

**MONITORAMENTO, POR MEIO DE GEOTECNOLOGIAS, DOS
PROCESSOS DE INUNDAÇÃO E ALAGAMENTO NA BACIA
HIDROGRÁFICA DO RIO DO BACURI, IMPERATRIZ-MA.**

MONITORING, THROUGH GEOTECHNOLOGIES, OF INUNDATION AND
FLOODING PROCESSES IN THE BACURI RIVER HYDROGRAPHIC BASIN,
IMPERATRIZ-MA.

MONITOREO, A TRAVÉS DE GEOTECNOLOGÍAS, DE PROCESOS DE
INUNDACIÓN E INUNDACIONES EN LA CUENCA HIDROGRAFICA DEL RÍO
BACURI, IMPERATRIZ-MA.

Ivanilde Lima Silva¹

Taíssa Caroline Silva Rodrigues²

Helen Giovanna Pereira Fernandes³

Resumo: Os problemas ambientais têm-se tornado cada vez mais frequentes nos grandes centros urbanos, potencializados em grande parte pela ação antrópica. Atualmente, o monitoramento por meio das geotecnologias tornou-se uma ferramenta de grande utilidade no combate e prevenção das ocorrências dos problemas ambientais, uma vez que, torna-se possível, identificar, coletar, processar dados ou escalas espaciais dos objetos presentes na superfície terrestre. O trabalho tem por objetivo compreender as áreas atingidas pelos processos de inundação e alagamento, na área da Bacia Hidrográfica do Rio Bacuri, localizada no município de Imperatriz - MA, por meio do uso de geotecnologias. Para alcançar esse objetivo foi utilizado o modelo digital de elevação (MDE) Copernicus Dem, com resolução espacial de 30 metros, projetados no software (Qgis 3.22), em seguida, os dados foram projetados no modelo *Hand Model* onde foi gerado o mapa de áreas suscetíveis à inundação. Posteriormente, foram utilizados dados da Superintendência Municipal de Proteção e Defesa Civil (SUMPDEC) para o mapeamento dos principais pontos atingidos pela vazão do rio Bacuri. Os resultados obtidos constataram que a bacia hidrográfica do rio Bacuri sofre demasiadamente com os processos de inundação e alagamento, geram transtornos em escalas sociais e econômicas para os habitantes que vivem em suas proximidades. Conclui-se que o trabalho foi de suma importância para identificar as áreas suscetíveis aos processos de inundação e alagamento, uma vez que, o município de Imperatriz sofre anualmente por tais eventos.

Palavras-chave: Problemas Ambientais; Geotecnologias; Mapeamento.

¹ Graduada em Geografia pela Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão - UEMASUL. Imperatriz - MA. Email: ivoneliimaa0428@gmail.com. Lattes iD: <http://lattes.cnpq.br/8572705388270165>. Orcid iD: <https://orcid.org/0009-0004-6447-0551>.

² Doutora em Geografia pela Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho. Professora da Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão - UEMASUL. Imperatriz - MA. Email: taissa.rodrigues@uemasul.edu.br. Lattes iD: <http://lattes.cnpq.br/8221471343599068>. Orcid iD: <https://orcid.org/0000-0002-7320-2717>.

³ Graduada em Geografia pela Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão - UEMASUL. Imperatriz - MA. Email: helengiovannaf@gmail.com. Lattes iD: <http://lattes.cnpq.br/4275361099672876>. Orcid iD: <https://orcid.org/0009-0009-7746-4587>.

Abstract: Environmental problems have become increasingly frequent in large urban centers, greatly enhanced by human action. Currently, monitoring through geotechnology has become a very useful tool in combating and preventing the occurrence of environmental problems, since it becomes possible to identify, collect, process data or spatial scales of objects present on the Earth's surface. The aim of the work is to understand the areas affected by flooding processes, in the area of the Bacuri River Basin, located in the municipality of Imperatriz - MA, through the use of geotechnologies. To achieve this objective, the Copernicus Dem digital elevation model (DEM) was used, with a spatial resolution of 30 meters, projected in the software (Qgis 3.22), then the data was projected into the *Hand Model* where the area map was generated. susceptible to flooding. Subsequently, data from the Municipal Superintendence of Civil Protection and Defense (SUMPDEC) were used to map the main points affected by the flow of the Bacuri River. The results obtained found that the Bacuri river basin suffers greatly from flooding and flooding processes, generating disruptions on a social and economic scale for the inhabitants living in its vicinity. It is concluded that the work was extremely important to identify areas susceptible to flooding and flooding processes, since the municipality of Imperatriz suffers annually from such events.

Keywords: Environmental Problems; Technologies; Mapping.

Resumen: Los problemas ambientales se han vuelto cada vez más frecuentes en los grandes centros urbanos, muy potenciados por la acción humana. Actualmente, el monitoreo a través de la geotecnología se ha convertido en una herramienta muy útil para combatir y prevenir la aparición de problemas ambientales, ya que permite identificar, recolectar, procesar datos o escalas espaciales de objetos presentes en la superficie terrestre. El objetivo del trabajo es conocer las áreas afectadas por procesos de inundación, en el área de la Cuenca del Río Bacuri, ubicada en el municipio de Imperatriz - MA, mediante el uso de geotecnologías. Para lograr este objetivo se utilizó el modelo de elevación digital (DEM) Copernicus Dem, con una resolución espacial de 30 metros, proyectado en el software (Qgis 3.22), luego los datos se proyectaron en el *Hand Model* donde se generó el mapa del área. susceptible a inundaciones. Posteriormente, se utilizaron datos de la Superintendencia Municipal de Protección y Defensa Civil (SUMPDEC) para mapear los principales puntos afectados por el caudal del río Bacuri. Los resultados obtenidos encontraron que la cuenca del río Bacuri sufre mucho por inundaciones y procesos de inundación, generando perturbaciones a escala social y económica para los habitantes que viven en sus inmediaciones. Se concluye que el trabajo fue de suma importancia para identificar áreas susceptibles a inundaciones y procesos de inundación, ya que el municipio de Imperatriz sufre anualmente este tipo de eventos.

