

VULNERABILIDADE AMBIENTAL Á INUNDAÇÃO COSTEIRA DO MUNICÍPIO DE SÃO LUÍS-MA

Priscilla Coelho Ribeiro ¹
Liandra Santos Conceição ²
Thalita Laís Magalhães Soares ³
Marco Aurélio Neri Torres ⁴
Paloma Coelho Ribeiro ⁵
José Aquino Junior ⁶

INTRODUÇÃO

Ao analisar os desastres naturais ao longo da história, é possível observar que o processo de urbanização não se preocupou em considerar como as características ambientais poderiam representar riscos, pois as principais áreas afetadas foram as residenciais. Para se discutir medidas de mitigação aos riscos ambientais, incluindo riscos de inundação, deve-se levantar os graus de vulnerabilidade das áreas (Başaran-Uysal *et al.*, 2014; Wamsler, 2007).

Diversas legislações no mundo já incluem nas avaliações ambientais de riscos as características dos investimentos planejados em áreas vulneráveis a inundações e seus impactos na saúde e segurança humana. A zona costeira possui uma intensa e complexa dinâmica ambiental, concentrando importantes recursos naturais e atividades socioeconômicas, o que por fim gera riscos diversos. Geralmente essas áreas apresentam baixa altitude com grandes áreas planas, presença de rios e proximidades de massas oceânicas, favorecendo os eventos de inundação, apresentando também os maiores valores de densidade demográfica, e por isso o maior número de afetados (Barroca *et al.*, 2008; Birkmann *et al.*, 2013).

Neste sentido, este estudo pretendeu analisar a vulnerabilidade ambiental física do município de São Luís, considerando como fator de perturbação as inundações costeiras, por meio do Índice de Vulnerabilidade Ambiental (IVA) a Inundação Costeira.

O IVA foi constituído de forma a expressar as características físicas ambientais que favorecem o conceito de desastre pensando nas particularidades que influenciam os níveis de exposição ao fenômeno, podendo estar ligadas as características atmosféricas, oceanográficas,

¹Mestre em Saúde e Ambiente pela Universidade Federal do Maranhão - MA; pris.coelho.slz@gmail.com

²Graduanda do Curso de Geografia da Universidade Federal do Maranhão - MA, liandra.santos@discente.ufma.br;

³Graduanda do Curso de Geografia da Universidade Federal do Maranhão - MA, thalita.lais@discente.ufma.br;

⁴ Mestre em Geografia pela UNESP/Presidente Prudente - SP, marco.torres.geo@gmail.com.

⁵Graduada em Geografia da Universidade Federal do Maranhão - MA, palomarib@hotmail.com.br.

⁶ Doutor em Geografia da Universidade Federal do Maranhão - MA, aquino.jose@ufma.br.

e antrópicas, tais como atividades pluviométricas, a morfometria dos canais presentes, as intervenções urbanas, a topografia e o relevo, além do uso e cobertura da terra (CENAPRED, 2001).

Neste estudo, a vulnerabilidade ambiental é definida como a suscetibilidade ou propensão de um sistema a ser exposto a um fenômeno ou fator perturbador, sendo ele de origem natural, com interferência ou não do homem. A presente investigação considera o IVA a partir de graus diferenciados, considerando que o ambiente não é homogêneo, variando em razão as características físicas e a predisposição de uma característica em acentuar ou reduzir o impacto do perigo. Os índices de vulnerabilidade a inundações fazem parte dos esforços de gerenciamento da água e combinam vários fatores de causa-efeito a partir de uma série de dados disponíveis. (Wong e Lee, 2008; Balica, 2012; Cardona, 2003).

METODOLOGIA

Trata-se de um estudo de caso com embasamento sistêmico fundamentado nas relações quanti-qualitativas de variáveis ambientais. Para a formulação do IVA, essas variáveis ambientais foram selecionadas partindo dos pressupostos apresentado por Bálica (2007) e Tricart (1977) para a obra da Teoria da Ecodinâmica, considerando a perturbação de sistemas por movimentos de massa d'água (Rios e marés) resultantes em inundação de áreas não passíveis de inundação, de forma temporária ou não, de efeito agudo ou crônico, propiciando e/ou intensificando o evento. Desta forma, o índice considera que a vulnerabilidade é a exposição danosa ponderadas pelas características físicas, discutindo assim a suscetibilidade e resiliência.

