

Artigo de Pesquisa.

PROPOSTA DE FERRAMENTA PARA AVALIAÇÃO DE ÁREAS COM RISCO DE INUNDAÇÕES: UM ESTUDO DE CASO NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO MARAPANIM (BHRM), PARÁ**Proposal for a tool for assessing areas at flood risk: a case study in the marapanim river hydrographic basin (BHRM), Pará**Diego Lima Crispim¹

¹ Univesidade Federal do Pará, Instituto de Tecnologia, Belém, Brasil. E-mail: diego.crispim@itec.ufpa

 <https://orcid.org/0000-0003-1491-2636>

Recebido em 21/10/2022 e aceito em 02/01/2023

RESUMO: As inundações são fenômenos naturais que possui um grande potencial de ocasionar impactos que cause danos materiais, humanos e ambientais, afetando a qualidade vida, bem-estar e segurança de milhares de pessoas em todo o mundo. Dentre as ações que podem ser utilizadas para atenuar os impactos ocasionados pelas inundações, destaca-se o mapeamento de áreas com risco à inundação, por causa do baixo custo e simplicidade. Neste contexto, este estudo teve como objetivo propor uma ferramenta de avaliação utilizando a análise de decisão multicritério (ADMC) e o sistema de informação geográfica (SIG) de forma integrado para mapear áreas com risco à inundação na Bacia Hidrográfica do Rio Marapanim (BHRM) para auxiliar os tomadores de decisão na condução e estruturação de políticas públicas de prevenção. O índice de risco à inundação (IRI) foi validado e aplicado na BHRM, considerando uma combinação da ADCM, SIG e o método de consulta participativa. Para o cálculo do IRI foram utilizadas ponderações, nas quais foram somados os escores dos indicadores e os pesos das variáveis. O método Delphi mostrou-se ser uma técnica válida para calcular as variáveis do IRI. A subjetividade na definição dos pesos foi amenizada com a colaboração e divisão de responsabilidades de especialistas de várias áreas do conhecimento e com diferentes experiências profissionais. Os resultados indicaram que cerca de 97,39%, da área da BHRM apresenta um grau de probabilidade de inundação muito baixo. Destaca-se que essa metodologia, pode ser aplicada em qualquer área do país, pelo baixo custo, simplicidade e disponibilidade de dados.

Palavras-chave: Análise de decisão multicritério (ADCM); Sistema de informação geográfica (SIG); Método Delphi; Eventos hidrológicos críticos; Urbanização.

ABSTRACT: Floods are natural phenomena that have a great potential to cause impacts that cause material, human and environmental damage, affecting the quality of life, well-being and safety of thousands of people around the world. Among the actions that can be used to mitigate the impacts caused by floods, the mapping of areas at risk for flooding stands out, because of its low cost and simplicity. In this context, this study aimed to propose an assessment tool using multi-criteria decision analysis (MCDA) and the geographic information system (GIS) in an integrated way to map areas at risk for flooding in the Marapanim River Basin (BHRM) to assist decision makers in conducting and structuring public prevention policies. The flood risk index (IRI) was validated and applied at BHRM, considering a combination of MCDA, GIS and the participatory consultation method. Weightings were used to calculate the IRI, in which the scores of the indicators and the weights of the variables were added. The Delphi method proved to be a valid technique to calculate IRI variables. The subjectivity in

the definition of weights was mitigated with the collaboration and division of responsibilities of specialists from various areas of knowledge and with different professional experiences. The results indicated that about 97.39% of the BHRM area has a very low probability of flooding. It is noteworthy that this methodology can be applied in any area of the country, due to the low cost, simplicity and availability of data.

Keywords: Multicriteria decision analysis; Geographic information system; Delphi method; Critical hydrological events; Urbanization.

RESUMEN: Las inundaciones son fenómenos naturales que tienen un gran potencial para causar impactos que provocan daños materiales, humanos y ambientales, afectando la calidad de vida, el bienestar y la seguridad de miles de personas en todo el mundo. Entre las acciones que se pueden utilizar para mitigar los impactos causados por inundaciones, se destaca el mapeo de áreas en riesgo de inundación, por su bajo costo y simplicidad. En este contexto, este estudio tuvo como objetivo proponer una herramienta de evaluación utilizando el análisis de decisiones de criterios múltiples (MCDA) y el sistema de información geográfica (GIS) de manera integrada para mapear áreas en riesgo de inundación en la cuenca del río Marapanim (BHRM) para ayudar tomadores de decisiones en la conducción y estructuración de políticas públicas de prevención. El índice de riesgo de inundación (IRI) fue validado y aplicado en BHRM, considerando una combinación de MCDA, GIS y el método de consulta participativa. Para el cálculo del IRI se utilizaron ponderaciones, en las que se sumaron los puntajes de los indicadores y los pesos de las variables. El método Delphi demostró ser una técnica válida para calcular variables IRI. La subjetividad en la definición de pesos se mitigó con la colaboración y división de responsabilidades de especialistas de diversas áreas del conocimiento y con distintas experiencias profesionales. Los resultados indicaron que alrededor del 97,39% del área de BHRM tiene una probabilidad muy baja de inundación. Cabe destacar que esta metodología puede ser aplicada en cualquier zona del país, debido al bajo costo, sencillez y disponibilidad de datos.

Keywords: Análisis de decisión multicriterio; Sistema de información geográfica; método Delphi; Eventos hidrológicos críticos; Urbanización.

INTRODUÇÃO

De acordo com Almeida e Carvalho (2010) o processo de formação das cidades nos países em desenvolvimento, em geral, se iniciou em áreas próximas aos corpos hídricos, seja pela facilidade dada pela topografia plana, quer pela condição de acesso à água. Deste modo, esses locais apresentam risco de inundações em razão das características naturais e forma de ocupação do local.

Conforme Bloch et al. (2012) uma inundação acontece quando uma quantidade de água submerge uma área, edificada ou não, antes não inundada, sendo geralmente ocasionada por uma associação de eventos meteorológicos e hidrológicos. Para Ferraz et al. (2022) as inundações são fenômenos que podem acontecer de forma natural, apesar de suas ocorrências sejam intensificadas pelas atividades antrópicas como a modificação do uso e ocupação do solo e a impermeabilização do solo.

Segundo Lima et al. (2021) as inundações é um dos fenômenos naturais que ocasionam impactos para uma maior quantidade de pessoas em todo o planeta. No Brasil, essa problemática não difere do resto do mundo, visto que uma das grandes adversidades encaradas pela população dos municípios do país é a inundação de residências construídas em áreas de baixas altitudes e próximos de corpos d'água.

Segundo Guimarães e Penha (2009) em função do processo de urbanização, geralmente acontece um aumento da vazão em todo espaço urbano, por causa sobretudo da impermeabilização do solo, bem como da ocupação de áreas que constituíam outrora o leito de inundação dos mananciais superficiais (córregos e rios).

O que se constata no Brasil é a falta de articulação entre os instrumentos de gerenciamento dos recursos hídricos e os de planejamento do uso e ocupação do solo dos municípios, o que mostram a inexistência de legitimidade do planejamento e das leis municipais e urbanísticas (CAMPIOLI; VIEIRA, 2019).

Para Costa et al. (2013) os métodos tradicionais de topografia e de mapeamento são onerosos e requerem um tempo significativo para avaliação da expansão urbana. Além disso, esses dados não estão disponibilizados na maior parte dos municípios do país. Logo, existe a demanda de conhecer técnicas eficientes e simples para o mapeamento de locais que apresentam risco de inundações, por conseguinte prevenir danos (MAGALHÃES et al., 2011). Deste modo, o uso de mapas de vulnerabilidade a inundações pode auxiliar nas ações do Poder Público para prevenção e de mitigação de impactos de eventos hidrológicos críticos (CAMPIOLI; VIEIRA, 2019).

Estudos realizados anteriormente na Bacia Hidrográfica do Rio Marapanim (BHRM), situada na região nordeste do estado do Pará, utilizaram técnicas de sensoriamento remoto e o geoprocessamento para analisar o uso e ocupação do solo (SANTOS et al., 2020), a dinâmica da paisagem da bacia (ANDRADE et al., 2020), e a sustentabilidade hídrica de sedes municipais (SILVA et al., 2021).

No entanto, os estudos mencionados não utilizaram um método participativo na análise de decisão multicritério (ADM) e não fizeram a integração com o sistema de informação geográfica (GIS), bem como não abordaram o tema dessa pesquisa. Assim, observa-se uma inexistência ou carência de estudos que retratem a problemática que envolve os eventos hidrológicos (enchente, alagamento e inundação).

Diante do exposto, este estudo teve como objetivo propor uma ferramenta de avaliação utilizando a análise de decisão multicritério (ADM) e o sistema de informação geográfica (SIG) de forma integrado para mapear áreas com risco à inundação na Bacia Hidrográfica do Rio Marapanim (BHRM) para auxiliar os tomadores de decisão na condução e estruturação de políticas públicas de prevenção e de mitigação de impactos ambientais ocasionados de eventos hidrológicos críticos como a inundação.

MATERIAIS E MÉTODOS

Estrutura da pesquisa

Para realizar o mapeamento de áreas com risco à inundação na BHRM foi utilizado um software de sistema de informação geográfica (SIG) integrado a análise de decisão multicritério (ADM). Deste modo, para o cálculo do Índice de Risco à Inundação (IRI), foi necessário selecionar variáveis para compor o IRI, bem como

fazer atribuição de pesos ao conjunto de variáveis, possibilitando a construção de um mapa que identifique áreas suscetíveis a inundações na BHRM.

A Figura 1 mostra as etapas da estrutura metodológica do Índice de Risco à Inundação (IRI). Assim, esse resumo gráfico apresenta cada etapa da metodologia do IRI, com a finalidade de ajudar os leitores e pesquisadores a compreender melhor o índice, além de colaborar para sua replicação em outros lugares, sendo adaptado do estudo de CRISPIM et al. (2022).

