



## MAPEAMENTO DE ÁREAS VULNERÁVEIS À INUNDAÇÃO COM USO DO SIG E DA ANÁLISE MULTICRITÉRIO: O CASO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO UNA EM PERNAMBUCO

DOI: 10.19177/rgsa.v9e01202020-40

Fernanda Cláudia Barboza da Silva Leal<sup>1</sup>  
 Ioná Maria Beltrão Rameh Barbosa<sup>2</sup>  
 Joás Tomaz de Aquino<sup>3</sup>



### RESUMO

O descompasso entre o gerenciamento dos recursos hídricos e o planejamento do uso do solo resulta na ocupação desordenada nas margens dos rios comprometendo a qualidade de vida da sociedade. A bacia hidrográfica do rio Una possui um histórico de inundações, evidenciando a grande importância de monitoramento de áreas de risco, as quais se têm como objetivo identificar no presente estudo. O mapa de vulnerabilidade à inundação foi desenvolvido com auxílio da metodologia proposta por Saaty (1980) aliado à álgebra de mapas realizada num sistema de informações geográficas. Na análise hierárquica de processo, as variáveis que mais influenciaram foram a declividade e a hipsometria, seguidas do uso do solo e, por último, da pedologia. Os resultados obtidos demonstraram que as áreas de maior vulnerabilidade à inundação compreenderam principalmente a faixa de menor altitude no exutório da bacia e próximas à margem do rio. Problemas relacionados com inundações podem ser minimizados adotando-se medidas estruturais e medidas não estruturais aliadas à técnicas de geoprocessamento.

**Palavras-chave:** Inundação. Vulnerabilidade. Rio Una. Geoprocessamento.

<sup>1</sup> Engenheira Civil e Mestranda em Gestão Ambiental, Instituto Federal de Pernambuco – *Campus Recife*. E-mail: [fcbs@a.recife.ifpe.edu.br](mailto:fcbs@a.recife.ifpe.edu.br)

<sup>2</sup> Dr<sup>a</sup> em Engenharia Civil e docente do Instituto Federal de Pernambuco – *Campus Recife*. E-mail: [ionarameh@recife.ifpe.edu.br](mailto:ionarameh@recife.ifpe.edu.br)

<sup>3</sup> Estudante de Engenharia Civil no Instituto Federal de Pernambuco (IFPE – *Campus Recife*). Mestre em Finanças e Bacharel em Administração pela Universidade Federal de Pernambuco (UFPE). E-mail: [joastomaz@outlook.com](mailto:joastomaz@outlook.com)

## MAPPING VULNERABLE FLOODING AREAS USING GIS AND MULTICRITERIAL ANALYSIS: THE CASE OF THE UNA RIVER HYDROGRAPHIC BASIN IN PERNAMBUCO

### ABSTRACT

The mismatch between water resources management and land use planning results in disorderly occupation on river banks compromising the quality of life of society. The Una river basin has a history of flooding, highlighting the great importance of monitoring risk areas, which we intend to identify in the present study. The flood vulnerability map was developed using the methodology proposed by Saaty (1980) combined with map algebra performed in a geographic information system. In the hierarchical process analysis, the variables that most influenced were slope and hypsometry, followed by land use and, finally, pedology. The results show that the areas most vulnerable to flooding comprised mainly the lower elevation range in the basin and near the river bank. Flood-related problems can be minimized by adopting structural and non-structural measures combined with geoprocessing techniques.

**Keywords:** Inundation. Vulnerability. Una river. Geoprocessing.

### 1 INTRODUÇÃO

A discussão sobre risco de inundação está presente em diversos estudos acadêmicos, governamentais e empresariais por afetar o homem e o meio natural, acarretando diversos tipos de problemas, desde financeiros até culturais. Os dados publicados pela *Emergency Events Database* – EM-DAT – indicam que o Brasil está entre os países mais atingidos por desastres hidrológicos (TOMINAGA, 2009).

Segundo Miranda (2016), as enchentes são fenômenos temporários que correspondem à ocorrência de vazões elevadas num curso de água, com eventual inundação dos seus terrenos marginais. Quando ocorre precipitação de alta intensidade, a quantidade de água que chega ao rio pode ser superior à sua

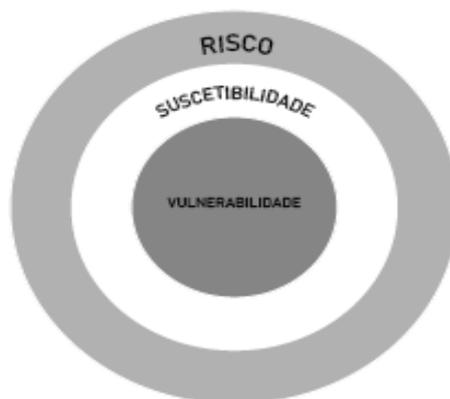
capacidade de drenagem, transbordando assim o corpo hídrico, passando a água a ocupar a área de sua calha maior.

Tucci e Bertoni (2003) mencionam que a urbanização desordenada ocasiona o aumento das vazões máximas, erosão das margens dos cursos d'água e aumento da produção de sedimentos, que juntamente com outros poluentes provenientes dos centros urbanos, são transportados para os corpos hídricos e deterioram a qualidade da água superficial e subterrânea. Os autores ainda citam que a urbanização sem planejamento tende a construir sistemas de drenagem inadequadas, que visam apenas o escoamento rápido da água precipitada, aumentando a magnitude da vazão, a frequência e o nível de inundações a jusante.

O monitoramento e gerenciamento de áreas de riscos são legitimados pela Lei 12.608, de 10 de abril de 2012, que institui a Política Nacional de Proteção e Defesa Civil (PNPDEC). O art. 4º, do parágrafo IV dessa lei, prevê como diretriz a adoção de bacia hidrográfica como unidade de análise de desastres e também estabelece que cada município identifique, mapeie as áreas de risco e realize estudos de identificação de ameaças, suscetibilidade, vulnerabilidade e riscos de desastres ambientais. Além disso, o referido instrumento jurídico prevê a criação de mecanismos de controle e fiscalização para evitar a edificação em áreas suscetíveis à ocorrência de deslizamentos de grande impacto, inundações bruscas ou processos geológicos ou hidrológicos correlatos.

Na literatura científica, o termo “risco”, no contexto dos desastres naturais, abrange as noções de incerteza, exposição ao perigo, perdas, prejuízos materiais, econômicos e humanos. Já “vulnerabilidade” corresponde ao grau de perda dentro de uma determinada área suscetível à ocorrência de algum fenômeno, seja de aspectos físicos, econômicos, sociais e ambientais, conforme apresentado na Figura 1 (TOMINAGA, 2009).

Figura 1: Representação conceitual de risco e vulnerabilidade



Fonte: Elaborado pelos autores (2020).

Contribui para o aumento dos riscos a concentração populacional na área urbana, onde, segundo dados do Censo de 2010, residem 84,35% da população brasileira. Esse nível de concentração da ocupação urbana se dá, na maioria das cidades, sem um planejamento adequado. Uma das consequências dessa desordem é o constante estado de risco a que a população está exposta, ocupando espaços inadequados à moradia como a proximidade a encostas de morros e de rios (REZENDE et al., 2017).

