

# APLICAÇÃO DE TÉCNICAS DE ANÁLISE ESPACIAL PARA MAPEAR ÁREAS SUSCETÍVEIS A ENCHENTES URBANAS

## APPLYING SPATIAL ANALYSIS TECHNIQUES TO MAP URBAN AREAS AT RISK OF FLOODS

Andréia Rudniak<sup>1</sup>, Paulo Costa Oliveira Filho<sup>1</sup>, Aparecido Ribeiro de Andrade<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Universidade Estadual do Centro-Oeste (Unicentro), Guarapuava, PR, Brasil

Correspondência para: Aparecido Ribeiro de Andrade (apaandrade@gmail.com)

doi: 10.12957/geouerj.2019.33292

Recebido em: 22 mar. 2018 | Aceito em: 10 out. 2019



### RESUMO

Conhecer as áreas suscetíveis à ocorrência de enchentes contribui para o planejamento urbano e para a minimização dos efeitos a que a população está exposta. O objetivo deste estudo foi identificar locais que apresentam propensão a enchentes na área urbana da principal bacia hidrográfica da cidade de Irati, PR. Para este mapeamento foi utilizado um Sistema de Informações Geográficas (SIG) associado a metodologias como lógica fuzzy e análise hierárquica (AHP). Para tanto, optou-se pela altitude, declividade, distância dos cursos d'água e grau de urbanização como critérios de análise. Os resultados mostraram que 3,645 km<sup>2</sup> do perímetro urbano de Irati, cerca de 13,8% da área de estudo, apresentam algum grau de suscetibilidade a enchentes. A geração de mapas com graus de suscetibilidade variando de 0 (nula) a 1 (alta) foi um bom indicador visual para identificar pontos de maior ou menor riscos de extravasamento do leito dos rios.

**Palavras-chave:** geoprocessamento, planejamento urbano, análise hierárquica.

### ABSTRACT

*The knowledge of the areas susceptible to the occurrence of floods contributes to the urban planning and to the minimization of the effects to which the population is exposed. This study aimed to identify sites that are prone to floods in the urban area of the main hydrographic basin of the city of Irati, State of Paraná. For this mapping, we used a Geographic Information System (GIS) associated with methodologies including fuzzy logic and hierarchical analysis. For that, criteria for analysis were the altitude, slope, distance of water courses and degree of urbanization. The results showed that 3,645 km<sup>2</sup> of the Irati urban perimeter, about 13,8% of the study area, present some degree of susceptibility to floods. The generation of maps with degrees of susceptibility varying from 0 (null) to 1 (high) was a good visual indicator to identify points of greater or lesser risk of riverbed extravasation*

**Keywords:** *geoprocessing, urban planning, hierarchical analysis.*

## INTRODUÇÃO

As enchentes representam um dos fenômenos naturais mais atuantes em todo o mundo e suas principais consequências podem ser resumidas em perdas econômicas e perdas de vidas humanas (ALEXAKIS et al., 2014).

Segundo Tucci (2007) as enchentes urbanas caracterizam-se essencialmente pelo crescimento nem sempre planejado que acarreta a ocupação de áreas de risco, como os terrenos marginais aos cursos d'

água, e pela alta taxa de impermeabilização do solo que provoca problemas como o aumento da vazão máxima, a antecipação do pico e o aumento do volume do escoamento superficial.

Esse autor também ressalta que a frequência e a magnitude das enchentes ocorrem em função da intensidade e distribuição da precipitação, da taxa de infiltração de água no solo, do grau de saturação do solo e das características morfométricas da bacia de drenagem.

Todos esses fatores podem ser identificados através de técnicas de geoprocessamento, ou seja, são facilmente mapeáveis. O problema, entretanto, é escolher e dominar uma técnica de representação espacial que permita uma análise rápida, eficiente e sintética de locais complexos, principalmente aqueles localizados em áreas urbanas.

Além dessas características, um fator importante para o estudo de enchentes urbanas é o grau de suscetibilidade, ou seja, quando um ou mais atributos tornam determinada área potencialmente sujeita aos efeitos decorrentes de desastres naturais (LIMA, 2010).

Lisbôa (2013, p. 25) exemplifica essa questão dizendo que “a várzea de um rio é mais extensa nos seus cursos médio e baixo, onde a declividade se reduz e aumenta a incidência de áreas planas, as quais são mais propícias à ocupação e mais suscetíveis a inundação”.

Inúmeros trabalhos vêm sendo desenvolvidos na perspectiva de que a análise de áreas urbanas envolve múltiplos critérios, com necessidade de serem relacionados geograficamente uns aos outros (HORA; GOMES, 2009; FERNÁNDEZ; LUTZ, 2010; ANDRADE; FERREIRA; SILVA, 2014). Esses critérios normalmente são melhor organizados em conjunto com técnicas de geoprocessamento, através de Sistemas de Informações Geográficas (SIG).

Dentre as técnicas utilizadas para mapear potencialidades de uma área pode-se citar as que são fundamentadas na lógica binária (que muito se assemelha à sobreposição de mapas em formato analógico em uma mesa de luz) e na lógica nebulosa.

A lógica nebulosa, também conhecida como lógica fuzzy, caracteriza-se como uma técnica de classificação contínua dos dados, onde os limites entre classes não são evidentes.

Segundo Meirelles et al. (2007) essa técnica permite flexibilizar a importância dos dados por regiões. Os conjuntos fuzzy criados a partir de uma função de pertinência devem assegurar que o valor do membro no centro do conjunto é “1”, e que este decai de maneira lógica através da fronteira fuzzy (zona de transição) para as regiões fora do conjunto onde o valor deve ser “0”.

Para integralizar os dados dos diferentes critérios é preciso levar em consideração que a importância relativa que cada um assume dentro do estudo não é a mesma.

Em geoprocessamento essa importância relativa é definida por meio de pesos. Muitos autores (NASCIMENTO; LIMA; SANTOS, 2009; CHEN; YEH; YU, 2011; STEFANIDIS; STATHIS, 2013) consideram a técnica AHP - Analytical Hierarchy Process (SATTY, 1990) bastante promissora no processo de tomada de decisão, visto que esse método além de organizar e avaliar a importância relativa entre os critérios, também mede a consistência dos julgamentos.