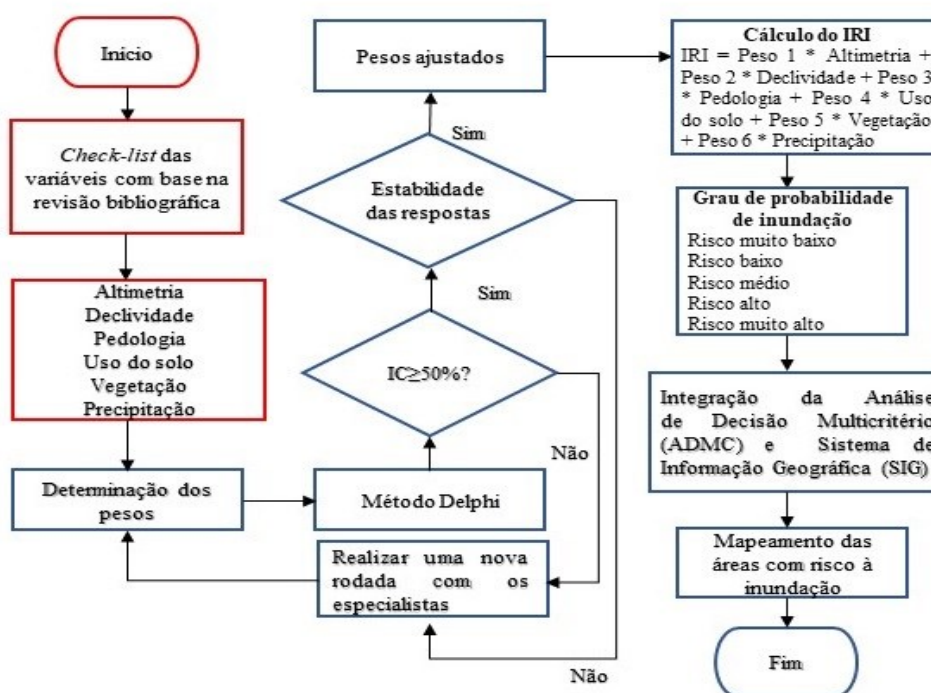


Figura 1. Diretrizes com as etapas e estrutura de apresentação do índice de risco à inundação (IRI). **Fonte:** O AUTOR.

Seleção das variáveis

Neste estudo, foi realizado uma seleção de variáveis para integrar o Índice de Risco à Inundação (IRI), por meio de um check-list da literatura internacional e nacional (obras acadêmicas, artigos científicos, notas técnicas, manual, etc.), seguindo um procedimento metodológico utilizado por Juwana et al. (2012).

Na consulta realizada na literatura, observou-se que a quantidade e as variáveis utilizadas nos estudos sobre mapeamento de áreas com risco à inundação são diversas. Assim, considerou-se como critério para seleção das variáveis a disponibilidade de banco de dados abertos de órgãos governamentais e não governamentais e a consistência dos dados. Logo, foram selecionadas 6 variáveis para compor o IRI (Altimetria, Declividade, Pedologia, Uso do Solo, Vegetação e Precipitação), conforme apresentado na Quadro 1.

Quadro 1. Variáveis empregadas no Índice de Risco à Inundação (IRI)

Variável	Explicação	Referência
Altimetria	Áreas com baixas altitudes apresentam risco de inundação.	ALVES et al. (2018)
Declividade	A declividade do terreno está diretamente ligada ao volume, escoamento superficial da água e a infiltração da água da chuva.	LEE et al. (2018)
Pedologia	A pedologia está ligada diretamente com a taxa de percolação e o grau de saturação do solo, sendo associadas à inundação.	MARTH et al. (2016)
Uso do solo	A forma de ocupação e atividades humanas realizadas podem afetar componentes dos processos hidrológicos, como a infiltração e o escoamento superficial.	ALVES et al. (2018)
Vegetação	A vegetação exerce um papel importante na retenção das águas das chuvas e favorece a regularização da vazão de rios.	CASTRO et al. (2013)
Precipitação	A quantidade e a intensidade da precipitação são fatores que colaboram para a ocorrência da inundação.	RAHMATI et al. (2016)

Obtenção e processamento dos dados

Para as variáveis topográficas como altimetria e declividade os dados foram obtidos da plataforma do projeto TOPODATA do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), sendo extraídas imagens vetoriais do radar *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM) com resolução espacial de 30 metros e escala de 1:250.000. Posteriormente, executou-se o processamento do Modelo Digital de Elevação (MDE) para obtenção dos produtos cartográficos por um software de Sistema de Informações Geográficas (SIG).

No software de SIG as imagens vetoriais do radar SRTM foram processadas para construir o mapa de altimetria, considerando o valor de elevação relacionado a cada pixel. Em seguida, foi produzido o mapa de declividades utilizando a ferramenta slope e sua visualização foi feita em porcentagem, enquanto as classes de declividade foram organizadas conforme procedimento utilizado por Da Costa et al. (2015).

O arquivo vetorial para a variável pedologia foi retirado da base de dados da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA), referente ao ano de 2011. Para a variável uso do solo foram utilizados arquivos vetoriais do projeto TerraClass (2014) desenvolvido pelo INPE em parceria com a EMBRAPA. Assim, consideraram-se as classes de uso do solo definidas pelo projeto TerraClass.

Quanto a variável vegetação, foi utilizado um arquivo vetorial disponibilizado pela base de dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) na aba “geociências”, opção todos os produtos: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/downloads-geociencias.html>. O arquivo vetorial tem como ano de referência 2021 e sua escala é de 1:250.000.

Por fim, para a variável precipitação foram utilizados os dados de precipitação do *Global Precipitation Climatology Centre* (GPCC) operado pelo Serviço Meteorológico

Nacional da Alemanha (*Deutscher Wetterdienst - DWD*), disponibilizado gratuitamente em: <https://kunden.dwd.de/GPCC/Visualizer>, com resolução de 1° x 1°. Em seguida, esses dados receberam um tratamento estatístico e geoespacializados para mapeamento em um ambiente SIG. Para análise da precipitação foi utilizada uma série histórica referente ao período de janeiro de 1982 a dezembro de 2021 (39 anos).

A espacialização dos dados de precipitação foi feita pelo interpolador geoespacial Inverse Distance Weighted (IDW) para média mensal anual de precipitação dos dados do GPCC, visto que é um método simples e eficiente que usa uma combinação linear ponderada, sendo sugerido quando os pontos estão organizados uniformemente (SHAHID; LQBAL; KHAN, 2017). Na Tabela 1 é mostrado as variáveis empregadas no estudo e a fonte dos dados.

Tabela 1. Variáveis e base de dados empregados na pesquisa.

Variável	Formato	Escala / Resolução	Fonte
Altimetria	Arquivo raster	1:250.000	TOPODATA / INPE
Declividade	Arquivo raster	1:250.000	TOPODATA / INPE
Pedologia	Arquivo vetorial	1:1.000.000	EMBRAPA
Uso do solo	Arquivo raster	1:250.000	INPE / EMBRAPA
Vegetação	Arquivo vetorial	1:250.000	IBGE
Precipitação	Arquivo raster	1° x 1°	DWD

Fonte: O AUTOR.

Determinação dos pesos das variáveis e notas dos indicadores

Para determinação dos pesos das variáveis que integram o IRI foi utilizado o método Delphi, o qual se baseia no uso sistemático da concepção, experiência e prática, bem como na particularidade de um conjunto de experts (também identificados na literatura como especialistas, técnicos, consultores, respondentes ou painelistas), considerando que o pensamento coletivo, quando devidamente organizado, é melhor que a opinião ou compreensão de um único profissional (CRISPIM et al., 2021; CRISPIM et al., 2022;).

Esse método possibilita a integração de componentes técnicos e participativos. Neste último método, os experts foram solicitados a atribuir pesos as variáveis previamente selecionadas, de acordo com sua importância em um cenário específico. Quanto a mensuração das notas para classes de variáveis do IRI, foram considerados valores utilizados em estudos de análise multicritério como referência.

Processo de realização e análise do método Delphi

Para aplicação da técnica Delphi é necessário realizar várias etapas (WRIGHT; GIOVINAZZO, 2000; MARQUES; DE FREITAS, 2018;), as quais podem ser divididas, conforme mostrado na Figura 2. Deste modo, cada uma das rodadas deve ser executada de forma detalhada, bem como todo o desenvolvimento das rodadas deve ser registrado e descrito.

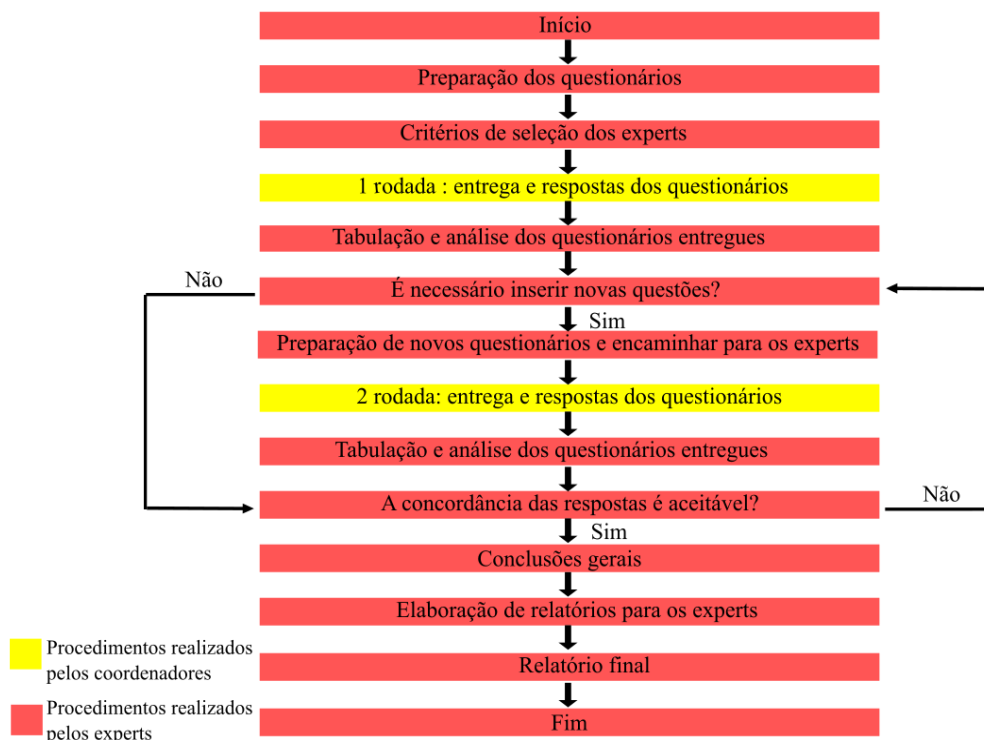


Figura 2. Forma de execução do método Delphi. **Fonte:** Adaptado de Marques e De Freitas (2018); Wright e Giovinazzo (2000).