Palabras-clave: Problemas Ambientales; Tecnologías; Mapeo.

Introdução

Atualmente, os problemas ambientais têm-se tornado cada vez mais frequentes no cenário urbano brasileiro, potencializados pela ação antrópica. No Brasil, tais problemas são acentuados de forma acelerada pelos processos de expansão dos centros urbanos, gerando transtornos e perdas irreparáveis à natureza e conseqüentemente à vida humana.

Os eventos climáticos, sobretudo as inundações, são desastres ambientais causadoras de danos econômicos e socioambientais, que podem resultar em bilhões de dólares.

No Brasil, segundo os dados do Tribunal de Contas da União (TCU, 2023), entre 2013 e 2022 o governo federal gastou 13,4 bilhões em recuperação e resposta a desastres e 5,9 bilhões em prevenção. Esses problemas revelam a forma desordenada de apropriação, norteadas pela ausência de planejamento que considere o planejamento do uso e ocupação da terra como prerrogativa básica de seu ordenamento. Essa desordenação traz como consequência, níveis abusivos de degradação ambiental evidentes no cotidiano urbano (Oliveira, 1998). Devido a isso é de extrema importância a discussão sobre os processos de inundação, enchentes e alagamentos, problemas recorrentes no município de Imperatriz - MA e na bacia hidrográfica do rio Bacuri, que passou por um processo de ocupação desordenado complexo.

Segundo Braga (2016), as inundações e enchentes são fenômenos naturais que ocorrem com frequência nos cursos d'água, geralmente deflagrados por chuvas fortes e rápidas ou chuvas de longa duração. Estes eventos naturais têm sido intensificados, principalmente nas áreas urbanas, por alterações antrópicas, ou seja, ocupações desordenadas e impermeabilização do solo. Segundo Castro (2003), existem áreas naturalmente sujeitas à inundação, compreendendo o leito menor e o leito maior dos rios e que, com determinada periodicidade, são atingidas pelas águas. Entretanto, a impermeabilização gerada pela urbanização altera as condições de escoamento natural nos terrenos, diminuindo o tempo de concentração nas bacias de drenagem, aumentando progressivamente as vazões e os danos ocasionados pelas inundações.

Portanto, torna-se essencial a discussão dos conceitos de inundação, alagamento, e a diferenciação entre eles, visto que, o município de Imperatriz aflige-se todos os anos pelas incidências destes eventos. Para começar, a inundação é um processo muito antigo se considerada a história da humanidade. O ser humano sempre buscou localizar-se próximo dos rios para usufruir de seus recursos, alimentação e abastecimento de água. Essas áreas mais próximas, normalmente, são planas. Tal condição torna estes espaços propícios para a ocupação humana (Tucci, 2003). As inundações, normalmente, são recorrentes quando consideramos a dinâmica do leito do rio, quando alcança altos níveis pode transbordar. A partir do momento que existem pessoas próximas e expostas, essas inundações passam a oferecer riscos e perigo.

Já o processo de alagamento é o fenômeno de acúmulo de águas em uma área pela qual apresenta problemas no sistema de drenagem urbana. Logo, o alagamento não é um problema ou processo natural de ocorrer no leito dos rios e para Grilo (1992), os alagamentos ocorrem, geralmente, em áreas planas ou com depressões e fundos de vales, com o escoamento superficial comprometido pela topografia e falta ou insuficiência de um sistema pluvial no ambiente urbano.

A partir da discussão sobre a diferenciação entre termos tão complexos, neste trabalho utilizou-se os termos inundação e alagamento em razão das conceituações serem consideradas as mais adequadas ao tipo de evento, em meios urbanos e causados por chuvas extremas, que ocorrem na bacia hidrográfica do rio Bacuri, situado no município de Imperatriz - MA.

O município de Imperatriz sofre anualmente, durante o período chuvoso, com as incidências dos processos de inundação e alagamento em toda área urbana, o que causa várias consequências sociais e ambientais e que poderiam ser evitadas se houvesse um processo de ocupação planejado assim como gestão das áreas. Diante destes cenários, é de grande importância estudos que envolvam e que gerem produtos sobre a identificação e mapeamento dessas áreas, entender o uso da terra desses lugares é essencial para apontar modificações e identificar como a impermeabilização do solo urbano tem relação direta com essas questões.

