



Mapeamento de áreas suscetíveis a inundações na Sub-Bacia Hidrográfica Tocantins Baixo, Brasil.

Mapping of significant areas subject to flooding in the Tocantins Baixo Sub-Hydrographic Basin, Brazil.

Autor1¹ e Autor2² **Preencher após aceite**

¹ Instituição, Cidade, País. E-mail. **Preencher após aceite**
ORCID: <https://orcid.org/0000-0000-0000-0000> **Preencher após aceite**

² Instituição, Cidade, País. E-mail. **Preencher após aceite**
ORCID: <https://orcid.org/0000-0000-0000-0000> **Preencher após aceite**

Recebido: mm.aaaa | Aceito: mm.aaaa

Resumo: A ocorrência de enchentes nas cidades brasileiras tem sido um evento recorrente, sendo uma das principais causas de morte por fenômenos naturais no Brasil, além de causar danos materiais significativos. Devido às mudanças climáticas e ao desenvolvimento urbano, a frequência e a magnitude das inundações aumentaram exponencialmente, tornando necessária a gestão de riscos e a mitigação do problema. Nesse contexto, a elaboração de mapas de suscetibilidade a inundações torna-se uma importante ferramenta de auxílio à prevenção de acidentes e gestão de inundações. Este trabalho objetiva propor um índice de suscetibilidade a inundações (ISI) para mapeamento de áreas suscetíveis a inundações em um ambiente de Sistema de informação geográfica (SIG) com base na metodologia de análise multicritério (MCA) utilizando o método Delphi combinado com o método do Processo de hierarquia ponderada (AHP), considerando características geoambientais que influenciam no fenômeno das inundações. A metodologia foi aplicada na região da sub-bacia Baixo Tocantins (TOB), localizada próxima ao ecótono Amazônia-Cerrado, Brasil, onde áreas urbanas são frequentemente afetadas por inundações. A partir dos resultados obtidos, constatou-se que as áreas mais vulneráveis às inundações se localizaram no exutório da bacia e próximo às margens dos rios Tocantins e Araguaia, principalmente devido a proximidade da costa litorânea. Em contrapartida, as áreas consideradas como baixa e muito baixa suscetibilidade estão distribuídas a jusante da barragem da usina hidrelétrica de Tucuruí, onde há pouquíssima influência da maré. Essa abordagem pode fornecer informações úteis para avaliação de risco de inundação, especialmente para áreas de difícil acesso.

Palavras-chave: Análise multicritério. Mapa de risco. Sustentabilidade. AHP. Delphi.

Abstract: The occurrence of floods in Brazilian cities has been a recurring event, which is one of the main causes of death by natural phenomena in Brazil, in addition to causing significant material damage. Due to climate change and urban development, the frequency and magnitude of floods have increased exponentially, making the risk management and mitigation of the problem necessary. In this context, the elaboration of floods susceptibility maps becomes an important aid tool to accident prevention and floods management. This study aims to map areas for the identification of floods susceptibility based on the methodology of multicriteria analysis by the Delphi method combined with the AHP method, considering influential geoenvironmental characteristics for the phenomenon of flooding. The methodology was applied in the Tocantins Baixo sub-basin region, located near the Amazon-Cerrado ecotone region, Brazil, whose urban areas are located mainly near the watercourses, which are frequently affected by flood-related risks. Based on the results obtained, it was found that the area's most vulnerable to flooding were located at the outlet of the basin and close to the banks of the rivers, mainly due to the influence of the tide. On the other hand, the areas considered as low and very low susceptibility are distributed downstream of the dam of the Tucuruí hydroelectric plant, where there is very little tidal influence. This approach can provide useful mapping information for flood risk assessment, especially for hard-to-reach areas.

Keywords: Multicriteria analysis. Risk map. Sustainability. AHP. Delphi.

1 INTRODUÇÃO

Caracterizadas pelo processo do aumento da vazão de um curso d'água que transbordam em função de grandes precipitações, as inundações são consideradas o desastre natural mais comum no mundo, com alta mortalidade e grandes perdas econômicas (WANG et al., 2011). Dados do *Centre for Research on the Epidemiology of Disasters* indicam que no Brasil houve 11.706.309 pessoas afetadas e 3.318 mortes por inundações e enxurradas entre os anos de 1975 a 2021 (EM-DAT, 2022). A alta mortalidade envolvendo inundações se dá pela exposição da população ao fenômeno, principalmente por populações com alta vulnerabilidade social e ambiental que ocupam áreas ambientalmente protegidas, que são muito suscetíveis a inundações, se tornando ainda mais problemático se aliado a falta de medidas redutoras e preventivas (COSTA; SILVA, 2021).

Nas últimas décadas houve o aumento da frequência e magnitude das inundações, sendo associado principalmente com o aumento da urbanização nos núcleos urbanos. O crescente desenvolvimento urbano concentrado em áreas costeiras reduz a impermeabilidade do solo (GAO; GAO; KE, 2021). Nardi et al. (2018) demonstraram este processo utilizando a cidade de Roma, capital da Itália, em que a urbanização desordenada ocasionou em grandes áreas inundadas em decorrência da proximidade com o rio Tigre e Aniene. Além disso, diversas evidências indicam que as mudanças climáticas também estão diretamente relacionadas com a ocorrência de inundações, já que potencial aumento do aquecimento global representa o aumento da frequência e intensidade das precipitações, assim como a elevação do nível do mar causado pelo degelo fora de época (ECCLES et al., 2019).

Diante do exposto, faz-se necessário o uso de técnicas que contribuam para o reconhecimento e monitoramento da ocorrência das inundações, prevenindo o acontecimento desses acidentes e minimizando os danos econômicos e sociais causados. Segundo Freiman e Carvalho (2020), a modelagem espacial juntamente com a integração de dados provenientes do Sensoriamento Remoto e as ferramentas do ambiente de sistema de informação geográficas (SIG) são as técnicas mais utilizadas para a construção de cenários de avaliação que auxiliam no controle de inundações, porém para a obtenção dos dados técnicos é indispensável o trabalho de campo, que exige além de profissionais especializados, uma grande disponibilidade financeira. Nesse contexto, estudos que utilizam a análise multicritério (MCA) se tornaram cada vez mais recorrentes para o auxílio da prevenção, controle e gestão de riscos de desastres naturais devido a facilidade da obtenção de dados para a análise que é feita de maneira remota (PROGÊNIO et al., 2020).

Alves et al. (2018) utilizaram a MCA aliada ao SIG para o mapeamento da suscetibilidade a inundações em Campina Grande- PB, Brasil, considerando as componentes: declividade, altitude, vias com drenagem, distância de corpos hídricos e uso do solo, obtendo resultados compatíveis com estudos prévios de inundações elaborados para a região. Chen (2022) selecionou onze fatores condicionantes a inundações e aliado ao ambiente SIG, utilizou três métodos de análise multicritério: Processo de hierarquia ponderada (AHP), Técnica ordenada de preferência por similaridade com a solução ideal (TOPSIS) e média ponderada ordenada (OWA), para formar uma estrutura SIG-MCA. Os resultados apontaram que a abordagem da MCA aliada ao SIG é uma ferramenta de orientação poderosa e viável para a realização de estudos de gestão de inundações, podendo ser uma referência para uma gestão de risco mais eficiente.

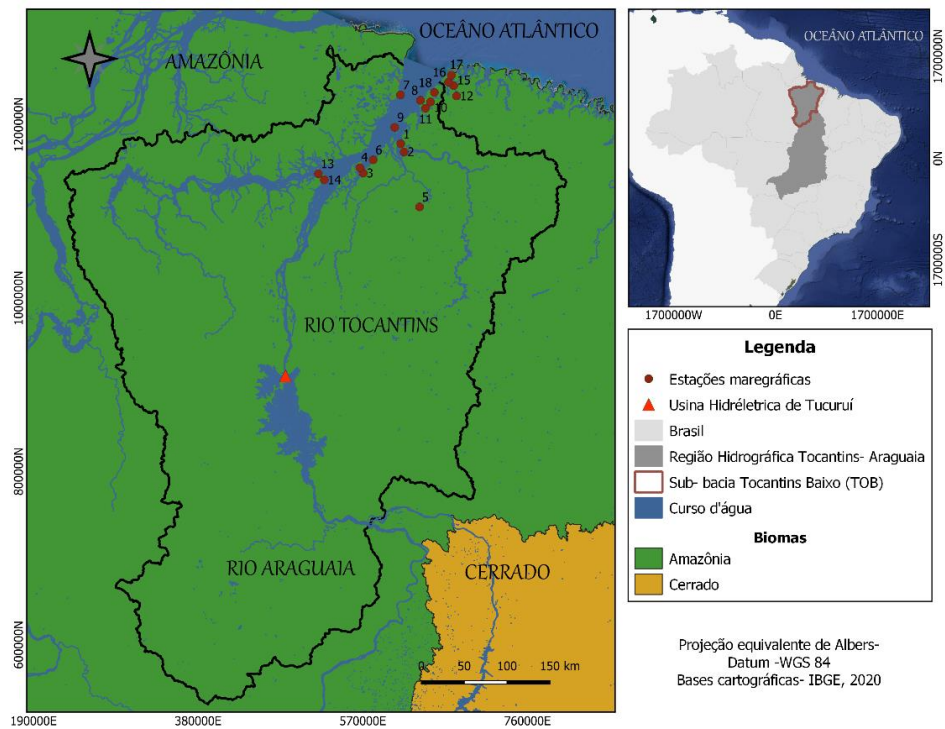
Este trabalho utiliza-se do ambiente SIG aliado a MCA, para a proposta de um índice de suscetibilidade a inundações (ISI), a partir da análise das variáveis influentes para o fenômeno da inundação, sendo essas: vegetação, pedologia, geomorfologia, geologia, hipsometria, declividade, distância euclidiana da costa, distância euclidiana da massa d'água e uso e ocupação do solo. A área escolhida para aplicação do índice foi a sub-bacia Tocantins Baixo (TOB), que se destaca pela proximidade com a costa litorânea Brasileira e pela grande influência da maré, sendo assim, as ocorrências de inundações são frequentes. Portanto, esse estudo visa contribuir com o mapeamento de áreas suscetíveis a inundações na região da sub bacia Baixo Tocantins.