Escolha dos experts

Para a seleção dos participantes do método Delphi, foi organizado uma lista de prováveis experts baseado em dados obtidos da Plataforma Lattes do Diretório de Grupos de Pesquisa do Brasil, conforme procedimento utilizado no estudo de Crispim e Fernandes (2022). Em seguida, foi realizada uma consulta no currículo Lattes dos possíveis participantes para observar se tinha produções acadêmicas sobre o tema abordado neste estudo ou se realizaram alguma atividade de pesquisa e extensão, bem como constatar se tiveram alguma experiência ou atuam profissionalmente com esse assunto.

Os experts foram escolhidos com base em seus conhecimentos sobre a área de estudo e sobre o fenômeno a ser investigado, conforme recomendado por Crispim et al. (2022) e Crispim e Fernandes (2022). Assim, os experts foram inicialmente identificados por meio de um check-list baseado em qualificações, formação acadêmica, publicações e sua participação em atividades de pesquisas e extensão sobre gestão de recursos hídricos (Tabela 2).

Tabela 2. Área de formação e quantidade de participantes convidados a participar do Método Delphi.

Área De Formação	Quantidade
Engenharia Ambiental	4
Engenharia Sanitária	3

Engenharia Civil	1
Economia	1
Geografia	1
Geologia	4
Serviço Social	1
Turismo	1
Total	16

Fonte: O AUTOR

O método Delphi não requer uma quantidade específica de experts para participar da consulta participativa (CRISPIM; FERNANDES, 2022). Entretanto, dezesseis experts foram convidados a participar da primeira rodada do método Delphi. Estes receberam informações pessoalmente ou por correio eletrônico a respeito do objetivo da pesquisa. Assim, o conteúdo do questionário foi submetido a uma revisão sistemática e validado pelo consenso do grupo de experts.

Tipo questionário aplicado aos experts

Quanto o tipo de questionário utilizado nesta consulta participativa, empregou-se um modelo estruturado, composto de um roteiro de temas previamente estabelecidos, a fim de assegurar uma consulta uniforme para todos os experts e otimizar o tempo quanto a duração do processo.

Critérios utilizados para encerrar a consulta

De acordo com Marques e De Freitas (2018), o número de rodadas da consulta participativa pelo método Delphi termina quando são atingidos os níveis desejados de concordância nas respostas dos experts.

Conforme Scarparo et al. (2012) não existe uma regra ou orientação pré-determinada para o nível de concordância nas respostas dos experts, posto que na literatura os níveis de concordância variam entre 50 e 80% (SANTIAGO; DIAS, 2012).

O nível de concordância empregado nesse estudo, foi $\geq 50\%$ para cada variável que compõe o IRI, conforme utilizado em vários estudos (SCARPARO et al., 2012; CRISPIM et al., 2021; CRISPIM et al., 2022; CRISPIM; FERNANDES, 2022). Logo, para o cálculo do nível de consenso, empregou-se uma expressão matemática utilizada no estudo de Crispim et al. (2022), ver a Equação 1:

$$C_c = \left(\frac{1 - V_n}{V_t} \right) \times 100 \quad (1)$$

Em que: **C_c** é o coeficiente de concordância apresentado em porcentagem; **V_n** é a quantidade de *experts* com resposta distinta ao critério dominante; **V_t** é a quantidade total de *experts*.

Mapeamento das áreas com risco de inundação

Para composição do mapa final que mostra as áreas com risco de inundação foi realizada a sobreposição ponderada das informações das variáveis do IRI empregando a ferramenta Weighted Overlay de um software de Sistema de Informação Geográfica (SIG) que está baseado na técnica de geoprocessamento Álgebra de Mapas, sendo calculado pela Equação 2:






$$IRI = W_1 \times \text{Altimetria} + W_2 \times \text{Declividade} + W_3 \times \text{Pedologia} + W_4 \times \text{Uso do solo} + W_5 \times \text{Vegetação} + W_6 \times \text{Precipitação} \quad (2)$$

Em que: **IRI** é o valor do Índice de Risco à Inundação para um determinado local; **X_i** é o valor da variável *i* que integra o IRI, **W_i** é o peso determinado pelo especialista para a variável.

Interpretação e classificação do grau de probabilidade de inundação

De acordo com Crispim et al. (2021) a interpretação de um índice é essencial para entender a lógica das variáveis e valores do índice. Logo, com a finalidade de retratar de maneira simples e compreensível, o IRI foi estruturado em classificação por faixa para mostrar o grau de probabilidade de risco de inundação de uma determinada área (Tabela 3). O IRI foi dividido em cinco faixas de intervalos e o grau de probabilidade de risco à inundação foi adaptado dos estudos realizados por Magalhães et al. (2011), Campioli e Vieira (2019).

Tabela 3. Faixa e grau de probabilidade de risco de inundação.

Faixa do IRI (0,0-10,0)	Grau de probabilidade de inundação	Cor
0,0 – 2,0	Risco muito baixo	
2,1 – 4,0	Risco baixo	
4,1 – 6,0	Risco médio	
6,1 – 8,0	Risco alto	
8,1 – 10,0	Risco muito alto	

Fonte: Adaptado de Magalhães et al. (2011); Campioli e Vieira (2019).

Área de estudo

O método proposto foi aplicado na Bacia Hidrográfica do Rio Marapanim (BHRM), situada na Macrorregião Hidrográfica Costa Atlântica Nordeste do estado do Pará (Figura 3). A BHRM possui uma área territorial de 2.047,56 km², abrangendo a porção do território de 12 municípios: Castanhal, Curuçá, Igarapé-Açu, Magalhães Barata, Maracanã, Marapanim, Santa Izabel do Pará, Santo Antônio do Tauá, São Caetano de Odivelas, São Francisco, Terra Alta e Vigia (SANTOS et al., 2020). Desses

municípios, apenas Castanhal, Igarapé-Açu, São Francisco e Terra Alta têm suas sedes municipais localizadas no território da BHRM.

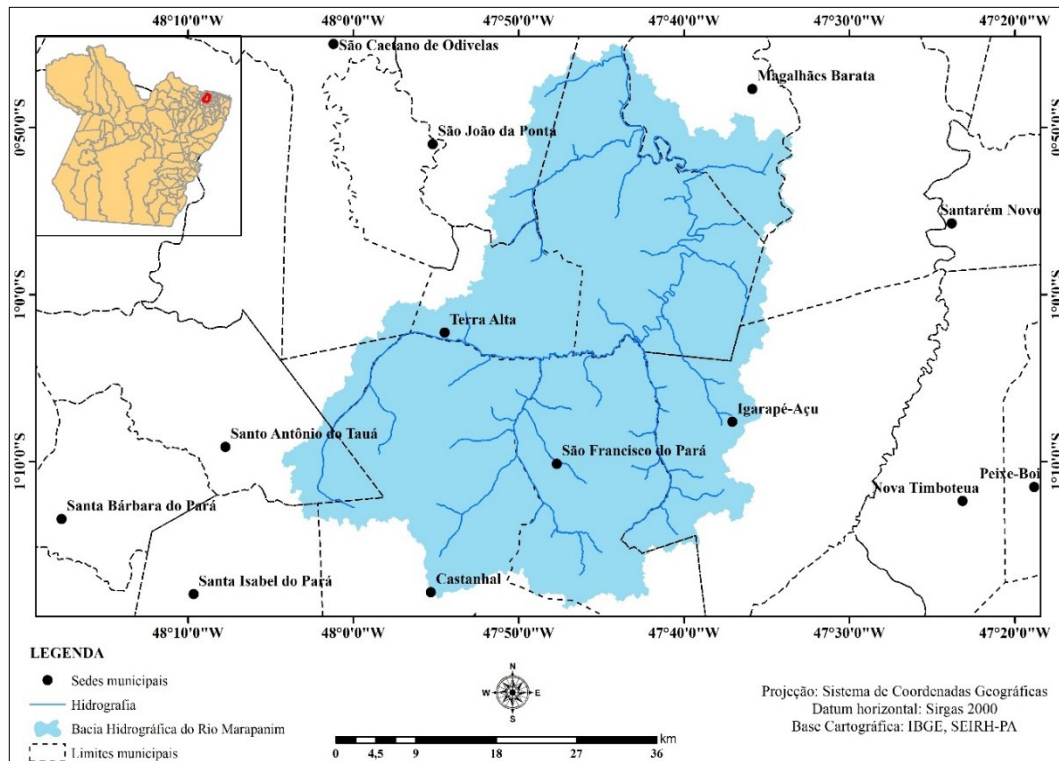


Figura 3. Localização da Bacia Hidrográfica do Rio Marapanim – BHRM. **Fonte:** O AUTOR.

De acordo com o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2021), a população estimada para os municípios que integram a BHRM no ano de 2021 foi de 558.722 habitantes. A área da BHRM é um dos lugares da região Amazônica com ocupação mais antiga, onde começou a ser povoado inicialmente na costa litorânea com destino ao interior (BENTES et al., 2021).