O aumento populacional, através de migrações quanto de urbanizações espontâneas, resulta no desaparecimento de áreas de armazenamento, e escoamento das águas da chuva pelo solo urbano. Além disso, a urbanização de forma descontrolada provoca a impermeabilização do solo, aumentando o volume de escoamento, e também a substituição da cobertura vegetal, alterando assim a biodiversidade do meio (BORGES et al., 2015).

Com a ocupação urbana na planície de inundação, o processo de extravasamento das águas do leito normal de um rio, que antes era considerado um fenômeno natural, acaba por se caracterizar como um desastre natural. Diante disso, a população, via de regra menos favorecidas, passa a sofrer consequências negativas, com prejuízos financeiros e sociais (CAMPIOLI; VIEIRA, 2019).

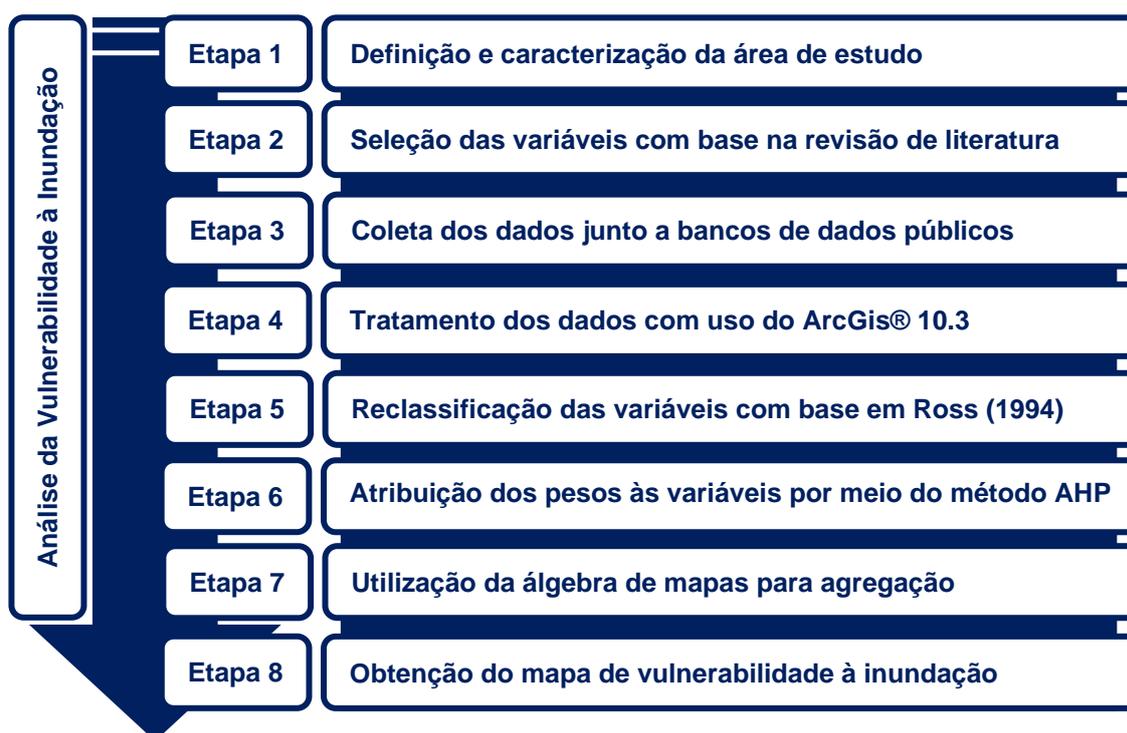
Por esse motivo, estudos em bacias hidrográficas não se restringem somente em seus aspectos físicos, mas se baseiam em aspectos relacionados às dinâmicas natural, econômica e social, considerando as alterações decorrentes das interferências humanas. Sendo assim, a análise dos desastres e riscos naturais deve levar em consideração tanto a dinâmica dos sistemas ambientais quanto dos sistemas sociais e suas influências mutuas (CAMPIOLI; VIEIRA, 2019). Partindo da importância

dos estudos sobre tal temática, este trabalho tem por objetivo analisar os riscos de inundação na bacia hidrográfica do rio Una, por meio da elaboração do Modelo de Reclassificação de Variáveis (MRV) e aplicação da técnica *Analytic Hierarchy Process* (AHP) com o auxílio de um Sistema de Informação Geográfica (SIG).

## 2 METODOLOGIA

Buscando atingir os objetivos elencados, esse trabalho foi estruturado em um conjunto de etapas, como ilustrado na Figura 2. Para um melhor entendimento, a seguir cada uma será descrita detalhadamente.

Figura 2: Etapas metodológicas utilizadas na pesquisa.



Fonte: Elaborado pelos autores (2020).

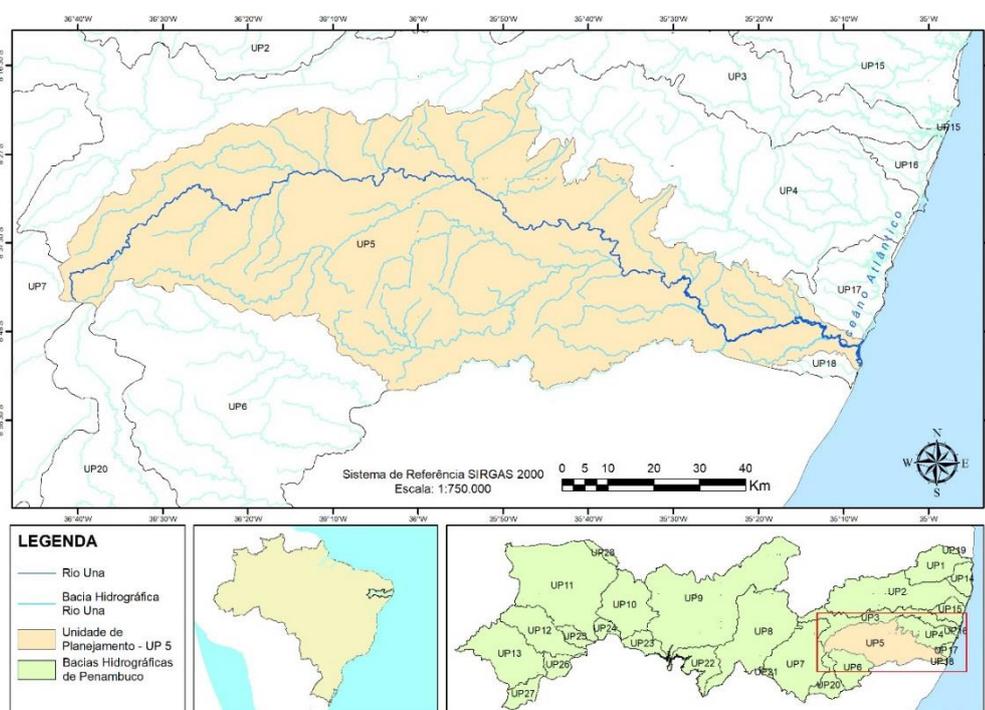
### 2.1 Etapa 1: Definição e caracterização da área de estudo

Segundo dados da Agência Pernambucana de Águas e Clima (APAC), a Unidade de Planejamento Hídrico UP5, que corresponde à bacia hidrográfica do rio Una, está localizada no sul do litoral do estado de Pernambuco, entre 08°17'14" e

08°55'28" de latitude sul, e 35°07'48" e 36°42'10" de longitude oeste, conforme mostra a Figura 3. A nascente do rio Una se localiza no município de Capoeiras, apresentando-se intermitente até aproximadamente à cidade de Altinho, quando se torna perene.