Pode-se dizer que o conhecimento gerado nos estudos de análise de áreas, quanto a suscetibilidade a enchentes, facilita a gestão de uma bacia hidrográfica urbana e contribui para a gestão de uma cidade, no que diz respeito à implantação de infraestrutura adequada e no planejamento do uso e ocupação da terra.

Portanto, o objetivo do presente estudo é identificar e mapear as áreas propícias a enchentes urbanas na bacia hidrográfica do rio das Antas, localizada em Irati-PR, utilizando a integração da lógica fuzzy e do método AHP.

A bacia do Rio das Antas é a principal bacia hidrográfica da área urbana de Irati, tem 27 afluentes somente na área dos seus dois principais rios (Rio Bonito e Arroio do Meio) e é uma bacia de 4<sup>a</sup> ordem, considerando a metodologia de Strahler (1952).

Assim como na maioria das cidades, as enchentes em Irati tendem a acontecer nas áreas mais impermeabilizadas, em virtude da extrapolação do leito fluvial em locais densamente e desordenadamente ocupados, principalmente pela presença de construções irregulares, dificultando a infiltração da água da chuva, além da maior concentração de poluentes (resíduos) sólidos e líquidos. Em Irati, isso ocorre numa área relativamente pequena, mas muito importante, pois está localizada quase que integralmente na região central da cidade (ANDRADE e FELCHACK, 2009; SANTOS et al., 2016).

Essa característica peculiar da área de estudo lhe dá importância significativa para o entendimento da dinâmica hidrológica. Contudo, esses processos devem ser entendidos enquanto dinâmica espacial e não necessariamente quanto a sua intensidade. Além disso, o conhecimento da área suscetível a inundações é extremamente importante para se prever possíveis impactos negativos e planejar sua mitigação.

Apesar das áreas mais impermeabilizadas ocuparem um espaço pequeno na cidade de Irati, conforme já enfatizado, os eventos extremos, ou seja, com capacidade de provocar alagamentos e enchentes, são costumeiros. Kruk e Freitas (2017) afirmam que no período de 1983 a 2015 ocorreram 16 eventos pluviométricos caracterizados como extremos ou intensos, ou seja, em média, ocorre um evento a cada 2 anos. Além disso, as autoras concluem que esses eventos têm causas naturais e previsíveis (chuvas convectivas no verão e frontais no inverno).

## **METODOLOGIA**

O estudo foi desenvolvido no perímetro urbano do município de Irati, Paraná, que pertence à bacia hidrográfica do rio das Antas, entre as coordenadas (529800,0) e (541800,0) do sistema UTM, fuso 22, ocupando uma área de 26,4 km<sup>2</sup> (Figura 01).

A escolha dos critérios para a análise de suscetibilidade a cheias/enchentes foi adaptado de Fernández e Lutz (2010), sendo considerados os seguintes: altitude, declividade, distância do curso d’água e grau de urbanização. A justificativa para a escolha desses critérios está apresentada no Quadro 01.

A base cartográfica utilizada foi disponibilizada pela Prefeitura do município de Irati na escala 1:2000, a qual contém informações de planimetria e de altimetria (curvas de nível com equidistância de 5 m), além de informações sobre a hidrografia. Também foi cedida uma imagem orbital com 0,5 m de resolução espacial, obtida pelo sensor Geoeye em 2013.

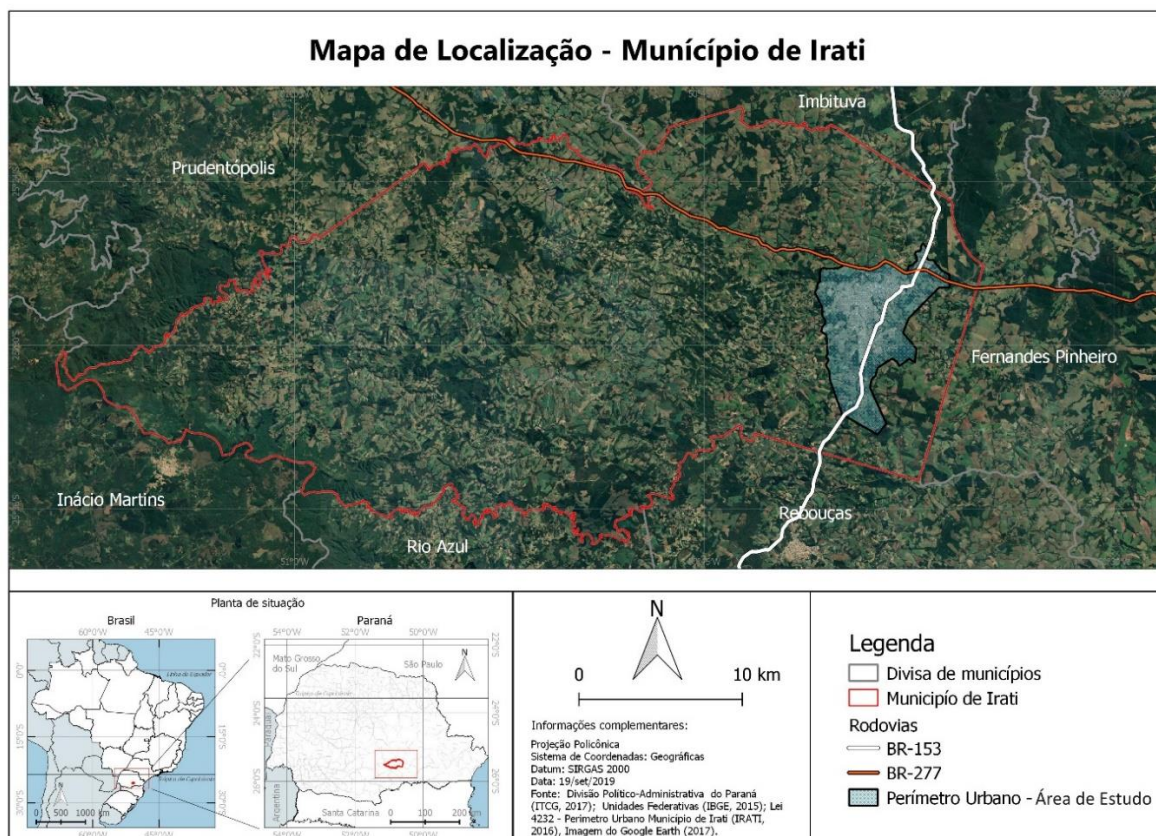


Figura 1. Localização da área de estudo com suas respectivas informações cartográficas Fonte: Org. dos Autores

Critério	Justificativa
Altitude	quanto maior a altitude, menor a chance de inundação para uma determinada região, visto que a lei da gravidade direciona a água para as regiões mais baixas.
Declividade	influncia diretamente no acúmulo de água no terreno, visto que áreas planas apresentam maiores chances de sofrer inundações.

