



ANÁLISE DE SIMULAÇÃO E DELIMITAÇÃO DAS MANCHAS DE INUNDAÇÃO DO RIO POTI NA CIDADE DE TERESINA-PI

SIMULATION ANALYSIS AND DELIMITATION OF FLOOD SPOTS ON THE POTI RIVER IN THE CITY OF TERESINA-PI

Francisco das Chagas Paiva Silva¹, Amanda Bezerra Matias²

¹ Filiação; e-mail@e-mail.com.br; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2041-3331>

² Filiação; e-mail@e-mail.com.br; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0259-0908>

RESUMO: A inundação   considerada um dos perigos naturais mais comum e com grandes impactos, podendo resultar em graves perdas econ micas, ecológicas e sociais, que refletem diretamente nas comunidades ribeirinhas. A Cidade de Teresina, Capital do Estado do Pia , se destaca entre as cidades ribeirinhas do Brasil por ter sua área urbana localizada entre dois rios, o Parnaíba e o Poti. O que deve preocupar os gestores públicos quanto as eminentes inunda es ribeirinhas que podem ocorrer em decorrência de fortes eventos de precipita es que vem acontecendo nos últimos anos. Muitos dos impactos causados pelas inunda es em áreas costeiras, principalmente as mortes, poderiam ser evitadas com estratégias eficientes de resposta as emergências, planejamento prévio e sistemas de alertas. Diante disso, esta pesquisa tem por objetivo delimitar áreas de inunda es no trecho do Rio Poti, que está localizado na área urbana de Teresina, em Tempos de Recorrência (TR) de 2, 3, 5, 10, 20, 50 e 100 anos, a partir do modelo hidráulico HEC-RAS combinado com as ferramentas de SIG. Como resultados das simulados de vazão obtemos os seguintes valores: 1138,92 m³/s/TR 2; 1509,03 m³/s/TR 3; 1921,24 m³/s/TR 5; 2439,20 m³/s/TR 10; 2936,04 m³/s/TR 20; 3579,156 m³/s/TR 50; 4061,076 m³/s/TR 100. As simula es realizadas nesta pesquisa nos mostram que, apesar de algumas limita es, se apresentou satisfatório considerando os propósitos do estudo. De acordo com as simula es realizadas podemos concluir que, para podemos representar com maior riqueza de detalhes as áreas inundadas, são necessárias mais observa es das cheias.

Palavras-chave: Geoprocessamento. HEC-RAS. Simula o de inunda es.

ABSTRACT: Flooding is considered one of the most common natural hazards and with great impacts, which can result in serious economic, ecological and social losses, which directly reflect on riverside communities. The City of Teresina, Capital of the State of Pia , stands out among the riverside cities in Brazil for having its urban area located between two rivers, Parnaíba and Poti. What should worry public managers about the imminent riverine floods that can occur as a result of heavy rainfall events that have been happening in recent years. Many of the impacts caused by floods in coastal areas, especially deaths, could be avoided with efficient emergency response strategies, advance planning and early warning systems. Therefore, this research aims to delimit flooding areas in the stretch of the Poti River, which is located in the urban area of Teresina, in Times of Recurrence (TR) of 2, 3, 5, 10, 20, 50 and 100 years, from the hydraulic model HEC-RAS combined with GIS tools. As a result of the flow simulations, we obtain the following values: 1138.92 m³/s/TR 2; 1509.03 m³/s/TR 3; 1921.24 m³/s/TR 5; 2439.20 m³/s/TR 10; 2936.04 m³/s/TR 20; 3579.156 m³/s/TR 50; 4061.076 m³/s/TR 100. The simulations carried out in this research show us that, despite some limitations, it was satisfactory considering the purposes of the study. According to the simulations carried out, we can conclude that, in order to represent the flooded areas in greater detail, more observations of the floods are necessary.

Keywords: Geoprocessing. HEC-RAS. Flood simulation.