Possui uma extensão de cerca de 290 km apresentando uma área de 6.740,31 km<sup>2</sup>, dos quais 6.262,78 km<sup>2</sup> estão inseridos no estado de Pernambuco, correspondendo a 6,37% do total do estado. A referida bacia abrange 42 municípios, dos quais 11 estão totalmente inseridos na bacia, 15 possuem sede inserida na bacia, e 16 estão parcialmente inseridos.

Figura 3: Bacia hidrográfica do rio Una – PE.



Fonte: Elaborado pelos autores (2020).

Monteiro et al. (2014) procedeu a realização de uma caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do rio Una, a partir da análise de alguns parâmetros físicos, sendo estes o coeficiente de compactidade, fator de forma e índice de circularidade, no intuito de definir o nível de susceptibilidade à enchentes da bacia.

Entretanto, com os resultados obtidos o autor concluiu que a bacia hidrográfica do rio Una quando em condições normais de precipitação, ou seja, excluindo-se eventos extremos e anormais apresenta-se pouco suscetível a enchentes. Esta

afirmativa se alicerça nos dados encontrados, onde o coeficiente de compacidade apresenta valor afastado da unidade (2,12792) e o fator de forma exibe um valor baixo (0,220461).

A escolha desta bacia se deu em função principalmente dos frequentes eventos que ocorreram nesta última década provocando uma grande incidência de inundações, e por grande porcentagem da população desta bacia estar concentrada nas áreas ribeirinhas que são indícios de que existe a necessidade de estudos e de aplicações de medidas convencionais e não convencionais por parte dos setores públicos de administração e planejamento.

## **2.2 Etapa 2: Seleção das variáveis**

No tocante ao mapeamento do risco à inundação, a literatura elenca diversas variáveis impactantes a serem consideradas nesse estudo, de modo que, a probabilidade da ocorrência de inundação, enchente e de alagamento são resultados da combinação entre os condicionantes naturais e antrópicos. Sob a ótica de Magalhães et al. (2011) a definição dos tipos de solo existentes na região é importante, pois cada um deles possui diferentes capacidades de infiltração e escoamento superficial da água.

Ainda de acordo com Magalhães et al. (2011), a altitude influencia no risco a inundação devido à ação da lei da gravidade que direciona a água para as regiões mais baixas, assim como a declividade é fator crucial na determinação dos riscos de inundação de uma área, pois, influencia diretamente no acúmulo de água no terreno. Dessa forma, áreas planas apresentam maiores probabilidades de sofrer inundação do que áreas escarpadas.

Além disso, as áreas com maior impermeabilidade tendem a acumular mais água em superfície do que em solos com cobertura florestal por serem pouco compactados; assim, áreas impermeáveis contribuem também para o “aumento da velocidade e do volume de escoamento superficial das águas urbanas; aumento do número e da frequência das inundações; incremento da poluição difusa pela lavagem das superfícies urbanizadas (REZENDE et al., 2017).

Percebe-se, portanto, que o indicador de uso e ocupação do solo é dinâmico e imprescindível para demonstrar de que maneira o espaço foi ocupado pelo homem e a interferência nos mecanismos de infiltração e escoamento superficial da água no

terreno. A seleção das variáveis para o presente estudo se deu com base na revisão de literatura, conforme sintetizado no Quadro 1, sendo as variáveis mais citadas como propulsoras à inundação da bacia: a altitude, a tipologia do solo, o uso e ocupação dados a ele e a declividade do terreno.

Quadro 1: Revisão de literatura das principais variáveis impactantes na inundação de rios.

Variáveis	Autores						Total
	Magalhães et al. (2011)	Borges et al. (2015)	Miranda (2016)	Santos e Ventorini (2017)	Rezende et al. (2017)	Campioli e Vieira (2019)	
Declividade	■	■	■	■	■	■	6
Tipo do Solo		■	■		■	■	4
Uso e ocupação do solo	■	■	■	■	■	■	6
Altitude	■	■	■	■	■	■	6
Proximidade superfícies líquidas				■			1
Geologia			■			■	2

Fonte: Elaborado pelos autores (2020).

Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental

### 2.3 Etapa 3: Coleta de dados

Os dados para a realização do presente estudo foram obtidos de plataformas virtuais de órgãos governamentais, conforme indicado no Quadro 2.

Quadro 2: Fontes dos dados utilizados.

Dados	Tipo	Origem	Ano
Municípios	Vetorial (polígono)	IBGE	2010
Delimitação da BH	Vetorial (polígono)	IBGE	2010
Hidrografia	Vetorial (linha)	IBGE	2010
Declividade	Raster	INPE (TOPODATA)	2008
Altitude	Vetorial (polígono)	MMA	2005
Tipo do solo	Vetorial (polígono)	IBGE/EMBRAPA	2011
Uso e ocupação do solo	Raster	IBGE (MAPBIOMAS)	2010

Fonte: Elaborado pelos autores (2020).

### 2.4 Etapa 4: Tratamento dos dados

Para auxiliar na identificação das áreas vulneráveis à inundação, uma ferramenta bastante difundida e utilizada atualmente é o geoprocessamento. Para a

elaboração de uma base de dados que permita utilizar a análise multicritério, inicialmente é necessário que os mapas em formato vetorial (*shapefile*) sejam transformados para o formato matricial (*raster*) (MOURA, 2007).

Todos os dados foram organizados num Sistema de Informações Geográficas (SIG) através de um Banco de Dados Geográficos (BDG), e foram tratados através do software ArcGis® 10.3 for *Desktop* da empresa americana Esri (*Environmental Systems Research Institute*) e projetados para um sistema de coordenadas geográficas e *datum* SIRGAS 2000.

## 2.5 Etapa 5: Reclassificação das variáveis

A metodologia utilizada para a reclassificação das variáveis foi adaptada da proposta por Ross (1994), que definiu uma hierarquia de acordo com o grau de vulnerabilidade para cada classe de cada variável, de forma que quanto maior o valor atribuído à classe, maior o grau.

Sendo o grau 1 (muito fraca), grau 2 (fraca), grau 3 (média), grau 4 (forte) e grau 5 (muito forte). Com base nos estudos de Campioli e Vieira (2019), Magalhães et al. (2011), Borges et al. (2015), Miranda (2016), Santos e Ventorini (2017) e Rezende et al. (2017) foram realizadas as seguintes reclassificações para cada variável escolhida (Quadro 3). A atribuição do valor zero à uma classe se deu para exclusão da mesma da álgebra de mapas.