1.1 Área de estudo

A sub-bacia TOB (Figura 2) pertence a região hidrográfica do rio Tocantins-Araguaia (RHTA), localizada na região norte do Brasil. Compreendendo uma área de 246.339,80 km², seu principal afluente é o rio Araguaia

que flui 1670 km antes de sua confluência com o Tocantins até desaguar na foz na Baía do Marajó (PROGÊNIO et al, 2019). O clima é tropical com temperatura média anual de 26°C e dois períodos climáticos: O inverno amazônico, a estação chuvosa nos meses de outubro a abril, com mais de 90% da precipitação anual da região; E o verão amazônico, com dias secos entre o mês de maio a setembro (ALVARES, 2013).

Figura 2 – Mapa de localização da sub-bacia Tocantins Baixo.



Fonte: Os Autores (2022).

Ainda conforme a Figura 2, mostra-se as informações de 18 estações maregráficas que foram retiradas do Observatório da Costa Amazônica (OCA), e para mais detalhes sobre as mesmas consulte a Tabela 1.

Tabela 1- Estações maregráficas da TOB

Estações maregráficas		Distância da costa (Km)
1	Base de Val de Cans- Belém PA	87,43
2	Universidade Federal do Pará - Belém, PA	95,52
3	Trapiche do IFPA - Abaetetuba, PA	139,10
4	Ilha de Caripetuba - Abaetetuba, PA	130,94
5	Acará, PA	150,31
6	Barcarena, PA	116,26
7	Joanes, PA	34,62
8	Colares, PA	31,63
9	Ilha de Cotijuba, PA	74,55
10	Furo da Laura, Jenipaubá - PA	28,34
11	Furo da Larua, Borralhos - PA	36,56
12	Rio Mocajuba - Nazaré do Mocajuba, PA	22,36
13	Rio Pará, PA	160,08
14	Rio Tocantins, PA	162,46
15	Rio Mocajuba-São Caetano de Odivelas, PA	9,77
16	Rio Mojuim- São Caetano de Odivelas, PA	5,57
17	Ilha da Rata- São Caetano de Odivelas, PA	0
18	Vigia, PA	22,34

Fonte: Adaptado de OCA (2022).

Os grandes valores das vazões da bacia, decorrentes da ocorrência de chuvas intensas nessa região, concentram altos volumes de água que se propagam com alta velocidade, este fenômeno está relacionado à diminuição da latitude (direção sul-norte) e sua proximidade com a linha do equador. A distribuição e a precipitação total ocorrem quase exclusivamente devido aos sistemas de circulação atmosférica associados à

Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) e Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) que são sistemas meteorológicos característicos do verão, responsáveis pela grande precipitação na região norte, nordeste, centro-oeste e sudeste (LOUREIRO et al., 2015). A região dessa bacia abrange o bioma Amazônico e ecótono Amazônia-Cerrado ao sudeste. Sua caracterização geomorfológica apresenta planícies, depressões, tabuleiros, chapadas e planaltos; sua pedologia é constituída por argissolos, cambissolos, gleissolos, latossolos, neossolos, plintossolos e sua vegetação é formada principalmente por florestas ombrófilas (IBGE, 2021). A região hidrográfica Tocantins- Araguaia é considerada uma das mais importantes dentro do território brasileiro, devido a seu potencial hidrelétrico que chega a 26.285 MW (VON RANDOW, 2019). Na região da sub-bacia do baixo Tocantins, atualmente encontra-se instalada a usina hidrelétrica de Tucuruí, a terceira maior usina Brasileira.

Além dos pontos já mencionados, é importante ressaltar que a região analisada possui um grande potencial hidroelétrico, e cenários futuros indicam a construção de grandes e pequenas barragens ao logo da RHTA. Além da redução do transporte de sedimentos, o impacto mais evidente da construção e operação de uma hidrelétrica é a alteração permanente do regime do ciclo hídrico a jusante da barragem, já que fluxos de água aumentados propiciam a formação de planícies de inundação e incentivam a invasão de água na terra firme, principalmente por conta das inversões de fluxo e mudanças no tempo de inundação impulsionadas pelas demandas de energia (TIMPE; KAPLAN, 2017). Segundo Athayde et al. (2019), a instalação de hidroelétricas piora o cenário das inundações na foz da bacia, visto que a água efluente das altas vazões de uma usina se desencadeiam na foz da bacia, gerando alto fluxo de água na região, potencializando a suscetibilidade a inundações na localidade.

Segundo Gomes et al. (2018), a TOB é a região de clima predominante amazônico (Af - úmido megatérmico e Am - tropical úmido megatérmico) com maior intensidade e frequência de precipitação na RHTA devido sua proximidade com o mar, com média de 2.400 mm; mínima de 2.025 mm e máxima de 2.843 mm, apresentando altos volumes de precipitação se comparado as outras sub-bacias do Tocantins Alto (TOA) e Araguaia (ARA) que estão situados a montante em um clima do tipo mais savânico (Aw - quente e úmido megatérmico). A primeira sub-bacia tem volumes de precipitação média de 1625 mm; mínima de 1187 mm e máxima de 1990 mm, já a segunda com volumes de 1.700 mm; mínimo de 1.349 mm e máximo de 1.989 mm. Devido aos altos valores de volume pluviométrico a incidência de inundações aumenta exponencialmente, já que um dos grandes fatores contribuintes para o evento é a ocorrência de grandes chuvas (GUIMARÃES et al., 2014).

2 METODOLOGIA

Para a análise de suscetibilidade à inundações foram consideradas componentes influentes para a ocorrência do fenômeno de acordo com revisões bibliográficas, sendo essas: Vegetação (Veg), pedologia (Ped), geologia (Geol), geomorfologia (Geom), distância euclidiana da massa d'água (Dm), distância euclidiana da costa (Dc), declividade (Dec), hipsometria (Hip) e uso e ocupação de solo (Uos). A escolha das variáveis e suas subcomponentes se baseou em *checklists* publicados na literatura (OUMA et al., 2015; HAMMAMI et al., 2019; CHAKRABORTY et al., 2019). Os dados cartográficos utilizados foram obtidos no site do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística-IBGE, Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico – ANA e Mapbiomas, para mais detalhes visualizar a Tabela 2.

Tabela 2 – Dados técnicos dos produtos cartográficos

Componente ambiental	Formato de arquivo	Tipo de arquivo	Escala	Resolução (m)	Fonte	Datum
Vegetação	Vetorial (Shapefile)	Catagórico	1:250000	50	IBGE (2021)	SIRGAS (2000)
Pedologia	Vetorial (Shapefile)	Catagórico	1:250000	50	IBGE (2021)	SIRGAS (2000)
Geologia	Vetorial (Shapefile)	Catagórico	1:250000	50	IBGE (2021)	SIRGAS (2000)
Geomorfologia	Vetorial (Shapefile)	Catagórico	1:250000	50	IBGE (2021)	SIRGAS (2000)
Massa d' água	Vetorial (Shapefile)	Catagórico	1:250000	50	ANA (2021)	SIRGAS (2000)
Linha da costa	Vetorial (Shapefile)	Catagórico	1:250000	50	ANA (2021)	SIRGAS (2000)
Declividade	Raster (GeoTIFF)	Contínuo	1:150000	30	NASA (2020)	WGS 84
Hipsometria	Raster (GeoTIFF)	Contínuo	1:150000	30	NASA (2020)	WGS 84

Uso e Ocupação do Solo	Vetorial (Shapefile)	Catagórico	1:150000	30	MAPBIOMAS (2021)	WGS 84
------------------------	----------------------	------------	----------	----	------------------	--------

Fonte: Autores (2022)