O clima da BHRM é classificado como tropical úmido ou subúmido – Am, com temperatura média ao longo do ano de 28 °C e umidade relativa do ar entre 80% e 85% (CIRILO; DE ALMEIDA, 2020). Na área da BHRM a precipitação pluviométrica anual é elevada, com duas estações bem definidas, uma chuvosa que ocorre entre os meses de dezembro a maio e outra menos chuvosa de junho a novembro (SANTOS et al., 2020).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para determinação das notas de cada classe das variáveis que integram o Índice de Risco à Inundação (IRI) foram considerados valores de referências utilizados na literatura. Logo, as notas atribuídas aos atributos das variáveis do IRI foram adaptadas do estudo realizado por Crepani et al. (2001), conforme apresentado na Tabela 4.

Tabela 4. Valores de vulnerabilidade empregadas aos atributos das variáveis do IRI.

Altitude (m)
REVISTA GEONORTE, V.14, N.44, p.127-151, 2023.
(ISSN 2237 - 1419)

Classes de altitude (m)	Nota
< 20	1,0
20 – 29,5	1,1
29,5 – 39	1,2
39 – 48,5	1,3
48,5 – 58	1,4
58 – 67,5	1,5
67,5 – 72	1,6

Declividade	
Classes de declividade (%)	Nota
< 2	1,0
2 – 6	1,5
6 – 20	2,0
20 – 50	2,5

Pedologia	
Classes de solo	Nota
Gleissolo	3,0
Latossolo	1,0
Neossolo	3,0

Uso do solo	
Classes de uso do solo	Nota
Área não observada	2,2
Área urbana	2,8
Agricultura anual	3,0
Desflorestamento	3,0
Floresta	1,7
Hidrografia	3,0
Mineração	2,0
Mosaico de ocupações	2,6
Não floresta	2,5
Outros	2,7
Pasto limpo	2,8
Pasto sujo	2,7
Reflorestamento	2,5
Regeneração com pasto	1,7
Vegetação secundária	1,5

Vegetação	
Tipo de formação florestal	Nota
Corpo d'água continental	3,0
Floresta ombrófila densa aluvial	1,0
Formação pioneira com influência fluvial e/ou lacustre	3,0
Formação pioneira com influência fluviomarinha	3,0
Influência urbana	2,8
Pecuária (pastagens)	2,8
Vegetação secundária	1,5

Precipitação Pluviométrica	
Intervalo (mm/mês)	Nota
200 - 225	1,7

Fonte: Adaptado de Crepani et al. (2001).

A Figura 4 e a Tabela 5 apresentam os resultados das variáveis do IRI obtidos pelo método participativo Delphi. Assim, observou-se na primeira rodada do Método Delphi,

que nenhuma variável alcançou o percentual mínimo do coeficiente de concordância (C_c) $\geq 50\%$, sendo necessária realizar uma nova rodada.

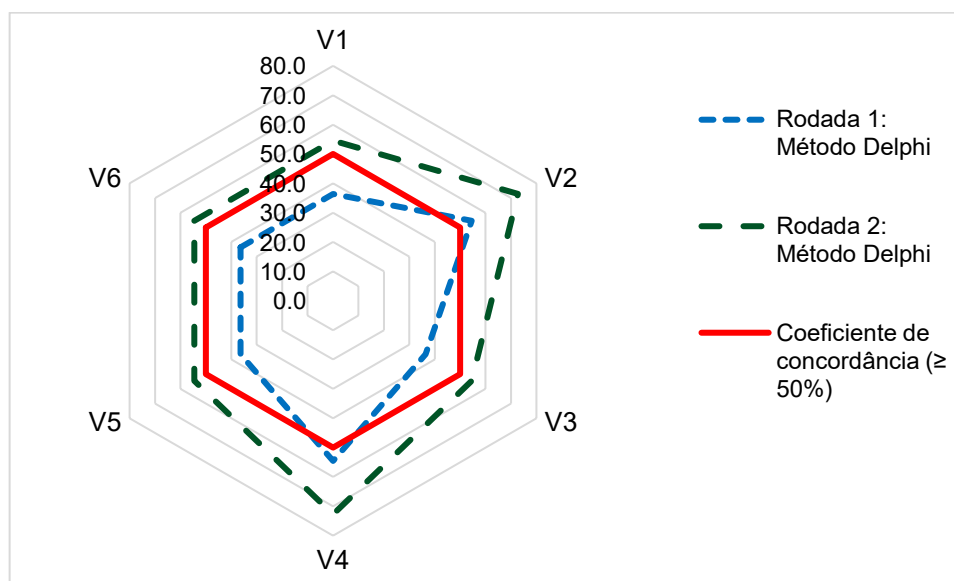


Figura 4. Resultado da avaliação da consulta do método Delphi.

Na 2ª rodada da consulta Delphi, todas as variáveis analisadas alcançaram (C_c) $\geq 50\%$, indicando que as opiniões dos experts (especialistas da área de meio ambiente, técnicos e professores) convergiram e mostrou que os resultados aumentaram em consistência entre a primeira e a segunda rodada, com destaque para as variáveis denominadas, declividade (V_2) e uso do solo (V_4), que atingiram (C_c) de 72,7%. Além disso, observou-se que as variáveis, altimetria (V_1), pedologia (V_3), vegetação (V_5) e precipitação (V_6), apresentaram resultados similares de C_c , que foi de 54,5%, respectivamente. Deste modo, supõe-se que esse resultado esteja ligado à estabilidade das respostas dos experts e à falta de novas contribuições no processo Delphi.

Tabela 5. Pesos e níveis de concordância das variáveis que compõem o IRI.

Variáveis	Rodada 1: Método Delphi		Rodada 2: Método Delphi	
	Peso	Coeficiente de concordância (C_c)	Peso	Coeficiente de concordância (C_c)
Altitude	15,0	36,4%	15,0	54,5%
Declividade	15,0	54,5%	15,0	72,7%
Pedologia	10,0	36,4%	10,0	54,5%
Uso do solo	30,0	54,5%	30,0	72,7%
Vegetação	10,0	36,4%	10,0	54,5%
Precipitação	20,0	36,4%	20,0	54,5%

Fonte: O AUTOR.

Nota-se que os pesos atribuídos às variáveis do IRI variaram, exceto para as variáveis, altimetria (V_1) e declividade (V_2), que tiveram pesos similares (15,0), bem como as variáveis, pedologia (V_3) e vegetação (V_5), em que também os experts julgaram que as variáveis têm pesos semelhantes (10,0). Pode-se depreender, pelos dados apresentados na Tabela 5, que as variáveis, uso do solo (V_4) e precipitação (V_6)

apresentaram os maiores pesos com 30,0 e 20,0, respectivamente. Por outro lado, as variáveis, pedologia (V_3) e vegetação (V_5) tiveram os menores pesos (10,0). Assim, pode-se verificar que a diferença entre o maior e o menor peso determinado para as variáveis do IRI foi de 20,0, mostrando uma razoável variação nos pesos.

As Figuras 5, 6, 7, 8, 9 e 10 mostram o resultado do processamento dos dados das variáveis de entrada do IRI, as quais possibilitaram a construção do mapa de risco à inundação na área de estudo.

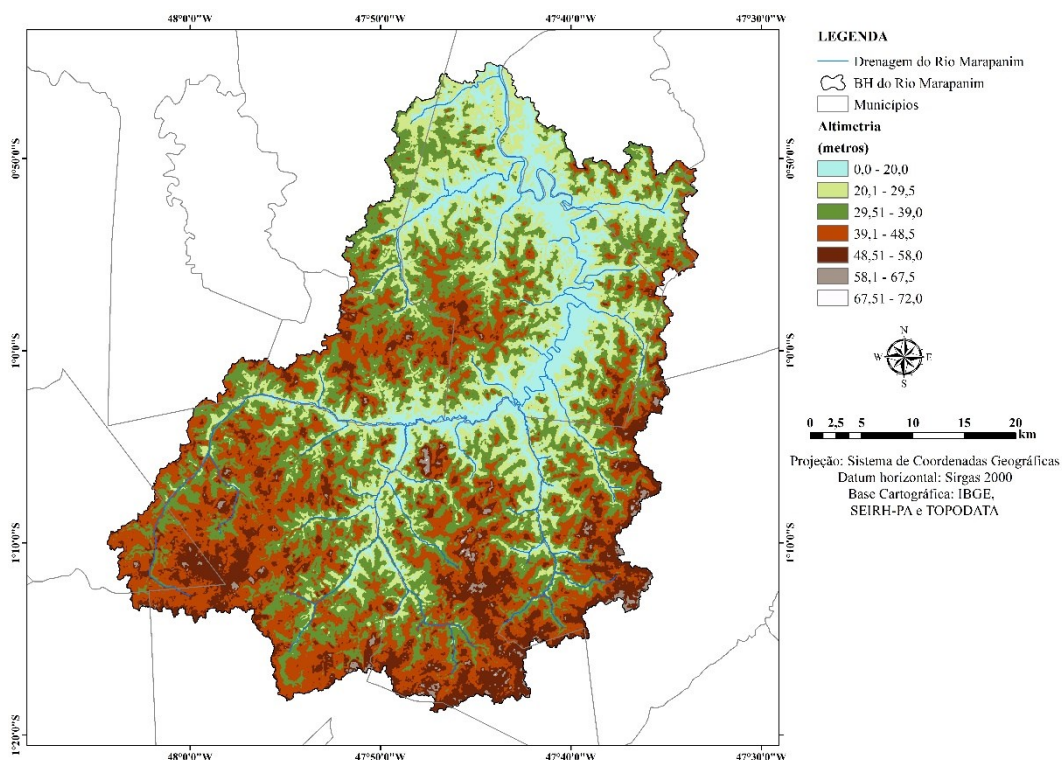


Figura 5. Mapa de altimetria da bacia hidrográfica do Rio Marapanim – PA. **Fonte:** O AUTOR.

No tocante a variável altimetria, pode-se constatar pela Figura 5, que a área da BHRM tem uma variação de 0,0 a 72,0 metros de altitude. Além disso, verifica-se que 29,83% da área está entre os intervalos de 29,5 – 39,0 metros, representando cerca de 610,79 km² (Tabela 6). Os resultados também mostram que a área da BHRM é predominantemente plana.

