

Nilzo Ivo Ladwig

E-mail: ladwignilzo11@gmail.com

Orcid: <https://orcid.org/0000-0003-3031-0192>

Juliana Debiasi Menegasso

E-mail: julianaorleans@gmail.com

Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-2442-6028>

Danrlei De Conto

E-mail: danrleideconto@hotmail.com

Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-1256-4263>

Thaise Sutil

E-mail: thaise.sutil@gmail.com

Orcid: <https://orcid.org/0000-0001-5766-4260>

RESUMO:

Para mitigar danos decorrentes de inundações, tem-se adotado estratégias, sendo o mapeamento de áreas de risco uma delas. O artigo objetivou realizar um mapeamento do risco de inundação na bacia hidrográfica do Rio Belo, município de Orleans, estado de Santa Catarina, por meio de condicionantes naturais e sociais. Utilizou-se o modelo *Height Above the Nearest Drainage* (HAND) para determinar as áreas inundáveis. A sobreposição do HAND com o inventário das inundações da bacia, entre os anos de 2003 e 2018, resultou no mapa de perigo. O índice de vulnerabilidade foi construído utilizando os dados do Censo 2010, acrescidos dos condicionantes geográficos da bacia. Para obter o índice de vulnerabilidade, utilizou-se o método *Analytic Hierarchy Process* (AHP). Multiplicando o perigo com a vulnerabilidade, obteve-se o risco de inundação da bacia hidrográfica. O alto risco de inundação predomina nas áreas de maior urbanização, onde o perigo e a vulnerabilidade são maiores. Os riscos médio e baixo estão concentradas em áreas de transição entre o espaço urbano e o rural. O mapeamento identificou áreas prioritárias para a tomada de medidas mitigadoras, de prevenção e proteção dos impactos negativos decorrentes do evento de inundação.

Palavras-chave: Perigo; Vulnerabilidade; Geoprocessamento; Cartografia.

ABSTRACT:

Strategies have been adopted to mitigate damage resulting from floods, one of which is the mapping of risk areas. The article aimed to carry out a mapping of the risk of flooding in the Rio Belo watershed, in the municipality of Orleans, state of Santa Catarina, through natural and social conditions. The Height Above the Nearest Drainage (HAND) model was used to determine floodable areas. The overlapping of HAND with the inventory of floods in the basin, between the years 2003 and 2018, resulted in the hazard map. The vulnerability index was constructed using data from the 2010 Census, plus the geographic constraints of the basin. To obtain the vulnerability index, the Analytic Hierarchy Process (AHP) method was used. Multiplying the hazard with the vulnerability, the risk of flooding the watershed was obtained. The high risk of flooding predominates in areas of greater urbanization, where danger and vulnerability are greater. Medium and low risks are concentrated in transition areas between urban and rural areas. The mapping identified priority areas for taking mitigation measures, preventing and protecting the negative impacts arising from the flood event.



Keywords: Danger; Vulnerability; Geoprocessing; Cartography.

RESUMEN:

Se han adoptado estrategias para mitigar los daños por inundaciones, una de las cuales es el mapeo de áreas de riesgo. El artículo tuvo como objetivo realizar un mapeo del riesgo de inundación en la cuenca del río Belo, en el municipio de Orleans, estado de Santa Catarina, a través de condiciones naturales y sociales. El modelo de *Height Above the Nearest Drainage* (HAND) se utilizó para determinar las áreas inundables. La superposición de HAND con el inventario de inundaciones en la cuenca, entre los años 2003 y 2018, ha resultado en el mapa de peligrosidad. El índice de vulnerabilidad se construyó utilizando datos del Censo de 2010, más las limitaciones geográficas de la cuenca. Para la obtención del índice de vulnerabilidad se utilizó el método Analytic Hierarchy Process (AHP). Multiplicando la amenaza por la vulnerabilidad se obtuvo el riesgo de inundación de la cuenca. El alto riesgo de inundación predomina en las zonas de mayor urbanización, donde la peligrosidad y la vulnerabilidad son mayores. Los riesgos medios y bajos se concentran en áreas de transición entre áreas urbanas y rurales. El mapeo identificó áreas prioritarias para tomar medidas de mitigación, prevención y protección de los impactos negativos derivados del evento de inundación.

Palabras clave: Peligro; Vulnerabilidad; Geoprocetamiento; Cartografía.

1 INTRODUÇÃO

Desde a antiguidade os fenômenos naturais pertencentes ao grupo de desastres hidrológicos afetam a vida de muitas pessoas. De acordo com os dados do Atlas Brasileiro de Desastres Naturais - 1991 a 2021, as enxurradas, as inundações e alagamentos corresponderam a 36,5% dos desastres, sendo responsáveis por mais de 81,8% das mortes relacionadas aos desastres naturais no país. No estado de Santa Catarina este grupo de desastres hidrológicos sobe para 39,3% correspondendo a 78,4% das mortes por desastres (BRASIL, 2022).

A inundação é caracterizada pelo extravasamento das águas do canal de drenagem para as áreas marginais (BRASIL, 2007), nas chamadas planície de inundação (KOBAYAMA *et al.*, 2006). Para Amaral e Ribeiro (2012), as inundações devem ser analisadas pela combinação de condicionantes naturais e antrópicas. As autoras consideram o relevo, a rede de drenagem, as chuvas, as características do solo, a presenç a ou ausência da cobertura vegetal, como condicionantes naturais ao processo de inundação.

Entre os condicionantes antrópicos destacam-se o uso e ocupação irregular das planícies e margens de rios, a disposição irregular de rejeitos, as alterações nas características da bacia hidrográfica, a retificação e canalização de cursos d'água, impermeabilização do solo, o intenso processo de erosão e de assoreamento (BORGES, 2013).

Nesse sentido, a ocupação antrópica das planícies e do fundo dos vales, áreas naturalmente inundáveis, pela urbanização, intensificam as consequências desses fenômenos para a população. A urbanização altera os espaços naturais, impermeabiliza o solo, impedindo a infiltração aumentando a velocidade de escoamento superficial, somando-se a isso as retificações, as canalizações, o assoreamento e a disposição inadequada de resíduos sólidos, que alteram a dinâmica da vazão dos cursos d' gua (AMARAL; RIBEIRO, 2012).



A consequência decorrente do processo de urbanização dos espaços naturais é a população ficar exposta de forma constante ao risco de inundação (MENDONÇA; LEITÃO, 2008; REZENDE; MARQUES; OLIVEIRA, 2017). Assim, o risco de inundação tornou-se mais perigoso à medida que mais pessoas passaram a ocupar as margens dos rios, modificando a planície de inundação (MENEZES; ROBAINA; TRENTIN, 2021).

O tema risco, especificamente os hidrológicos, vem se destacando no meio acadêmico desde o início do século XX, sendo discutido na literatura nacional e internacional, por autores como Egler (1996), Aneas de Castro (2000), Rebelo (2003), Castro (2005), Veyret (2007) e Tominaga (2009).

O risco pode ser definido como a percepção de um perigo possível por um grupo social ou por um indivíduo que tenha sido exposto a ele (VEYRET, 2007), com a possibilidade de trazer consequências negativas (TOMINAGA, 2012). Marcelino (2008) define risco como a possibilidade de um perigo transformar-se num desastre. Para o autor, a identificação do risco pode ser obtida pela fórmula $R \text{ (risco)} = P \text{ (perigo)} \times V \text{ (vulnerabilidade)}$.

A análise do risco se torna mais eficiente por meio dos mapas, pois são instrumentos de comunicação visual, com múltiplas possibilidades de informação, proporcionando ao leitor visualizar a organização do espaço de forma ampla e integrada (MARCHEZINI *et al.*, 2017; DOMINGOS CURY *et al.*, 2021).