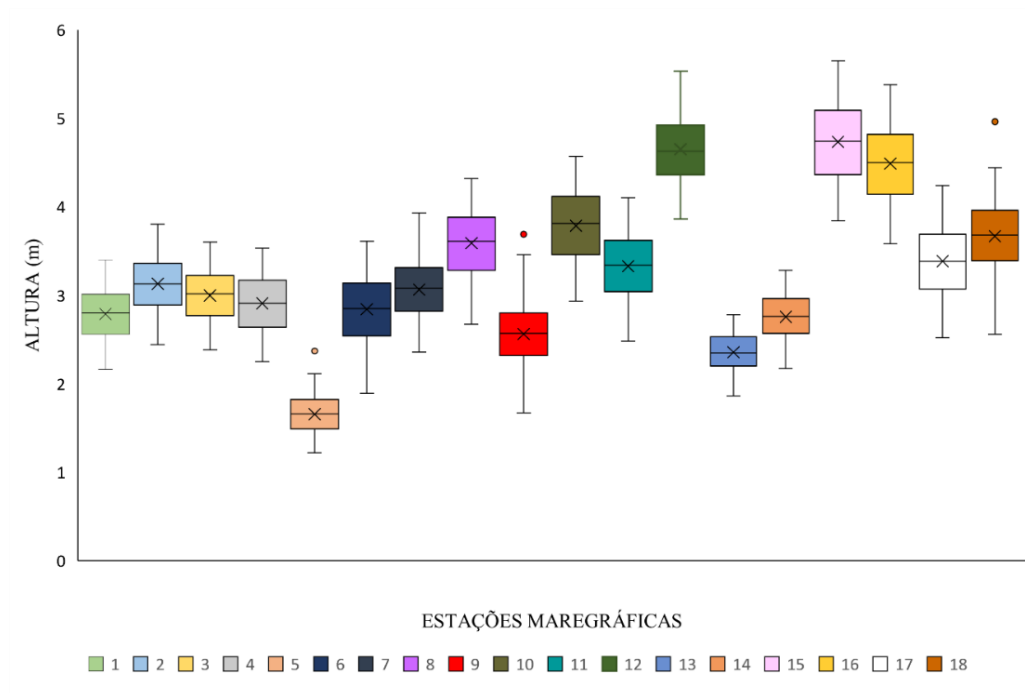
Todos os dados shapefile apresentadas na Tabela 2 foram rasterizados, ou seja, ocorreu uma transformação de vetor para raster, no entanto, percebe-se que os dados cartográficos não estavam todos na mesma resolução, ocasionando a erros cartográficos devido à não sobreposição completa dos pixels. Sendo assim, o tamanho dos pixels de 30 metros foram reamostrados para 50 metros, sendo que para o **Uso e ocupação do solo** foi utilizado o método do vizinho mais próximo, que é uma técnica recomendada para dados categóricos conforme descrito por SILVA et al. (2020). Enquanto que, para os dados de Hipsometria e Declividade foram reamostrados com o método spline cúbico, o qual fornece resultados de pixels mais suavizados, o que é vantajoso quando se trabalha com dados contínuos (PURINTON; BOOKHAGEN, 2021). É importante reforçar que foi escolhido **piorar a resolução** visando respeitar a máxima precisão local (MLA), este parâmetro indica os valores mínimos dos pixels. Neste estudo, foi escolhido o MLA baseado nos critérios da ABNT NBR 13133 de 1994, o qual admite na elaboração de produtos cartográficos um erro de graficismo de 0,0002 metros, que equivale a duas vezes a acuidade visual. Dito isso, considerando a escala de 1:250000, o tamanho da célula de acordo com o MLA é de 50 metros.

Para a identificação da declividade e hipsometria utilizou-se dados referentes ao Modelo Digital de Elevação (MDE) NASADEM. Segundo UUEMAA et al. (2020), muitos pesquisadores avaliaram em escala global a qualidade dos produtos de MDEs nos últimos anos, sendo assim, o NASADEM considerado um dos dados de sensoriamento remoto mais atuais de processamento por sua capacidade de captar as mudanças do homem na topografia de superfícies terrestres, gerando um MDE atualizado e de qualidade. O MDE é uma representação quantitativa da topografia, sendo essencial para estudos que envolvem diretamente a análise topográfica, tais como mapas de suscetibilidade a inundação (LI, 2022).

Para o cálculo de áreas em extensões de superfície superiores a 50 km, como é o caso da TOB, é recomendado utilizar a projeção cônica equivalente de Albers (IBGE, 2019). A projeção equivalente de Albers é indicada quando há dois fusos UTM na região analisada, como feito por CRUZ et al. (2022), que utilizou a projeção de Albers para a modelagem da projeção futura de uso e cobertura da terra na Amazônia e NKEKI (2013) para a análise de risco de inundações na bacia Niger-Benue, Nigéria. Sendo assim, os dados analisados neste estudo foram georreferenciados com a projeção cartográfica cônica equivalente de Albers.

Para determinar a influência da massa d'água e linha da costa foi utilizada a mesma metodologia de DAS e RAJA (2015) e LIN et al. (2019), os quais os autores empregaram a distância euclidiana. Para a classificação e determinação das distâncias dos cursos d'água, estes foram segregados em 30, 50, 100, 200 e 600 metros seguindo a mesma metodologia proposta por BRITO (2020), onde o autor seguiu o que estava preconizado no Novo Código Florestal (Lei nº 12.727, de 25 de maio de 2012). Para a distância euclidiana da costa, a influência da maré foi classificada em: 0-39 km; 40-109 km; 110-550 km e >550 km, estes intervalos foram definidos de acordo com as informações de previsão de marés durante o ano de 2021 em 18 estações maregráficas, disponibilizadas pelo Observatório da Costa Amazônica – OCA, devido a maré na Amazônia ser um fenômeno de origem astronômica a mesma não necessita de uma grande série de dados, como por exemplo, as séries meteorológicas. Segundo PROGÊNIO et al. (2017), a maré é determinada como a oscilação vertical da superfície do mar sobre a Terra, quando a superfície se encontra na máxima elevação de maré é chamada de preamar (PM) e na mínima elevação é chamada de baixa-mar (BM). Sendo assim, neste estudo os dados foram selecionados para apenas o horário de preamar (Figura 3), visto que é o momento mais suscetível a inundações. Outro ponto importante, é citar que a região a montante da usina hidrelétrica de Tucuruí foi considerada sem influência da maré (Figura 2), devido a existência da barragem. (SILVA et al., 2014).

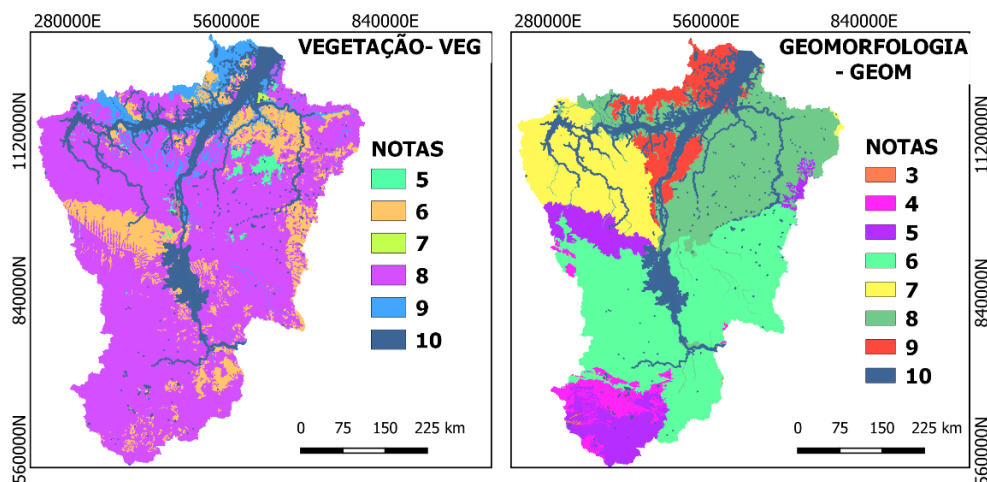
Figura 3 – Boxplot dos dados de preamar para o ano de 2021.