Quadro.1 Critérios utilizados na análise de suscetibilidade a enchentes

Critério	Justificativa
Distância do curso d'água	as áreas mais afetadas durante eventos de cheias são aquelas mais próximas dos rios, como consequência do extravasamento.
Grau de Urbanização	a ocupação da terra influencia as etapas do ciclo hidrológico, principalmente a infiltração e no escoamento superficial da água. As áreas com maior impermeabilidade tendem a acumular mais água em superfície.

**Quadro 1.** Critérios utilizados na análise de suscetibilidade a enchentes. (cont.)

A manipulação da base cartográfica em ambiente de Sistemas de Informações Geográficas – SIG, através do software Spring 5.4.2, possibilitou o reconhecimento da distribuição da hipsometria e da declividade. Com as amostras das curvas de nível da carta topográfica foi gerada a Grade Triangular, conhecida como TIN (Triangulation Irregular Network), utilizando a interpolação matemática de delaunay.

A partir do TIN foi gerada uma grade retangular altimétrica com valores de resolução de 2,5m, bem como uma grade de declividade com valores em porcentagem. O mapa referente ao grau de urbanização foi obtido a partir da interpretação visual da imagem do satélite Geoeye, onde mapeou-se as áreas com níveis distintos de impermeabilidade de acordo com o grau de urbanização do perímetro urbano do município de Irati, a divisão dessas classes foi adaptado de Genovez (2003).

Para a aplicação da lógica fuzzy utilizou-se a Linguagem Espacial para Geoprocessamento Algébrico (LEGAL)<sup>1</sup> presente no ambiente SPRING. O objetivo desta etapa é padronizar a grade numérica de cada critério para valores dentro de um alcance de 0 a 1, além de eliminar os limites rígidos que foram impostos pelas classes temáticas. Para a padronização foram utilizadas de equações lineares, de modo que o valor 1 (um) será atribuído ao membro do conjunto fuzzy (MF) que exerce alta suscetibilidade e 0 (zero) ao critério que exerce baixa suscetibilidade.

A etapa final envolve a ponderação dos critérios de acordo com o grau de importância que assumem no processo de formação a cheias, para tanto foi utilizado a ferramenta “Suporte à decisão” disponível no

<sup>1</sup> A linguagem LEGAL possibilita a realização das análises através de álgebra de mapas, e também permite simular os fenômenos do mundo real sobre atributos espaciais e não espaciais armazenados na base de dados. Um programa LEGAL é formado a partir de uma lista de sentenças que descrevem um conjunto de ações sobre dados espaciais.



SPRING e que leva em consideração a metodologia Analytical Hierarchy Process (AHP) proposta por Saaty (1990).

O posterior fatiamento da grade numérica gerada após esta etapa resultou no mapa de suscetibilidade a enchentes no município de Irati. A Figura 02 ilustra o fluxograma das etapas desenvolvidas para obtenção do mapa de suscetibilidade.

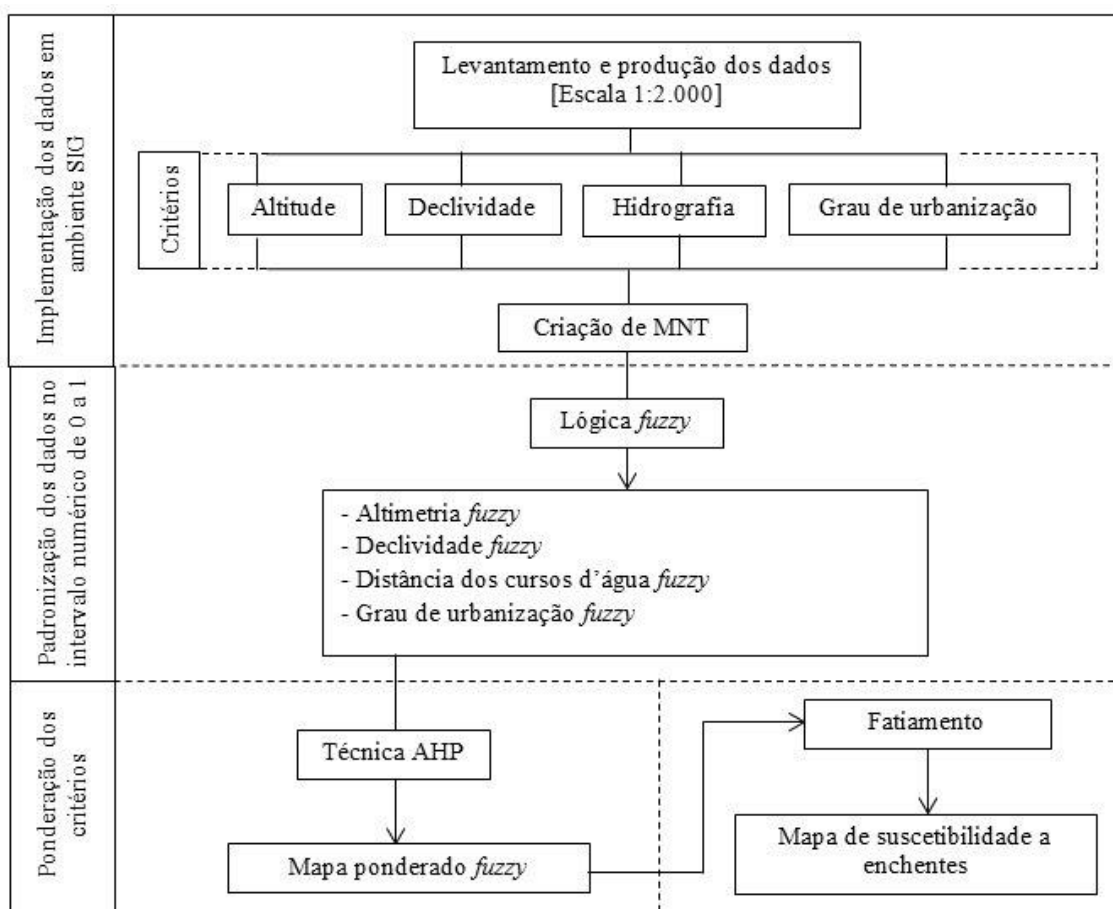


Figura 2. Fluxograma das etapas desenvolvidas para a obtenção do mapa de suscetibilidade a enchentes. Fonte: Organizado pelos autores a partir da lógica do software utilizado (Spring)