Quadro 3: Reclassificação das classes das variáveis

Grau	Variáveis			
	Uso e ocupação do solo	Hipsometria (m)	Declividade (m/m)	Pedologia
0	Não observado	-	-	-
1	Floresta	Acima 800 500-800	Escarpado (>75%) Montanhoso (45-75%)	Latossolos
2	Formação natural não florestal	400-500	Forte ondulado (20-45%)	Neossolos (Regossolos e Litólicos)
3	Uso agropecuário	200-400	Ondulado (8-20%)	-
4	Infraestrutura Urbana	100-200	Suave ondulado (3-8%)	Argissolos (Podzólicos)
5	Corpos d'água	0 a100	Plano (0-3%)	Planossolos

Fonte: Elaborado pelos autores (2020).

## 2.6 Etapa 6: Atribuição de pesos às variáveis por meio do método AHP

Para obtenção dos pesos das variáveis, o método AHP foi aplicado junto a um especialista em recursos hídricos, com formação técnica e experiência na área. Tal método foi criado por Thomas Saaty, em 1978, na Universidade da Pensilvânia. O AHP auxilia o especialista na tomada de decisão e tem o objetivo de determinar a contribuição de cada variável dentro do foco de estudo (MOURA, 2007). O método da AHP é aplicado por meio de comparação de dois a dois dentro de cada um dos critérios apresentados no Quadro 4.

Quadro 4: Escala utilizada no método AHP.

Escala	Definição
1	Importância igual: os dois fatores contribuem igualmente para o objetivo.
3	Importância moderada: um fator é ligeiramente mais importante que o outro.
5	Importância essencial: um fator é claramente mais importante que o outro.
7	Importância demonstrada: um fator é fortemente favorecido e sua maior relevância foi demonstrada na prática.
9	Importância extrema: a evidência que diferencia os fatores é da maior ordem possível.
2, 4, 6 e 8	Valores intermediários entre julgamentos: possibilidade de compromissos adicionais.

Fonte: Adaptado de Saaty (1980).

Deste modo, foi solicitado ao especialista realizar comparação pareada respondendo à seguinte pergunta: “qual o grau de importância da variável A sobre a variável B? E em qual proporção (usando a escala do Quadro 4)?”. Assim, foi possível a obtenção dos pesos para as quatro variáveis utilizadas nesse trabalho (Tabela 1).

Tabela 1: Matriz de decisão para obtenção dos pesos das variáveis.

Variáveis	Solo	Uso do solo	Altitude	Declividade
<b>Solo</b>	1	1/3	1/5	1/7
<b>Uso do solo</b>	3	1	1/3	1/5
<b>Altitude</b>	5	3	1	1/3
<b>Declividade</b>	7	5	3	1

Fonte: Elaborado pelos autores (2020).

Na matriz de comparação, as posições da diagonal serão sempre 1, tendo em vista que um elemento é igualmente importante com relação a si próprio. Para preencher os demais elementos da matriz, fazem-se os julgamentos e determina-se a intensidade de importância de acordo com a escala adaptada de Saaty (1980) para o método AHP. Para as comparações inversas, isto é, na parte inferior esquerda da matriz, colocam-se os valores recíprocos da parte superior direita da mesma.

Dando continuidade, Saaty (1980) propôs vários métodos para normalização dos dados da matriz, dentre eles, neste estudo realizou-se primeiramente a soma dos

elementos de cada coluna das matrizes de julgamento. Posteriormente, dividiu-se cada elemento da matriz pelo somatório dos valores da respectiva coluna. E depois calculou-se a média para cada linha ( $\mu_n$ ), ou seja, para cada critério.

Após calcular o peso de cada critério por meio do autovetor, foi possível verificar a consistência do método aplicado através do somatório do produto de cada elemento deste vetor pelo total da respectiva coluna da matriz comparativa original, conforme o método de Eigen (SAATY, 1980).

Por fim, o método AHP utiliza-se da análise de consistência lógica que verifica a consistência ou validade da coerência nas comparações elaboradas pelo especialista. A inconsistência pode surgir quando algumas comparações se contradizem umas com as outras, desta forma, o método AHP se propõe a calcular a taxa ou razão de consistência (RC) dos julgamentos, que é representada pela Equação 1.

$$RC = \frac{IC}{IR} \quad (1)$$

Onde IR = índice de consistência randômico, obtido para uma matriz recíproca de ordem  $n$ , com elementos não negativos, este fator é gerado randomicamente e está apresentado na Tabela 2.

Tabela 2 - Índices de consistência randômico (RI)

$n$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
IR	0	0	0,58	0,90	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49	1,51

Fonte: Saaty (1980).

O índice de consistência (IC) é dado pela Equação 2.

$$IC = \frac{\lambda_{m\acute{a}x} - n}{n - 1} \quad (2)$$

Onde:  $\lambda_{m\acute{a}x}$  = maior valor de autovetor da matriz de julgamentos.

$n$  = número de ordem da matriz.

Segundo Saaty (1980), caso o IC seja menor ou igual a 10% os julgamentos obtidos são consistentes, caso contrário não são. Nesse último caso, pode-se refazer

os julgamentos junto ao especialista ou utilizar algoritmos para criação de matrizes filhas, semelhante a original, que apresentam grau de consistência menor ou igual a 10%. Assim foi possível a obtenção dos pesos para as quatro variáveis utilizadas nesse trabalho.

## 2.7 Etapa 7: Álgebra de mapas

Dentro de um ambiente SIG uma das formas de se realizar uma análise multicritério é através da álgebra de mapas. Esse processo consiste em uma operação matemática de média ponderada, na qual se consideram os valores de influência de cada variável e os pesos atribuídos a cada uma de suas classes (MOURA, 2007). A elaboração do mapa de interesse se deu por meio da associação das camadas de informações, representando as variáveis, realizada por um SIG, conforme exposto na Equação 3.

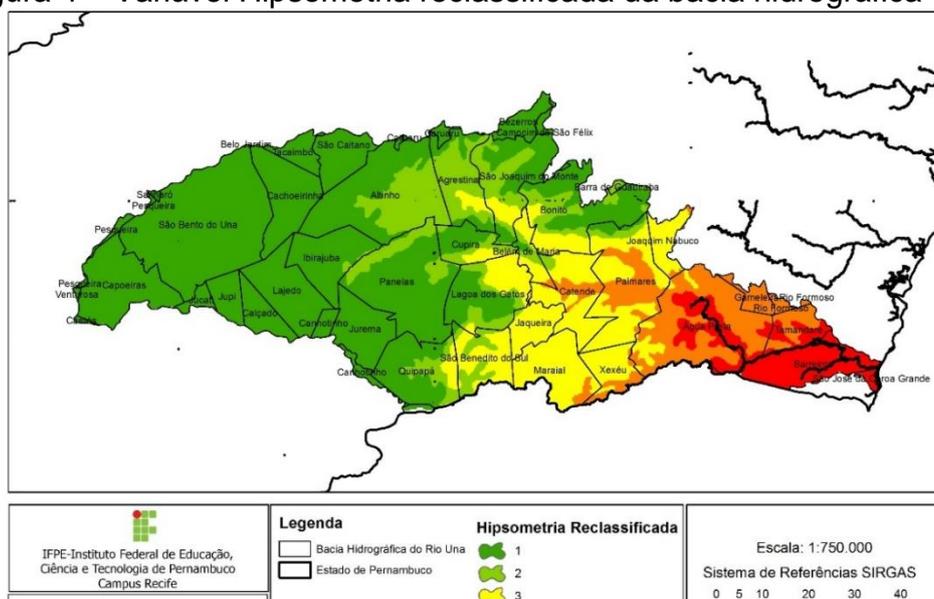
$$M = Pa * A + Ps * S + Pd * D + Pu * U \quad (3)$$

Onde:  $M$  = Mapa final;  $A$  = Altitude;  $S$  = Solos;  $D$  = Declividade;  $U$  = Uso e ocupação;  $Pi$  = Peso da respectiva variável.