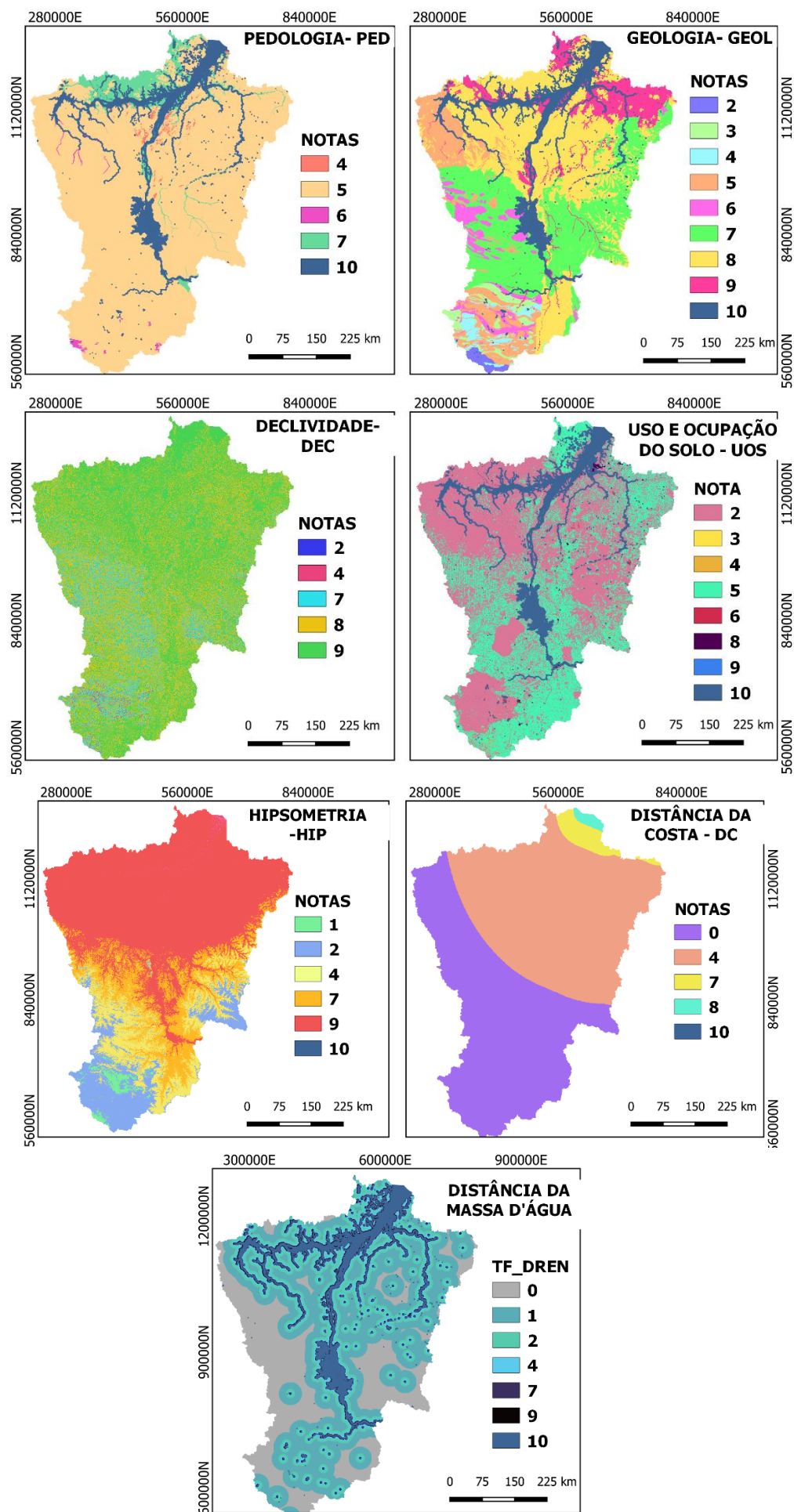


Fonte: adaptado do Observatório da Costa Amazônica (2021).

Após a elaboração dos mapas, foi atribuído pesos e notas para cada variável e suas respectivas subcomponentes (Figura 4). Segundo Carmo et al. (2016), o cruzamento de planos de informações em ambiente SIG necessitam de uma previa hierarquização para a análise de fenômenos, para a MCA neste estudo foram utilizados os métodos Delphi Adaptado e o método AHP. A escolha das variáveis, bem como as definições de notas para as avaliações, foi definida de acordo com a opinião dos autores do trabalho seguindo o método Delphi Adaptado. Originalmente desenvolvido em órgãos associados à Defesa Estadunidense no início da década de 1950, o método Delphi consiste em um conjunto de questionários que são respondidos, de maneira sequencial e individualmente pelos participantes, que são repetidos até alcançar um índice de concordância (IC) nas respostas acima de 50% (MARQUES; FREITAS, 2018). Já o método Delphi adaptado, consiste em atribuir notas com base no conhecimento técnico e na própria experiência dos autores do estudo sobre o assunto a ser investigado (PROGÊNIO et al., 2020).

Figura 4- Mapas temáticos dos componentes ambientais.





Fonte: Os Autores (2022).

As notas foram determinadas com auxílio de leituras direcionadas referentes as subcomponentes de cada variável presente na área do estudo e sua influência na ocorrência da suscetibilidade. Para as subcomponentes, as notas atribuídas foram de 0 a 10, em que os valores mais próximos de 0 correspondem a uma menor suscetibilidade a inundações, e valores mais próximos de 10 representam maior suscetibilidade a inundações. O peso das variáveis foi definido utilizando-se o MCA e AHP desenvolvido por Saaty em 1980. De acordo com Akpoti et al. (2019), o AHP é uma ferramenta eficaz para maximizar o consenso sobre a importância das variáveis de forma lógica e sistemática. O fundamento do método consiste na decomposição e síntese das relações entre os critérios até que se chegue a uma priorização dos seus indicadores, aproximando-se de uma melhor resposta de medição única de desempenho (SAATY; VARGAS, 1991). Segundo Choi et al. (2018), o método consiste em três etapas: definição do problema de hierarquia de decisão, comparação dos pares de elementos de decisão e estimativa e agregação de pesos relativos. A estruturação da ponderação dos critérios para a comparação entre os fatores (a_{ij}) é uma matriz quadrada $n \times n$ (Eq. 1), na qual as linhas e colunas contêm os fatores e cada fator recebe um peso relativo entre 1/9 e 9, dependendo de sua significância em comparação com o outro fator da primeira coluna que está relacionado a ele. Um peso de 1/9 significa que um fator é significativamente menos significativo que o correspondente. No entanto, um peso de 9 indica que uma linha fator é muito mais significativo do que a coluna correspondente (HAMMAMI et al., 2019; PROGÊNIO et al., 2020).

$$n \times n = [a_{ij}] = \begin{matrix} & \begin{matrix} Dm & Dc & Veg & UOS & Geom & Ped & Dec & Hip & Geo \end{matrix} \\ \begin{matrix} Dm \\ Dc \\ Veg \\ UOS \\ Geom \\ Ped \\ Dec \\ Hip \\ Geo \end{matrix} & \begin{pmatrix} 1 & 1 & 3 & 3 & 5 & 6 & 7 & 8 & 9 \\ 1 & 1 & 2 & 3 & 4 & 5 & 5 & 7 & 8 \\ 1/3 & 1/2 & 1 & 2 & 3 & 4 & 6 & 5 & 8 \\ 1/3 & 1/3 & 1/2 & 1 & 2 & 3 & 5 & 4 & 7 \\ 1/5 & 1/4 & 1/3 & 1/2 & 1 & 2 & 3 & 3 & 6 \\ 1/6 & 1/5 & 1/4 & 1/3 & 1/2 & 1 & 3 & 3 & 5 \\ 1/7 & 1/5 & 1/6 & 1/5 & 1/3 & 1/3 & 1 & 2 & 4 \\ 1/8 & 1/7 & 1/5 & 1/4 & 1/3 & 1/3 & 1/2 & 1 & 2 \\ 1/9 & 1/8 & 1/8 & 1/7 & 1/6 & 1/5 & 1/4 & 1/2 & 1 \end{pmatrix} \end{matrix} \quad (1)$$

Após estimar o peso relativo de cada fator, calcula-se o autovalor máximo (λ_{max}) e o índice de consistência (IC), para estimar uma razão de consistência (RC), descritos nas Equações 2 e 3, respectivamente. Em que n = número de fatores considerados na matriz; IR= índice randômico.

$$IC = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1} \quad (2)$$

$$RC = \left(\frac{IC}{IR} \right) \cdot 100 \quad (3)$$

IR é definido como Índice Randômico Médio, que varia com o tamanho da matriz, mostrado na Tabela 3. Nesse estudo o tamanho da matriz foi 9.

Tabela 3 - Índice Randômico Médio do AHP em função do tamanho da matriz.

1	2	3	4	5	6	7	8	9
0,00	0,00	0.58	0.90	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45

Fonte: Adaptado de Saaty & Vargas (1991).

Segundo Saaty e Vargas (1991), é razoável que se aceite os valores obtidos para os pesos dos fatores sempre que se alcance uma RC inferior a 0,1. Neste estudo o RC se classificou em 0,044. O autovetor (pesos) indica a importância relativa de cada critério em relação aos demais. As formas de obtenção desse vetor são variadas é aqui optou-se pelo método da média geométrica. Nesse método cada componente do vetor peso é calculado como a média geométrica dos elementos da respectiva linha divididos por um termo de normalização, conforme a Equação 4, em que w_i = peso do critério.

$$w_i = \frac{(\prod_{j=1}^n a_{ij})^{1/n}}{\sum_{i=1}^n (\prod_{i=1}^n a_{ij})^{1/n}} \quad (4)$$

Após a definição dos pesos das variáveis e das subcomponentes, utilizou-se o software QGIS 3.16 para a geração da proposta de índice de suscetibilidade a inundações (ISI), através da ferramenta “*raster calculator*”, onde a Equação 5 foi inserida. Nessa etapa cada pixel dos arquivos raster gerados na classificação das subcomponentes é multiplicado pelos pesos das respectivas componentes e somados, gerando um arquivo raster com os valores de suscetibilidade a inundações na área delimitada.