*Padronização dos critérios: Lógica fuzzy*

A etapa de padronização utilizou como base os mapas no formato numérico dos critérios escolhidos, e por meio da execução de uma rotina de programação LEGAL para cada critério foram obtidos os mapas

no formato numérico fuzzy, ou seja, mapas reescalados para apresentar valores que variam apenas de 0 a 1.

### Altimetria

A atribuição dos pesos no LEGAL<sup>2</sup> sobre a grade retangular (Tabela 01) considerou que áreas baixas, ou seja, áreas que apresentam cotas iguais ou próximas às dos cursos d'água são mais suscetíveis em eventos de cheias, e por isso apresentam um maior grau de importância na escala. Para o intervalo altimétrico de 800-820 m foi elaborada a função linear decrescente fuzzy  $f(x)$ , onde  $f(x) = -0,005x +$ , sendo  $x$  o valor da altitude.

Altimetria (m)	Peso (0-1)
<800	1
800 - 820	$1 \rightarrow 0$
>820	0

Tabela 1. Pesos utilizados por faixa de altitude

### Declividade

A escolha dos pesos (Tabela 02) baseou-se no trabalho de Galvão (2014), no qual a autora define que áreas com valor de declividade inferior a 2% apresentam alto grau de suscetibilidade a cheias. Declividades superiores a 2% e inferiores a 15% apresentam um grau de suscetibilidade que vai do médio ao baixo, sendo pouco prováveis as cheias em declividades superiores a 15%. Ao intervalo clinométrico de 2-15%, foi aplicada a função linear decrescente fuzzy  $f(x)$ , onde  $f(x) = -0,07695x + 1,1538$ , sendo  $x$  o valor da declividade. A equação foi aplicada sobre a grade de declividade por meio da execução do programa LEGAL.

<sup>2</sup> LEGAL (Linguagem Espacial para Geoprocessamento Algébrico) é uma ferramenta do Software Spring que possibilita a realização de análises espaciais através de álgebra de mapas. Essa análise utiliza os atributos espaciais e não espaciais das entidades gráficas armazenadas na base de dados para fazer simulações sobre os fenômenos do mundo real. É uma linguagem de consulta e manipulação espacial que realiza operações sobre dados dos tipos Temático, Numérico de Terreno e Imagem.



Declividade (%)	Peso (0-1)
<2%	1
2 - 15%	1→0
>15%	0

Tabela 2. Pesos utilizados por faixa de declividade

### Declividade

Considerou-se uma faixa de gradação de 150 m (Tabela 03), essa faixa é representada pela equação linear decrescente fuzzy  $f(x)$ , onde  $f(x) = -0,0067x + 1$ , sendo  $x$  o valor da distância. A equação foi aplicada sobre a grade mapa de distâncias (obtida através dos dados temáticos de hidrografia) por meio da execução do programa LEGAL.

Distância (m)	Peso (0-1)
0 - 150	1→0

Tabela 3. Faixa de gradação para a distância do curso d'água

### Grau de urbanização

A área urbana foi dividida em cinco classes quanto ao grau de urbanização. Posteriormente, foi estabelecida que a faixa de transição entre as classes seria de 100 m, assim foram elaboradas as equações lineares crescente e decrescente fuzzy  $f(x)$ , representadas respectivamente por  $f(x) = 0,005x + 0,5$  e  $f(x) = -0,005x + 0,5$ , onde  $x$  é a distância do limite de determinada classe. A atribuição dos pesos para cada classe aconteceu em conformidade com a Tabela 4.

Grau de urbanização	Peso (0-1)	Comentário
Muito Alto	1	Áreas bastante impermeabilizadas, com lotes não amplos
Alto	0,8	Áreas impermeabilizadas localizadas nos bairros e loteamentos com lotes amplos
Médio	0,5	Parque, área industrial e de mata ciliar, localizadas nas proximidades de áreas com média impermeabilização
Baixo	0,3	Floresta urbana localizada nas proximidades de áreas com média impermeabilização
Muito Baixo	0	Áreas não urbanizadas e/ou agrícolas

Tabela 4. Pesos utilizados por classe de urbanização

*Ponderação dos critérios: AHP*

Para avaliar e organizar a importância relativa entre critérios utilizou-se a técnica de análise multicriterial AHP. Os critérios foram comparados par a par utilizando como referência uma escala contínua de nove pontos, onde a intensidade de importância passa do igual à extremamente mais importante. A Tabela 05 mostra a matriz de comparação dos critérios. A atribuição dos valores da escala baseou-se na literatura (KHOSRAVI et al., 2016; CHEN et al., 2015; RADMEHR; ARAGHINEJAD, 2015) e considerou, por exemplo, que a altitude é “moderadamente mais importante” que a declividade, e que a distância dos cursos d’água é “fortemente mais importante” que o grau de urbanização. A razão de consistência calculada para a matriz de comparação demonstra que o julgamento foi feito de forma adequada.

