Inundações

Classe	VULNERABILIDADE A INUNDAÇÕES	
	Pixels	%
Muito Baixa	2	1,39
Baixa	21	14,58
Moderada	27	18,75
Alta	27	18,75
Extrema	67	46,53
CONFIANÇA:		65,28

Tabela 2. Nível de confiança: Vulnerabilidade a Deslizamentos

Classe	VULNERABILIDADE A DESLIZAMENTOS	
	Pixels	%
Muito Baixa	3	3,06
Baixa	4	4,08
Moderada	11	11,22
Alta	33	33,67
Extrema	47	47,96
CONFIANÇA:		81,63

4. Conclusões

Através das Figuras 5 e 7, e das Tabelas 1 e 2, constata-se que apesar carência de dados cartográficos em escala adequada e da não utilização de parâmetros humanos na análise, os mapas de vulnerabilidade gerados no estudo atenderam as expectativas e, classificaram com sucesso as regiões mais afetadas por inundações e deslizamentos de terra.

Associando a previsão de ameaças, dos mapas de vulnerabilidade gerados neste estudo, e da resposta do sistema social aos desastres naturais, como elementos chaves na equação de risco, é possível capacitar as comunidades para enfrentar, resistir e recuperar-se de um desastre natural, através de medidas preventivas e políticas públicas, que visem principalmente diminuir o número de pessoas afetadas. Além disso, cabe ao poder público aplicar e fiscalizar as diretrizes já existentes com respeito ao ordenamento territorial, planejamento urbano, plano diretor, zoneamento ambiental e Defesa Civil.

5. Referência Bibliográficas

- ALCANTARA-AYALA, I. **Geomorphology, natural hazards, vulnerability and prevention of natural disaster in developing countries.** Geomorphology, v.47, 2002. P.107-124.
- BARROS, M.A.; MOREIRA, M.A.; RUDORFF, B.F.T. **Processo analítico hierárquico na identificação de áreas favoráveis ao agroecossistema cafeeiro em escala municipal.** Pesquisa Agropecuária Brasileira, v. 42, n. 12, p. 1769-1777, 2007.
- DAI, F.C.; LEE, C.F.; ZHANG, X.H. **GIS-based geoenvironmental evaluation for urban land-use planning: a case study.** Engineering Geology, v. 61, n. 4, p. 257-271, 2001.
- DEFESA CIVIL DO PARANÁ. **Base Cadastral de Ocorrências de Desastres Naturais.** [online] <<http://www.defesacivil.pr.br/>>. Visitado em 24 ago. 2012.
- EM-DAT. **The OFDA/CRED International Disaster Database.** [online] <<http://www.em-dat.be/>>. Visitado em 14 mar. 2011.
- FRANCO, M. de A. R. **Planejamento ambiental para a cidade sustentável.** São Paulo: Annablume: FAPESP, 2001.
- ISDR – International Strategy for Disaster Reduction. **Living with risk: a global review of disaster reduction initiatives.** Preliminary version. Genebra, Suíça: UN/ISDR, 2002.
- MARCELINO, E.V.; NUNES, L.H.; KOBIYAMA, M. **Mapeamento de Risco de Desastres Naturais no Estado de Santa Catarina.** Campinas: IG/UNICAMP, 2005. 13p.
- OLIVEIRA, L. J. C., OKA-FIORI, C., CANALI, N. E., FIORI A. P., SILVEIRA, C. T., FRANÇA DA SILVA. **Mapeamento de Vulnerabilidade Geoambiental do Estado do Paraná.** Revista Brasileira de Geociências, v.37, n. 4, p. 812-820, 2007.
- OLIVEIRA, P. T. S.; RODRIGUES, D. C.; ALVES SOBRINHO, T.; PANACHUKI, E. **Processo Analítico Hierárquico Aplicado a Vulnerabilidade Natural a Erosão.** Revista Brasileira de Geociências, v.28, n.4, p. 417-424. UNESP, São Paulo, 2009.
- SAATY, T.L. **A scaling method for priorities in hierarchical structures.** Journal of Mathematical Psychology, v. 15, p. 234-281, 1977.
- SMITH, K. **Environmental Hazards: Assessing Risk and Reducing Disaster,** 2ed. London: Routledge, 1996. 389p.