Cada variável foi descrita em classes e subdivididas em até cinco níveis de vulnerabilidade através de formações dos grupos naturais de afinidade (*Jenks Natural*) pelo desvio padrão para a amostra territorial, sendo então reclassificados através da ferramenta *Reclassify* do *software Arcgis 10.3*, atribuindo valores de 1 a 5 aos níveis identificados. Definiu-se o valor 1 para áreas com características compatíveis a níveis de vulnerabilidade caracterizada como de “Muito Baixa”; 2 para as áreas de “Baixa” vulnerabilidade, o valor 3 para as áreas de “Média”, 4 para as de “Alta” vulnerabilidade e 5 para áreas de “Muito Alta” vulnerabilidade.

Os dados cartográficos foram trabalhados em ambiente SIG e as variáveis foram transformadas de vetorial (.shp) para a forma matricial (.tif) e então trabalhadas por meio de álgebra de mapas por somatório do produto das variáveis pelos seus pesos equivalentes para a elaboração final do Índice de Vulnerabilidade Ambiental – IVA.

Posteriormente analisou-se o índice para os subsetores (bairros), através da extração das informações médias de vulnerabilidade na totalidade territorial corrigidas pela variância da área equivalente ao subsetor analisado. Para isso, utilizou-se a ferramenta *Zonal Statistic* da aba de *Spatial Analyst Tools*, utilizando como base para aplicação nos bairros os dados obtidos no formato em *shapefile* disponibilizados pelo Instituto da Cidade, Pesquisa e Planejamento Urbano e Rural – INCID (2010).

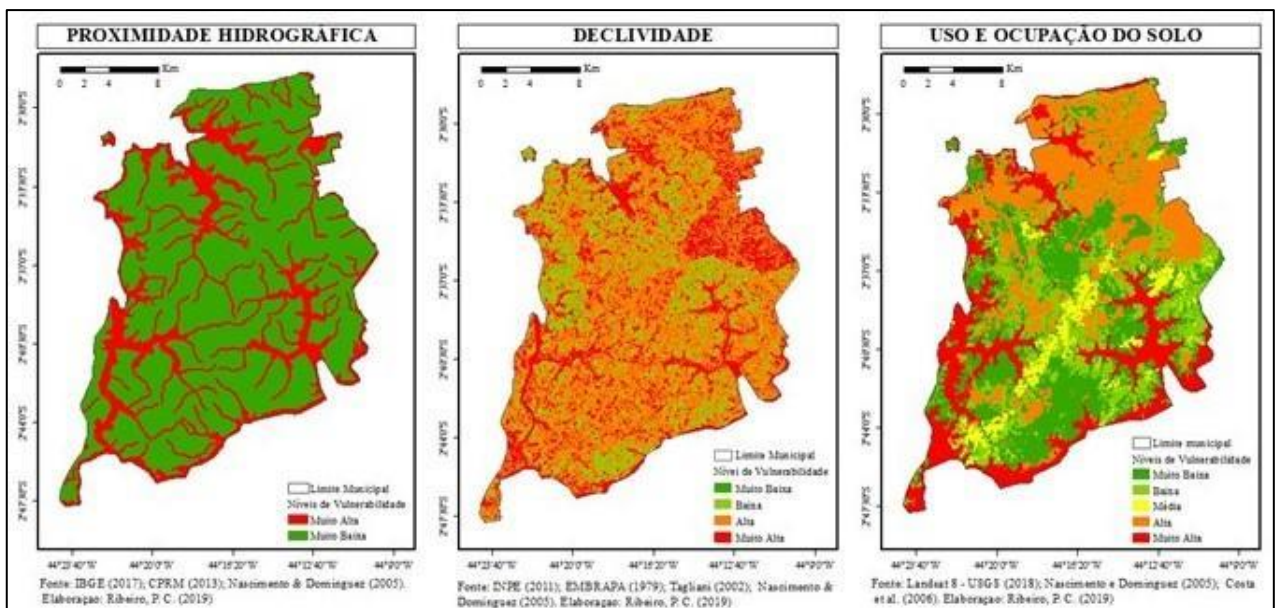
Por fim, para validação do IVA, realizou-se o levantamento de campo, selecionando 10 amostras de bairro, sendo 5 os bairros mais vulneráveis e 5 menos vulneráveis. A amostra foi determinada considerando o cálculo para tamanho da amostra em população finita de 188 bairros, admitindo erro de 5%.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Considerando os pressupostos apresentados pelo Bálica (2007) e Tricart (1977) e analisados sob a perspectiva de exposição, suscetibilidade e resiliência, nesta investigação selecionou-se as variáveis: Proximidade de corpos hídricos, declividade, e uso e ocupação do solo (figura 01).