	F1	F2	F3	F4	Pesos
F1	1	2	2	5	0,426
F2	1/2	1	2	5	0,301
F3	1/2	1/2	1	5	0,213
F4	1/5	1/5	1/5	1	0,060

**Tabela 5.** Matriz de comparação AHP.

$$RC = 0,045$$

F1 = Altitude, F2 = Declividade, F3 = Distância, F4 = Grau de urbanização

Após a definição dos pesos, os critérios foram combinados através da soma ponderada, por meio da execução do programa LEGAL, utilizando a expressão:  $FuzzyPonderado = (0,426 \times AltitudeFuzzy) + (0,301 \times DeclividadeFuzzy) + (0,213 \times DistânciaFuzzy) + (0,060 \times UrbanizaçãoFuzzy)$

A grade numérica resultante desta operação (Figura 03) contém informações na forma de superfície contínua com os graus de suscetibilidade a enchentes na área urbana do município de Irati, as áreas mais claras são aquelas que merecem a maior atenção.

## RESULTADOS

### *Mapa de suscetibilidade a enchentes no município de Irati-PR*

Para melhor compreender os resultados expressos na grade numérica fuzzy ponderada (Figura 03) é necessário transformá-la em mapa temático por meio de seu fatiamento (Figura 04). A partir da análise desses resultados foram definidos os seguintes intervalos para o grau de suscetibilidade: nula (0,00-0,50), baixa (0,50-0,65), média (0,65-0,8) e alta (0,80-1,00), os resultados de cada classe são apresentados na Tabela 6.

Classe de suscetibilidade	Área (km <sup>2</sup> )	Área (%)
Nula	22,728	86,2
Baixa	1,971	7,5
Média	1,224	4,6
Alta	0,450	1,7
Total	26,373	100,0

**Tabela 6.** Resultados das classes qualificadoras

Os resultados mostraram que dos 26,373 km<sup>2</sup> referentes à área urbana do município que pertence à bacia do rio das Antas, 22,728 km<sup>2</sup> (86,2%) foram classificados como “nula suscetibilidade” as cheias, 1,971 km<sup>2</sup> (7,5%) foram classificados como “baixa suscetibilidade”, 1,224 km<sup>2</sup> (4,6%) foram classificados como “média suscetibilidade” e 0,450 km<sup>2</sup> (1,7%) foram classificados como “alta suscetibilidade”.

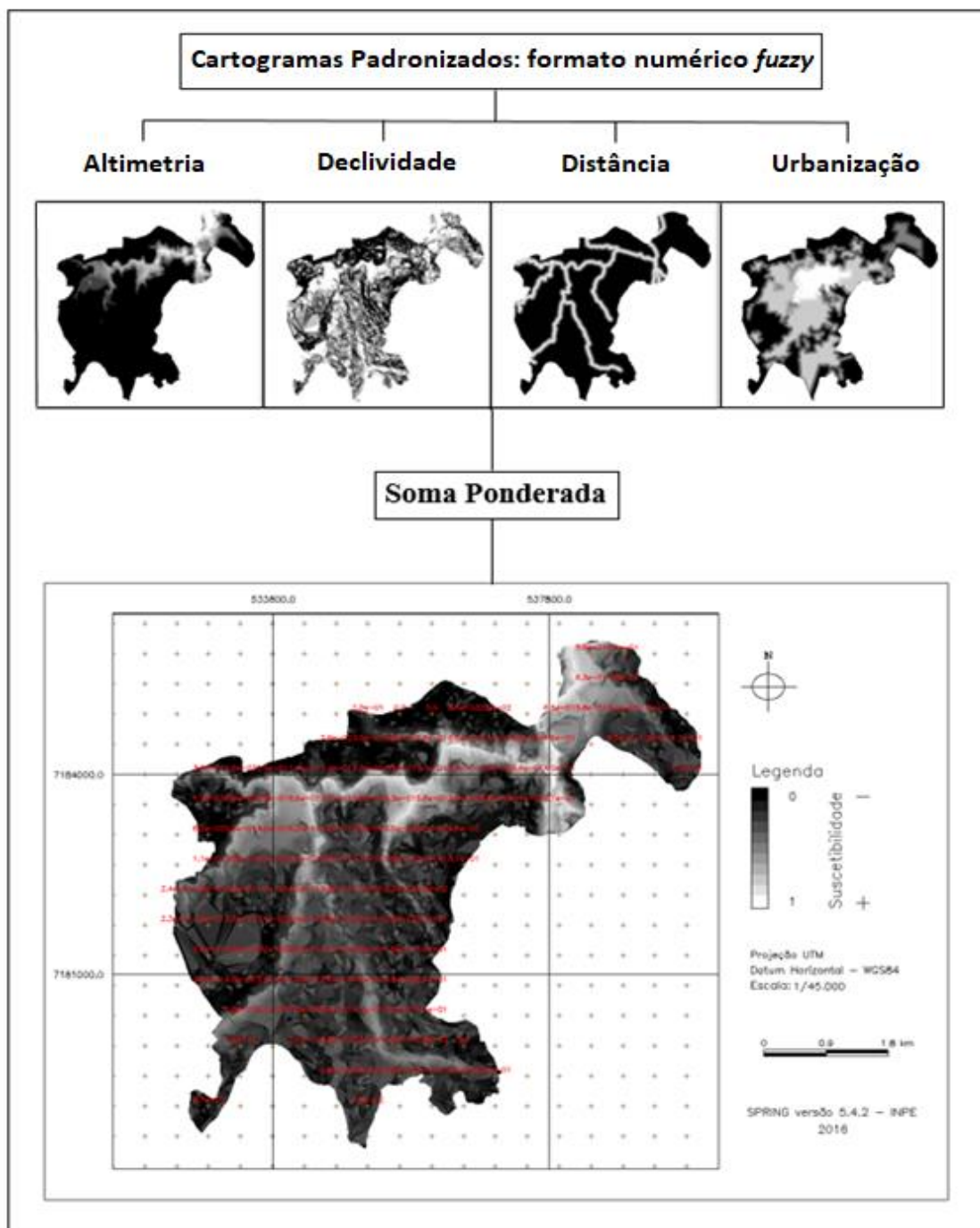


Figura 3. Cruzamentos dos critérios para obtenção do mapa fuzzy ponderado. Fonte: Org. dos Autores

A Figura 4 mostra o mapa de suscetibilidade a cheias após o fatiamento. Foi possível concluir, após a análise dessa figura em associação com os dados da Tabela 7 e considerando apenas as áreas com algum grau de suscetibilidade, observa-se que 3,645 km<sup>2</sup> (13,8%) da área de estudo necessitam de maior atenção no que diz respeito à ocupação da terra e na infraestrutura relacionada à drenagem urbana.