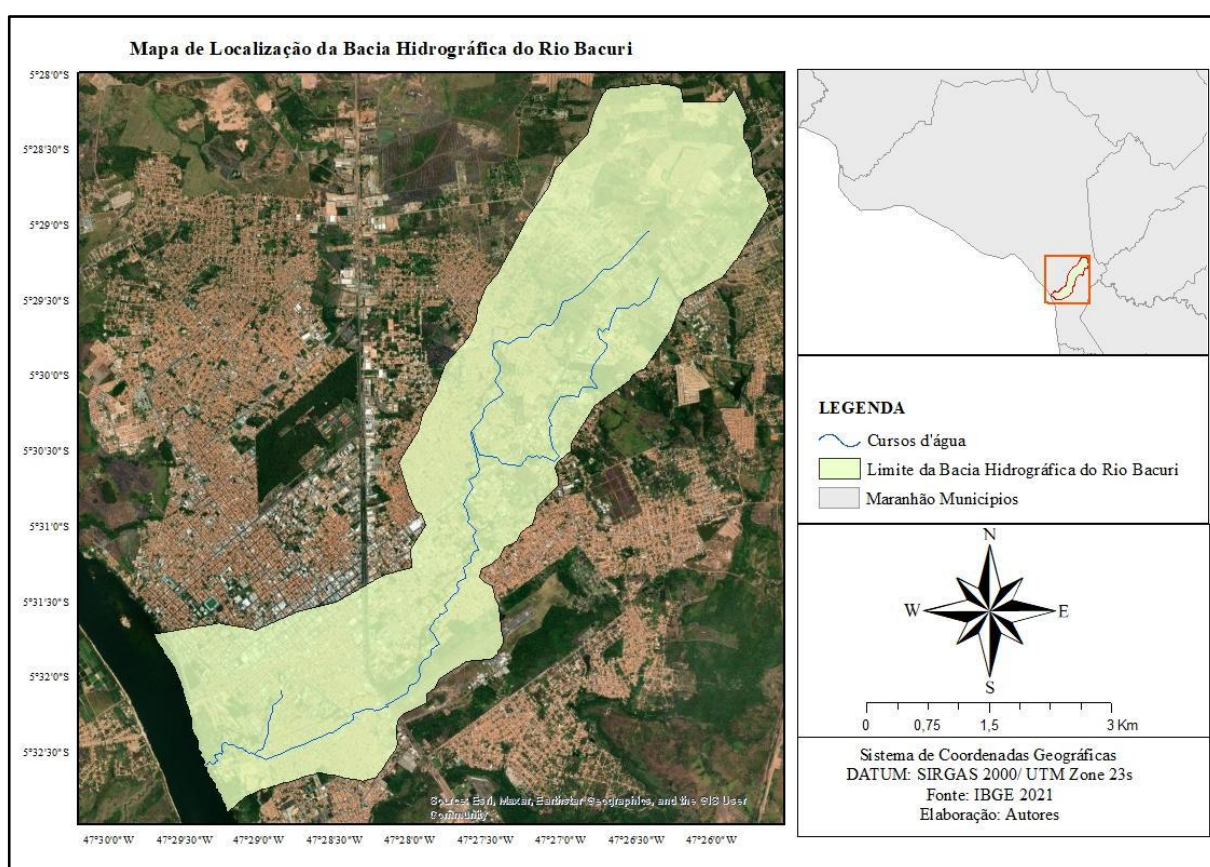
Portanto, o objetivo geral deste trabalho é compreender quais as áreas que apresentam problemas à inundação e alagamento na bacia hidrográfica do rio Bacuri - MA.

Caracterização da Área de estudo

O município de Imperatriz - MA está localizado $-5^{\circ}31'12$ de latitude Sul e $-44^{\circ}28'12$ de longitude Oeste de Greenwich (IBGE, 2022), com uma área total de 1.369.039 km², com densidade demográfica de 199.49 habitantes/ km², e distante de 634,9 km da capital São Luís-MA. Atualmente, a região geográfica imediata de Imperatriz no estado do Maranhão é composto por 17 municípios, e o estado é composto por 217 municípios, ambos distribuídos por 22 regiões geográficas imediatas, que por sua vez estão agrupadas em cinco regiões geográficas intermediárias, as regiões geográficas imediatas, substituíram as microrregiões (IBGE, 2017).

De acordo com Ribeiro (2018), existem quatro principais rios que correm na área urbana de Imperatriz, que transbordam em períodos de fortes chuvas, são eles: Santa Tereza, Capivara, Bacuri e Cacau. Destes, os mais agravados e problemáticos são os rios Bacuri e Santa Tereza, por atravessarem toda a cidade drenando uma extensa área densamente populosa. A bacia hidrográfica do Bacuri, área de estudo da seguinte pesquisa, está inserida no município e foi escolhida devido ao alto grau de complexidade social que se encontra (Figura 01).

Figura 1 - Mapa de localização da Bacia Hidrográfica do Rio Bacuri



Fonte: Elaborado pelos autores (2023).

De acordo com Nascimento *et al.* (2015), o Clima que compreende o município é caracterizado como tropical superúmido, com médias anuais pluviométricas de aproximadamente 1500mm, e suas temperaturas médias variam na maior parte do ano entre 24°C e 29°C. O clima, pode ser definido entre dois períodos bem definidos, período de seca e o período chuvoso, são índices relacionados com a variabilidade de precipitação

que ocorre nesta região.

De vila a uma cidade média, Imperatriz é berço das diversidades sejam elas econômicas ou culturais, impulsionada pela construção da Rodovia Belém- Brasília, a cidade tornou-se um atrativo para novos investimentos e trabalhadores em busca de melhores condições de vida (Santos e Nunes, 2018). Novos habitantes que, aglomeram e alojam-se às margens dos cursos d'água causando um grande desequilíbrio ambiental.

Toda essa problemática que a cidade e a população enfrentam, diz respeito principalmente pela ausência de um planejamento urbano, problema visto em boa parte das cidades brasileiras, entretanto, essa discussão tem raiz embrionária nas frentes de ocupação do Brasil desde os primórdios. A cidade de Imperatriz, de acordo com Santos e Nunes (2018), teve origem nas formações de ocupação do Sul do Maranhão, que pode ser explicada a partir de três principais frente de ocupação, a primeira no sentido Norte/Sul, a segunda no sentido Oeste/ Leste e a terceira no sentido Noroeste/Sudeste que, respectivamente constituem as frentes Litorânea, Sertanejo e Paraense.

De acordo com Santos e Nunes (2018), os processos de ocupação do município de Imperatriz são caracterizados por ciclos distintos que compreendem as atividades econômicas da época, que direta ou indiretamente impulsionaram e deram destaques para o desenvolvimento da cidade. Estes ciclos podem ser destacados pela influência do ciclo do arroz, madeira e borracha, além da construção da rodovia Belém - Brasília, na qual trouxeram para esta região vários migrantes de toda parte do País.

A bacia hidrográfica do rio Bacuri, obedeceu ao mesmo processo de ocupação da cidade de Imperatriz, as áreas próximas a sua foz, ou seja, próximas ao rio Tocantins, foram as primeiras a serem ocupadas devido ao acesso mais fácil ao rio. Ao longo dos anos e com o aumento do processo de ocupação, foram sendo ocupadas áreas mais distantes ao rio Tocantins, mas seguindo a rede de drenagem do rio Bacuri, seu afluente. Atualmente, praticamente toda a área do rio Bacuri está urbanizada, até mesmo a área de sua nascente sofre com o intenso processo de ocupação de condomínios residenciais.