Figura 1. Mapa das vulnerabilidades ambientais identificadas

Uma variável muito importante quando se discute inundação em áreas de mares e rios é



a proximidade de corpos hídricos, pois em áreas costeiras o risco a inundação aumenta para áreas com efeitos combinados de atividades de marés, pluviométricas e fluviométricas. Considerando essas dinâmicas foi adaptado os níveis de vulnerabilidade a partir do trabalho de Nascimento e Dominguez (2005).

A declividade é outro fator de relevância ao estudo e é definida como à inclinação do relevo em relação ao horizonte, se relacionando desse modo com a transformação da energia potencial em energia cinética, podendo atuar nos processos erosivos e de morfogênese. Além disso, a elevação topográfica determina a extensão das inundações. As classes de declive foram baseadas na Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA, 1979) com os níveis de vulnerabilidade adaptados do estudo de Tagliani (2002). Desta forma, considerou-se valores próximos de 5 a vulnerabilidade associada a pequenos ângulos de inclinação, já que estas estão associadas as planícies de inundação, e quanto maior a inclinação, valores próximos a 1, pois para ângulos maiores são menos propícios inundação costeira.

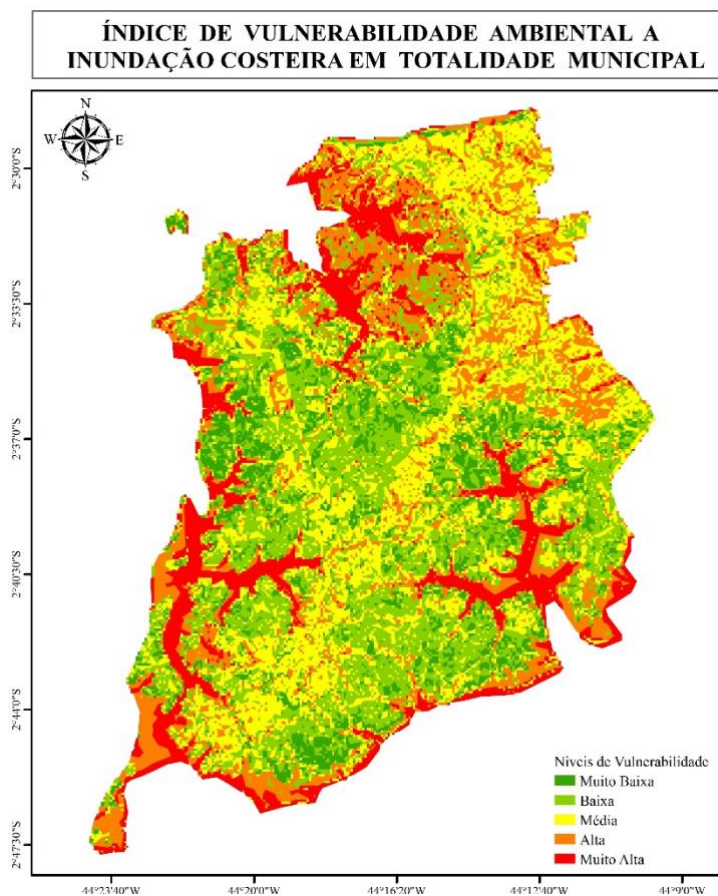
Outro elemento considerado foi o uso e ocupação do solo. O solo é o principal elemento, pois ele além de ser suporte dos ecossistemas também reflete as atividades humanas. Conforme apresentado por Santos (2004), os modos de uso do solo a as formas de ocupação são muito importantes quanto a inundação, pois eles definem áreas de complexidade do evento, e uma vez que analisada, infere a potencialidade e fragilidade como elemento natural, como recurso produtivo, como substrato de atividades construtivas ou como concentrador de impactos.