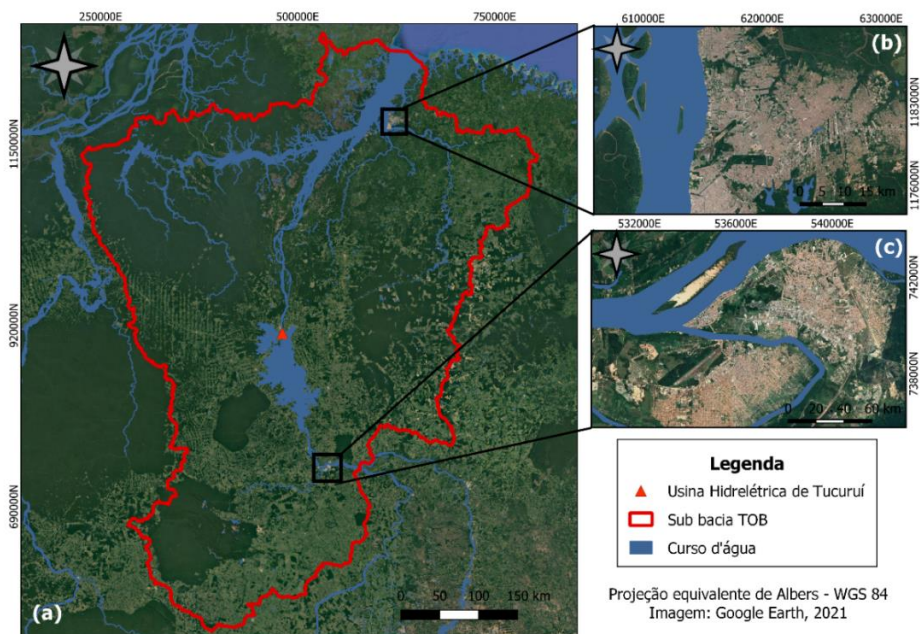
$$\text{ISI} = (0.018\text{Geol}) + (0.075\text{Geom}) + (0.059\text{Ped}) + (0.158\text{Veg}) + (0.235\text{Dc}) + (0.274\text{Dm}) \\ + (0.114\text{Uos}) + (0.038\text{Dec}) + (0.027\text{Hip}) \quad (5)$$

Seguindo a metodologia proposta por Juwana, et al. (2016), a classificação ISI foi baseada na escala de quartis com quatro níveis de desempenho: muito baixa (0-2,5), baixa (2,5-5), média (5-7,5) e alta (7,5-10).

2.2 Validação do índice

Segundo Motta et al. (2017), após uma integração de variáveis, como uma MCA, é fundamental a avaliação das incertezas para a aceitação dos resultados, pois ela demonstra espacialmente as combinações encontradas com resultados já consolidados gerando maior aprofundamento nas investigações. Sendo assim, para a confirmação das informações obtidas do mapa gerado, foi utilizado o método “visual driven” sugerido por Motta et al. (2017). O método consiste na análise e comparação visual dos dados obtidos com dados previamente investigados, além de investigar quais variáveis realmente interferem no resultado (MOURA et al, 2018). Neste estudo, os dados obtidos foram comparados com os dados do índice de acidentes geológicos da Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM, 2021). Foram escolhidos 2 pontos distintos localizados ao norte e sul da sub bacia, como representado na Figura 5.

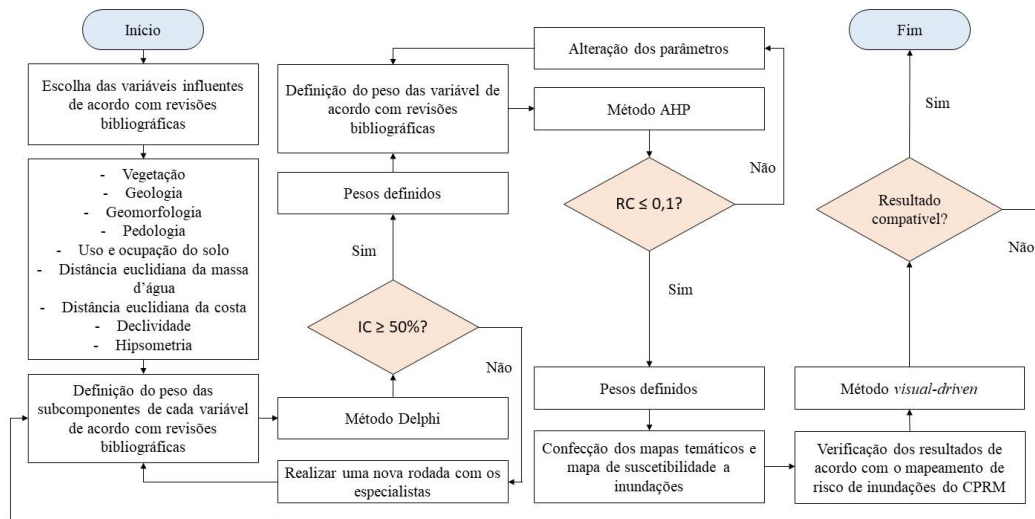
Figura 5- Áreas selecionadas para validação do ISI



Fonte: Os autores (2022).

A sequência dos métodos utilizados neste estudo está apresentada no fluxograma abaixo:

Figura 6- Fluxograma da metodologia utilizada.

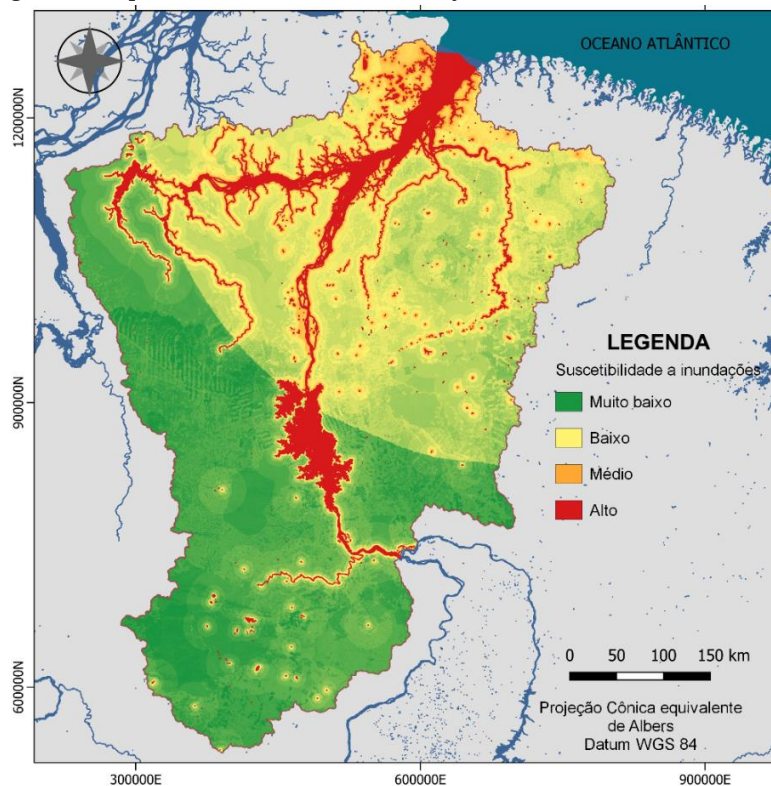


Fonte: Os Autores (2022).

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Após a escolha das variáveis analisadas e definição de pesos por meio do método Delphi e AHP, obteve-se o mapeamento das áreas suscetíveis à ocorrência de inundações. Como mostra a figura 7, foram geradas as áreas com diferentes suscetibilidades à ocorrência de inundação na área da sub bacia do Baixo Tocantins. Dessa forma, foi possível constatar que 17% da área da sub bacia se caracteriza com alta suscetibilidade a inundações, 23% como média, 30% de baixa e 35% de muito baixa suscetibilidade.

Figura 7- Mapa de suscetibilidade a inundações na sub bacia Tocantins Baixo



Fonte: Os Autores (2022).

Analisando a figura 7, pode-se perceber a diminuição da suscetibilidade a inundação de norte para sul. Próximo de sua foz, o rio Tocantins sofre forte influência da maré com inversão diária da direção do fluxo e altas variações de nível, a influência da maré na foz da bacia é afetada principalmente pelo atrito no fundo do canal fluvial e mudanças na geometria o que gera o amortecimento e a assimetria na onda propiciando o

fenômeno das inundações (SANTOS et al., 2019). A assimetria da maré do litoral amazônico é ocasionada pelas grandes quantidades de bancos e barras arenosas aliada a baixa declividade da região, que resultam em as curvas de maré enchente mais inclinadas que as curvas de maré vazante, sendo assim a intensidade da maré nas enchentes são maiores e apresentam períodos mais curtos, sendo propícias a inundações bruscas (PROGÊNIO et al., 2020). A Jusante da Barragem da UHE de Tucuruí a influência da maré é praticamente nula ocasionando apenas pequenas variações do nível d'água. Apesar disso, a construção de uma barragem resulta em um desnível entre o mar e o reservatório, neste trecho o rio Tocantins se torna mais largo e as margens menos definidas, resultando em inundações das terras ribeirinhas devido a altas precipitações (CINTRA et al., 2013).

Diante disso, os principais fatores influentes para o aumento da suscetibilidade foram a distância euclidiana da costa e a distância euclidiana dos cursos d'água. As áreas com maior suscetibilidade a inundações encontram-se na região norte da sub bacia próximas ao exutório, em áreas caracterizadas por baixas altitudes e relevo monótono variando em cerca de 70 metros ao Norte, favorecendo a ocorrência de enchentes e inundações. Sousa e Oliveira (2011) destacam a relação entre áreas planificadas e agrupamentos humanos, que enquanto essas são muito favoráveis para o surgimento de cidades, também são muito favoráveis a ocorrência de inundações.