1 Introdu o

Globalmente tem se percebido constantes eventos climáticas, no qual os padrões e intensidade das chuvas têm apresentado altera es repentinas, que podem levar a ocorrência de desastres naturais (LEA; YEONSU; HYUNUK, 2019).

ANÁLISE DE SIMULAÇÃO E DELIMITAÇÃO DAS MANCHAS DE INUNDAÇÃO DO RIO POTI NA CIDADE DE TERESINA-PI

Os desastres relacionados ao clima estão se tornando cada vez mais frequentes, em grande parte, devido ao aumento do número de inundações e tempestades. As inundações sozinhas foram responsáveis por 47% de todos os desastres relacionados ao clima (DOUNGMANEE, PIAMCHAN, SIKHAO, 2019).

A inundação é considerada um dos perigos naturais mais comum e com grandes impactos, podendo resultar em graves perdas econômicas, ecológicas e sociais, que refletem diretamente nas comunidades ribeirinhas (DE LIMA *et al.*, 2020 e BERMÚDEZ *et al.*, 2021).

Segundo Margaretawahlstrom (2015) a fim de planejar a redução de riscos dos fenômenos naturais extremos, dois fatores críticos devem ser mantidos em mente: o crescimento populacional continuará a colocar mais e mais pessoas em perigo, enquanto a construção descontrolada em planícies de inundação e zonas costeiras propensas a tempestades aumentará as vulnerabilidades humanas. O custo dessa vulnerabilidade já é evidente pelo número crescente de mortos desde 1995, que aumentou em média, apesar de um declínio geral no número absoluto e relativo de pessoas afetadas por desastres relacionados ao clima (MARGARETAWAHLSTROM, 2015).

Reis *et al.* (2017) destaca que as ocupações e o desenvolvimento ao longo de rios e corpos hídricos ocasionam diversos problemas econômicos e sociais, no qual, segundo o relatório de desastres naturais relacionados ao clima acontecidos entre 1995-2015, as cheias foram os eventos mais comuns, representando 43% do total de desastres naturais, afetando 2,3 bilhões de pessoas no mundo (DOUNGMANEE, PIAMCHAN, SIKHAO, 2019).

A Cidade de Teresina, Capital do Estado do Piauí, se destaca entre as cidades ribeirinhas do Brasil por ter sua área urbana localizada entre dois rios, o Parnaíba e o Poti. O que deve preocupar os gestores públicos quanto as eminentes inundações ribeirinhas que podem ocorrer em decorrência de fortes eventos de precipitações que vem acontecendo nos últimos anos (AVASHIA; GARG, 2020).

A Agência Nacional de Águas (ANA) menciona que no Brasil, em 2017, cerca de três milhões de pessoas foram afetadas por alagamentos, enxurradas e inundações. A ANA também cita que, para o período de 2015 a 2017, foram registradas 1.424 ocorrências desses fenômenos, sendo o Sul do país o mais afetado, com 57% desses eventos, enquanto as regiões Norte, Sudeste, Nordeste e Centro-Oeste apresentaram 15%, 13%, 9% e 6%, respectivamente (ANA, 2018).

Em Teresina foi registrado em maio de 2009 uma vazão de 3.658m³/s e uma cota máxima de 14,52m no rio Poti, esta vazão é considerada a maior das últimas quatro décadas, superando, inclusive, a registrada em 1985 (3.210m³/s), em função das fortes chuvas caídas na nascente do Poti no estado do Ceará (SEMAR s/a). Informações da Defesa Civil confirmam que 14.397 famílias foram atingidas pelas inundações de 2009, das quais 4.000 ficaram desabrigadas e 10.000 desalojadas (MIRANDA; VALLADARES, 2019). De acordo com estudos feitos pela Companhia Hidrelétrica do São Francisco (CHESF), espera-se que o valor referente a essa vazão seja igualado ou superado apenas uma vez em um intervalo de 50 anos.