Outras variáveis também foram consideradas e testadas nas análises, como vegetação, geologia e geomorfologia. No entanto, as variáveis “Proximidade hidrográfica” e “Declividade” foram definidas como as mais importantes ou influentes sobre o evento, representando 65% da análise, conforme valores correspondentes aos autos vetores (Kostlan, 1991).

A fim de apontar as áreas mais susceptíveis aos eventos de inundação, obteve-se o mapa do IVA a inundação costeira para a totalidade territorial do município (Figura 2), o qual classificou a maioria da extensão territorial, medida em km², como áreas de baixa a muito baixa (tons em verde) vulnerabilidade ambiental (24,2% e 52,9% do município respectivamente).

As áreas de elevada vulnerabilidade (classes Alta e Muito Alta) representaram 7,9% do território, possuindo afinidade com ambientes altamente antropizados e com grandes atividades hidrodinâmicas. Tais áreas referem-se a Planícies Litorâneas modeladas pelo fluxo das marés diretos e indiretos de domínio marinho e fluviomarinho, caracterizando ambientes de praias, mangues, vasas, pântanos, apicuns, lagoas e falésias. As relações apresentadas podem ser vistas nos mapas da figura 2.

Figura 2. Mapa das vulnerabilidades ambientais identificadas

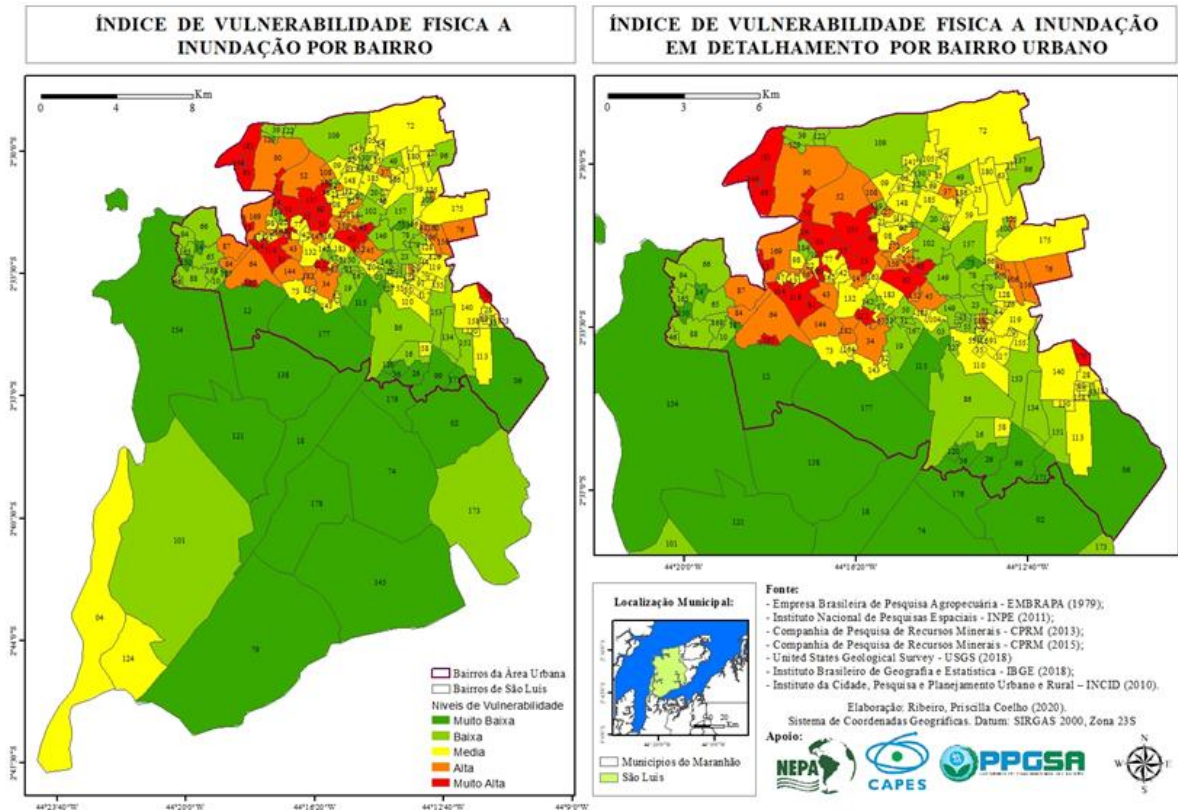


O índice de vulnerabilidade ambiental (IVA) a inundação costeira, considerando os níveis presentes de área majoritária em cada bairro, foi realizado também para identificar o agrupamento de bairros a partir dos diversos segmentos socioeconômicos, com presença de setores rurais e urbanos, com fortes afinidades de agrupamentos relacionados aos processos de ocupação e de adensamento populacional (Figura 3).