Procedimentos Metodológicos

A construção desta pesquisa seguiu quatro etapas. A primeira etapa compreendeu o levantamento bibliográfico sobre os assuntos abordados nesta pesquisa. Levantou-se debates acerca das diferenciações entre os conceitos de inundação e alagamentos, bem

como as funcionalidades dos programas utilizados para o mapeamento das áreas suscetíveis à inundação. O levantamento bibliográfico é uma etapa fundamental para que o pesquisador aprofunde seus conhecimentos com relação a sua área de estudo de forma organizada e objetiva. Conforme Amaral (2007):

[...] é uma etapa fundamental em todo trabalho científico que influenciará todas as etapas de uma pesquisa, na medida em que der o embasamento teórico em que se baseará o trabalho. Consistem no levantamento, seleção, fichamento e arquivamento de informações relacionadas à pesquisa (Amaral, 2007, p. 1).

A segunda etapa dos processos metodológicos consistiu na utilização do software Qgis 3.22, o mesmo é um software livre multiplataforma de Sistema de Informação Geográfica (SIG), que fornece a visualização, edição, e análise de dados georreferenciados. Atualmente, o Qgis conta com várias versões que fornecem ferramentas para otimizar o tempo dos usuários e maior acurácia de seus dados. O software foi utilizado para a classificação das imagens CBERS 4A do sensor WPM, que após o processo de Fusão (bandas multiespectrais com a banda pancromática) alcançou 2 metros de resolução espacial, a partir delas houve a geração dos mapas de impermeabilização e a espacialização dos pontos de alagamento.

Esses pontos de alagamento foram extraídos de relatórios técnicos de vistorias datados no ano de 2018, disponibilizados pela Superintendência Municipal de Proteção e Defesa Civil (SUMPDEC), onde foi possível quantificar os principais pontos críticos atingidos pelas inundações e alagamentos.

Para a realização do Modelo de áreas suscetíveis ao processo de inundação, utilizamos o MDE COP-30 que é uma versão de livre acesso e de cobertura global do programa Copernicus DEM. Este MDE, é resultado de interferometria de radar de abertura sintética (INSAR) em banda X da missão TanDEM-X e TerraSAR-X nos anos de 2011 e 2015, financiado pelo poder público-privado entre o governo alemão, representado pela Agência Aeroespacial Alemã (DLR) e Airbus Defence and Space (Cremon *et al.*,2022).

Para a geração de áreas suscetíveis à inundação na bacia hidrográfica do rio Bacuri, utilizou-se o programa *Hand Model*, que foi totalmente desenvolvido no Brasil. Conforme Nobre *et al.*(2011), para as aplicações no mapeamento de terreno o Hand Model tem a capacidade de classificar a topologia *Hand*, separando terrenos

hidrológicamente homogêneos, para aplicações no mapeamento preditivo de risco hidrológico, o programa tem a capacidade de gerar curvas de níveis vetoriais, normalizadas pela drenagem, indicando zonas escalonadas de inundação.

A aplicabilidade do *Hand Model* para os desastres naturais, consiste na indicação de áreas suscetíveis a enchentes ou inundações, apenas pela análise dos desníveis topográficos e da proximidade relativa dos rios. Para gerar o mapeamento de áreas suscetíveis a inundação do rio Bacuri, dentro do *Hand Model*, foram feitas as correções do (MDE) Copernicus Dem, mais o gerenciamento do fluxo acumulado, seguido da extração da drenagem.

Após o concebimento do *Hand* por meio do Copernicus, o mesmo foi levado para o software Qgis para estabelecer as cotas de inundação, levando em consideração as fortes chuvas ocorridas no ano de 2020, com os relatos dos moradores que vivem próximo ao rio bacuri, foram utilizados intervalos de 3 metros, marca onde a água alcançou residências na área da bacia. Após a reclassificação por tabela, foram estabelecidos critérios para amostragem de áreas com diferentes níveis de suscetibilidade de inundação.

A última etapa dos processos metodológicos consistiu na jornada de campo realizada no dia 29 de maio de 2023, para conhecer a realidade na qual estão inseridos os agentes que sofrem anualmente pela cheia do rio, bem como a vulnerabilidade ambiental do mesmo. De acordo com o Núcleo Geoambiental (NUGEO, 2023), cidades como Imperatriz costumam apresentar menos de 50 mm de chuvas durante o mês de maio, sobretudo, datadas no ano de 2023.

Foram aplicados questionários e entrevistas visando a vulnerabilidade da população Imperatrizense que habitam as proximidades do rio, durante as entrevistas 99% dos entrevistados relataram que tiveram suas residências atingidas pela água, ocasionando perdas de bens materiais. Durante esta jornada de campo, os mesmos sugeriram ideias para evitar estas ocorrências, como limpeza, aprofundamento do rio, construção de galerias, entre outros.