Domingos Cury *et al.*, (2021), reforçando a importância do mapeamento de suscetibilidade à inundação em bacia hidrográfica, afirmam que afirmam que o mapeamento com o uso de geotecnologias possibilitou definir as áreas mais propensas a este fenômeno, indicando áreas prioritárias para a realização de políticas públicas e ações para a prevenção e mitigação dos efeitos das inundações.

Nesse sentido, o uso de geotecnologias contribui para identificar quais áreas estão mais expostas ao risco, neste caso de inundação. Por meio de técnicas de geoprocessamento é possível mapear quais áreas podem ou não serem ocupadas pela população, que precisam ser preservadas e, daquelas já ocupadas, quais estão ou não suscetíveis a riscos (REZENDE; MARQUES; OLIVEIRA, 2017; CURY *et al.*, 2021).

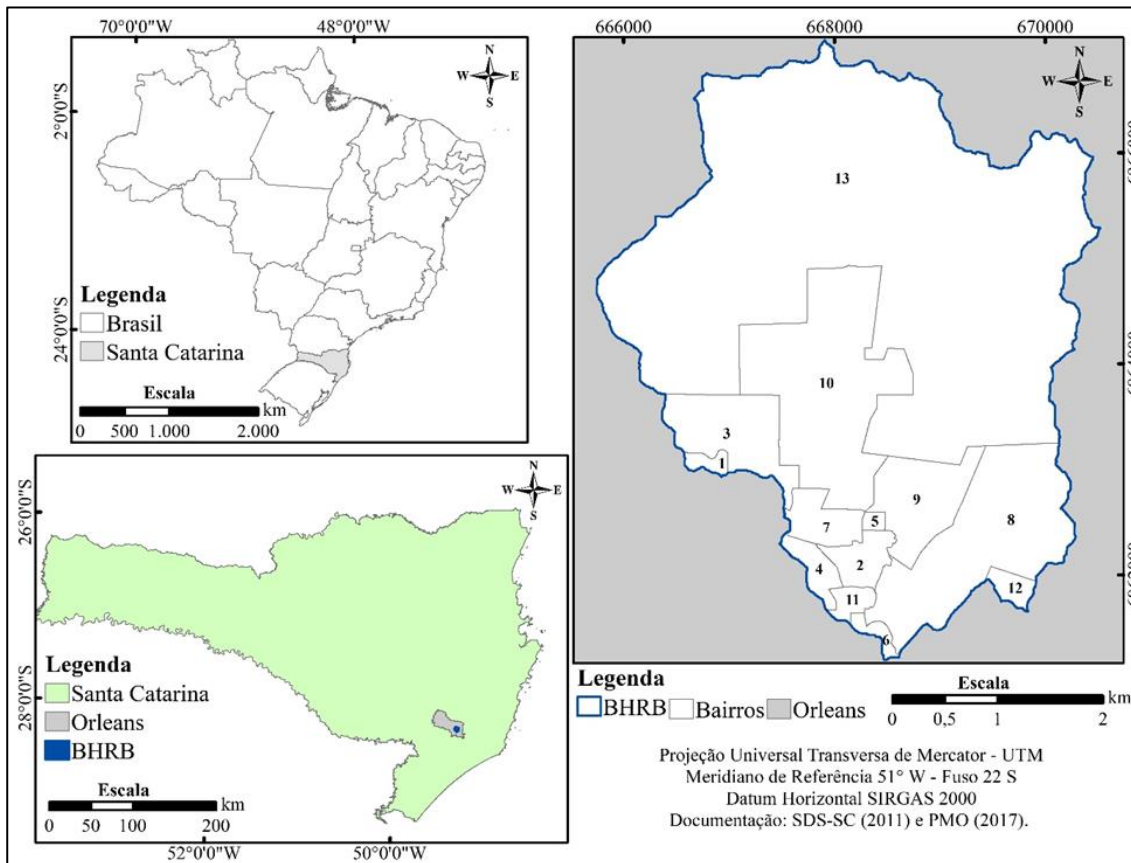
Os mapeamentos e análises realizados a partir das geotecnologias apresentam resultados adequados à realidade e às necessidades locais para a tomada de decisão por parte do poder público. Assim, o trabalho objetiva realizar um mapeamento do risco de inundação na bacia hidrográfica do Rio Belo, localizada no município de Orleans (SC), por meio de condicionantes naturais e sociais.



2 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A bacia hidrográfica do Rio Belo (BHRB) está localizada no município de Orleans, no sul do estado de Santa Catarina. A BHRB é tributária do Rio Tubarão, que por sua vez, pertence à região hidrográfica do Atlântico Sul (Figura 1).

Figura 1 - Localização geográfica da Bacia Hidrográfica do Rio Belo



Fonte: autores, 2020

Legenda: Aires Rodrigues (1), Alto Paraná (2), Barro Vermelho (3), Centro (4), Cohab (5), Conde d' Eu (6), Lomba (7), Murialdo (8), Bussolo (9), Rio Belo (10), Santista (11), Km 92 (12), Rio Belo (13)

A bacia em estudo possui uma área de 17,36 km², sendo composta por 12 bairros localizados na área urbana, ocupando 3,15% do território municipal. A parte rural da bacia compreende a comunidade de Rio Belo, com 10,23 km².

A parte urbanizada da BHRB ocupa 33,72% da área urbana de Orleans que é de 21,05 km². O estudo de Menegasso (2019) mostrou que entre os anos de 1957 e 2017, a mancha urbana da bacia cresceu 182,87%, ocupando 6,01km², mostrando um significativo aumento urbano. De acordo com o IBGE (2010), 48% (10 mil habitantes) da população do município reside no território da bacia.

3 MATERIAL E MÉTODOS

Para a concretização deste trabalho foi necessário buscar-se dados e informações geográficas, em órgãos oficiais na esfera municipal, estadual e federal que pudessem representar a caracterização



física, social e econômica da área de estudo. A organização dos dados e das informações geográficas foi realizado no software ArcGIS 10.3.1.

Para obter o perigo de inundação da BHRB adotaram-se dois procedimentos. O primeiro compreendeu a elaboração de um inventário com os registros de fenômenos hidrológicos¹ ocorridos na bacia. O inventário foi construído com dados disponibilizados pela Defesa Civil estadual e municipal, reportagens de jornais e publicações em redes sociais, entre os anos de 2003 e 2018. Atribuíram-se pesos diferenciados para cada tipo de registro, conforme a metodologia proposta por Olímpio (2013) e Menegasso (2019) (Tabela 1).

Tabela 1 -Tipos de registros e pesos dos fenômenos hidrológicos em Orleans

Registros de fenômenos hidrológicos	Pesos
Defesa Civil municipal e estadual com decreto de situação de emergência	4
Defesa Civil municipal e estadual sem o decreto de situação de emergência	2
Publicação em jornais locais, redes sociais e identificados pela autora	1

Fonte: autores, 2020.

Após a pesquisa dos registros de inundação, eles foram planilhados no software Excel e o inventário foi calculado por meio da equação 1.

$$I = 4 * DCE + 2 * DC + 1 * (JL + RS + AP) \quad (1)$$

Em que:

I: inventário dos registros de inundação;

DCE: registros da Defesa Civil municipal e estadual com decreto de situação de emergência;

DC: registros da Defesa Civil municipal e estadual sem o decreto de situação de emergência;

JL: os registros de fenômenos hidrológicos publicados em jornais locais;

RS: as publicações de redes sociais e;

AP: os registros identificados pela autora.