É justamente nessa área com “algum grau de suscetibilidade” que se localiza a grande maioria dos serviços de atendimento ao público (hospitais, hotéis, bares, restaurantes e escolas). Além disso, um dos acessos principais à cidade também se encontra nessa ali. Isso demonstra que a intensidade da enchente muitas vezes não precisa ser elevada e que a área de atuação também pode ser pequena, mas os impactos serão significativos.

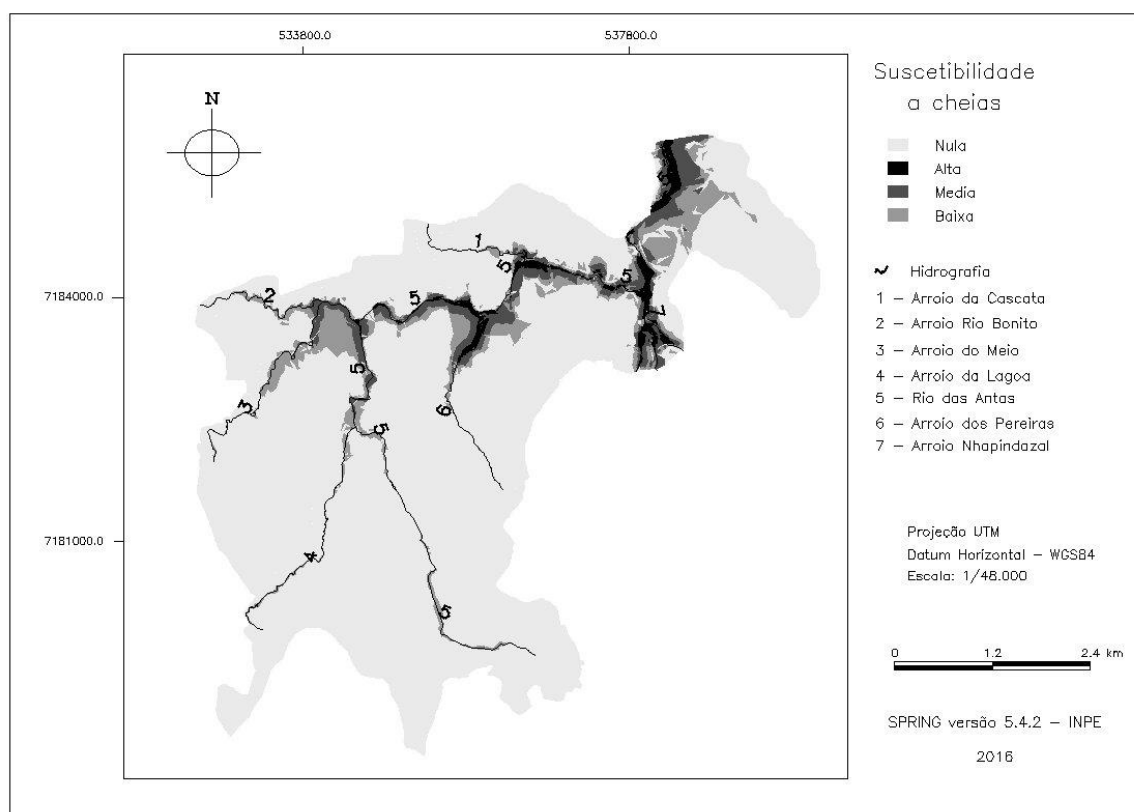


Figura 4. Mapa de suscetibilidade a enchentes do município de Irati-PR Fonte: Org. dos Autores

Antoneli et al., (2015) monitorou um interessante processo que interfere na dinâmica hidrológica do rio das Antas nessa área (centro da cidade) em que existe algum grau de suscetibilidade a cheias. Esse processo é chamado de erosão de margens e intensifica o assoreamento do canal fluvial, definindo maior probabilidade de cheia/enchente/alagamento. Os autores concluíram, inclusive, que esse processo de erosão/corrosão/remoção da margem vem aumentando, principalmente após algumas obras de retificação do rio das Antas.

As áreas classificadas como “alta suscetibilidade” estão localizadas nas proximidades dos cursos d’água que apresentam baixa declividade e cota altimétrica inferior a 805 m, exatamente no local onde Antoneli et al., (2015) realizaram o monitoramento.

Conforme a interpretação visual das imagens de satélite, o trecho compreendido entre a junção do rio das Antas com o arroio Rio Bonito (Figura 05-A) até o encontro do com o arroio dos Pereiras, apresenta uma faixa bastante variável de mata ciliar, além disso apresenta poucas moradias nas proximidades de seu curso, porém, existe a presença de prédios públicos construídos e em construção.

Outra região que é classificada como “alta suscetibilidade” é o baixo curso do arroio dos Pereiras (Figura 05-B). Esta área está totalmente inserida na área central da cidade e apresenta alta densidade de construções (moradias e comércio) nas proximidades de suas margens.

A última área que merece destaque na classe “alta suscetibilidade” localiza-se à margem direita do rio das Antas, próximo a junção deste com o arroio da Cascata (Figura 05-C). Esta região é a que apresenta a maior concentração de moradias e potencial para atingir pontos que se distanciam até 95 m do rio.

A classe de “média suscetibilidade” acompanha paralelamente os trechos classificados e apresentados anteriormente como “alta suscetibilidade”. A faixa paralela varia, por exemplo, de 77 m (Figura 05-A) a 108 m (Figura 05-C) e todas as áreas estão localizadas na cota altimétrica inferior a 810 m.

Duas regiões para a classe de “média suscetibilidade” merecem destaque. A primeira compreende o baixo curso do arroio Rio Bonito, bem como o baixo curso de seu afluente. A segunda região localiza-se logo após a junção do rio das Antas com o arroio da Lagoa.