Para Tucci e Bertoni (2003) superfícies planas próximas à drenagem, são classificadas como zonas de amortecimento para enchentes. No entanto, áreas com baixa altitude, a velocidade média do escoamento superficial da água é reduzida na calha do rio, o que, ligada à pequena sinuosidade do rio, ocasiona menor tempo de concentração (CRISPIM et al., 2021).

Tabela 6. Distribuição das classes de altitude na BHRM – PA.

Classes de altitude (m)	Área (km ²)	(%)
< 20	240,27	11,73
20 – 29,5	402,74	19,67

29,5 – 39	610,79	29,83
39 – 48,5	552,95	27,01
48,5 – 58	221,97	10,84
58 – 67,5	18,56	0,91
67,5 – 72	0,28	0,01
Total	2047,56	100,00

Fonte: O AUTOR.

Quanto a variável declividade, pode-se observar que na área da BHRM existe uma variação de declividade de 0,0 a 27,4 % (Figura 6), indicando ocorrência de áreas planas até fortemente ondulada, conforme classificação proposta pela EMBRAPA (2018). As áreas planas (0 a 2%) ocupam cerca de 26,52% da área total da BHRM, enquanto a classe de relevo suavemente ondulada (2 – 6 %) representa aproximadamente 59,24% da área da bacia, ocupando mais da metade da área com uma extensão de 1.212,94 km². Constatou-se, ainda, que 14,23 % da área correspondem ao relevo ondulado (Tabela 7).

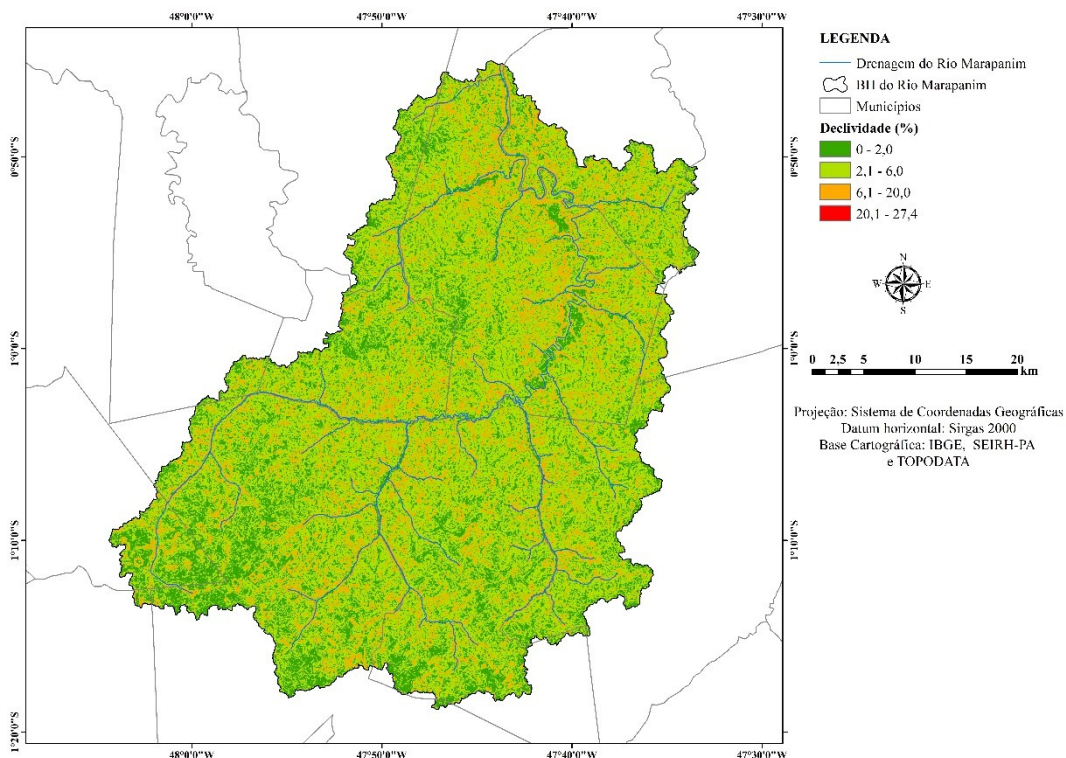


Figura 6. Mapa de declividade da bacia hidrográfica do Rio Marapanim – PA. Fonte: O AUTOR.

De acordo com Lorenzon et al. (2015) em áreas com declividade mais acentuada (> 45%), existe a possibilidade de acontecer picos de enchentes, visto que a água oriunda da precipitação pluviométrica se concentra mais rápida nos cursos dos rios. No entanto, os resultados mostraram que as classes de declividade fortemente ondulada ou montanhosa (20 – 50%) corresponde somente 0,012 km² da área da bacia. Áreas com menores declividades (relevo plano) contribuem para a infiltração

da água no solo, diminuindo o escoamento superficial e colaborando na redução da taxa de erosão (SILVA; MACHADO, 2014).

Tabela 7. Distribuição das classes de declividade da BHRM – PA.

Classes de declividade (%)	Área (km ²)	(%)
< 2	543,06	26,52
2 – 6	1212,94	59,24
6 – 20	291,44	14,23
20 – 50	0,12	0,01
Total	2047,56	100,00

Fonte: O AUTOR.

A classificação da variável pedologia na área da BHRM mostrou a ocorrência de três tipos de solos: Gleissolo, Latossolo e Neossolo (Figura 7). A classe de solo denominada Latossolo é predominante, correspondendo cerca de 92,74% da área da BHRM (Tabela 8). Os solos da classe Latossolos são característicos das regiões equatoriais e tropicais, ocorrendo em áreas de relevo plano e suavemente ondulado (EMBRAPA, 2018).

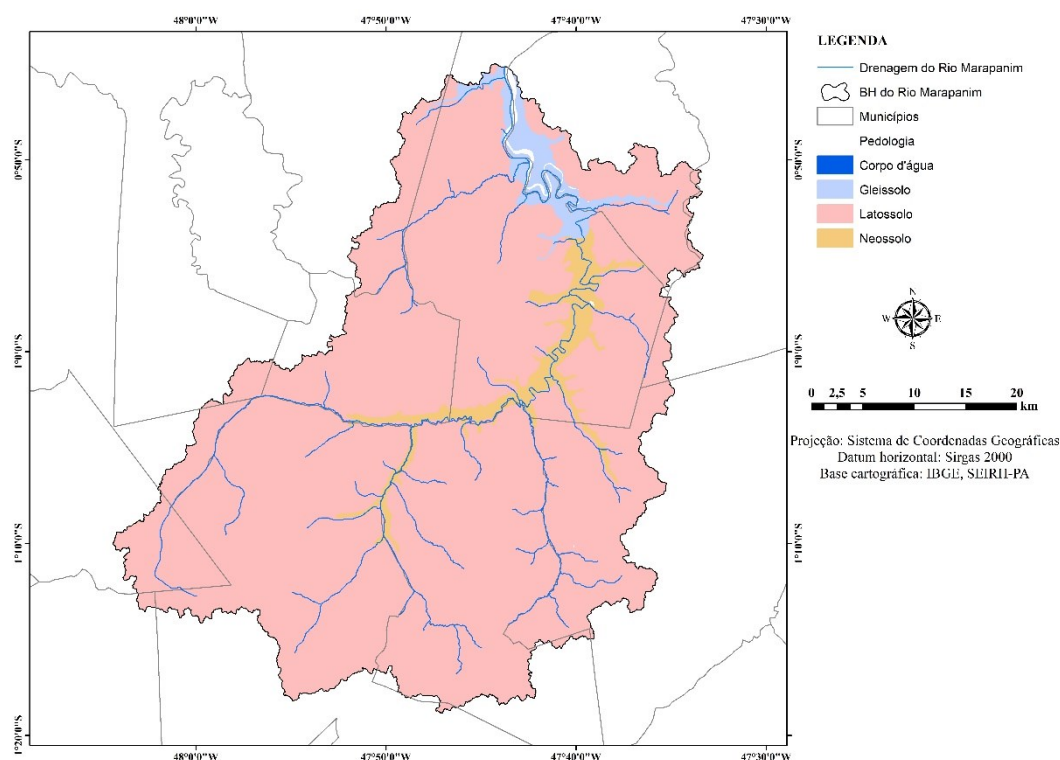


Figura 7. Mapa de pedologia da bacia hidrográfica do Rio Marapanim – PA. Fonte: O AUTOR.

Os latossolos são resultantes a partir dos mais diversos tipos de rochas e sedimentos sob condições de clima e tipos de vegetação. Além disso, essa classe é composta por solos que possuem avançado estágio de intemperismo, são bastante profundos, fortemente ácidos, possuem baixa saturação por bases e bem drenados (EMBRAPA,

2018). Além disso, os Latossolos são solos menos sujeitos à ocorrência de movimento de massa e erosões, posto que diminuem o escoamento superficial (SILVA; MACHADO, 2014).

Tabela 8. Classes de solo, área e percentual.

Classes de solo	Área (km ²)	(%)
Água	9,56	0,47
Gleissolo	62,18	3,04
Latossolo	1898,95	92,74
Neossolo	76,88	3,75
Total	2047,56	100,00

Fonte: O AUTOR.

Os resultados concernentes as classes de solos predominantes na BHRM foram corroboradas pelo estudo realizado por Santos et al. (2020), os quais constataram a predominância de solos das classes Latossolos, bem como observaram a ocorrência das classes de solos Gleissolo e Neossolo na Bacia Hidrográfica do Rio Marapanim – PA.

O mapa de uso do solo na área de abrangência da BHRM apresenta a ocorrência de quinze classes de uso do solo, tais como: agricultura anual, área não observada (nuvens), área urbana desflorestamento, floresta, hidrografia, mineração, mosaico de ocupações, não floresta, outros (afloramentos rochosos), pasto limpo, pasto sujo, reflorestamento, regeneração com pasto e vegetação secundária (Figura 8).