## 3 RESULTADOS

Como resultados da metodologia adotada, as reclassificações das variáveis foram realizadas com base em Rezende et al. (2017) que utilizou em seu estudo notas maiores para áreas com menores valores de altitude, o que influencia o risco de inundação pelo acúmulo de água decorrente.

Figura 4 – Variável Hipsometria reclassificada da bacia hidrográfica do rio Una.



Fonte: Elaborado pelos autores (2020).

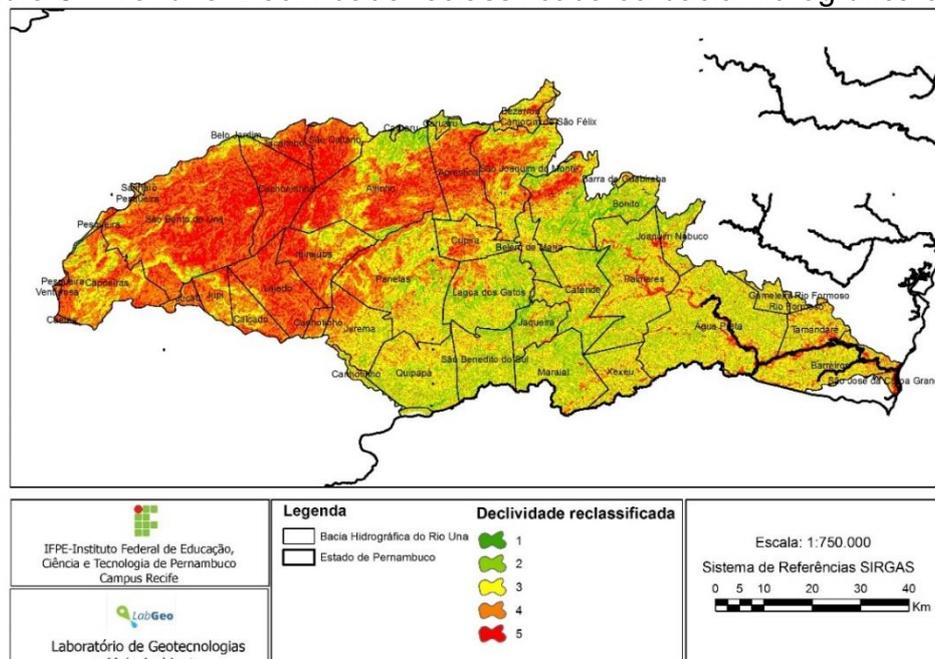
Já as menores notas referem-se às áreas com maior altitude e, por tais características, menos sujeitas à inundação. Assim, se analisada a variável hipsometria separadamente, a bacia apresentou tendência   inundação na sua porção sudeste, conforme mostra a Figura 4.

Na linha de raciocínio de Miranda (2016), a declividade está relacionada com a velocidade do escoamento superficial e o tempo de concentração da bacia, com isso aumenta-se a vulnerabilidade de cheias, erosões do solo e conseqüentemente o carreamento de sedimentos. Dessa forma, se analisada a variável declividade separadamente, a bacia apresentou tendência   inundação na sua porção noroeste, conforme mostra a Figura 5.

Para as notas das classes de uso e conservação das terras foram adotadas valores máximos para as áreas impermeáveis ou que se apresentam periodicamente alagadas e notas mínimas para as áreas permeáveis segundo a  tica de Miranda (2016), conforme mostra a Figura 6.

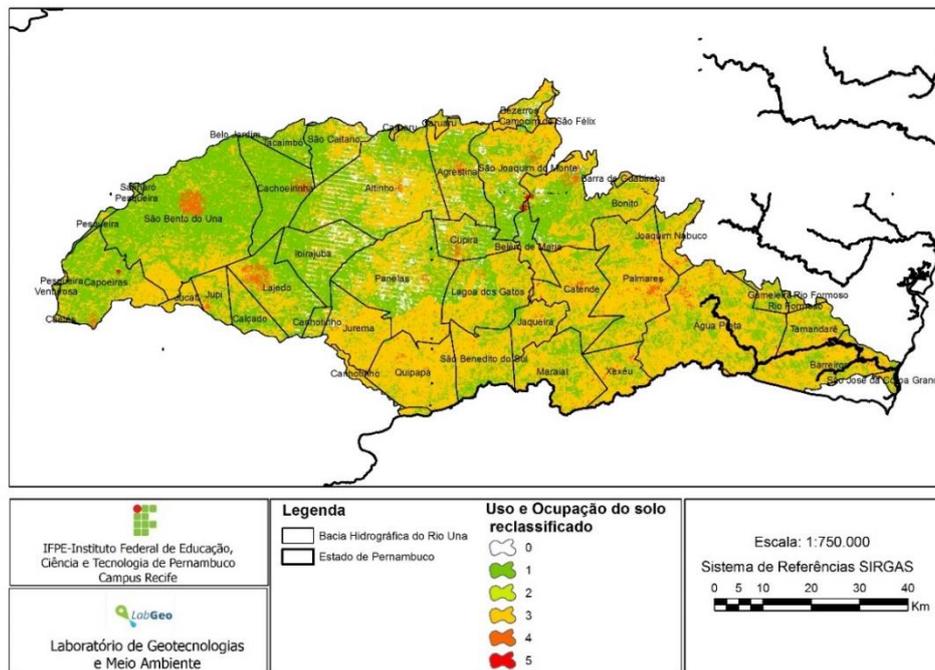
As enchentes são potencialmente ampliadas pela urbanização, especialmente devido à impermeabilização dos solos. Deste modo a identificação das formas de ocupação do solo da bacia e sua mensuração   tarefa importante. A perda de cobertura vegetal para uso agrícola e urbano tem produzido como conseq ncia o aumento da frequência de inundações devido à falta de interceptação da precipitação (CAMPIOLI; VIEIRA, 2019).

Figura 5 – Variável Declividade reclassificada da bacia hidrográfica do rio Una.



Fonte: Elaborado pelos autores (2020).