Os dados obtidos por meio do inventário foram espacializados no software ArcGIS 10.3.1 de acordo com os 13 bairros que compõem a BHRB. Para uniformizar os dados, os mesmos foram escalonados de 0 a 1, sendo 0 (zero) o valor mínimo de cada variável e 1 o valor máximo, com a equação 2.

$$\text{Vescalonado} = \frac{\text{Vobservado} - \text{Vmínimo}}{\text{Vmáximo} - \text{Vmínimo}} \quad (2)$$

¹ Nesta pesquisa optou-se por utilizar qualquer tipo de registro correspondente aos fenômenos hidrológicos ocorridos na área de estudo. De acordo com o estudo Menegasso (2019), ainda é visível a falta de conhecimento, ou até mesmo a dificuldade de identificação de fenômenos em campo, quando se trata de classificar ocorrências de inundações, enxurradas ou alagamentos no preenchimento de documentos oficiais.



Na consistência dos dados utilizou-se a metodologia proposta por Eicher e Brewer (2001) que é uma extensão do método binário. Porém, neste caso, não foi redistribuída a população e sim os dados gerados por meio do inventário entre as classes de uso e cobertura da terra, levando em consideração as áreas: 30% para urbanização, 20% para massa de água, 15% para agricultura, 15% para pastagem, 15% para solo exposto, 2,5% para reflorestamento e 2,5% para vegetação secundária. Por fim o inventário espacializado com base no uso e cobertura da terra foi agrupado em três classes: baixo, médio e alto registro de inundação.

Na definição das classes de todos os mapas optou-se em utilizar um método de classificação padrão fornecido no ArcGIS. Neste caso foi utilizado o método conhecido como “Natural Breaks” (Jenks). Com esse método, as classes são baseadas em agrupamentos naturais inerentes aos dados. As quebras de classe são criadas de uma maneira que agrupa melhor os valores semelhantes e maximiza as diferenças entre as classes².

O segundo procedimento consistiu na geração do modelo HAND (*Height Above the Nearest Drainage*), que normaliza o MDT, considerando a diferença entre a altitude do terreno e a altitude do canal de drenagem mais próximo. Para a elaboração do modelo do HAND da BHRB, foi utilizada a extensão TerraHidro do software TerraView 4.2.2. Por fim, a sobreposição do mapa de inventário com o mapa do modelo HAND, resultou no mapa de perigo de inundação da BHRB, agrupado em três classes: baixo, médio e alto.

A vulnerabilidade consiste num parâmetro indispensável para mapear o risco de inundação, pois a “intensidade da vulnerabilidade, aumentará conseqüentemente o risco” (MARCELINO, 2008, p. 24). Nesta pesquisa, a vulnerabilidade foi subdividida em duas categorias: uma geográfica, considerando a altimetria, a declividade, a pedologia e a cobertura e o uso da terra, e uma outra, a humana, envolvendo aspectos de ordem social, como população, idade, educação e renda.

A altimetria foi elaborada a partir do MDT e a ponderação foi estabelecida levando em consideração as contribuições de Magalhães *et al.* (2011) e Prochmann (2014) (Tabela 2), ao afirmarem que as regiões com menor elevação, favorecem o acúmulo de água e, conseqüentemente, elevando a tendência de inundação.

Tabela 2 - Classificação e ponderação das classes da altimetria

Classes de altitude (metros)	Valores
84 – 100	10
100 – 120	10
120 – 140	8
140 – 160	7
160 – 180	6
180 – 200	5

² <https://www.spatialanalysisonline.com/HTML/index.html>



200 – 220	4
220 – 240	3
240 – 260	2
260 – 280	1
280 – 300	1
300 – 320	1
320 – 340	1
340 – 360	1
360 – 380	1
380 – 400	1
400 – 420	1
420 – 440	1
440 – 450,5	1

Fonte: autores, 2020.

A declividade foi organizada a partir do arquivo matricial MDT e a ponderação das classes seguiu as recomendações de Magalhães *et al.* (2011) (Tabela 3), em que nas áreas mais planas o escoamento é de baixa velocidade e que, portanto, o acúmulo de água no solo é maior aumentando a probabilidade de ocorrência de inundações.

Tabela 3 - Classificação e ponderação das classes de declividade

Em porcentagem	Declividade média (graus)	Característica do relevo	Valores
0 – 3 %	0,85°	Plano	10
3 – 8 %	3,15°	Suavemente ondulado	8
8 – 20 %	7,95°	Ondulado	5
20 – 45 %	17,8°	Fortemente ondulado	4
45 – 75 %	31°	Montanhoso	3
> 75 %	> 37°	Fortemente montanhoso	1

Fonte: autores, 2020.

Em relação à pedologia, na BHRB são encontrados dois tipos de solos: cambissolos e argissolos vermelhos-amarelos. Os argissolos vermelho-amarelo apresentam um horizonte A mais arenoso e o B mais argiloso, sendo que essa condição favorece o escoamento superficial e diminui a permeabilidade do solo. Áreas com presença de solos argilosos são mais afetadas pelas inundações (CAPRARIO *et al.*, 2019). Os cambissolos são solos poucos desenvolvidos e normalmente de baixa permeabilidade (GUERRA; BOTELHO, 2001; SANTOS *et al.*, 2018).

A ponderação dos tipos de solo foi realizada considerando a capacidade de infiltração (Tabela 4). Quanto maior for a capacidade de infiltração, maior será a quantidade de água absorvida pela superfície, reduzindo a ocorrência de alagamentos e inundações (BARBOSA JÚNIOR, 2014).

**Tabela 4** - Classificação e valoração dos tipos de solo

Tipos de solo	Valores
Cambissolos	5
Argissolos vermelho-amarelo	10

Fonte: autores, 2020.

A ponderação da cobertura e uso da terra baseou-se na metodologia proposta por Caprario *et al.* (2019). Desta forma, foi atribuído maior valor à classe de uso e cobertura da terra representada por corpos d'água, por estas áreas serem naturalmente inundadas. Os valores das classes foram ponderados, conforme a impermeabilização do solo e a densidade da vegetação, conforme a Tabela 5.

Tabela 5 – Classificação e valoração das classes do fator cobertura e uso da terra

Classes de cobertura e uso da terra	Valores
Agricultura	6
Massa de água	10
Pastagem	5
Reflorestamento	2
Solo exposto	7
Urbanização	8
Vegetação secundária	1

Fonte: autores, 2020.

Para mapear a vulnerabilidade geográfica, adotou-se e a proposta de Caprario (2017), consultando uma equipe multidisciplinar, composta por três pesquisadores com experiência em estudo de inundação, sendo eles: um geógrafo, um engenheiro agrimensor e um biólogo. Cada profissional construiu a sua matriz de comparação, utilizando o método AHP (*Analytic Hierarchy Process*), elencando o grau de importância do fator da linha em relação ao fator da coluna, utilizando para tal a escala fundamental proposta por Saaty (2008). Como as matrizes obtiveram grau de consistência aceitável, inferior a 0,1, optou-se por utilizar a média dos pesos das três matrizes (Tabela 6).

**Tabela 6** - Peso dos condicionantes

Condicionantes	Pesos
Altimetria	0,3798
Declividade	0,4651
Pedologia	0,0640
Cobertura e uso da terra	0,0912

Fonte: autores, 2020.

Após a definição de todos os condicionantes e seus respectivos pesos, foi elaborado o mapa de vulnerabilidade geográfica da bacia, conforme equação 3:

$$VGH = 0,3798 * A + 0,4651 * D + 0,0640 * P + 0,0912 * U \quad (3)$$

Em que:

VGH: vulnerabilidade geográfica;

A: Mapa de altimetria;

D: Mapa de declividade;

P: Pedologia;

U: Mapa de cobertura e uso da terra.

Para calcular e mapear a vulnerabilidade humana, foi utilizada a metodologia de Goerl *et al.* (2012), em que foram selecionadas variáveis do Censo de 2010, agrupadas em características relacionadas à demografia (D), idade (I), educação (E) e à renda (R) (Quadro 1). Nesta pesquisa optou-se por utilizar as variáveis distribuídas por setor censitário, presentes de forma integral ou parcial na bacia.