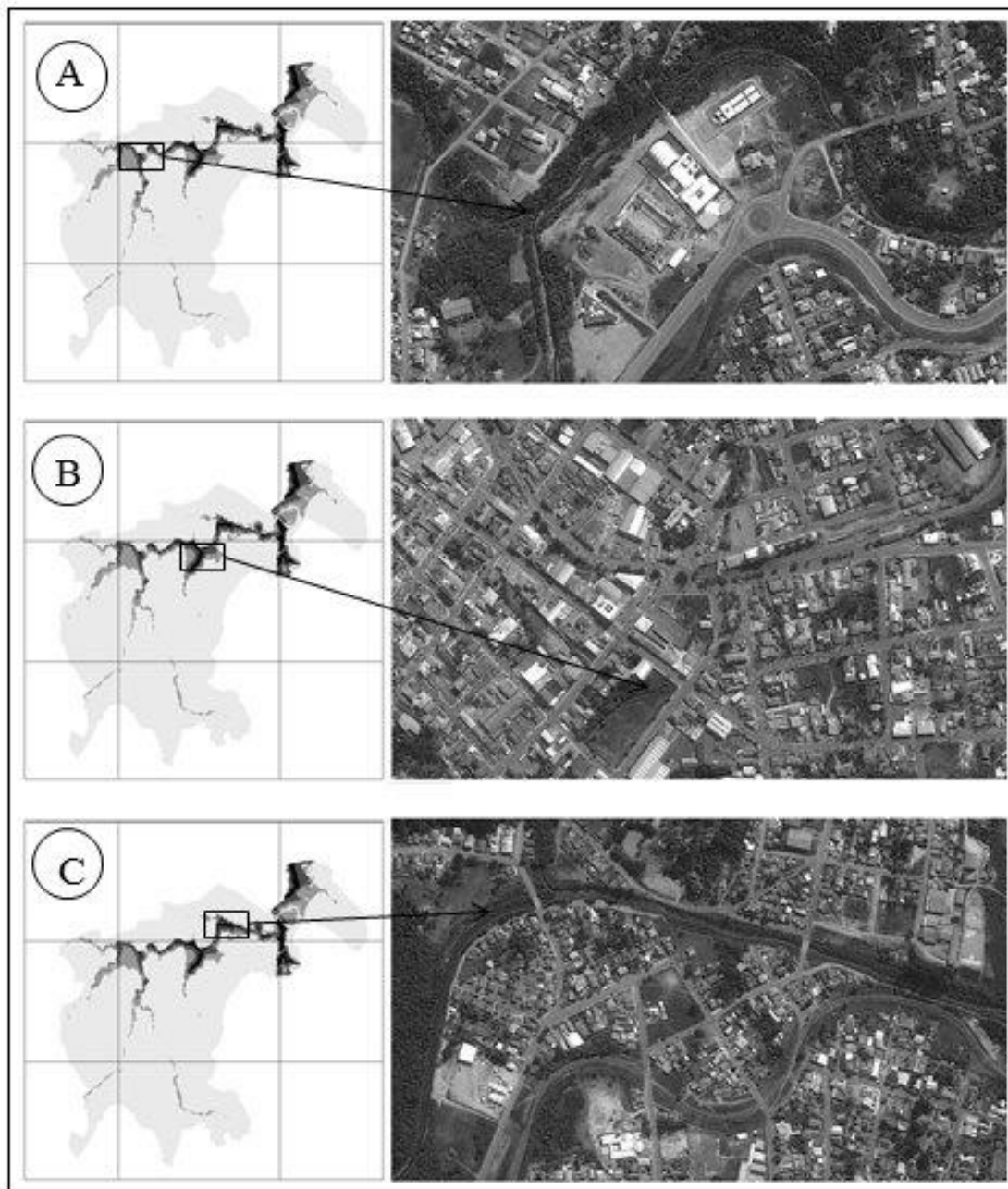


Figura 5. Áreas classificadas como “alta suscetibilidade”. Fonte: Org. dos Autores

A classe denominada “baixa suscetibilidade” indica as áreas passíveis de serem inundadas, ou seja, aquelas não habitualmente submersas e também estão localizadas abaixo da cota altimétrica de 810 m. Todos os canais utilizados no estudo apresentaram áreas contabilizadas nessa classe, incluindo regiões próximas à cabeceira do rio das Antas. As áreas que se destacam nesta classe correspondem a região adjacente do arroio Rio Bonito e áreas localizadas em ambos os lados no baixo curso do arroio dos Pereiras.



A semelhança entre as áreas apresentadas é a presença de áreas urbanas consolidadas, porém, é notável a presença de faixas de proteção (mata ciliar) que minimizam as consequências das cheias.

## **CONCLUSÕES**

A modelagem realizada em ambiente SIG, com a aplicação da lógica fuzzy aliada à técnica AHP, demonstrou ser uma eficiente metodologia na análise espacial, gerando resultados adequados para os fins pretendidos. Vale destacar que o ambiente SIG utilizado (Spring 5.4.2) mostrou-se uma ferramenta eficiente e válida, pois permitiu a manipulação de diferentes dados vetoriais, ao mesmo tempo que o LEGAL executou as simulações dos dados e gerou resultados extremamente satisfatórios.

O mapa temático, produto final deste estudo, indicou que no interior da bacia do rio das Antas existem áreas que apresentam condições propícias à formação de enchentes. No perímetro urbano 3,645 km<sup>2</sup> (13,8%) apresentam algum grau de suscetibilidade a enchentes, sendo que 1,7% da área de estudo apresenta “alta suscetibilidade”.

Esses valores parecem poucos significativos, mas corroboram com a bibliografia consultada e identificam claramente os principais pontos na área de pesquisa em que foram e são encontrados impactos negativos provenientes da concentração pluviométrica. Além disso, esses impactos são potencializados pela concentração das principais atividades urbanas de Irati.

Os aplicativos do software utilizado (Spring, versão 5.4.2) foram eficientes para a delimitação do problema da pesquisa (áreas suscetíveis a enchentes), contudo, a saída dos dados em forma de mapas e cartogramas demonstrou uma certa dificuldade de análise, principalmente pela qualidade das figuras geradas. Nesse sentido, a metodologia utilizada (lógica fuzzy), se aplicada com o uso de outro software classificado como SIG (Sistema de Informação Geográfico) talvez possa gerar produtos de melhor qualidade e que deem informações mais detalhadas para o planejador urbano, apesar de que os resultados (gráficos e numéricos) apresentados nesse estudo, foram considerados satisfatórios.