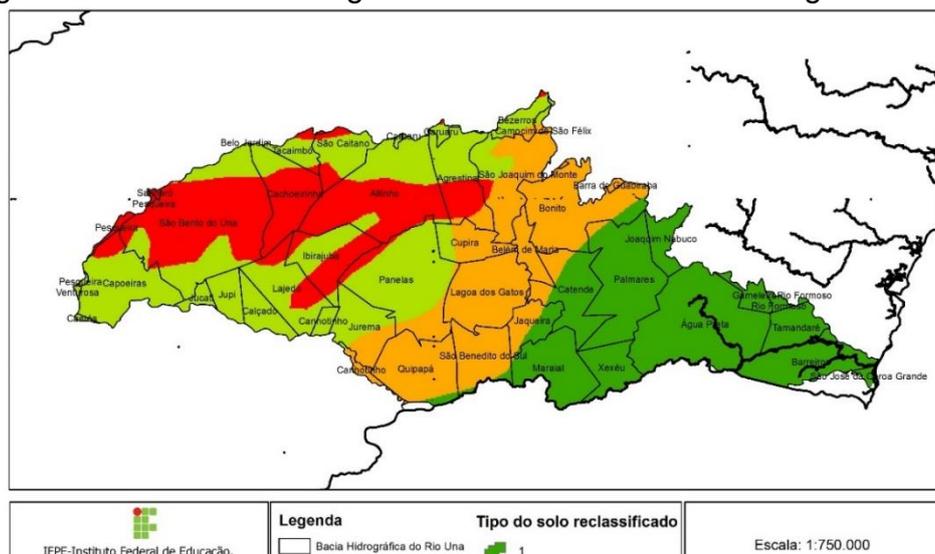
Figura 6 – Variável Uso e ocupação do solo reclassificada da bacia hidrográfica do rio Una.



Fonte: Elaborado pelos autores (2020).

De modo semelhante, para a variável pedológica, foram atribuídas notas menores para os solos bem drenados, e notas maiores para os solos mal drenados e argilosos por apresentarem baixa permeabilidade, conforme exposto na Figura 7.

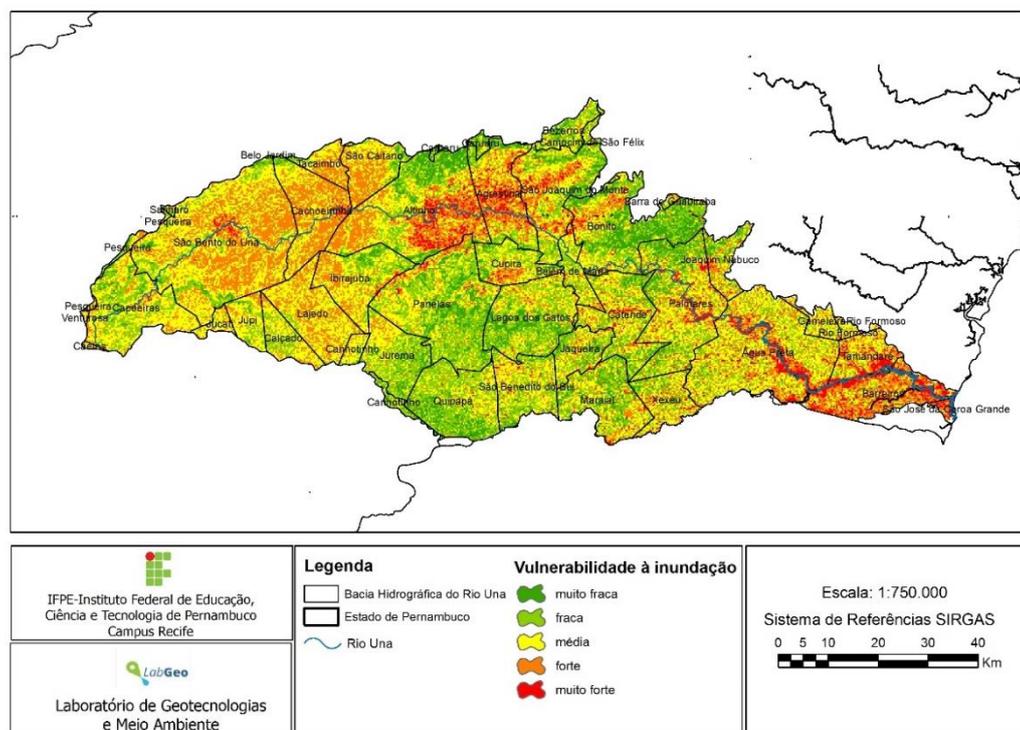
Figura 7 – Variável Pedologia reclassificada da bacia hidrográfica do rio Una.



Fonte: Elaborado pelos autores (2020).

Após a obtenção da matriz de decisão, com o auxílio do *software* Microsoft Excel®, obteve-se os seguintes pesos para as variáveis: 0,557 (Declividade), 0,264 (Altitude), 0,122 (Uso do solo), 0,057 (Solo). Ademais obteve-se uma Razão de Consistência de 6,5436%, como o valor é menor do que 10%, logo, segundo Saaty (1980), a matriz é consistente e os pesos obtidos são válidos. Por meio da técnica da análise multicritério, foi realizada a álgebra dos mapas hipsométrico, declividade, pedológico e de uso da terra, resultando em um modelo-síntese das áreas com potencial para ocorrência de enchentes e inundações, conforme exposto na Figura 8.

Figura 8: Mapa de vulnerabilidade à inundação na bacia hidrográfica do rio Una-PE.

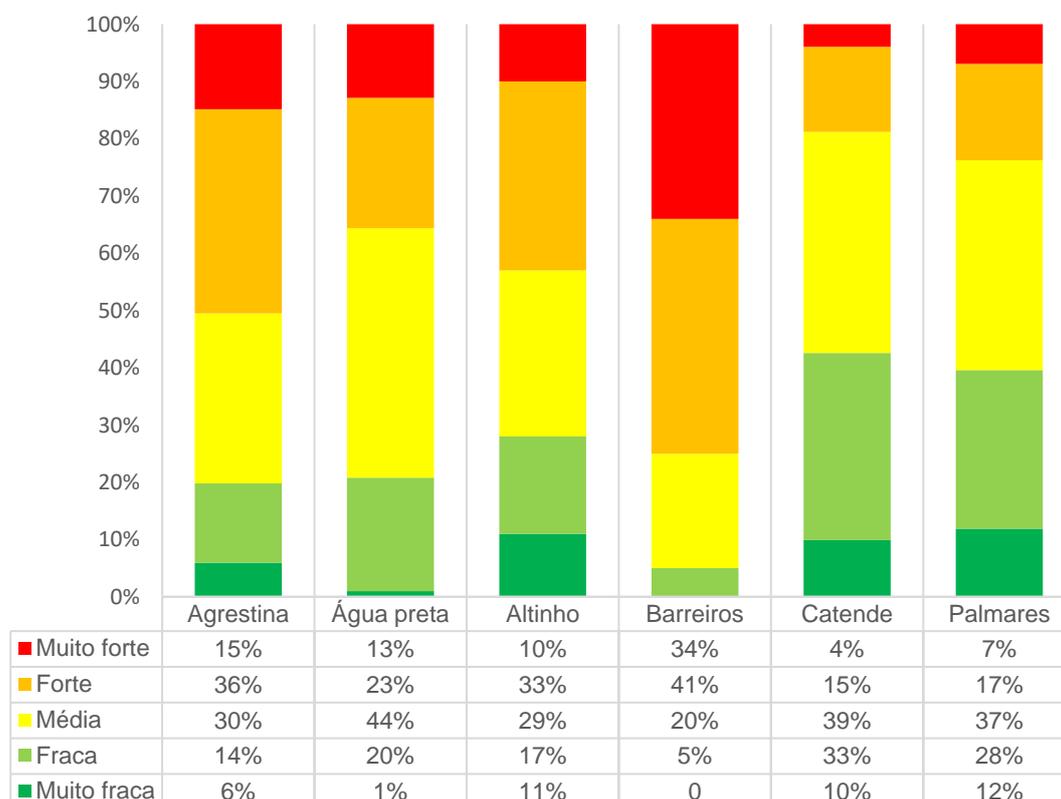


Fonte: Elaborado pelos autores (2020).