Quadro 1 - Variáveis censitárias e variáveis utilizadas para mensurar a vulnerabilidade

Variáveis Censitárias	Variáveis de Vulnerabilidade
Número de moradores no setor	Número de moradores no setor (D)
Média de moradores por domicílio	Média de moradores por domicílio (D)
Densidade Demográfica	Densidade Demográfica (D)
Total da população acima de 65 anos	Soma do total da população acima de 65 e abaixo de 12 anos (I)
Total da população abaixo de 12 anos	Total de pessoas analfabetas acima de 12 anos (E)
Total de pessoas analfabetas acima de 12 anos	
Total de Responsáveis sem rendimento	Soma do total dos responsáveis sem rendimento e com rendimento de até 1 salário-mínimo (R)
Total de responsável com rendimento até 1 salário-mínimo	

Fonte: Goerl *et al.* (2012, p. 91).



Por meio das variáveis de vulnerabilidade, foi possível calcular o Índice de Vulnerabilidade (IV) da BHRB, utilizando a equação 4.

$$IV = (Dd + Nm + TD + E + R)/IDHM \quad (4)$$

Em que:

IV: é o Índice de Vulnerabilidade;

Dd: é a densidade demográfica;

Nm: é o número de moradores no setor;

Mm: é média de moradores por residência;

TD: é a taxa de dependência (idosos e jovens);

E: é a educação (analfabetos acima de 12 anos);

R: é a renda (responsável sem rendimento ou com até 1 salário mínimo);

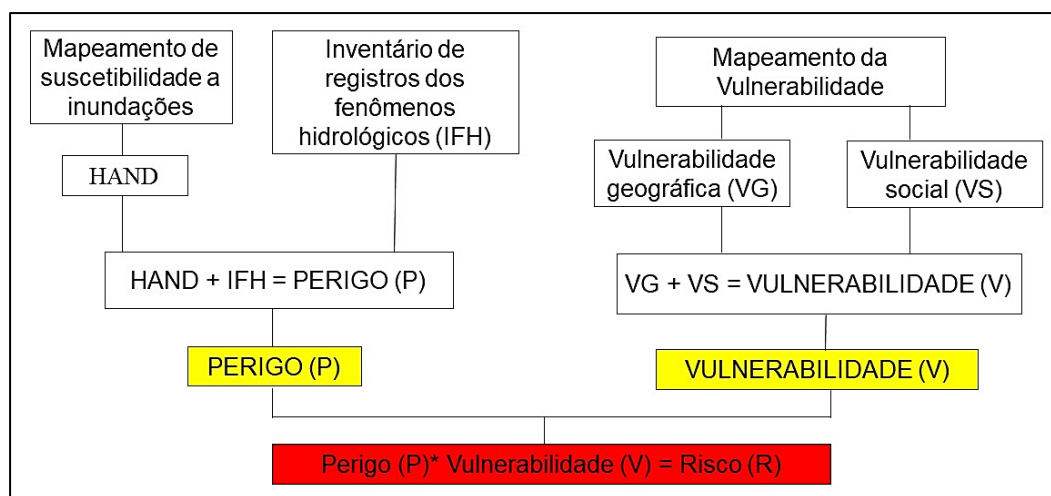
IDHM: é o Índice de Desenvolvimento Humano do Município.

Para uniformizar as unidades, as variáveis foram escalonadas. Assim como na espacialização do inventário de inundações, para melhor consistência dos dados, utilizou-se a metodologia proposta por Eicher e Brewer (2001). Distribuiu-se o Índice de Vulnerabilidade Social levando em consideração as áreas de uso e cobertura da terra: 47,5% para urbanização, 15% para agricultura, 15% para pastagem, 15% para solo exposto, 2,5% para massa de água, 2,5% para reflorestamento e 2,5% para vegetação secundária.

Desta forma o Índice de Vulnerabilidade Social foi agrupado em três classes: alta, média e baixa. A sobreposição do mapa de vulnerabilidade geográfica com o mapa de vulnerabilidade social, resultou no mapa de vulnerabilidade da BHRB, subdividido em três classes: baixa, média e alta.

No fluxograma a seguir, as etapas que envolvem o mapeamento do risco de inundação, foram sintetizadas (Figura 2).

Figura 2 - Fluxograma descritivo das etapas do mapeamento de risco



Fonte: autores, 2020.

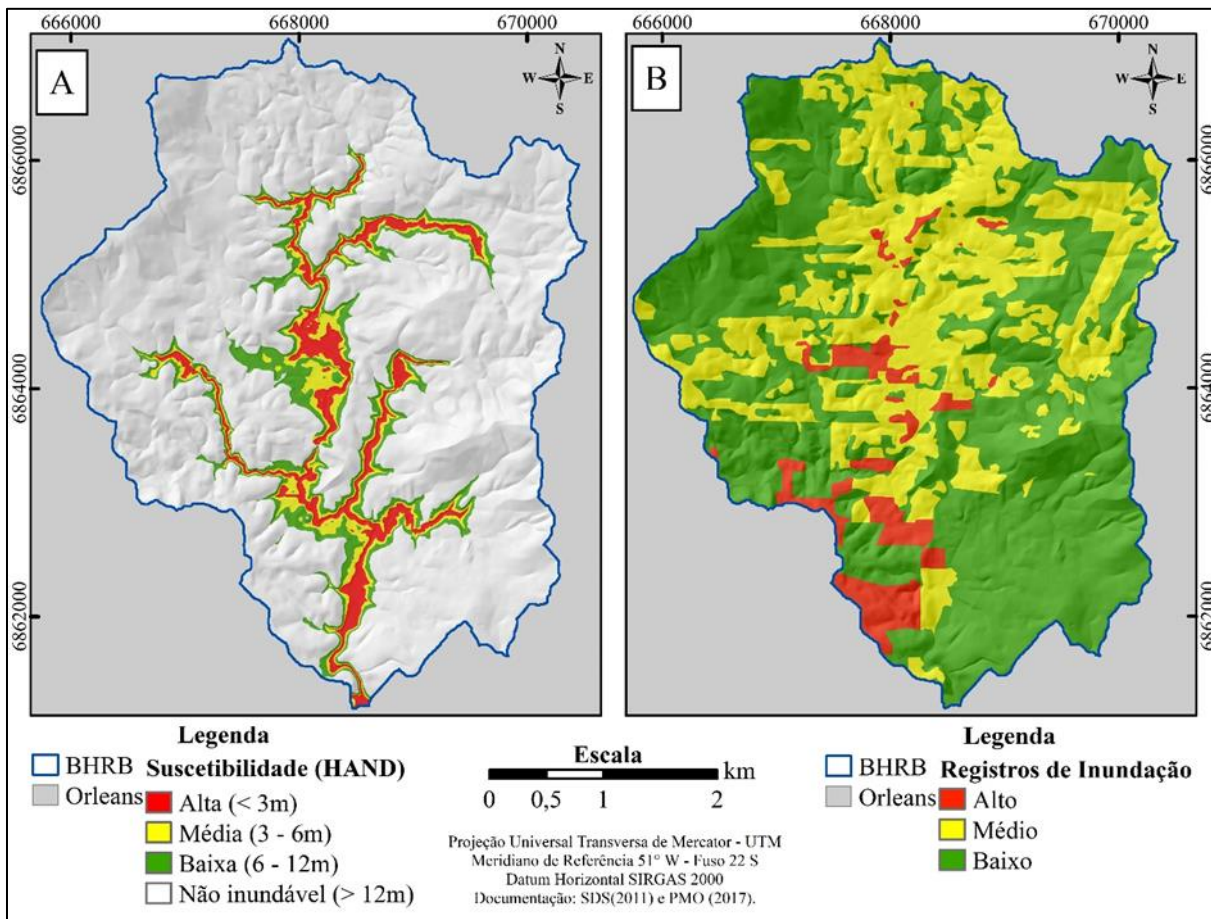


Por fim, para a elaboração do mapa de risco de inundação da BHRB, os mapas de perigo e de vulnerabilidade foram multiplicados. O risco de inundação da bacia foi dividido em três classes: baixo, médio e alto.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A aplicação do modelo HAND identificou as áreas suscetíveis à inundação, concentradas na parte central da BHRB, em desníveis menores que três metros em relação aos cursos d'água (Figura 3A). Em áreas com relevo mais íngreme e elevado, a probabilidade de ocorrência de inundação é menor (SANTOS; CARVALHO; ANTONELI, 2016), devido à ação da gravidade que direciona o escoamento superficial para as partes mais baixas da bacia.