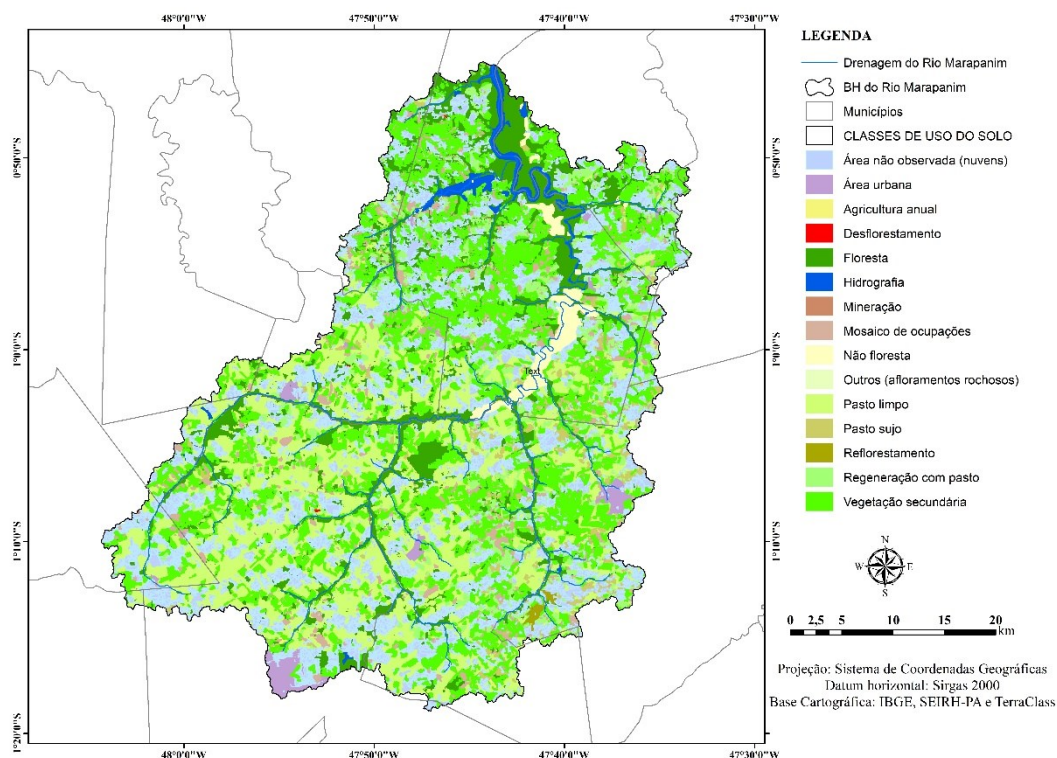


Figura 8. Mapa de uso do solo da bacia hidrográfica do Rio Marapanim – PA. Fonte: O AUTOR.

Observou-se que os usos do solo predominantes na BHRM foram os seguintes: área não observada (27,18%), pasto limpo (20,22%), vegetação secundária (19,16%) e floresta (17,66%), conforme apresentado na Tabela 9. Andrade et al. (2021) observaram que as principais classes de uso e cobertura do solo em 2017, em Áreas de Preservação Permanente (APP) localizadas na área da BHRM foram a vegetação secundária (37,81%) e floresta densa (26,22%), respectivamente. Além disso, constataram um crescimento da atividade agropecuária entre os anos 1988 e 2017, de 3,92% a 15,48%, respectivamente, nas áreas de APP da bacia.

Santos et al. (2020) realizaram um estudo sobre o uso da terra e conservação da biodiversidade na BHRM – PA, utilizando dados do projeto TerraClass, referente aos mapeamentos dos anos de 2004 a 2008, os quais constataram que as classes de uso de cobertura do solo, mosaico de ocupações e pasto constituíam a maioria da paisagem da área da bacia, associando a predominância dessas classes as atividades econômicas desenvolvidas na região como, agricultura e pecuária responsáveis pela economia local.

Tabela 9. Distribuição das classes de uso do solo na BHRM – PA

Classes de uso do solo	Área (km²)	(%)
Agricultura anual	1,7905	0,09
Área não observada	556,45	27,18
Área urbana	27,873	1,36
Desflorestamento	0,4133	0,02
Floresta	361,54	17,66
Hidrografia	22,28	1,09
Mineração	0,0661	0,00
Mosaico de ocupações	111,18	5,43
Não floresta	30,853	1,51
Outros	0,0939	0,00
Pasto limpo	413,95	20,22
Pasto sujo	31,968	1,56
Reflorestamento	2,9408	0,14
Regeneração com pasto	93,849	4,58
Vegetação secundária	392,3	19,16
Total	2047,55	100,00

Fonte: TerraClass (2014).

Quanto ao mapa de vegetação da área de abrangência da BHRM, observa-se a ocorrência de sete classes de tipos de formação, por exemplo, Corpo d'água continental, Floresta Ombrófila Densa Aluvial, Formação Pioneira com influência fluvial e/ou lacus, Formação Pioneira com influência fluviomarinha, Influência urbana, Pecuária (pastagens) e Vegetação Secundária (Figura 9).

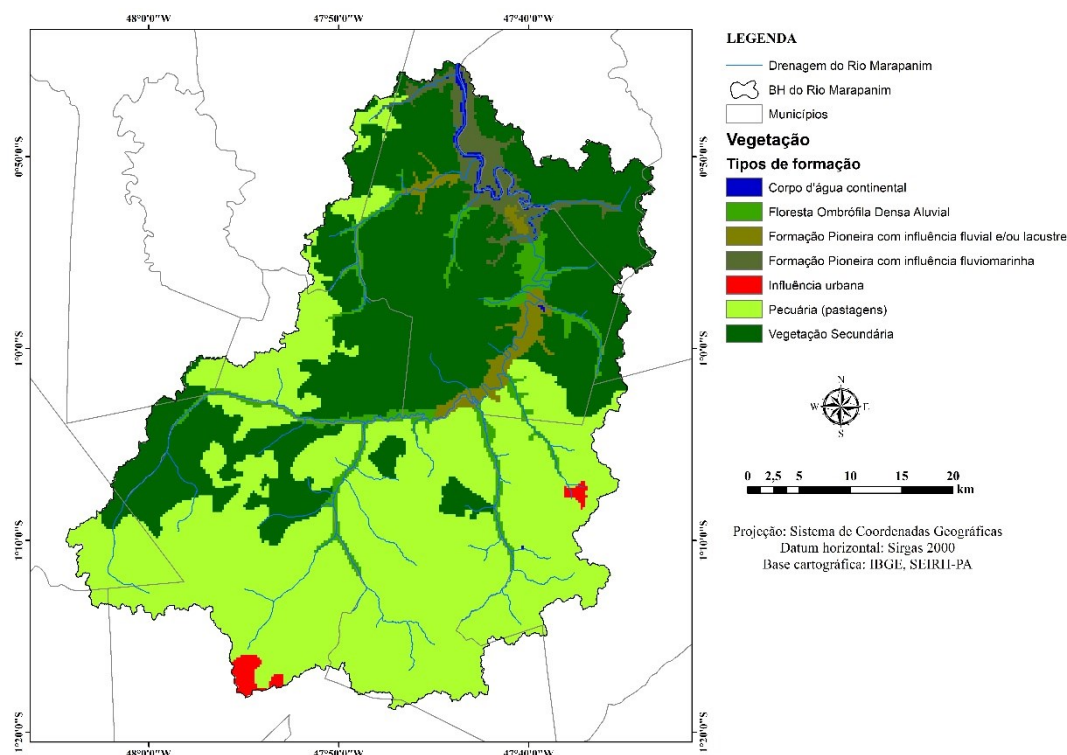


Figura 9. Mapa de vegetação da bacia hidrográfica do Rio Marapanim – PA. **Fonte:** O AUTOR.

Na Tabela 10, observa-se que o tipo de formação florestal predominante é a pecuária (pastagem) 49,74% (1.018,5 km²) da área da pesquisa, seguida da vegetação secundária com 39,72% (813,2 km²). O predomínio da classe agropecuária (pastagem) é retrato da forma de ocupação e povoamento desordenado da mesorregião do Nordeste Paraense, em que os donos de grandes propriedades de terras destinavam investimentos à atividade agropecuária (ALMEIDA et al., 2014).

Tabela 10. Distribuição das classes de uso do solo na BHRM – PA.

Formação vegetal	Área (km ²)	(%)
Corpo d'água continental	10,725	0,52
Floresta Ombrófila Densa Aluvial	87,702	4,28
Formação Pioneira com influência fluvial e/ou lacus	42,047	2,05
Formação Pioneira com influência fluviomarinha	62,31	3,04
Influência urbana	13,08	0,64
Pecuária (pastagens)	1018,5	49,74
Vegetação Secundária	813,2	39,72
Total	2.047,56	100,00

Fonte: O AUTOR.

Para avaliar o comportamento da variabilidade da precipitação pluviométrica na bacia hidrográfica do Rio Marapanim, foram distribuídas a precipitação média mensal anual (mm/mês) para o período de 1982 a 2021 (39 anos), mostradas na Figura 10.

Conforme os resultados obtidos pelos dados de precipitação pelo GPCC, constata-se que as maiores precipitações médias mensais anuais foram registradas na parte norte da BHRM, em contrapartida, as menores precipitações foram observadas no sentido sudeste da bacia. Os resultados alcançados também mostram que intensidade pluviométrica ficou entre o intervalo de 200 – 225 (mm/mês), indicando valores médios de precipitação.