Os bairros de grande vulnerabilidade (alta e muito alta) representaram 26,1% das unidades e foram identificados em sua totalidade como pertencentes a malha urbana, caracterizados por baixas declividades (0% – 3%) e localizados em ambientes de alta hidrodinâmica com praias, rios e estuários, regidos por cursos d'água permanentes e de volume caudal expressivos que expõe a área a grandes diferenças de maré, principalmente nas fozes de grandes *flúmens* municipais: a noroeste os rios Bacanga e Rio Anil; a nordeste o rio Paciência; a sudeste o rio Tibiri e Tijupá; e a sudoeste o igarapé do Cajueiro, da Pindoba e Riacho dos Cachorros. Estes estão dentro de planícies litorâneas sobre depósitos fluviomarinhas e pantanosos, caracterizados por sedimentos inconsolidados, com exorbitância de processos

naturais e sociais de dinâmica transformadora, com complexação de fenômenos geofísicos que favorecem características próprias a essas zonas de inundação.

Figura 3. Mapa do IVA de São Luís a inundação costeira em análise setorial por bairros



Os bairros classificados como muito alta vulnerabilidade representaram 10,6% do município, sendo compostos por bairros apenas da malha urbana e geralmente próximos a fozes do Rio Anil e do Rio Bacanga, com exceção do bairro Recanto dos Signos (ponto 170 da Figura 3). As áreas de alta vulnerabilidade representaram 15,4% dos bairros analisados, sendo localizados apenas na área urbana e composto majoritariamente por bairros próximos das fozes anteriormente citadas, e os pertencentes às margens do Rio Itapiracó (pontos 41, 76, 106, 156 e 160 da Figura 3).

Os bairros classificados de média vulnerabilidade representaram 36,7% das amostras, sendo em sua maioria composta por bairros considerados tradicionais (desde a década de 1950) localizados na porção central do município, e mais recentes (a partir da década de 1970) provenientes principalmente de loteamentos, em áreas urbanas com grande quantitativo populacional, mas bem menos adensados em comparação com as áreas de alta vulnerabilidade, localizados sob no tabuleiro costeiro do grupo geológico barreiras.

Tais bairros possuem estado de degradação ambiental alta, propiciada pela migração do grande contingente populacional vivenciada a partir da década de 1965 atrás de oportunidades,

que se adensaram nessas áreas, vivendo literalmente a metros ou sob influência das forças das marés, que causaram retirada e degradação da vegetação, além de aterragem irregular de terrenos inconsolidados.

Os bairros de pouca vulnerabilidade (Muito baixa e Baixa) foram compostos por 70 unidades bem diversificada, com representantes na malha rural (17,1%) e urbana (82,9%), localizados em áreas da porção central de interflúvio das microbacias locais, sendo a porção oeste mais explicada pelas microbacias costeiras. Este grupo é formado por dois tipos de bairros: o primeiro os compreendidos na malha rural, formado por bairros em declividades de 3% a 20% e com mancha urbana em menor quantidade e bem espaçadas, com formações vegetais de associações do domínio litorâneo de médio e grande porte, caracterizadas por palmeiras de babaçus, buriti e juçaras, principalmente de manguezais, estabelecidos em depósitos de mangue; o segundo é formado por bairros com origens em conjuntos habitacionais e/ou muito recentes, caracterizados em sua maioria por áreas de pequena extensão, mais distantes das margens de rios maiores, em áreas urbanas de baixa vegetação estabelecido no tabuleiro costeiro, barreira.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Mediante aos resultados obtidos foi possível identificar que a maior parte da extensão territorial do município está classificada como baixa a muito baixa vulnerabilidade ambiental, sendo 24,2% e 52,9% respectivamente. No entanto, as áreas classificadas como alta e muito alta vulnerabilidade representaram 7,9% do território, valor preocupante em virtude do uso e ocupação do solo nessas áreas, próximas a corpos d'água que costumam ocorrer de forma desordenada.