Figura 3 - Mapa de vulnerabilidade da Bacia Hidrográfica do Rio Belo



Fonte: autores, 2020.

As áreas com altos registros de inundação ficaram mais restritas à proximidade com os cursos de água, como no caso do bairro Rio Belo (rural). Nos bairros Rio Belo (urbano), Centro, Cohab e Barro Vermelho (Figura 3B), a urbanização, associada com alto grau de impermeabilização do solo,



favorece o escoamento superficial, atingindo o curso d'água mais rápido e concentrado, contribuindo diretamente com a ocorrência de inundações.

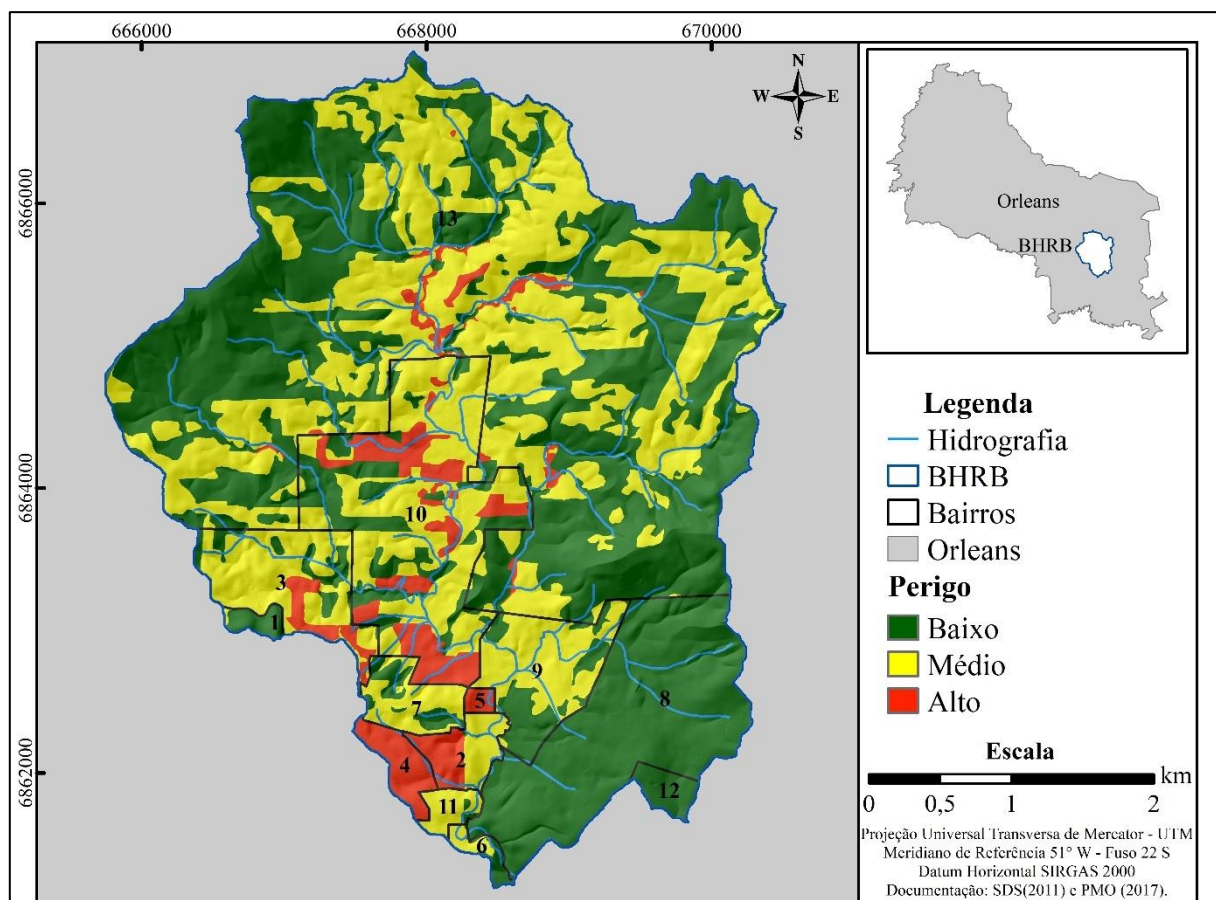
A ocorrência de inundações faz parte da própria dinâmica natural da Terra, que ao se deslocarem sobre uma área de ocupação humana, podem apresentar uma situação potencial de perigo (MARCELINO, 2008). Na BHRB, 6,42% do território (Tabela 7), compreendendo os bairros Centro, Alto Paraná, Cohab e Rio Belo estão localizados em áreas de alto perigo de inundação (Figura 4). Partes significativas destes bairros são planas e, portanto, extremamente propensas a inundações (TUCCI, 2005; RAHMAN *et al.*, 2021). Por serem planas, também são propícias para os assentamentos humanos, principalmente quando a frequência da inundação é baixa (TUCCI, 2005).

Tabela 7 - Distribuição das classes de perigo na BHRB

Classes de perigo	Área (km ²)	Porcentagem da bacia (%)
Alto	1,1149	6,42
Médio	7,2454	41,73
Baixo	8,9956	51,81

Fonte: autores, 2020.

Figura 4 - Mapa do perigo da Bacia Hidrográfica do Rio Belo



Fonte: autores, 2020.



O processo de urbanização ocorrido nos bairros, pode ter contribuído na alteração do sistema natural percorrido pela água da chuva. A construção de edificações, pavimentações, canalização e retificação de rios reduzem a infiltração, favorecendo o escoamento das águas, atingindo de forma mais rápida e concentrada o exutório, aumentando as inundações (BOTELHO, 2011).

O médio (41,73%) e o baixo (51,81%) perigo de inundação estão localizados em áreas de maior declividade, que apresentam alternância entre ambientes pouco urbanizados e rurais. Nos espaços rurais, a presença de vegetação secundária e áreas de reflorestamento são condicionantes que facilitam a infiltração da água e diminuem o escoamento superficial (REIS *et al.*, 2012).

A vulnerabilidade pode ser o resultado da associação de fatores naturais (TOMINAGA, 2012) com as características da população (DIAS *et al.*, 2018). Na BHRB a alta vulnerabilidade está concentrada na área urbana da bacia, totalizando 8,56% (Tabela 8), nos bairros Aires Rodrigues, Alto Paraná, Barro Vermelho, Centro, Cohab, Conde d'Eu, Lomba, Rio Belo e Santista (Figura 5). Nestes bairros há um maior número de moradores, alta densidade demográfica, além de uma expressiva população dependente³, com maior presença de analfabetismo e baixa renda.

Tabela 8 - Distribuição das classes de vulnerabilidade na BHRB

Classes de vulnerabilidade	Área (km ²)	Porcentagem da bacia (%)
Alta	1,4865	8,56
Média	7,6727	44,19
Baixa	8,194	47,20

Fonte: autores, 2020.