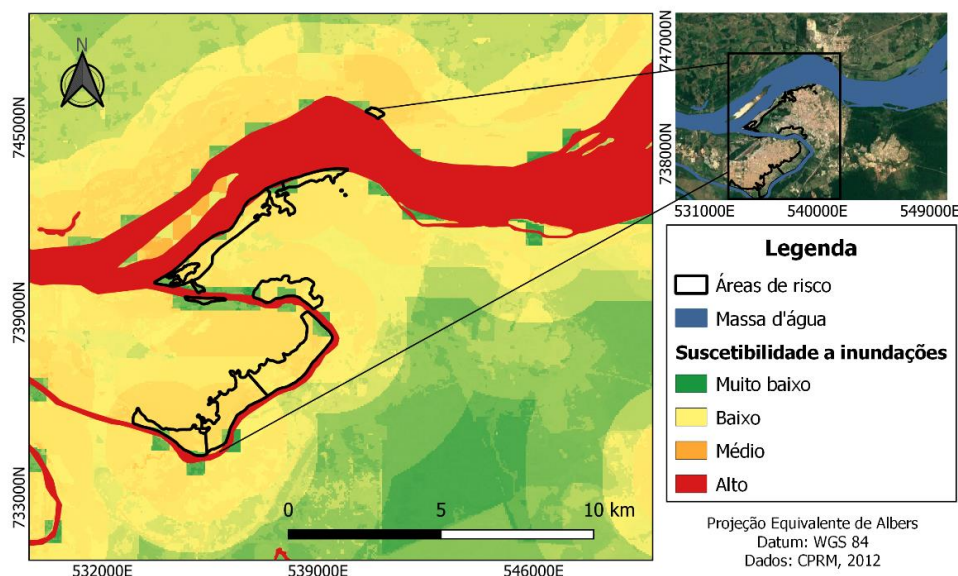
A parte norte da sub bacia é formada principalmente de latossolos amarelos e solos aluviais, que são encontrados principalmente áreas de várzeas (SILVA et al., 2007). Segundo Bertolini et al. (2021), estas áreas na paisagem amazônica se caracterizam pela alta dinâmica de inundação, se formando no período de cheia, em que há o extravasamento lateral dos rios de águas brancas, como o rio Tocantins. Nessa região, grandes cidades como Belém, a capital do estado do Pará, foram construídas à beira de rios, o crescimento desenfreado e a falta de planejamento urbano resultaram em uma grande desigualdade social, em que pessoas em situação de vulnerabilidade econômica ocupam áreas que deveriam ser ambientalmente protegidas, como é o caso das várzeas (RODRIGUES et al., 2013).

A ocupação humana de áreas próximas ao rio modifica diretamente no ciclo hídrico da região, a impermeabilização do solo ocasionada por asfaltamentos, calçadas, telhados e obras, gera o aumento de ocorrência de inundações devido a parcela de água oriunda da chuva que escoava pela superfície do solo e ficava retida pelas plantas, com a impermeabilização, passa a escoar no canal, aumentando o processo de escoamento superficial (SIQUEIRA et al., 2022). Esses fatores aliados a predisposição à inundações da região gera grandes perdas econômicas e sociais.

3.3 Validação do índice

Na etapa de validação do índice foram escolhidas 2 localidades, ao norte e sul da sub-bacia. Ao sul da sub-bacia, a região escolhida (Figura 8) possui em sua maioria média a baixa suscetibilidade de inundação pelas variáveis analisadas, tal fato pode estar relacionado pela baixa influência da maré devido ao barramento causado pela UHE de Tucuruí, no entanto, nos locais em que as áreas urbanizadas estavam próximas ao rio Tocantins a suscetibilidade a inundação aumentou. Nesta região, nos meses mais chuvosos do inverno amazônico, a região ribeirinha é extremamente afetada devido as cheias que são intensificadas devido a pouca presença de vegetação por conta a construção de pavimentações e calçadas (DIAS et al., 2021). Além disso, a região está situada em uma área de baixa altitude, acarretando inundações graduais em decorrência da topografia.

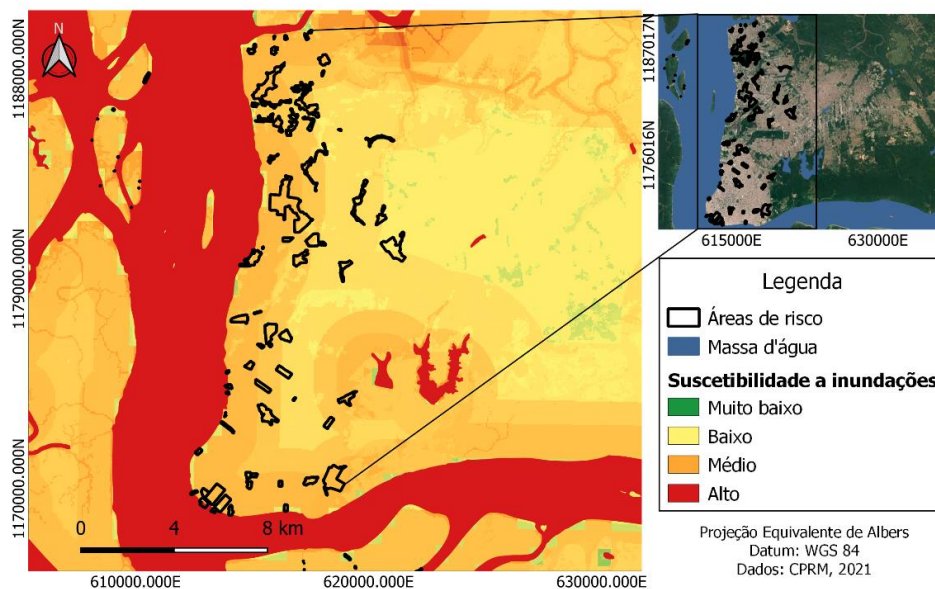
Figura 8 –Inundações na área analisada na parte sul.



Fonte: Os Autores (2022).

Já a região escolhida ao norte da TOB (Figura 9) em sua maioria é classificada como média e alta suscetibilidade a inundações, a proximidade com a costa litorânea se torna o principal fator analisado, tendo características hidrodinâmicas bastante intensas que provocam alterações constantes na distribuição dos sedimentos arenosos e lamosos, tornando a batimetria deste local bastante variável no tempo (PROGÊNIO et al., 2020). A área analisada pode ser caracterizada por elevadas temperaturas, umidade e precipitação o ano todo, além de possui um dos maiores índices pluviométricos do estado do Pará, com a média anual de 2085 mm (INMET, 2021), que aliado ao relevo de planície e a impermeabilização do solo, se torna um local extremamente propício a inundações. Segundo Rodrigues e Luz (2021), as áreas críticas atingidas por inundações, correspondem às planícies urbanas que constituem zonas populosas, sendo localizadas principalmente junto às planícies dos rios e canais, onde a dinâmica do escoamento superficial é lenta.

Figura 9- Inundações na área analisada na parte norte.



Fonte: Os Autores (2022).

Sendo assim, conclui-se que a utilização do método Vision drive permite a visualização da suscetibilidade a desastres naturais em áreas com difícil acesso, além da verificação dos dados obtidos remotamente, consolidando os resultados obtidos pela análise. A combinação da MCA aliada ao SIG, validada pelo método Vision driven, permite acesso remoto a dados que necessitariam de visitas ao campo, se tornando uma alternativa de baixo custo para o auxílio do controle de riscos e prevenção de inundações.

4. CONCLUSÃO

ESCREVER UMA CONCLUSÃO AQUI

A área de estudo escolhida foi a sub-bacia TOB, que é evidenciada principalmente por sua disposição geográfica, a qual é propícia à suscetibilidade de ocorrência de inundações. A partir dos resultados obtidos, foi possível constatar que as áreas de maior vulnerabilidade às inundações se localizaram no exutório da bacia e próximo às margens do rio, principalmente devido a influência da maré. Em contrapartida, as áreas consideradas como baixa e muito baixa suscetibilidade estão distribuídas a jusante da barragem da UHE de Tucuruí, onde há pouquíssima influência da maré. Desse modo, este estudo ressalta a importância do conhecimento de áreas que são previamente suscetíveis a inundações com o objetivo de reduzir os impactos causados por esse fenômeno na sociedade.

Agradecimentos

Preencher somente após aceito para publicação.

Contribuição dos Autores

Preencher somente após aceito para publicação.

Conflitos de Interesse

Os autores declaram que não há conflitos de interesse.

Referências

- AKPOTI, K.; KABO-BAH, A. T.; ZWART., S. J. Agricultural land suitability analysis: State-of-the-art and outlooks for integration of climate change analysis. **Agricultural systems**, 173, 172–208, 2019. DOI: 10.1016/j.agsy.2019.02.013.
- ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. D. M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, 22(6), 711-728, 2013. DOI: 10.1127/0941-2948/2013/0507.
- 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**, 24, 28-43, 2018. DOI: 10.1590/S1982-21702018000100003.
- ANA–AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. Sistema de Informações Hidrológicas HIDROWEB. 2021. Disponível em: <http://hidroweb.ana.gov.br/default.asp>. Acesso em: 5 jun. de 2022.
- ANEEL. Sistema de informações de geração da ANEEL (siga). Disponível em: <https://app.powerbi.com/view?r=eyJrIjoiNjc4OGYyYjQtYWWM2ZC00YjllLWJlYmEtYzdkNTQ1MTc1NjM2IiwidCI6IjQwZDZmOWI4LWVjYTctNDZhMi05MmQ0LWVhNGU5YzAxNzBlMSIsImMiOiR9>. Acesso em: 2 de out. de 2022.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 13133: Execução de levantamento topográfico. Rio de Janeiro, p. 3. 1994.
- ATHAYDE, S.; MATHEWS, M.; BOHLMAN, S.; BRASIL, W.; DORIA, CR; DUTKA-GIANELLI, FEARNSIDE, P. M.; LOISELLE, B.; MARQUES, E. E.; MELIS, T. S.; MILLIKAN, B.; MORETTO, E. M.; OLIVER-SMITH, A.; ROSSETE, A.; VACCA, R.; KAPLAN, D. Mapping research on hydropower and sustainability in the Brazilian Amazon: advances, gaps in knowledge and future directions. **Current Opinion in Environmental Sustainability**, 37, 50-69, 2019. DOI: 10.1016/j.cosust.2019.06.004
- BERTOLINI, W. Z., DEODORO, S. C.; ZAMBOT, N. Análise morfométrica do relevo da região hidrográfica da Várzea–Alto Rio Uruguai (RS). **Geociências**, 40(1), 83-99, 2021. DOI: 10.5016/geociencias.v40i1.15146.
- BRITO, B. The pioneer market for forest law compliance in Paragominas, Eastern Brazilian

Amazon. **Land Use Policy**, 94, 104310, 2020. DOI: 10.1016/j.landusepol.2019.104310.