Resultados e Discussões

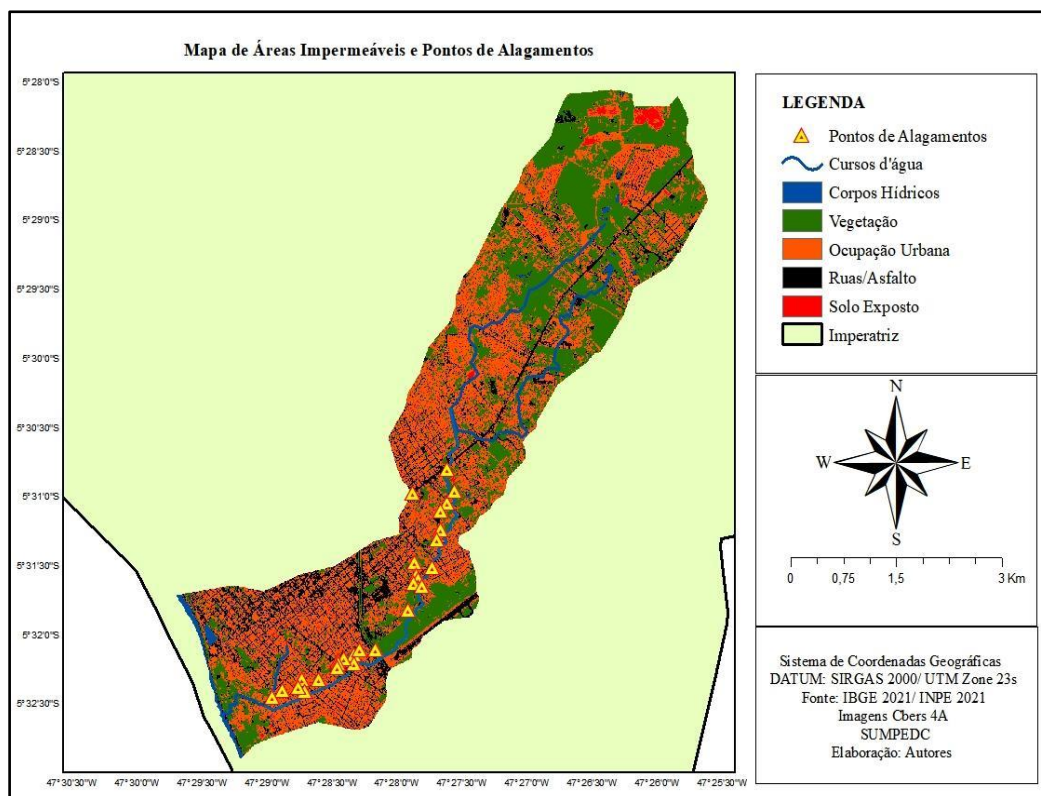
No caso do município de Imperatriz, as inundações ocorrem devido às fortes chuvas que aceleram os níveis de cheia dos rios e riachos que banham o município, juntamente com o desmazelo do sistema de drenagem, que são insuficientes na curetagem da água da chuva, ocasionando alagamentos momentâneos em determinados pontos da cidade.

A cidade de Imperatriz passou por intensos processos de urbanização relacionados com as atividades econômicas, tais ações refletem diretamente na desorganização populacional até hoje. Nesse sentido Ribeiro (2018), afirma que a maioria das cidades brasileiras surgiram por meio de interesses comerciais, sem planejamento prévio, ocasionando um crescimento desordenado da população e desajuste na estrutura e seus alicerces.

No contexto da realidade da bacia hidrográfica do rio Bacuri, às margens do rio foram sendo ocupadas por um grande contingente que deram origens aos grandes bairros existentes próximos ao leito do rio sem planejamento adequado, acarretando diversos problemas como: construções irregulares, ausência da rede de esgoto, ausência de pavimentação, entre outros.

Atualmente, o rio transporta em seu leito uma vazão composta por lixos, detritos e poluentes que acabam contribuindo para o assoreamento do rio, reduzindo a velocidade do fluxo de água ocasionando inundações e alagamentos em tempos chuvosos.

Presentemente 90 % da área da bacia é coberta por área urbana e algumas áreas ao norte apresentam pequenas manchas de vegetação, principalmente próximo a área da nascente. Essa característica faz com que problemas como inundação e alagamento, tenham impactos graves para a população local. Nessa perspectiva, o seguinte mapa (Figura 2) apresenta áreas de impermeabilização especificamente da bacia hidrográfica do rio Bacuri.

Figura 2- Áreas impermeáveis e pontos de alagamentos

Fonte: Elaborado pelos autores (2023).

O uso e apropriação inadequado de terras próximos aos recursos hídricos causam diversos problemas relacionados com atividades antrópicas como: redução da qualidade de água, escoamento superficial elevado, poluição de aquíferos, desmatamento de matas ciliares, erosão, poluição de afluentes, compactação e assoreamento dos afluentes.

Estes fatores agravam os processos de inundação e alagamento decorrentes da vazão deste rio, associado ao processo de impermeabilização do solo, que reduz a capacidade de absorção da água decorrentes da chuva aumentando o risco de alagamentos e inundações, isso acontece em razão do asfaltamento, calçamento de ruas e calçadas, de construções de edificações e cimentação dos quintais e jardins de casas. O mapa de áreas impermeáveis é constituído por cinco classes de cobertura que representam vegetação, ocupação urbana, ruas e asfalto, solo exposto e corpos hídricos, o mapa também representa os cursos d'água e a espacialização dos principais pontos de alagamentos.

Levando em consideração o cenário atual em que vivemos, em que a urbanização cresce de forma acelerada acentuando os processos de ocupação e uso do solo de forma

irregular, exploração dos recursos naturais da natureza, que desequilibram a dinâmica natural da terra, deixando a sociedade vulnerável aos diversos níveis de risco.

O mapa (figura 2), apresenta com exatidão umas das causas da interação homem e meio ambiente, e como o mesmo pode agravar os danos de risco social e ambiental. Por meio dos dados da superintendência municipal de proteção e defesa civil (SUMPDEC) foi possível fazer o mapeamento dos principais pontos de alagamentos decorrentes das cheias do rio Bacuri, com as seguintes ruas: Av. Liberdade; Av. São Sebastião; Av. Babaçulândia; BR 010; Rua Alvorada; Rua Araçonga; Rua Beta; Rua Carajás; Rua Ceará; Rua Coriolano Milhomem; Rua Dom Marcelino; Rua Dom Pedro I; Rua Dom Pedro II; Rua Estreita; Rua Euclides da Cunha; Rua Francisco Policarpo Melo; Rua Godofredo Viana; Rua Henrique Dias; Rua Leôncio Pires Dourado; Rua Maranhão; Rua Manoel Saraiva; Rua Monteiro Lobato; Rua Padre Cícero; Rua Paulo Afonso; Rua Piauí; Rua Rio Grande do Norte; Rua Santa Maria; Rua Simplício Moreira.