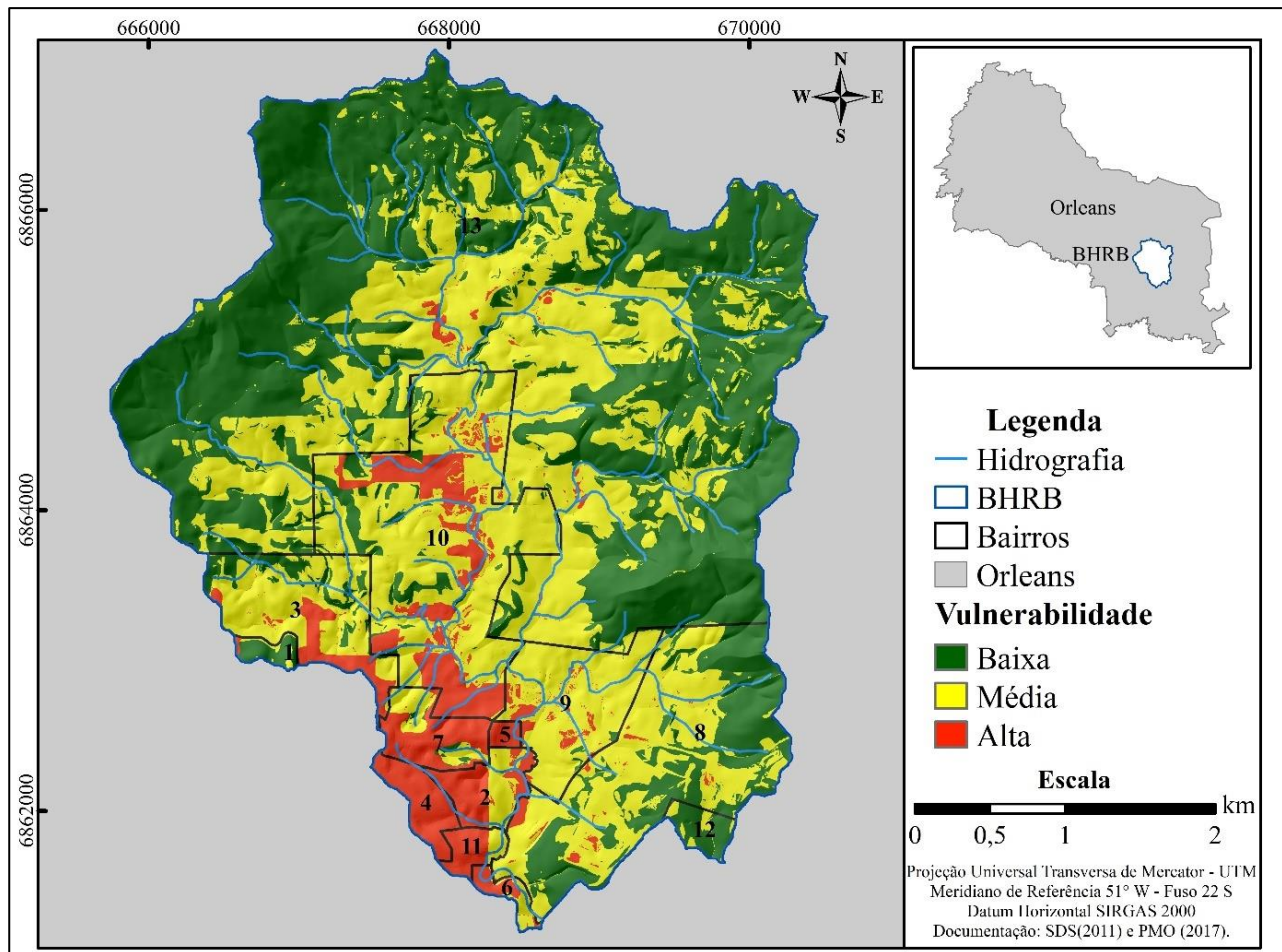
Desta forma, a urbanização também incrementa a vulnerabilidade natural e social das bacias hidrográficas (DIXON; EARLS, 2012), ao impermeabilizar a superfície do solo, impedindo a infiltração da água que passa a escoar superficialmente, exigindo maior capacidade de escoamento do sistema de drenagem (TUCCI, 2007).

As características naturais, como a menor declividade e a existência de solos argissolos vermelho-amarelos, também contribuem com o aumento da vulnerabilidade da bacia. Os argissolos vermelho-amarelo são solos com horizonte A mais arenoso e o B mais argiloso, favorecendo o escoamento superficial e diminuindo a permeabilidade do solo (IBGE, 2015).

³ Nesta pesquisa a população dependente se refere as pessoas com idade abaixo de 12 anos e acima de 65 anos. De acordo com Goerl (2010), pessoas abaixo de 12 anos são dependentes perante o Estatuto da Criança e do Adolescente e acima de 65 anos, segundo a Organização Mundial de Saúde, são consideradas idosas.



Figura 5 - Mapa de vulnerabilidade da Bacia Hidrográfica do Rio Belo



Fonte: autores, 2020.

Nas porções rurais, com menor densidade populacional, e mais elevadas da bacia, estão localizadas as áreas de média (44,19%) e baixa (47,20%) vulnerabilidade. Nessas áreas, principalmente onde a vulnerabilidade é considerada média, existem pastagens. As pastagens que não possuem práticas de conservação, reduzem a infiltração e o impacto direto das gotas da chuva podem desagregar as partículas do solo, produzindo sedimentos que são carregados diretamente para os rios pela água que não infiltrou, contribuindo com o assoreamento dos cursos de água (TAROLLI; SOFIA, 2016).

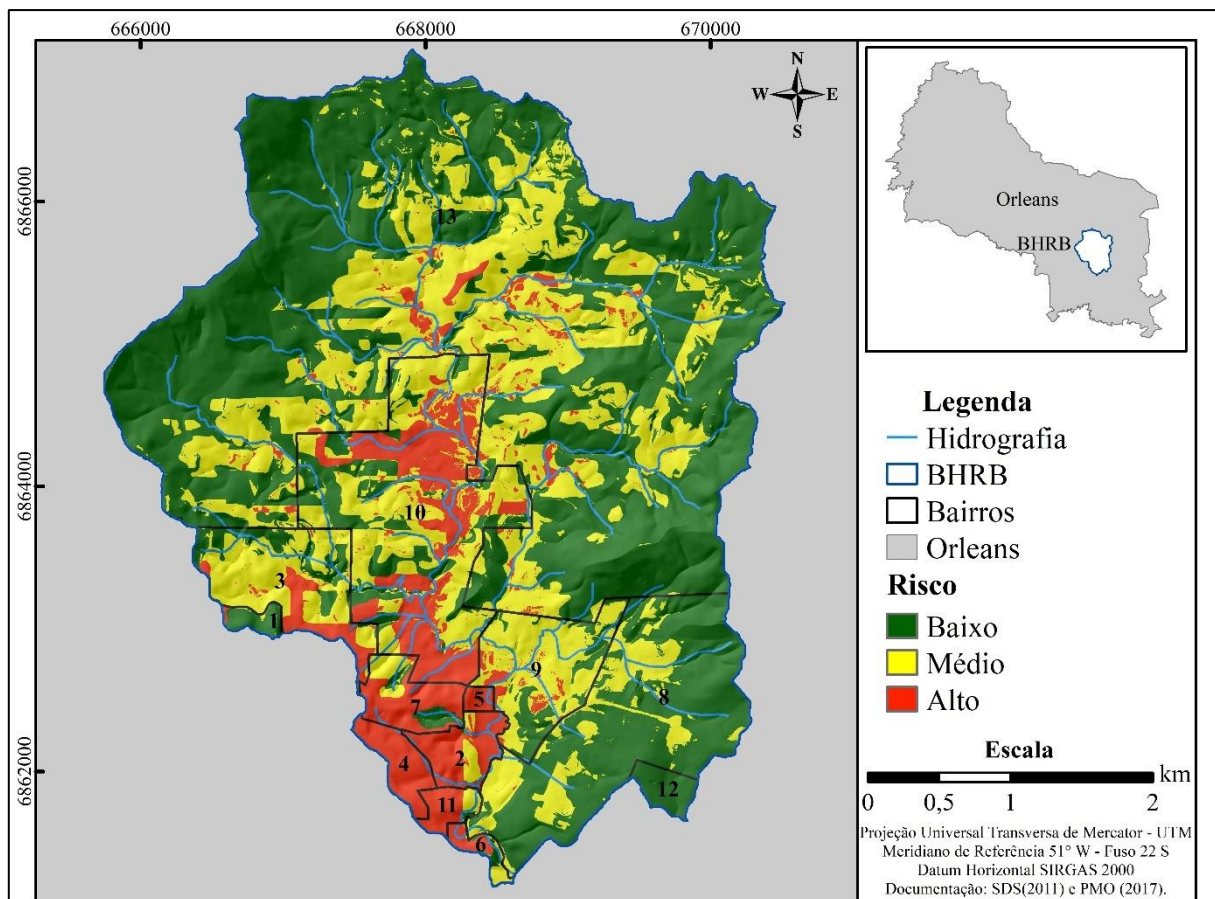
Ao multiplicar o perigo com a vulnerabilidade, percebe-se que ambos foram determinantes na espacialização do risco. O alto risco de inundação da BHRB (11,54%) (Tabela 9) está disposto em uma faixa do sul para o centro da bacia, correspondendo em sua maior parte ao fundo do vale formado pelo rio Belo, com relevo plano e presença de áreas urbanizadas (Figura 6).