É notório que as áreas consideradas como de risco muito alto estão concentradas principalmente nas regiões mais baixas da bacia, claramente o local do exutório. Os valores são explicados justamente por esses níveis de informação apresentarem a maior importância de acordo com a matriz de comparação pareada, enquanto que as zonas de baixo grau de risco localizam-se na porção mais elevada da bacia. Analisando a área da bacia como um todo, obteve-se os seguintes indicadores: Muito forte (5%), Forte (23%), Média (38%), Fraca (25%) e Muito fraca (8%), pode-se observar que as categorias de vulnerabilidade média, seguida da vulnerabilidade fraca, mostraram-se dominantes, representando, respectivamente, 38% e 25% da área total mapeada, mostrando que no geral a bacia não teria forte tendência à ser inundada.

A área com vulnerabilidade muito forte foi pouco expressiva, contemplando apenas 5% da área total, mas por serem áreas específicas existentes em alguns municípios já evidenciavam a necessidade de atenção especial. Analisando a Figura 9, decorrente da contagem de *pixels*, Barreiros foi o município que se apresentou como na situação mais desfavorável somando mais de 70% de sua área na categoria de vulnerabilidade forte e muito forte à inundação.

Figura 9 - Percentuais de área por grau de vulnerabilidade em municípios da bacia hidrográfica do rio Una.

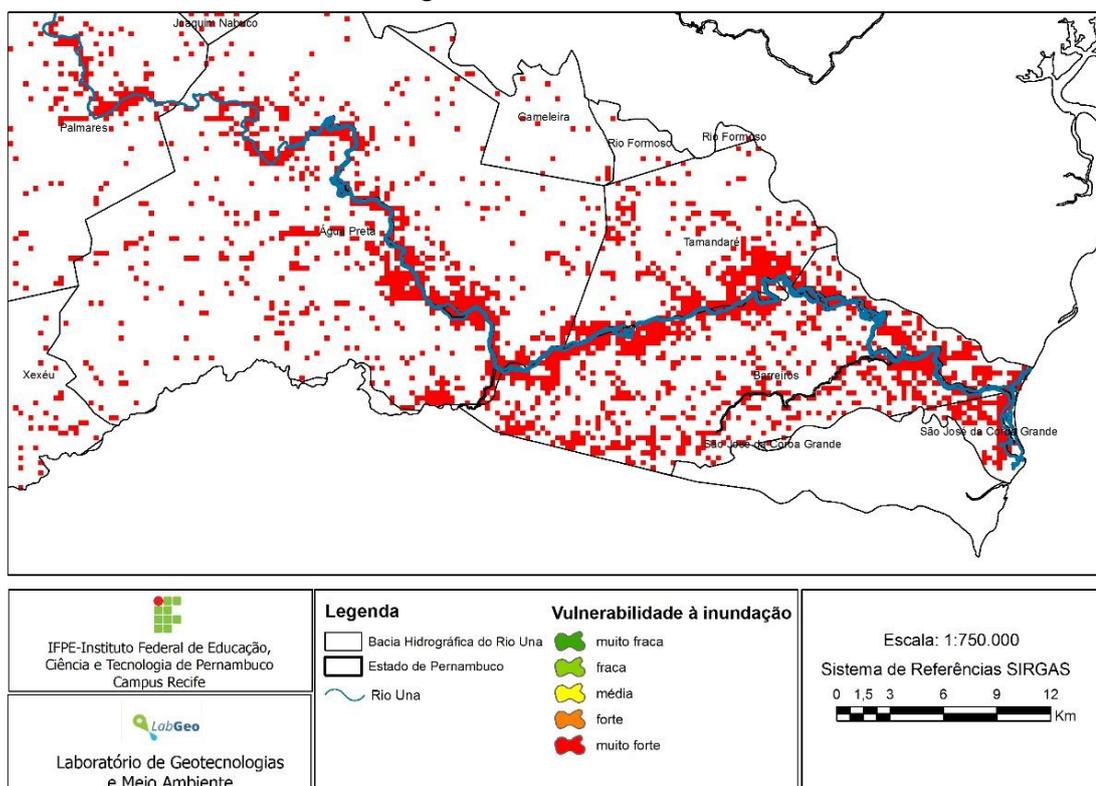


Fonte: Elaborado pelos autores (2020).

Aliado a isso, a concentração de tais áreas com forte vulnerabilidade à inundação coincidiram exatamente com municípios afetados pelas inundações bruscas em Pernambuco, em junho de 2010, relatados no Relatório de Avaliação de Perdas e Danos do Banco Mundial (2012), evidenciando a eficácia do método AHP, utilizado para a atribuição de pesos das classes contribuintes para a vulnerabilidade à inundação do presente estudo, garantindo assim a veracidade dos julgamentos.

Além da questão anterior, a consideração da proximidade dos cursos d'água também foi fator relevante conforme abordado por Santos e Ventorini (2017). No trecho sudeste da bacia, houve uma concentração de pontos com vulnerabilidade muito forte no decorrer das margens do rio Una, conforme apresentado na Figura 10.

Figura 10 - Mapa de vulnerabilidade muito forte à inundação na bacia hidrográfica do rio Una-PE.



Fonte: Elaborado pelos autores (2020).

Em Minas Gerais, Rezende et al. (2017) procedeu, de forma análoga, o mapeamento da vulnerabilidade à inundação no perímetro urbano da cidade de

Paracatu, levando em consideração as mesmas variáveis e pesos desse estudo, chegando à detecção de números expressivos: 36% da área de estudo encontrava-se na classe alto risco de inundação, seguida pelas classes médio risco (26%) e muito alto risco (25%). Em Joinville-Santa Catarina, Campioli e Vieira (2019) em seu estudo de caso relacionado ao mapeamento de suscetibilidade a inundação na bacia hidrográfica do rio Cubatão do norte também utilizando o método AHP e indicou que as regiões de menor vulnerabilidade representavam cerca de 94% da bacia e são identificadas por zonas compostas por áreas protegidas ambientalmente e de grande restrição de uso e as áreas de maior exposição estão inseridas nas áreas de menor altitude, nas proximidades da foz da bacia hidrográfica, resultados estes similares ao do presente estudo.

Tucci (2001) orienta que as medidas estruturais não são projetadas para dar uma proteção completa, as medidas não estruturais, em conjunto com as anteriores ou sem essas podem minimizar significativamente os prejuízos com um menor custo. Tucci (2001) ainda alerta que para regulamentar o uso da terra ou zoneamento de áreas inundáveis é necessário estabelecer o risco de inundação das diferentes cotas das áreas ribeirinhas, exatamente onde se enquadra a contribuição do presente estudo.