Desta forma, salienta-se que os resultados deste trabalho poderão contribuir para o planejamento urbano de Irati, na forma de uma medida não-estrutural, no que diz respeito ao zoneamento das classes qualificadoras de suscetibilidade. Por isso, sugere-se o uso de seguro em grupos, visto que diversos pontos constituem área urbana consolidada.

## REFERÊNCIAS

- ALEXAKIS, D. D.; GRILLAKIS, M. G.; KOUTROULIS, A. G.; AGAPIOU, A.; THEMISTOCLEOUS, K.; TSANIS, I. K.; MICHAELIDES, S.; PASHIARDIS, S.; DEMETRIOU, C.; ARISTEIDOU, K.; RETALIS, A.; TYMVIOS, F.; HADJIMITSIS, D. G. GIS and remote sensing techniques for the assessment of land use change impact on flood hydrology: the case study of Yialias basin in Cyprus. **Natural Hazards and Earth System Sciences**, v. 14, n. 2, p. 413-426, fev. 2014.
- ANDRADE, A., e FELCHAK, I. A Poluição Urbana e o Impacto na Qualidade da Água do Rio das Antas - Irati/PR. **Geoambiente On-Line**, (12), 01-25 pág. Disponível em [https://doi.org/10.5216/rev\\_geoambie.v0i12.25985](https://doi.org/10.5216/rev_geoambie.v0i12.25985).
- ANDRADE, S. L.; FERREIRA, V. O.; SILVA, M. M. Elaboração de um mapa de risco de inundação da bacia hidrográfica do córrego São Pedro, área urbana de Uberlândia-MG. **Caderno de Geografia**, v.24, n.41, p. 1-16, jan./jun. 2014.
- ANTONELI, V.; DO ROCIO MATTOS, E.; GUIMARAES, M. Variabilidade na Erosão de Margem e Produção de Sedimentos em um Canal Fluvial na Área Urbana de Irati-Pr. **Geoambiente On-line**, n. 25, p. 73-87, jul./dez. 2015.
- CHEN, H.; ITO, Y.; SAWAMUKAI, M.; TOKUNAGA, T. Flood hazard assessment in the Kujukuri Plain of Chiba Prefecture, Japan, based on GIS and multicriteria decision analysis. **Natural Hazards**, v. 78, n. 1, p. 105-120, ago. 2015.
- CHEN, Y. R.; YEH, C. H.; YU, B. Integrated application of the analytic hierarchy process and the geographic information system for flood risk assessment and flood plain management in Taiwan. **Natural Hazards**, v. 59, n. 3, p. 1261-1276, dez. 2011.
- FERNÁNDEZ, D. S.; LUTZ, M. A. Urban flood hazard zoning in Tucumán Province, Argentina, using GIS and multicriteria decision analysis. **Engineering Geology**, v. 111, n. 1-4, p. 90-98, jan. 2010.
- KRUK, F.; FREITAS, A. R. Análise Rítmica aplicada ao entendimento de eventos hidrológicos extremos na bacia hidrográfica do Rio das Antas, Irati-PR. In: XVII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA E I CONGRESSO NACIONAL DE GEOGRAFIA FÍSICA, 2017, Campinas. **Anais [...]**. Campinas: Unicamp, 2017. p. 1908-1918.
- HORA, S. B.; GOMES, R. L.; Mapeamento e avaliação do risco a inundação do Rio Cachoeira em trecho da área urbana no Município de Itabuna/BA. **Sociedade & Natureza**, v. 21, n. 2, p. 57-75, ago. 2009.
- KHOSRAVI, K.; NOHANI, E.; MAROUFINIA, E.; POURGHASEMI, H. R. A GIS-based flood susceptibility assessment and its mapping in Iran: a comparison between frequency ratio and weights-of-evidence bivariate statistical models with multi-criteria decision-making technique. **Natural Hazards**, v. 83, n. 2, p. 947-987, set. 2016.
- LIMA, L. M. M. **Mapeamento da suscetibilidade à inundação na bacia hidrográfica do arroio do salso, Porto Alegre-RS**. 2010. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2010.
- LISBÔA, T. F. P. **Vulnerabilidade e capacidade de resposta à ameaça de inundação na bacia hidrográfica do rio Paracuri, Belém-PA**. 2013. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Federal do Pará, Belém, 2013.

- MEIRELLES, M. S. P.; MOREIRA, F. R.; CAMARA, G. Técnicas de Inferência Espacial. In: MEIRELLES, M. S. P.; CAMARA, G.; ALMEIDA, C. M. *Geomática: modelos e aplicações ambientais*. Brasília: Informação Tecnológica, 2007. p. 107-189.
- NASCIMENTO, V. M. L. C.; LIMA, E. R. V.; SANTOS, C. A. G. SIG na avaliação de áreas para ocupação urbana de João Pessoa, PB. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 9, n. 1, p. 107-123, jan./mar. 2009.
- RADMEHR, A.; ARAGHINEJAD, S. Flood Vulnerability Analysis by Fuzzy Spatial Multi Criteria Decision Making. **Water Resour Manage**, v. 29, p. 4427-4445, jul. 2015.
- SAATY, T. How to make a decision: The analytic hierarchy process. **European Journal of Operational Research**, v. 48, n. 1, p. 9-26, 1990.
- SANTOS, M. A.; CARVALHO, S. M.; ANTONELI, V. Suscetibilidade a Enchentes a Partir da Análise de Variáveis Morfométricas na Bacia Hidrográfica Rio Bonito em Irati-Pr. Brasil. **Revista Equador (UFPI)**, v. 5, n. 5, p.152 – 167, 2016.
- STEFANIDIS, S.; STATHIS, D. Assessment of flood hazard based on natural and anthropogenic factors using analytic hierarchy process (AHP). **Natural Hazards**, v. 68, n. 2, p. 569-585, set. 2013.
- STRAHLER, A. N. Dynamic basis of Geomorphology. **Geological Society of America. Bulletin**, v.63, p.923-938, set. 1952.
- TUCCI, C. E. M. **Inundações Urbanas**. Porto Alegre: ABRH, 2007. 352 p.