Levando em consideração às proximidades dos pontos de alagamentos em razão da vazão do rio Bacuri a lei federal nº 12.651 aprovada em 2012, as regulamentações para a preservação de cursos d'água, (APPs) deviam ter uma área de no mínimo 15 metros de distância entre uma construção e as margens dos cursos de água, este critério pode ser alterado de acordo com o tamanho de cada curso d'água (Brasil, 2012).

Com estas regulamentações, as construções deveriam manter uma distância de 30 metros para os cursos d'água com menos de 10 metros de largura; 50 metros para cursos d'água que tenham de 10 a 50 metros de largura; 100 metros para os cursos d'água com 50 a 200 metros de largura; 200 metros para cursos d'água com 200 a 600 metros de largura; 500 metros para cursos d'água com a largura superior a 600 metros (Brasil, 2012).

No entanto, o congresso nacional decretou e sancionou a lei 14.285/2021 transferindo para os municípios e distrito federal a atribuição para definir as faixas marginais de qualquer curso d'água perene ou intermitente em áreas urbanas consolidadas que são sujeitas a regime de preservação permanente.

Essas novas regras determinam a não ocupação de áreas com risco de desastres, a observância das diretrizes do plano de recursos hídricos, do plano de bacia, do plano de drenagem ou plano de saneamento básico, previsão de que as atividades ou os empreendimentos a serem instalados nas áreas de preservação permanentes urbanas

devem observar os casos de utilidades pública, de interesse social ou de baixo impacto ambiental (Brasil, 2021).

Considerando estas afirmativas, o rio Bacuri apresenta em média 5 metros de largura, dependendo dos pontos de localização que o mesmo se encontra, é possível observar de forma negligente, construções irregulares próximas às margens do rio, indo contra o que está previsto na lei ^o14.285/2021 (figura 3).

Figura 3- Construções às margens do Rio Bacuri



Fonte: Elaborado pelos autores (2023).

A bacia hidrográfica do Bacuri, em termos de tamanho, não é a maior do município de Imperatriz, no entanto, é debate de estudos e pesquisas por estar localizada em boa parte da malha urbana da cidade ser uma das mais complexas, devido seu processo de ocupação. Citado anteriormente, o processo de urbanização desencadeia uma série de problemas relacionados à saúde aquática do rio, que reflete na sociedade em geral em esferas públicas e privadas, problemas gerados pela ação antrópica e intensificados pela chuva.

Em dados do relatório técnico da superintendência municipal de proteção e defesa civil (SUMPDEC) em abril de 2019, todos os rios do município de Imperatriz ultrapassaram suas áreas de vazão, deixando 2100 pessoas desalojadas e 400 pessoas

desabrigadas, contabilizando um total de 2500 pessoas atingidas pelos processos de inundação e alagamento.

Durante a jornada de campo com aplicação dos questionários, dentre as nove pessoas entrevistadas, 6 pessoas relataram danos materiais, 8 pessoas foram atingidas, 7 pessoas relataram que a água entrou em sua residência e 9 pessoas relataram que a água inundou ou alagou sua rua, a entrevista ocorreu, sobretudo, nos pontos críticos de alagamentos, ruas Alvorada, Coriolano Milhomem e Simplício Moreira. Nas (figuras 4 e 5) podemos ver as proporções dos alagamentos no centro urbano da cidade.

Figura 4- Pontos de alagamentos



Fonte: Jornada de campo.