CARMO, A. M. D.; SOUTO, M. V. S.; DUARTE, C. R.; LOPES, P. S.; SABADIA, J. A. B. Avaliação de suscetibilidade à movimentos de massa, utilizando as variáveis morfométricas, para as serras da porção sul do maciço central do Ceará. *Revista Brasileira de Cartografia*, Nº 68/9, p. 1787-1804, 2016. DOI:

CPRM- COMPANHIA DE PESQUISAS DE RECURSOS MINERAIS. Setorização de riscos geológicos- Pará. Disponível em: <http://www.cprm.gov.br>. Acesso em: 02 de Jul. de 2022.

CHAKRABORTY, S.; MUKHOPADHYAY, S. Assessing flood risk using analytical hierarchy process (AHP) and geographical information system (GIS): application in Coochbehar district of West Bengal, India. **Natural hazards**, 99(1), 247-274, 2019. DOI: 10.1007/s11069-019-03737-7.

CHEN, Y. Flood hazard zone mapping incorporating geographic information system (GIS) and multi-criteria analysis (MCA) techniques. **Journal of Hydrology**, 612, 128268, 2022. DOI: 10.1016/j.jhydrol.2022.12826.

CHOI, J. H.; YOON, T. H.; KIM, J. S.; MOON, Y. I. Dam rehabilitation assessment using the DelphiAHP method for adapting to climate change. **Journal of Water Resources Planning and Management**, 144(2), 1–8, 2018. DOI: 10.1061/(ASCE)WR.1943-5452.0000877.

CINTRA, I. H. A.; FLEXA, C. E.; SILVA, M. B. D.; ARAÚJO, M. V. L. F. D.; SILVA, K. C. D. A. A pesca no reservatório da usina hidrelétrica de Tucuruí, região Amazônica, Brasil: aspectos biológicos, sociais, econômicos e ambientais. **Acta of Fisheries and Aquatic Resources**, 2013.

CRUZ, J. DA S.; BLANCO, C.J.C.; OLIVEIRA, J. DE; FRANCISCO, J. Modeling of land use and land cover change dynamics for future projection of the Amazon number curve. **Science of The Total Environment**, v. 811, p. 152348, 2022. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2021.152348.

DAS, S.; RAJA, D. R. Susceptibility analysis of landslide in Chittagong City Corporation area, Bangladesh. **International Journal of Environment**, 4(2), 157-181, 2015. DOI: 10.3126/ije.v4i2.12635.

COSTA, F. R. S.; MONTEIRO, J. B. Secas, inundações e desastres socionaturais associados: uma análise estatística de períodos secos e chuvosos em Hidrolândia-CE. **Revista de Geociências do Nordeste**, 131-139, 2021. DOI: 10.21680/2447-3359.2021v7n2ID20625.

DIAS, M. B.; GALINA, N. R.; ALVES, C. N. Mapeamento da suscetibilidade a inundações em áreas urbanas: estudo de caso no município de Marabá, Sudeste do estado do Pará, Região Norte do Brasil. **Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais**, 12(6), 347-359, 2021. DOI: 10.6008/CBPC2179-6858.2021.006.0029.

DJONÚ, P.; RABELO, L. S.; LIMA, P. V. P. S.; SOUTO, M. V. S.; SABADIA, J. A. B.; SUCUPIRA JUNIOR, P. R. G. Objetivos do desenvolvimento sustentável e condições de saúde em áreas de risco. **Ambiente & Sociedade**, 21, 2018. DOI: 10.30612/rmufgd.v9i18.12143.

ECCLES, R.; ZHANG, H.; HAMILTON, D. A review of the effects of climate change on riverine flooding in subtropical and tropical regions. **Journal of Water and Climate Change**, 10(4), 687-707, 2019. DOI: 10.2166/wcc.2019.175.

EM-DAT. Disaster profile for floods. EM-DAT: international disaster database. Disponível em: <https://public.emdat.be/mapping>. Acesso em: 08 de set. de 2022.

GAO, P.; GAO, W.; KE, N. Assessing the impact of flood inundation dynamics on an urban environment. **Natural Hazards**, 109(1), 1047-1072, 2021. DOI: 10.1007/s11069-021-04868-6.

GOMES, D. J.; FERREIRA, N.; LIMA, A. M. Tendências de variabilidade espaço-temporal pluviométrica na bacia hidrográfica do rio Araguaia. **Enciclopédia Biosfera**, v. 16, n. 29, 2019.

GOMES, E.P.; BLANCO, C.J.C.; PESSOA, F.C.L. Identification of homogeneous precipitation regions via Fuzzy c-means in the hydrographic region of Tocantins–Araguaia of Brazilian Amazonia. **Applied Water Science**, 9 (1), 1-12, 2018. DOI: 10.1007/s13201-018-0884-6.

GUIMARÃES, R. M.; CRUZ, O. G.; PARREIRA, V. G.; MAZOTO, M. L.; VIEIRA, J. D.; ASMUS, C. I. R. F. Análise temporal da relação entre leptospirose e ocorrência de inundações por chuvas no município do Rio de Janeiro, Brasil, 2007-2012. **Ciência & Saúde Coletiva**, 19, 3683-3692, 2014. DOI: 10.1590/1413-81232014199.06432014.

HAMMAMI, S.; ZOUHRI, L.; SOUSSI, D.; SOUEI, A.; ZGHIBI, A.; MARZOUGUI, A.; DLALA, M. Application of the GIS based multi-criteria decision analysis and analytical hierarchy process (AHP) in the

flood susceptibility mapping (Tunisia). **Arabian Journal of Geosciences**, 12(21), 1-16, 2019. DOI: 10.1007/s12517-019-4754-9.

HO, J.T.; THOMPSON, J.R.; BRIERLEY, C. Projections of hydrology in the Tocantins-Araguaia Basin, Brazil: uncertainty assessment using the CMIP5 ensemble. **Hydrological Sciences Journal**, 61 (3), 551-567, 2016. DOI: 10.1080/02626667.2015.1057513.

IBGE–INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Download Geociências. 2021. Disponível em: http://downloads.ibge.gov.br/downloads_geociencias.htm. Acessado em: 03 jan. de 2022.

IBGE–INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Manuais Técnicos em Geociências número 14 - Acesso e uso de dados geoespaciais. Disponível em: <https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv101675.pdf>. Acesso em: 03 de jan de 2022.

INMET- INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. Monitoramento de precipitação. Disponível em: <https://clima.inmet.gov.br/prec>. Acesso em: 04 de nov. de 2022.

JUWANA, I.; MUTTIL, N.; PERERA, B. J. C. Application of west java water sustainability index to three water catchments in west java, Indonesia. **Ecological indicators**. 2016. 70, 401–408, 2016. DOI: 10.1016/j.ecolind.2016.06.017

LI, H.; ZHAO, J.; YAN, B.; YUE, L.; WANG, L. Global DEMs vary from one to another: an evaluation of newly released Copernicus, NASA and AW3D30 DEM on selected terrains of China using ICESat-2 altimetry data. **International Journal of Digital Earth**, 15(1), 1149-1168, 2022. DOI: 10.1080/17538947.2022.2094002

LIN, L., WU, Z.; LIANG, Q. Urban flood susceptibility analysis using a GIS-based multi-criteria analysis framework. **Natural Hazards**, 97(2), 455-475, 2019. DOI: 10.1007/s11069-019-03615-2.

LOUREIRO, G. E.; FERNANDES, L. L.; ISHIHARA, J. H. Spatial and temporal variability of rainfall in the Tocantins-Araguaia hydrographic region. **Acta Scientiarum. Technology**, v. 37, n. 1, p. 89-98, 2015. DOI: 10.4025/actascitechnol.v37i1.20778.

MAPBIOMAS (2021) Coleção v 6.0 da série anual de mapas de cobertura e uso de solo do Brasil. <https://mapbiomas.org/>. Acesso em: 5 de jul. de 2021.

MARQUES, J. B. V.; FREITAS, D. D. Método DELPHI: caracterização e potencialidades na pesquisa em Educação. **Pro-Posições**, 29, 389-415, 2018. DOI: 10.1590/1980-6248-2015-0140.