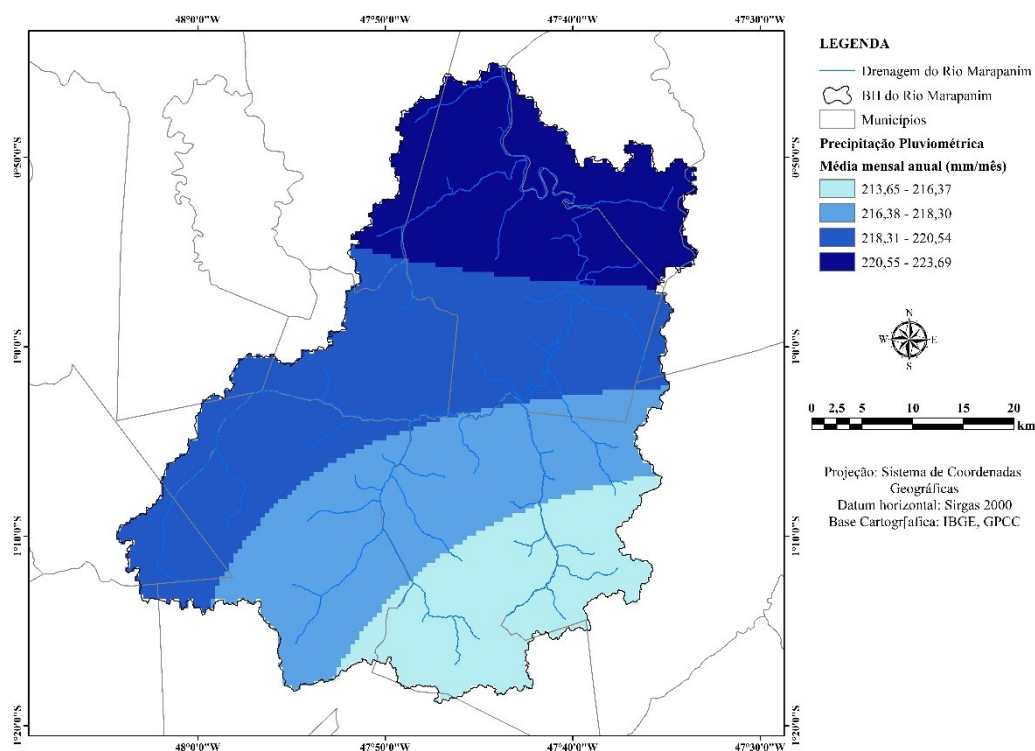


Figura 10. Mapa de precipitação da bacia hidrográfica do Rio Marapanim – PA. **Fonte:** O AUTOR.

A integração da análise de decisão multicritério (ADMC) com a aplicação da ferramenta álgebra de mapas de um software de sistema de informação geográfica (SIG) possibilitaram a visualização e manipulação simultânea dos dados IRI e suas variáveis, gerando um mapa que mostra a distribuição espacial da classificação de risco de inundação na área da BHRM (Figura 11). Assim, o mapa que foi elaborado apresenta o grau de probabilidade de risco à inundação de forma visualmente clara na área da BHRM.

Pode-se constatar que na área da BHRM existem classificações distintas, variando de risco muito baixo a médio. A classe que representa o grau de probabilidade de inundação muito baixo representa cerca de 97,39%, correspondendo em 1994,20 km² da área da bacia (Tabela 11). Além disso, observou-se no mapa, que retrata o risco à inundação, que uma pequena área de 0,20 km² da BHRM apresenta um grau de probabilidade médio de inundação, onde está localizado um trecho do rio Marapanim em direção ao município de mesmo nome.

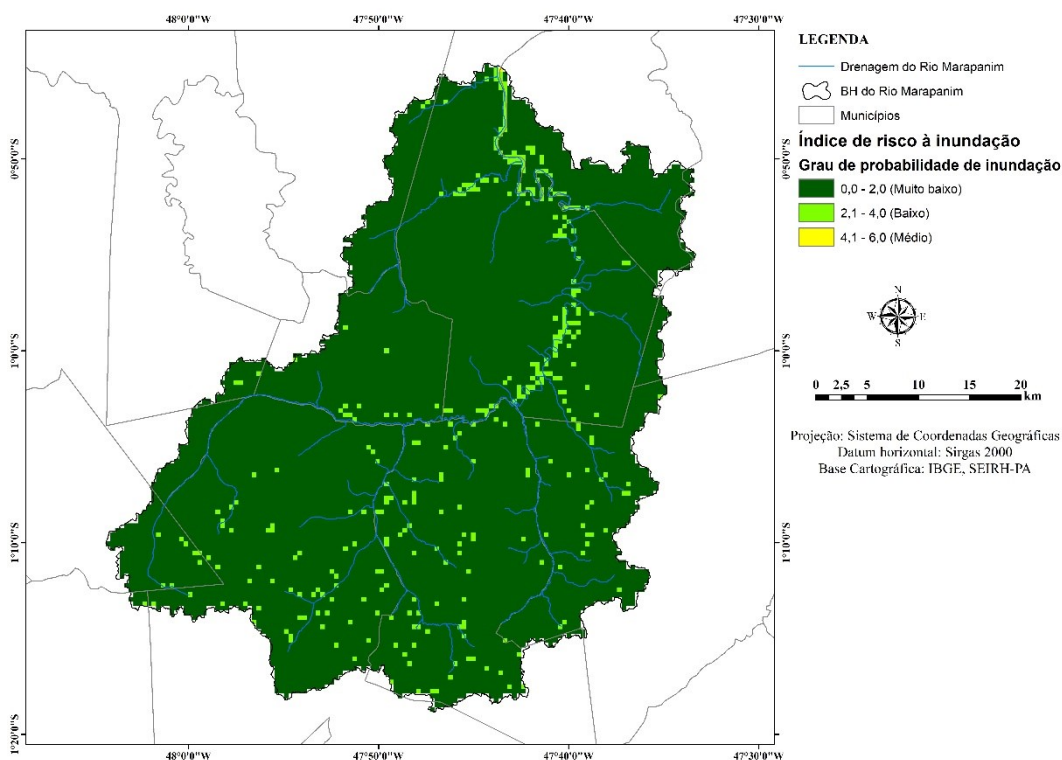


Figura 11. Mapa de risco a inundação da bacia hidrográfica do Rio Marapanim – PA. **Fonte:** O AUTOR.

A predominância de classes de relevo plano e suavemente ondulado, bem como a inexistência de declividade acentuada na área da bacia colabora no processo de absorção da água da chuva, enquanto em áreas mais acentuadas tende a contribuir para um maior escoamento superficial da água e pequenas taxas de infiltração (GARCIA et al., 2020).

Outros aspectos que possivelmente colaboraram para a área da BHRM apresentar um grau de probabilidade de inundação muito baixo pode estar associado ao tipo da classe de solo, visto que os Latossolos são predominantes na área, e essa classe apresenta alta permeabilidade à água. Além disto, cerca de 36,82% da área possui cobertura vegetal (floresta e vegetação secundária) contribuindo na interceptação das gotículas de água da chuva antes de atingir o solo e ajudando no processo de infiltração e escoamento superficial da água.

Tabela 11. Distribuição das classes do Índice de Risco à Inundação na BHRM – PA.

Classes do IRI	Área (km ²)	(%)
Muito baixo	1994,20	97,39
Baixo	53,16	2,60
Médio	0,20	0,01
Total	2047,56	100

Fonte: O AUTOR.

CONCLUSÃO

O artigo mostra uma proposta de ferramenta de abordagem participativa e multicritério (método Delphi) para avaliar áreas com risco de inundação. Assim, foi realizado um estudo de caso na Bacia Hidrográfica do Rio Marapanim, Pará, Brasil para validar o índice. A técnica Delphi mostrou-se ser um método válido para calcular as variáveis do índice de risco à inundação (IRI). A subjetividade na mensuração dos pesos foi atenuada com a contribuição e divisão de responsabilidades de especialistas de várias áreas do conhecimento e com distintas experiências profissionais.

As principais contribuições do estudo foram a elaboração de uma importante ferramenta para mapear áreas com risco à inundação, que pode servir de suporte à tomada de decisão para o controle de inundações, bem como o IRI mostra ser um modelo que pode colaborar no processo decisório de forma robusta e bem estruturado, considerando a combinação da análise de decisão multicritério (ADM), sistema de informação geográfica (SIG) e o método de consulta participativa para identificar áreas

Para estudos futuros, a recomendação é incluir a participação de mais especialistas na área de ciências agrárias, ciências ambientais, engenharia, economia, geociências e serviço social no método participativo, para fortalecer e tornar o índice mais robusto. Para tornar o IRI de grande utilidade para os tomadores de decisão, tal comparação de questões de risco à inundação precisa ser estendida em outras bacias hidrográficas ou municípios do estado do Pará, o que será realizado em um estudo futuro para realizar estudos comparativos para essa espacialidade.

CONTRIBUIÇÕES DOS AUTORES

Concepção: Diego Lima Crispim. **Metodologia:** Diego Lima Crispim. **Análise formal:** Diego Lima Crispim. **Pesquisa:** Diego Lima Crispim. **Recursos:** Diego Lima Crispim. **Preparação de dados:** Diego Lima Crispim. **Escrita do artigo:** Diego Lima Crispim. **Revisão:** Diego Lima Crispim. **Supervisão:** Diego Lima Crispim. **Aquisição de financiamento:** Diego Lima Crispim. Todos os autores leram e concordaram com a versão publicada do manuscrito.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, C.; SILVA, M.; LOBO, F. DE L.; FARIAS, T. P.; GOMES, A.; COSTA, L. C.; ESCADA, M. I. S. TerraClass: Classificação dos padrões de uso e cobertura da terra da Amazônia Legal. In: EMILIO, T. LUIZÃO F. (Orgs). **Cenários para a Amazônia:** clima, biodiversidade e uso da terra. Manaus: Editora INPA, 2014.

ALMEIDA, L. Q. de; CARVALHO, P. F. de. Representações, riscos e potencialidades de rios urbanos: análise de um (des)caso histórico. **Caminhos da Geografia**, Uberlândia, v. 11, n. 34, p. 145-161, jul. 2010.