Figura 5- Pontos de alagamentos

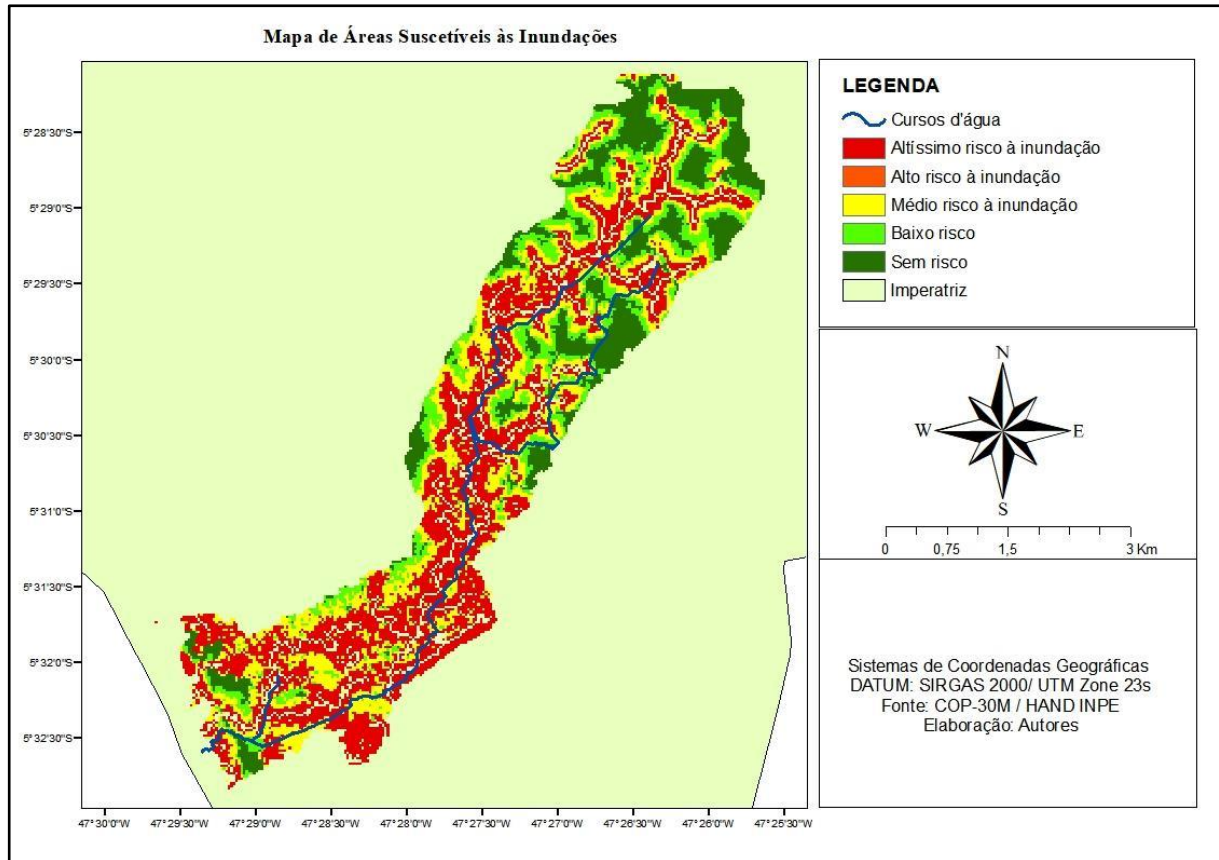


O rio carrega consigo a nomenclatura de um dos maiores e mais antigos bairros de Imperatriz “Bacuri”, durante a jornada de campo pode-se perceber que boa parte da população vive em situação de vulnerabilidade socioeconômica, tornando-se os principais agentes na degradação da mata ciliar e contaminação das águas, situações que colocam em risco a saúde pública, uma vez que, o rio poluído tornasse um agravante na propagação de vírus e bactérias assimilado com a ausência do saneamento básico. A interação homem e natureza com o passar do tempo está relacionada, sobretudo, com intensas explorações dos recursos naturais e apropriação do solo para diversas atividades.

A partir do mapa de áreas suscetíveis a inundações, podemos identificar as áreas que são mais propícias à ocorrência do fenômeno de inundação (figura 6). O Mapa de áreas suscetíveis à inundação foi realizado no programa *Hand Model* e está classificado em: altíssimo risco à inundação, alto risco à inundação, médio à inundação, baixo risco e sem risco, as cores quentes representam o alto risco de inundação, quanto as cores frias representam um pequeno percentual do não risco à inundação.

As áreas que apresentam alto risco à inundação são áreas mais próximas do centro da cidade e que apresentam uma baixa declividade, ou seja, apresentam um relevo relativamente rebaixado, outro fator a ser considerado está associado à ausência de mata ciliar, as matas ciliares são sistemas florestais naturalmente presentes em faixas às margens de cursos d'água, cuja função é reduzir o assoreamento e degradação do meio ambiente. Esta observação pode ser evidenciada através do mapa, onde as áreas com baixo risco ou sem risco de inundação estão localizadas em sucintas áreas que apresenta um pequeno percentual de mata ciliar em torno do rio Bacuri e áreas mais elevadas.

As áreas com menor risco encontram-se na parte norte do mapa e ficam próximas às áreas de nascentes onde apresenta um pouco mais de vegetação. Porém essa área próxima a nascente, que fica localizada nas proximidades da Avenida Pedro Neiva, já enfrenta problemas ambientais e principalmente a ocupação sem planejamento, a região está sendo ocupada por condomínios de médio e alto padrão.

Figura 6 - Mapa de áreas suscetíveis às inundações

Fonte: Elaborado pelos Autores (2023).

Outro fator ligado aos eventos de inundação e alagamento decorrentes da vazão deste rio, está associado ao processo de impermeabilização do solo, que reduz a capacidade de absorção da água decorrentes da chuva aumentando o risco de alagamentos e inundações, isso acontece em razão do asfaltamento, calçamento de ruas e calçadas, de construções de edificações e cimentação dos quintais e jardins de casas.

As áreas com maior risco à inundação apresentam uma ineficiência quanto ao sistema de drenagem, uma vez que, este sistema independente de seu tamanho é fundamental pelo transporte das águas que caem em toda cidade para as bacias hidrográficas, a fim de evitar possíveis inundações e alagamentos. Embora o plano diretor do município garanta políticas públicas de gestão e proteção ambiental, a realidade vivenciada ocorre de forma heterogênea.

Atualmente, existem dois modelos no combate à inundação, denominadas de medidas estruturais e não-estruturais, as medidas estruturais podem ser caracterizadas

como extensivas e intensivas. Segundo Tucci (1995), as extensivas são medidas que agem diretamente sobre a bacia hidrográfica, modificando as relações entre precipitação e vazão, para as medidas extensivas podem ser citados vários tipos de exemplos, como: controle da cobertura vegetal, obras de microdrenagem, dispositivos que aumentem a capacidade de infiltração e de percolação, armazenamento e controle de erosão.

No entanto, Tucci (1995) salienta que essas medidas extensivas geralmente são aplicáveis em pequenas bacias. As medidas estruturais intensivas, de acordo com Mendes (2004), são aquelas que agem diretamente nos cursos d'água, cujo objetivos podem ser classificados nos seguintes tipos: construção de diques, muros de contenção, reservatórios de acumulação e retardamento, canais de desvios e obras de engenharia.

As medidas não-estruturais, por sua vez, visam manter a população ou comunidade segura através de um planejamento e gerenciamento do desenvolvimento urbano, dentre as medidas não-estruturais podem ser citados: zoneamento das áreas de risco, planejamento do uso do solo, sistema de previsão e alerta, seguro contra enchentes, evacuação temporária da área de várzea, aumento da capacidade de escoamento do canal, controle da erosão e reflorestamento Mendes (2004).

Todas essas medidas estão bem distantes da realidade da bacia do rio Bacuri, uma vez que, os custos para estas medidas são de valores elevados. Por outro lado, seria necessário o remanejamento dos habitantes para outro local, o que resultaria em uma resistência por parte dos moradores em deixar suas casas para a aplicação de tal ação para recuperação do rio.

Considerações finais

A bacia hidrográfica do Rio Bacuri sofre intensos processos antrópicos, seu leito é constituído por várias habitações. O desempenho do método *HAND* no mapeamento de áreas suscetíveis à inundação representou com positividade para o valor definido da cota de inundação para 3 metros, em que as manchas caracterizaram as principais áreas de ocorrência dos processos de inundações e alagamentos, em uma observação, as manchas coincidiram com os pontos disponibilizados pela SUMPDEC, o seu uso poderia compor as ferramentas de planejamento e gestão pública nos estudos de áreas suscetíveis à inundação.