Vale salientar que nas áreas de forte vulnerabilidade não é permitida a habitação e devem ser utilizadas com altíssimas limitações, enquanto que nas áreas de vulnerabilidade muito forte recomenda-se a recuperação e conservação imediatas tendo como principal objetivo a contenção do processo de inundação, uso adequado do solo e a preservação ambiental das áreas em questão. Já as áreas de vulnerabilidade fraca e média terão que ser tomados os devidos cuidados quanto ao seu uso para que esse grau de vulnerabilidade não aumente.

#### **4. CONSIDERAÇÕES FINAIS**

Dentre as técnicas disponíveis para avaliação da inundação, o referido trabalho apresentou uma metodologia que se utilizou de um SIG. O uso dos recursos do SIG destacou-se como uma ferramenta eficaz para o desenvolvimento da pesquisa, visto

que, através dele foi possível obter mapas, assim como manipular, sobrepor variáveis, analisar e apresentar um mapa de vulnerabilidade como produto final.

A análise multicritério permitiu a investigação combinada de variáveis, e associada com o método de álgebra de mapas, permitiu caracterizar, agrupar e classificar áreas que apresentaram potencial de inundação semelhante, e dessa forma, possibilitar análises comparativas diversas, proporcionando uma visualização menos complexa da realidade.

O uso do AHP, por sua vez, proporcionou uma análise mais robusta, ao elencar pesos atribuídos às variáveis com base no conhecimento do especialista. Assim, a sua incorporação na análise proporcionou uma maior efetividade na ponderação das variáveis na álgebra de mapas, havendo um melhor ajustamento da importância das variáveis na localidade em questão.

Com bases nas respostas obtidas neste estudo, entende-se que o mapa de vulnerabilidade poderá servir de instrumento para eleger áreas prioritárias de investimentos, bem como direcionar ações e programas de governo de planejamento e gestão ambiental, assim como a implementação de políticas públicas no combate aos fatores naturais e antrópicos que ocasionam a inundação nas bacias hidrográficas.

Em estudos futuros, espera-se que outras variáveis sejam incorporadas na análise. Sob o ponto de vista da modelagem, dada a complexidade do problema em questão e da interveniência das variáveis e, sobretudo, no contexto dos desastres naturais o risco envolver incertezas, um modelo multicritério *fuzzy* espacial pode ser construído, visando incorporar a incerteza inerente aos processos ambientais e antrópicos, integrando as técnicas de geoprocessamento com os métodos multicritério, a partir de dados *fuzzyficados*.

## REFERÊNCIAS

AGÊNCIA PERNAMBUCANA DE ÁGUAS E CLIMA – APAC (Pernambuco). Recife: APAC, 2019. **Bacia do Rio Una**. Disponível em:

[http://www.apac.pe.gov.br/pagina.php?page\\_id=5&subpage\\_id=23](http://www.apac.pe.gov.br/pagina.php?page_id=5&subpage_id=23). Acesso em 22 abr. 2019.

BANCO MUNDIAL. **Avaliação de perdas e danos: inundações bruscas em Pernambuco** - Junho de 2010. Brasília, 2012.

BRASIL. Lei nº 12608, de 10 de abril de 2012. **Política Nacional de Proteção e Defesa Civil - Pnpdec**. Brasília, DF: Presidência da República, [2012]. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_Ato2011-2014/2012/Lei/L12608.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2011-2014/2012/Lei/L12608.htm). Acesso em: 2 jun. 2019.

BORGES, M. P; CRUVINEL, A. S; FLORES, W. M. F; BARBOSA, G. R. Utilização de técnicas de geoprocessamento para a elaboração de cotas de inundações: estudo de caso do parque ecológico do rio Paranaíba. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 17., 2015, João Pessoa. **Anais ... João Pessoa: SBSR, 2015. p. 5897- 5903.**

CAMPIOLI, P. F.; VIEIRA, C. V. Avaliação do Risco a Inundação na Bacia Hidrográfica do Rio Cubatão do Norte, Joinville/SC. **Revista Brasileira de Geografia Física**, Recife, v. 12, n. 01, 2019, p. 124-138.

MAGALHÃES, I. A. L; THIAGO, C. R. L; AGRIZZI, D. V; SANTOS, A. R. Uso de geotecnologias para mapeamento de áreas de risco de inundação em Guaçuí, ES: uma análise comparativa entre dois métodos. **Cadernos de Geociência**, v. 8, n. 2, 2011, p. 63-70.

MIRANDA, N. M. G. **Análise espacial da suscetibilidade à inundação da bacia hidrográfica do ribeirão do lipa-Cuiabá-MT**. 2016. 62 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental) – Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

MONTEIRO, K. A.; BARROS, A. C. M.; MELO, R. F. T.; RAMOS, D. A. M. C.; NÓBREGA, R. S.; GIRÃO, O. Parâmetros morfométricos aplicados à bacia do rio una (Pernambuco-Brasil) para identificar susceptibilidade a enchentes. **Revista Geográfica de América Central**, v. 1, n. 52, 2014, p. 163-177.

MOURA, A. C. M. Reflexões metodológicas como subsídio para estudos ambientais baseados em Análise de Multicritérios. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 13., 2007, Florianópolis, **Anais...**, São José dos Campos: INPE, 2007. p. 2899-2906.

SANTOS, T. G.; VENTORINI, S. E. Mapeamento digital das áreas propícias às enchentes e inundações na bacia do Córrego do Lenheiro em São João del-Rei–MG. **PerCursos**, v. 18, n. 36, 2017, p. 95-124.

SAATY, T. L. **The analytic hierarchy process**. New York: McGraw-Hill, 1980.

REZENDE, P. S.; MARQUES, D. V.; OLIVEIRA, L. A. Construção de modelo no Qgis e utilização do método de processo analítico hierárquico–AHP para mapeamento de

riscos à inundação na área urbana de Paracatu–MG. **Caminhos de Geografia**, v. 18, n. 61, 2017, p. 01-18.

ROSS, J. L. S. Análise empírica da fragilidade dos ambientes naturais e antropizados. **Revista do Departamento de Geografia**, v. 8, n.1, 1994, p. 63-74.

TOMINAGA, L. K. **Desastres naturais**: por que ocorrem? In. TOMINAGA, Lídia Keiko; SANTORO, Jair; AMARAL, Rosangela (Orgs.). **Desastres Naturais: conhecer para prevenir**. São Paulo: Instituto Geológico, 2009. Disponível em: <http://www.igeologico.sp.gov.br/downloads>. Acesso em: 25 mar. 2019.

TUCCI, C, E, M. **Hidrologia – Ciência e Aplicação**. Editora da UFRGS/ Coleção ABRH, v. 4, 2001. 943 p.

TUCCI, C, E, M; BERTONI, J, C (orgs). **Inundações Urbanas na América do Sul**. Porto Alegre: Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 2003. Disponível em: <http://www.cepal.org/samtac/noticias/documentosdetrabajo/5/23335/InBr02803.pdf>. Acesso em: 25 mar. 2019.