MOTTA, S. R.; MOURA, A. C. M.; RIBEIRO, S. R. Ampliando do data-driven e knowledge-driven para propor o visual-driven na análise de multicritérios: estudo de caso de modelagem em Grasshopper+ Rhino3D. *Revista Brasileira de Cartografia*, 69(8), 1521-1535, 2017.

MOURA, A. C. M.; MOTTA, S. R. F.; SANTOS, L. S.; SOUZA, G. T. M. Visual-driven como suporte à decisão em Análise de Multicritérios: simulação de pesos das variáveis na produção de Modelos de Avaliação. **GeoSIG (Revista Geografía y Sistemas de Información Geográfica)**. Luján, 10, Sección I: Artículos. 209-235, 2018.

NARDI, F.; ANNIS, A.; BISCARINI, C. On the impact of urbanization on flood hydrology of small ungauged basins: The case study of the Tiber river tributary network within the city of Rome. **Journal of Flood Risk Management**, 11, S594-S603, 2018. DOI: 10.1111/jfr3.12186.

NASA, J. P., L. (2020). NASADEM merged DEM global 1 arc second V001 [Data set]. https://doi.org/10.5067/MEASURES/NASADEM/NASADEM_HGT.001. Acesso em: 5 de jul. de 2022.

NKEKI, F. N.; HENAH, P. J.; OJEH, V. N. Geospatial techniques for the assessment and analysis of flood risk along the Niger-Benue Basin in Nigeria. **Journal of Geographic Information System**, Vol.5 No.2, 2013. DOI: 10.4236/jgis.2013.52013.

OCA, OBSERVATÓRIO DA COSTA AMAZÔNICA. Estações maregráficas- OCA PREVÊ. Disponível em: https://oca.eco.br/pt_br/banco-de-dados/oca-preve/. Acesso em: 02 de jul. de 2022.

OUMA, Y. O., & TATEISHI, R. Urban flood vulnerability and risk mapping using integrated multi-parametric AHP and GIS: methodological overview and case study assessment. **Water**, 6(6), 1515-1545, 2014. DOI: 10.3390/w6061515.

PROGÊNIO, M. F.; PESSOA, F. C. L.; BLANCO, C. J. C.; GOMES, E. P.; DE SOUZA COSTA, C. E. A.; DA COSTA FILHO, F. A. M. Análise do potencial energético no estuário Amazônico. **Revista Ibero-**

Americana de Ciências Ambientais, 11(5), 390-400, 2020. DOI: 10.6008/CBPC2179-6858.2020.005.0036.

PROGÊNIO, M. F.; BLANCO, C. J. C. Cumulative distribution function of daily rainfall in the Tocantins–Araguaia hydrographic region, Amazon, Brazil. **Natural Resource Modeling**, v. 33, n. 2, p. e12264, 2020. DOI: 10.1111/nrm.12264.

PROGÊNIO, M. F.; BLANCO, C. J. C.; DA SILVA CRUZ, J.; DA COSTA FILHO, F. A. M.; MESQUITA, A. L. A. Environmental impact index for tidal power plants in amazon region coast. **Environment, Development and Sustainability**, 23(7), 10814-10830, 2021. DOI: 10.1007/s10668-020-01088-z.

PROGÊNIO, M. F.; COSTA FILHO, F. A. M.; RAIOL SOUZA, M. J.; PESSOA, F. C. L. Análise do potencial de impacto ambiental para implantação de pequenas centrais hidroelétricas nas unidades hidrográficas do estado do Pará. **Revista AIDIS de Ingeniería y Ciencias Ambientales. Investigación, desarrollo y práctica**, 12(3), 399-412, 2019. DOI: 10.22201/iingen.0718378xe.2019.12.3.62469.

PROGÊNIO, M.F.; FILHO F. A.; JUNIOR, R. B.; SOUZA, M. J.; OLIVEIRA, L. Potencialidade do uso de método matemático para previsão de maré astronômica no porto da cidade de Belém-PA. **Enciclopédia Biosfera**, 14(25), 2017. DOI: 10.18677/EnciBio_2017A155.

PROGÊNIO, M. F.; FILHO, F. A.; CRISPIM, D. L., RAIOL SOUZA, M. J., PIMENTEL DA SILVA, G. D.; FERNANDES, L. L. Ranking sustainable areas for the development of tidal power plants: A case study in the northern coastline of Brazil. **International Journal of Energy Research**, 44(12), 9772-9786, 2020. DOI: 10.1002/er.5716.

PURINTON, B.; BOOKHAGEN, B. Beyond Vertical Point Accuracy: Assessing Inter-pixel Consistency in 30 m Global DEMs for the Arid Central Andes. **Frontiers in Earth Science**, 901, 2021. DOI: 10.3389/feart.2021.758606.

RODRIGUES, J. E. C.; LUZ, L. M. Risco hidroclimático e impacto das precipitações em planícies urbanas de Belém-PA. *Revista do Instituto Histórico e Geográfico do Pará*, v. 08, n. 01, p. 165, 2021. DOI:

RODRIGUES, R. M.; LIMA, J. J. F.; PONTE, J. P. X.; BARROS, N. S.; LOPES, R. S. N. Urbanização das baixadas de Belém-PA: transformações do habitat ribeirinho no meio urbano. **Anais ENANPUR**, 15(1), 2013.

SAATY, T. L.; VARGAS, L. G. **Prediction, projection and forecasting**: applications of the analytic hierarchy process in economics, finance, politics, games and sports (pp. 11-31). Boston: Kluwer Academic Publishers, 1991.

SANTOS, C.O.R.; COELHO, M.M.; SOUSA, A.O.; RIBEIRO D.S.; JÚNIOR, A.P. As barragens hidrelétricas e os conflitos socioambientais na Amazônia. **Multidisciplinary Reviews**, 2018.

SANTOS, J. M.; SANTOS GOMES, E.; SILVA FILHO, G. C.; SILVA, N.; SANTOS VERAS, H. H.; SILVA, F. B. Caracterização da influência das marés na região do baixo curso do rio mearim através de dados de sensoriamento remoto, 2019.

SILVA, A. C.; FONSECA, L. M.; KÖRTING, T. S.; ESCADA, M. I. S. A spatio-temporal Bayesian Network approach for deforestation prediction in an Amazon rainforest expansion frontier. **Spatial Statistics**, 35, 100393, 2020. DOI: 10.1016/j.spasta.2019.100393.

SILVA, S. D. A.; SERENO, M. J. C. C. M.; SILVA, C. F. L.; OLIVEIRA, A. C.; BARBOSA; NETO, J. Inheritance of tolerance to flooded soils in maize. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, Londrina, v. 7, n. 2, p.165-172, 2007.

SILVA, T. R. D.; COUTO, G. A. D.; CAMPOS, V. P.; MEDEIROS, Y. D. P. Influência do regime de vazão da usina hidrelétrica de Pedra do Cavalo no comportamento espacial e temporal da salinidade no trecho fluvioestuarino do baixo curso do rio Paraguaçu à baía do Iguape. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, 20(2), 310-319, 2014. DOI: 10.21168/rbrh.v20n2.p310-319.

SIQUEIRA, G.; SILVA, F.; ALBERTIN, R. M.; PACHECO, P. A. B.; FONSECA, D. F. Bacia hidrográfica do rio Belém na cidade de Curitiba (PR): Uma visão geral da impermeabilização excessiva. **Estrabão**, 3, 159-173, 2022. DOI: 10.53455/re.v3i.63.

SOUSA, S. B.; OLIVEIRA, I. J. A compartimentação do relevo como ferramenta para o planejamento ambiental urbano: uma análise da Bacia Hidrográfica do Córrego Pedreira, município de Goiânia (GO). **Ateliê Geográfico**, Goiânia, GO, v. 5, n. 13, 2011. DOI: 10.5216/ag.v5i1.13829

TIMPE, K.; KAPLAN, D. The changing hydrology of a dammed Amazon. **Science Advances**, 3(11), e1700611, 2017. DOI: 10.1126/sciadv.1700611

UUEMAA, E.; AHI, S.; MONTIBELLER, B.; MURU, M.; KMOCH, A. Vertical accuracy of freely available global digital elevation models (ASTER, AW3D30, MERIT, TanDEM-X, SRTM, and NASADEM). **Remote Sensing**, 12(21), 3482, 2020. DOI: 10.3390/rs12213482

VON RANDOW, R. C. S.; RODRIGUEZ, D. A.; TOMASELLA, J.; AGUIAR, A. P. D.; KRUIJT, B.; KABAT, P. Response of the river discharge in the Tocantins River Basin, Brazil, to environmental changes and the associated effects on the energy potential. **Regional environmental change**, 19(1), 193-204, 2019. DOI: 10.1007/s10113-018-1396-5.

WANG, Y.; LI, Z.; TANG, Z.; ZENG, G. A GIS-based spatial multi-criteria approach for flood risk assessment in the Dongting Lake Region, Hunan, Central China. **Water resources management**, 25(13), 3465-3484, 2011. DOI: 10.1007/s11269-011-9866-2.

Biografia do autor principal

Fotografia do
primeiro autor

**Preencher somente após aceito
para publicação.**



Esta obra está licenciada com uma Licença [Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/) – CC BY. Esta licença permite que outros distribuam, remixem, adaptem e criem a partir do seu trabalho, mesmo para fins comerciais, desde que lhe atribuam o devido crédito pela criação original.