O IVA a inundação costeira foi realizada também para identificar o agrupamento de bairros. Os subsetores de grande vulnerabilidade representaram 26,1% das unidades e foram identificados em sua totalidade como pertencentes a malha urbana, caracterizados por baixas declividades, localizados em ambientes de alta hidrodinâmica com praias, rios e estuários, regidos por cursos d' gua.

A classifica o de áreas de risco e vulnerabilidade ambiental são essencialmente importantes para a gestão e planejamento de habita oes e infraestruturas urbanas e rurais, principalmente porque incentiva a realiza o de medidas mitigadoras e tomadas de decisões mais efetivas junto as popula oes que já estão estabelecidas nessas áreas.

Palavras-chave: Desastres Naturais; Características Ambientais; Inunda o Costeira.

REFERÊNCIAS

- BARROCA, B; MOUCHEL, J. M; BONIERBALE, T; HUBERT, G. **Flood Vulnerability Assessment Tool (FVAT), Daywater: An Adaptive Decision Support System for Urban Stormwater Management**, p. 123, 2008.
- BALICA, S. F. **Development and Application of Flood Vulnerability Indices for Various Spatial Scales**. UNESCO-IHE, Institute for Water Education. 2007.
- BALICA, S. F. **Applying the flood vulnerability index as a knowledge base for flood risk assessment**. Delft University of Technology, Delft. CRC Press/Balkema, p. 152. 2012.
- BIRKMANN, J; CARDONA, O. D; CARREÑO, M. L; BARBAT, A. H; PELLING, M; SCHNEIDERBAUER, S; KIENBERGER, S; KEILER, M; ALEXANDER, D; ZEIL, P; WELLE, T. Framing vulnerability, risk and societal responses: the MOVE framework, **Nat. Hazards**, 67, 193–211, 2013.
- BAŞARAN-UYSAL, A; Sezen, F; Özden, S; Karaca, O. Classification of residential areas according to physical vulnerability to natural hazards: a case study of Çanakkale, Turkey. **Disasters**, v. 38, n. 1, p. 202–226, 2014.
- CENAPRED. **Diagnóstico de peligros e identificación de riesgos de desastres en México**. Serie Atlas Nacional de Riesgos de la República Mexicana. Centro Nacional de Prevención de Desastres, p. 232. 2001.
- Cardona, O.D., Hurtado, J.E., Duque, G., Moreno, A., Chardon, A.C., Velásquez, L.S. and S.D. Prieto. (2003a). **The Notion of Disaster Risk: Conceptual framework for integrated management IDB/IDEA Program of Indicators for Disaster Risk Management**, National University of Colombia, Manizales. <http://idea.unalmz.edu.com>
- EMBRAPA. Solos. Sistema brasileiro de classificação de solos. 2ª ed. Rio de Janeiro, 306 p. 2006.
- KOSTLAN, E. (1991). Statistical Complexity of Dominant Eigenvector Calculation. Hawaii: **Journal of Complexity**. Volume 7, Issue 4, December, p. 371-379. 1991.
- NASCIMENTO, D. M. C; DOMINGUEZ, J. M. L. O mapa de vulnerabilidade ambiental como subsídio à gestão da zona costeira: o exemplo da planície costeira de Belmonte-BA. In: Congresso Brasileiro de Cartografia, 22, **Anais**, p.1-6. 2005.
- SANTOS, R. F. **Planejamento Ambiental: Teoria e prática**. São Paulo: Oficina de Textos. 184 p. 2004.
- TAGLIANI, C. R. A. **A mineração na porção média da Planície Costeira do Rio Grande do Sul: estratégia para a gestão sob um enfoque de Gerenciamento Costeiro Integrado**. Porto Alegre, RS. Tese de Doutorado, Instituto de Geociências, Programa de pós-graduação em Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, p. 252. 2002.
- TRICART, J. **Ecodinâmica**, Rio de Janeiro: IBGE-SUPREN, 91p. 1977.
- WONG, D. W. S; LEE, J. **Statistical analysis of geographic information with ArcView GIS and ArcGIS**. John Wiley & Sons; Edição: 1, p. 464 .2008.