Os resultados obtidos por meio deste trabalho evidenciam a dificuldade da execução de um plano no combate das inundações e alagamentos, bem como a prevenção do rio Bacuri. Portanto, o mapeamento por meio do uso de ferramentas da área de Geotecnologias, permitiu visualizar as áreas com maiores riscos, auxiliando na identificação destas áreas na qual necessitam de maior atenção pelo poder público.

Referências

AMARAL, J, J.F. **Como Fazer uma Pesquisa Bibliográfica**. Fortaleza, CE: Universidade Federal do Ceará. Disponível em: <http://200.17.137.109:8081/xiscanoe/courses1/mentoring/tutoring/Como%20fazer%20pesquisa%20bibliografica.pdf>> . Acesso em: 18/05/2023.

BRAGA, J, O. **Alagamentos e inundações em áreas urbanas: estudo de caso na cidade de Santa Maria – DF**. Distrito Federal, Brasília. Agosto de 2016. 33p. UNB/IH/GEA, bacharelado, 2016.

BRASIL. **Lei Federal nº 12.651**, de Maio de 2012. Proteção de vegetação nativa. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/ato2011-2014/2012/lei/112651.htm. Acesso: 14/08/2023.

BRASIL. **Lei Federal nº 14.285**, de 29 de dezembro de 2021. Áreas de preservação permanente no entorno de cursos d'água em áreas urbanas consolidadas. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/ato2019-2022/2021/Lei/L14285.htm Acesso em: 14/08/2023.

BRASIL. Tribunal de Contas da União. **Recursos para Gestão de Risco e Desastres**.2023. Disponível em: <https://paineis.tcu.gov.br/pub/?workspaceId=8bfbd0cc-f2cd-4e1c-8cde-6abdfdfa6a8&reportId=38677b6b-e536-4ad5-896c-5bef379e67d5> . Acesso em: 26/01/2023.

CASTRO, A. L. C. de. **Manual de desastres: desastres naturais**. Brasília: Ministério da Integração Nacional, 2003. 174 p.

CREMON, É. H.; BETTIOL, G. M.; MAGNAJUNIOR, J. P. M.; MACEDO, F. C.; RABELO, M. W. O. Avaliação da altimetria do MDE COP-30 no Centro-Oeste do Brasil. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 74, n. 3, p. 536–546, 2022.

GRILO, R. C. **A precipitação pluvial e o escoamento superficial na cidade de Rio Claro/SP**. 1992. 103 p. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 1992.

IBGE. **Cidades**. 2022. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/ma/imperatriz/panorama> Acesso em: 13/08/2023.

IBGE. **Divisão Regional Brasil 2017**.2023. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/cartas-e-mapas/redes-geograficas/15778-divisoes-regionais-do-brasil.html> . Acesso em: 13/08/2023.

MENDES, H. C.; MARCO, G.; ANDRADE, J. P. M.; SOUSA, S. A.; MACEDO, R. **F.Reflexões sobre impacto das inundações e propostas de políticas públicas mitigadoras**.São Paulo:UFSC, 2004.

MINISTÉRIO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA/ CENTRO DE ESTUDOS E GESTÃO ESTRATÉGICA - MCT/CGE. **Diretrizes estratégicas para o Fundo de Recursos Hídricos de Desenvolvimento Científico e Tecnológico**. Brasília, 2002. Disponível em: <https://www.gov.br/ana/pt-br> . Acesso em: 20/08/2023.

NASCIMENTO, F.; BRAGA, C.; ARAÚJO, F.; COSTA, E. Caracterização de eventos secos e chuvosos na microrregião de Imperatriz - MA. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 8, n. 2, p. 325-333, 2015.

NOBRE, A. D.; CUARTAS, L. A.; HODNET, M. RENNO, C. D.; RODRIGUES, G.; SILVEIRA, A.; WATERLOO, M.; SALESKA, S. Height above the nearest drainage, a hydrologically relevant new terrain model. **Journal of Hydrology**, v. 404, n. 1-2, p. 13-29, 2011.

NUGEO. **Avaliação Mensal da Chuva em Maio de 2023**. 2023. Disponível em: <https://www.nugeo.uema.br/>. Acesso em: 26/01/2023.

OLIVEIRA, R.C. **Medidas não estruturais na prevenção e controle de enchentes em áreas urbanas, como subsídios para o planejamento de uso e ocupação do solo: estudo de caso – bacia do córrego do Gregório – São Carlos (SP)**. Dissertação (Mestrado) - Universidade de São Paulo, Escola de Engenharia de São Carlos, São Carlos, 1998.

PREFEITURA MUNICIPAL DE IMPERATRIZ. Superintendência Municipal de Proteção e Defesa Civil-SUMPDEC. Relatórios Técnicos de vistoria. Mensagem pessoal enviada para o autor em 18/01/2023.

RIBEIRO, R. C. **Água vai, água vai, água vai: os transbordamentos dos Riachos na cidade de Imperatriz- MA**. 2018. 61 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Ciências Sociais) – Centro de Ciências Sociais, Saúde e Tecnologia, Universidade Federal do Maranhão, Imperatriz, 2018.

SANTOS, LS; Nunes, FG. Imperatriz do Maranhão: proposição para a compreensão do processo de ocupação e consolidação da cidade. **Geotextos**, 14(2), 117-141, 2018.

TUCCI, C. E. M.; PORTO, R. L. L.; BARROS, M. T. D. **Drenagem urbana**. Porto Alegre: UFRGS, v. V, 1995.

TUCCI, C.E., M.; BERTONI, J.C. (Orgs) **Inundações Urbanas na América do Sul.**
Associação Brasileira de Recursos Hídricos: Porto Alegre, 2003, p. 471.

Recebido em 07 de outubro de 2023.

Aceito 23 de janeiro de 2024.

Publicado em 07 de março de 2024.