**Tabela 9** - Distribuição das classes de risco de inundação da BHRB

Classes de risco	Área (km ²)	Porcentagem da bacia (%)
Alto	2,0045	11,54
Médio	5,8001	33,41
Baixo	9,5482	55,00

Fonte: autores, 2020.

O processo de urbanização ocorrido na BHRB, foi responsável por transformar o espaço. O processo de urbanização é visto por Amaral e Ribeiro (2012), Dixon e Earls (2012), Ouma e Tateishi (2014), Rezende, Marques e Oliveira (2017), Caprario e Finoti (2019) e Rahman *et al.* (2021), como sendo um dos maiores condicionantes ao risco de inundação. A urbanização provoca intensas alterações no espaço natural, avançando sobre áreas naturalmente inundáveis, não respeitando o espaço de extravasamento do rio em períodos de chuva intensa (MENEGASSO, 2019).

Figura 6 - Mapa do risco de inundação da Bacia Hidrográfica do Rio Belo

Fonte: autores, 2020.

O mapeamento mostrou que 66,77% do risco alto de inundação se encontra em áreas urbanizadas da bacia, onde reside aproximadamente 48% da população do município de Orleans,



composta pelos bairros Cohab, Centro, Bussolo e Rio Belo. Nos bairros Bussolo e Rio Belo, as inundações são registradas com mais frequência. Nas áreas urbanas, o descarte incorreto de resíduos sólidos pode contribuir para a obstrução das galerias pluviais (MUCELIN; BELLINI, 2008), acentuando, portanto, as inundações.

Algumas áreas dos bairros Centro, Cohab, Alto Paraná, Santista e Lomba estão inseridas, em sua maior parte, no alto risco de inundação e apresentam características demográficas que favorecem a vulnerabilidade social. Porém, é importante evidenciar que alguns espaços desses bairros não sofrem com a inundação por estarem localizados em áreas de relevo mais elevado. Contudo, encontram-se impermeabilizadas pela construção de edificações e ruas asfaltadas, ausência de galerias pluviais, que favorecidas pela gravidade, contribuem com o escoamento superficial, fazendo com que a água da chuva se acumule nos locais mais baixos de forma rápida.

O risco médio de inundação (33,41%) encontra-se numa área que mescla características urbanas e rurais, com altitudes mais elevadas e relevo ondulado. No entanto, a ausência de mata ciliar nos afluentes colabora com o assoreamento dos rios e a realização de obras de drenagem pode represar parte da água em períodos de chuva intensa, intensificando o processo de inundação.

O baixo risco de inundação corresponde a 55% da BHRB, presente em sua maior extensão nos bairros Murialdo, Km 92 e na comunidade de Rio Belo. Nestes bairros, as altitudes são superiores a 200 metros e o relevo é considerado montanhoso, sendo próximo aos divisores de água da bacia. O relevo íngreme dificulta as práticas agrícolas, portanto há um predomínio de vegetação secundária e reflorestamento, contribuindo para interceptar a água da chuva, reduzindo o escoamento superficial (OTSUSCHI; SOUZA; PEREIRA FILHO, 2018).

As áreas de baixo risco de inundação estão na zona de expansão urbana do município. Desta forma, a pavimentação asfáltica das rodovias SC – 108 e SC - 390, que liga Orleans a outros municípios, atraiu muitas indústrias que se instalaram em suas margens. Por conta do relevo íngreme, obras de terraplanagem foram realizadas, deixando o solo exposto. O solo exposto é erodido e seus sedimentos são transportados para as áreas de alto risco de inundação, assoreando os rios e potencializando o processo de inundação.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A Bacia Hidrográfica do Rio Belo corresponde a uma das áreas mais urbanizadas do município de Orleans, que nos últimos anos foi atingida pela ocorrência de fenômenos hidrológicos, pondo em risco a população que ali reside.

A metodologia utilizada para o mapeamento das áreas de risco de inundação da BHRB considerou as relações entre os condicionantes físicos e sociais presentes na bacia, como a altimetria,



a declividade, a pedologia, além da cobertura e uso da terra e aspectos populacionais de educação, idade e renda.

O mapeamento mostrou que 11,54% da BHRB está localizada em áreas de alto risco de inundação, coincidindo com a parte urbana da bacia, caracterizada pela maior concentração populacional do município. Desta forma, o mapeamento do risco de inundação disponibilizado ao poder público poderá servir de referência para tomar decisões preventivas, evitando ocupações futuras em áreas inapropriadas, ou ações mitigatórias, quando a ocupação dos espaços inadequados já tenha ocorrido.

As geotecnologias aplicadas possibilitaram a coleta, o armazenamento e a análise de uma grande quantidade de dados, que se fossem tratados por meio analógico, seriam praticamente inviáveis. Essas ferramentas conseguem produzir muitas informações de forma rápida e com baixo custo, que podem ser acessadas e utilizadas por equipes gestoras de risco no planejamento e a na gestão do território.

REFERÊNCIAS

- AMARAL, R.; RIBEIRO, R. R.. Inundação e enchente. In: TOMINAGA, L. K.; SANTORO, J.; AMARAL, R.. **Desastres naturais: conhecer para prevenir**. 2ª ed. São Paulo: Instituto Geológico, 2012. p. 39-52.
- ANEAS DE CASTRO, S. D. Riesgos y peligros: una visión desde la Geografía. **Scripta Nova: Revista Electrónica de Geografía y Ciencias Sociales**, Barcelona. N. 60. P. 1- 15, 2000.
- BARBOSA JÚNIOR, A. R.. **Elementos de hidrologia aplicada**. Universidade Federal de Ouro Preto. Ouro Preto, 2014. (Apostila).
- BORGES, N. S.. **Gestão Do Risco De Inundações Urbanas**. 2013. 101f. **Dissertação (Mestrado em Direito)** – Universidade de Coimbra, Coimbra, 2013.
- BOTELHO, R. G. M.. Bacias hidrográficas urbanas. In: GUERRA, A. J. T. (Org.). **Geomorfologia urbana**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2011. p. 71-115.
- BRASIL. Ministério das Cidades, Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT). **Mapeamento de riscos em encostas e margens de rios**. Brasília: Ministério das Cidades/ Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT), 2007.
- BRASIL. Atlas Digital de Desastres no Brasil. Brasília: MDR, 2022.
- CAPRARIO, J.. **Desenvolvimento de um instrumento para o mapeamento de áreas suscetíveis a alagamentos e inundações urbanas**. 2017. 223f. **Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental)** - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2017.
- CAPRARIO, J.; FINOTTI, A. R.. Socio-technological tool for mapping susceptibility to urban flooding. **Journal of Hydrology**. V. 574. P. 1152-1163, abr. 2019.