- ALVES, P. B. R.; TSUYUGUCHI, B. B.; RUFINO, I. A. A.; FEITOSA, P. H. C. Mapping of flood susceptibility in campina grande county-pb: a spatial multicriteria approach. **Boletim de Ciências Geodésicas**, v. 24, p. 28-43, 2018.
- ANDRADE, A. S.; RIBEIRO, S. DA C. A.; PEREIRA, B. W. DE F.; BRANDÃO, V. V. P.; FERREIRA, B. M. Dinâmica da paisagem da bacia hidrográfica do Rio Marapanim, Pará, Brasil. **Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais**, v. 11, n. 4, p. 395-405, 2020.
- ANDRADE, A. S.; RIBEIRO, S. C. A.; PEREIRA, B. W. F.; BEZERRA, P. E. S.; BRANDÃO, V. V. P. Conflito de uso do solo em Áreas de Preservação Permanente da Bacia Hidrográfica do rio Marapanim, nordeste do Pará. **Ciência e Natura**, v.43, e20, 2021.
- BENTES, N. M. S.; ALVES, S. J. do C.; DA CUNHA, R. F. A governança participativa da água no comitê da bacia hidrográfica do Rio Marapanim na Amazônia. **Jus Scriptum's International Journal of Law**, v. 6, n. 2, p. 109-132, 2021.
- BLOCH, R.; JHA, A.K.; LAMOND, J. **Cities and flooding: A guide to integrated urban flood risk management for the 21st century**. Washington: World Bank, 2012. 638 p.
- 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**, v.12, n.01, p. 124-138, 2019.
- CASTRO, M. N.; CASTRO, R. M.; DE SOUZA, C. A importância da mata ciliar no contexto da conservação do solo. **Revista Uniaraguaia**, v. 4, n. 4, p. 230-241, 2013.
- CIRILO, B. B.; DE ALMEIDA, O. T. Os limites à atuação do poder público municipal na gestão de recursos hídricos das bacias hidrográficas do rio Marapanim e do rio Itacaiúnas, estado do Pará. **Geografares**, n. 31, p. 268-292, 2020.
- COSTA, C. W.; DUPAS, F. A.; CESPEDES, J. G.; SILVA, L. F. Monitoramento da expansão urbana, cenários futuros de crescimento populacional e o consumo de recursos hídricos no município de São Carlos, SP. **Geociências**, v. 32, n.1, p. 63-80, 2013
- CREPANI, E.; DE MEDEIROS, J. S.; HERNANDEZ FILHO, P.; FLORENZANO, T. G.; DUARTE, V.; BARBOSA, C. C. F. **Sensoriamento remoto e geoprocessamento aplicados ao zoneamento ecológico-econômico e ao ordenamento territorial**. São José dos Campos: INPE, 2001.
- CRISPIM, D. L.; BEZERRA, P. E. S.; LIMA, G. V. B. A.; FERNANDES, L. L. Caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do Igarapé Quarenta Horas no município de Ananindeua, Pará. **Journal of Hyperspectral Remote Sensing**, v. 11, n. 1, pág. 1-10, 2021.
- CRISPIM, D. L.; PIMENTEL DA SILVA, G. D.; FERNANDES, L. L. Rural water sustainability index (RWSI): an innovative multicriteria and participative approach for rural communities. **Impact Assessment and Project Appraisal**, v. 39, n. 4, p. 320-334, 2021.

CRISPIM, D. L.; FERNANDES, L. L. Application of the Rural Water Sustainability Index (RWSI) in Amazon rural communities, Pará, Brazil. **Water Policy**, v. 24, n. 2, p. 282-304, 2022.

CRISPIM, D. L.; PROGÊNIO, M. F.; FERNANDES, L. L. Proposal for a Tool for Assessing Access to Water in Rural Communities: a Case Study in the Brazilian Semi-arid. **Environmental Management**, v. 69, n. 3, p. 529-542, 2022.

DA COSTA, M. P. F.; BEZERRA, P. E. S.; OLIVEIRA, R. S. Vulnerabilidade erosiva da bacia hidrográfica do rio peixe e mudanças no uso da terra no município de Uruará, Pará. **Boletim Amazônico de Geografia**, Belém, v. 02, n. 04, p. 121-131, jul./dez. 2015.

EMBRAPA. EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro de Pesquisas de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 5. ed. Brasília, DF: Embrapa Solos, 2018. 356p.

FERRAZ, C. M. L.; VALADÃO, R. C.; PINTO, D. B. F.; ALMEIDA, R. A. Inundações e alagamentos em Teófilo Otoni, Minas Gerais, Brasil, segundo indicadores geomorfológicos. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 23, n. 4, p. 1893-1910, 2022.

GARCIA, Y. M.; CAMPOS, S.; TAGLIARINI, F.S.N.; CAMPOS, M.; RODRIGUES, B.T. Declividade e potencial para mecanização agrícola da bacia hidrográfica do ribeirão pederneiras-pederneiras/sp. **Revista Brasileira de Engenharia de Biosistemas**, v. 14, n. 1, p. 62-72, 2020.

GUIMARÃES, N. A.; PENHA, J. W. DA. Mapeamento das áreas de risco de inundação com a utilização do modelo digital de elevação hidrologicamente consistente: estudo de caso em Muriaé. **Revista Agrogeoambiental**, v. 1, n. 2, p. 46-52, 2009. <https://doi.org/10.18406/2316-1817v1n2200976>.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **População estimada [2021]**. Rio de Janeiro: IBGE, 2022. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/>. Acesso em: 02 jul. 2022

JUWANA, I.; MUTIL, N.; PERERA, B. Indicator-based water sustainability assessment a review. **Science of the total environment**, v. 438, p. 357-371, 2012.

LEE, E. S.; LEE, D. K.; KIM, S. H.; LEE, K. C. Design strategies to reduce surface water flooding in a historical district. **Journal of Flood Risk Management**, v. 11, p. S838-S854, 2018.

LIMA, R. E. DE; MIGUEZ, L. A. L.; ACORDES, F. A.; DA FONSECA, M. N. Proposta metodológica para mapeamento de risco de inundação no município de Curitiba (Paraná). **Caminhos de Geografia**, v. 22, n. 82, p. 01-12, 2021.

LORENZON, A. S.; FRAGA, M. D. S.; MOREIRA, A. R.; ULIANA, E. M.; SILVA, D. D. D.; RIBEIRO, C. A. A. S.; BORGES, A. C. Influência das características morfométricas da bacia hidrográfica do rio Benevente nas enchentes no município de Alfredo Chaves-ES. **Revista Ambiente & Água**, v. 10, p. 195-206, 2015.

- MAGALHÃES, I. L.; THIAGO, C. R.; AGRIZZI, D. V.; DOS 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 Geociências**, v. 8, n. 2, p. 63-70, 2011.
- MARQUES, J. B. V.; DE FREITAS, D. Método DELPHI: caracterização e potencialidades na pesquisa em Educação. **Pro-Posições**, v. 29, n. 2, p. 389-415, 2018.
- MARTH, J. D.; MOURA, N. S. V.; KOESTER, E. Estudo da suscetibilidade à inundação com base em análise geomorfológica, bacia hidrográfica do Arroio Santa Isabel, região costeira do Rio Grande do Sul, Brasil. **Revista do Instituto Geológico**, São Paulo, v. 37, n. 1, p. 13-28, 2016
- RAHMATI, O.; POURGHASEMI, H. R.; ZEINIVAND, H. Flood susceptibility mapping using frequency ratio and weights-of-evidence models in the Golastan Province, Iran. **Geocarto International**, v. 31, n. 1, p. 42-70, 2016.
- SANTIAGO, L. S.; DIAS, S. M. F. Matriz de indicadores de sustentabilidade para a gestão de resíduos sólidos urbanos. **Eng. Sanit. Ambient.**, v. 17, n. 2, p. 03-212, 2012.
- SANTOS, L. B.; BARROS, M. N. R.; COELHO, A.; FENZL, N. Análise da Dinâmica do Uso da Terra na Bacia Hidrográfica do Rio Marapanim, Pará. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 13, n. 04, p. 1935-1952, 2020.
- SILVA, J. C. C.; LIMA, A. M. M.; HOLANDA, B. S.; MOREIRA, F. da S. DE A.; CAVALCANTE, J. da C. Índice de sustentabilidade nas sedes municipais da bacia hidrográfica do rio Marapanim (Pará/Brasil). **Revista de Gestão Ambiental e Sustentabilidade**, v. 10, n. 1, p. 18300, 2021.
- SILVA, V. C. B.; MACHADO, P. de S. SIG na análise ambiental: susceptibilidade erosiva da bacia hidrográfica do córrego Mutuca, Nova Lima, Minas Gerais. **Revista de Geografia**, v. 31, n. 2, 2014.
- SCARPARO, A.F; LAUS, A.M; AZEVEDO, A.L.C.S; FREITAS, M.R.I; GABRIEL, C.S; CHAVES, L.D.P. Reflexões sobre o uso da técnica Delphi em pesquisas na enfermagem. **Revista Rene**, v. 13, n. 1, p. 242-251. 2012
- SHAHID, S. U.; LQBAL, J.; KHAN, S, J. A comprehensive assessment of spatial interpolation methods for the groundwater quality evaluation of Lahore, Punjab, Pakistan. **NUST Journal of Engineering Sciences**, v. 10, n. 1, p. 1-13, 2017.
- TERRACLASS. **Download de Dados Cartográficos** – Arquivos shapefiles. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) e Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). Belém, 2014. Disponível em: http://www.inpe.br/cra/projetos_pesquisas/terraclass2014.php. Acesso em: 05 maio 2022.
- TUCCI, C. E. M.; BERTONI, J. C. **Inundações Urbanas na América do Sul**. 1. ed. Porto Alegre: Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 2003.

WRIGHT, J. T. C.; GIOVINAZZO, R. A. Delphi – uma ferramenta de apoio ao planejamento prospectivo. **Caderno de Pesquisas em Administração**, v. 1, n. 12, p. 1-12, 2000.



Revista Geonorte, Programa de Pós-Graduação em Geografia. Universidade Federal do Amazonas. Manaus-Brasil. Obra licenciada sob Creative Commons Atribuição 3.0