- CASTRO, C. M. de. *ET AL.* Riscos Ambientais e Geografia: Conceituações, Abordagens e Escalas. **Anuário do Instituto de Geociências** - UFRJ, Rio de Janeiro. V. 28-2. P. 11-30, 2005.
- DIAS, M. C. de A.; *ET AL.* Estimation of exposed population to landslides and floods risk areas in Brazil, on an intra-urban scale. **International Journal of Disaster Risk Reduction**. V. 31. P. 449-459, out. 2018.
- DIXON, B.; EARLS, J.. Effects of urbanization on streamflow using SWAT with real and simulated meteorological data. **Applied Geography**. V. 35. N. 1-2. P. 174-190, 2012.
- DOMINGOS CURY, M.; *ET AL.* Mapeamento de áreas suscetíveis à inundação como informação para o planejamento e a gestão territorial em bacia hidrográfica. **Caminhos de Geografia, Uberlândia**. V. 22. N. 83. P. 160-175, 2021.
- EGLER, C. A. G. Risco ambiental como critério de gestão do território: uma aplicação à zona costeira brasileira. **Revista Território**. V. 1. N. 1. P. 31-41. 1996.
- EICHER, C. L; BREWER, C. A. Dasymeric mapping and areal interpolation: implementation and evaluation. **Cartography and Geographic Information Science**. Vol. 28. N. 2. P. 125-138, 2001.
- GOERL, R. F.. **Estudo de inundações em Rio Negrinho - SC sob a ótica dos desastres naturais**. 2010. 103 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Geografia, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2010.
- GUERRA, A. J. T.; BOTELHO, R. G. M.. Erosão dos solos. In: CUNHA, S. B. da; GUERRA, A. J. T. (Orgs.). **Geomorfologia do Brasil**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2001. p. 181-227.
- IBGE (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA). **Censo Demográfico - 2010**. Rio de Janeiro: IBGE, 2010.
- IBGE (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA). **Manual técnico de pedologia**. 3ª ed. Rio de Janeiro: IBGE, 2015.
- KOBIYAMA, M.; *ET AL.* **Prevenção de Desastres Naturais: conceitos básicos**. Florianópolis: Organic Trading, 2006.
- MAGALHÃES, I. A. L.; *ET AL.* Uso de geotecnologias para mapeamento de áreas de risco de inundação em Guaçuí, ES: uma análise comparativa entre dois métodos. **Cadernos de Geociências**. V. 84. N. 2. P. 63-70, 2011.
- MARCELINO, E V.. **Desastres Naturais e Geotecnologias: conceitos básicos**. INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Santa Maria, 2008. 20 p.
- MARCHEZINI, V.; IWAMA, A. Y.; *ET AL.* Geotecnologias para prevenção de riscos de desastres: usos e potencialidades dos mapeamentos participativos. **Revista Brasileira de Cartografia**, Rio de Janeiro. V. 1. N. 69. P. 107-128, 2017.
- MENDONÇA, F.; LEITÃO, S. A. M.. Riscos e vulnerabilidade socioambiental urbana: uma perspectiva a partir dos recursos hídricos. **Geotextos**. V. 4. N. 1. P. 145-163, 2008.
- MENEGASSO, J. D.. **Mapeamento do risco de inundação na bacia hidrográfica do Rio Belo, Orleans, SC**. 2019. 148 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Ciências Ambientais, Universidade do Extremo Sul Catarinense, Criciúma, 2019.



MENEZES, D. J.; *ET AL.*. Zoneamento e classificação das áreas de risco a inundações no município de Alegrete, RS. **Raega**. V. 50. P. 136-152, 2021.

MUCELIN, C. A.; BELLINI, M.. Lixo e impactos ambientais perceptíveis no ecossistema urbano. **Sociedade & Natureza**. V. 1. N. 20. P. 111-124, 2008.

OLÍMPIO, J. L. S. **Desastres naturais associados à dinâmica climática no estado do Ceará: subsídios à gestão dos riscos de secas e de inundações**. 2013. 228 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Geografia, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2013.

OTSUSCHI, C.; SOUZA, B. S. P.; PEREIRA FILHO, W.. escoamento superficial e fragmentação da vegetação remanescente nas bacias dos Lajeados São José e Passo dos Índios no oeste do estado de Santa Catarina, Brasil. **Caminhos de Geografia**. V. 19. N. 66. P. 169-188, 24 jul. 2018.

OUMA, Y.; TATEISHI, R.. Urban Flood Vulnerability and Risk Mapping Using Integrated Multi-Parametric AHP and GIS: methodological overview and case study assessment. **Water**. V. 6. N. 6. P. 1515-1545, 30 maio 2014.

PROCHMANN, J. R. **Análise espacial da susceptibilidade à inundações na bacia hidrográfica do Córrego Grande, Florianópolis – SC**. 2014. 88 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2014.

RAHMAN, M.; *ET AL.*. Flooding and its relationship with land cover change, population growth, and road density. **Geoscience Frontiers**. V. 12. N. 6. P. 101224, nov. 2021.

REBELO, F. **Riscos naturais e ação antrópica**. Coimbra: Imprensa da Universidade, 2003.

REIS, P. E.; *ET AL.*. O escoamento superficial como condicionante de inundações em belo horizonte, mg: estudo de caso da sub-bacia Córrego do Leitão, bacia do Ribeirão Arrudas o escoamento superficial como condicionante de inundações em Belo Horizonte, MG: estudo de caso da sub-bacia Córrego do Leitão, bacia do Ribeirão Arrudas. **Geociências**, São Paulo. V. 31. N. 1. P. 31-46, 2012.

REZENDE, P. S.; MARQUES, D. V.; OLIVEIRA, L. A. de. Construção de modelo e utilização do método de processo analítico hierárquico – AHP para mapeamento de risco a inundações em área urbana. **Caminhos da Geografia**. V. 18. N. 61. P. 01-18, 2017.

SAATY, T. L.. Decision making with the analytic hierarchy process. **International Journal of Services Sciences**. V. 1. N. 1. P. 83, 2008.

SANTOS, H. G. dos; *ET AL.*. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 5ª ed. rev. e ampl. Brasília, DF: Embrapa, 2018.

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**. V. 5. N. 5. P. 151-167, 2016.

TAROLLI, P.; SOFIA, G.. Human topographic signatures and derived geomorphic processes across landscapes. **Geomorphology**, [S.L.]. V. 255. P. 140-161, fev. 2016.

TOMINAGA, L. K.. Análise e mapeamento de risco. In: TOMINAGA, L. K.; SANTORO, J.; AMARAL, R.. **Desastres naturais: conhecer para prevenir**. 2ª ed. São Paulo: Instituto Geológico, 2012. p. 147-160.



TOMINAGA, L. K; SANTORO, J. AMARAL, R. (Orgs.). **Desastres naturais**: conhecer para prevenir. São Paulo: Instituto Geológico, 2009.

TUCCI, C. E. M.. **Gestão de Águas Pluviais Urbanas**. Ministério das Cidades – Global Water Partnership – World Bank – Unesco, 2005.

TUCCI, C. E. M.. **Urban Flood Management**. Global Water Partnership, WMO – World Meteorological Organization; 2007.

VEYRET, Y.. **Os riscos**: o homem como agressor e vítima do meio ambiente. São Paulo: Contexto, 2007.