De Lima *et al.* (2020) afirmam que muitos dos impactos causados pelas inundações em áreas costeiras, principalmente as mortes, poderiam ser evitadas com estratégias eficientes de resposta as emergências, planejamento prévio e sistemas de alertas. Nesse sentido, são necessários traçar estratégias para gerenciamento de inundações, com planos de mitigação de riscos e prevenção de inundações (PSOMIADIS; DIAKAKIS; SOULIS, 2020a).

O mapeamento, monitoramento e avaliação dos impactos de eventos de inundações, utilizando os Sistemas de Informações Geográficas (SIG) tem se mostrados como ferramenta eficiente para avaliar e delimitar as inundações em grandes áreas, sendo vitais para elaboração das estratégias de gerenciamento e prevenção destes eventos (PSOMIADIS; DIAKAKIS; SOULIS, 2020a).

Diante disso, esta pesquisa tem por objetivo delimitar áreas de inundações no trecho do Rio Poti, que está localizado na área urbana de Teresina, em tempos de recorrência de 2, 3, 5, 10, 20, 50 e 100 anos, a partir do modelo hidráulico HEC-RAS combinado com as ferramentas de SIG, de forma que seja possível verificar, por meio de simulações, uma previsão de inundações no decorrer dos anos.

2 Materiais e métodos

Para auxiliar no processo de compreensão e desenvolvimento das simulações e mapas das manchas de inundação foi utilizado um modelo hidráulico HEC-RAS 5.0.7, em interação com o SIG QGIS 3.16.10. Apresenta-se nesta seção uma breve descrição dos procedimentos metodológicos utilizados para simular as inundações pelos tempos de recorrências pretendidos.

2.1 Área de estudo

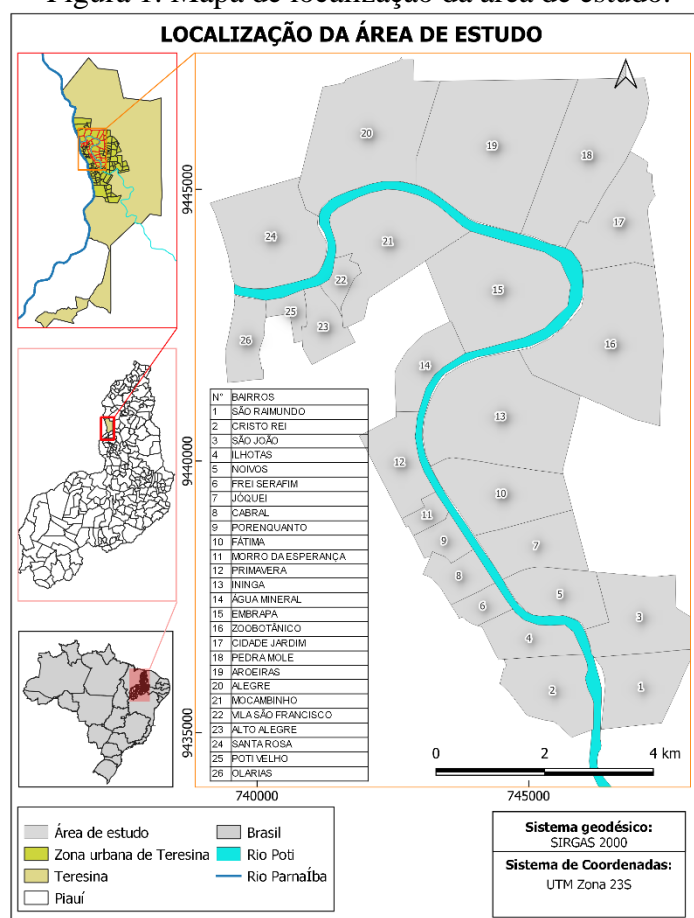
A cidade de Teresina, capital do Estado do Piauí, está localizada nas coordenadas geográficas 5°34'57" S, 43°00'32" O e 4°46'47" S, 42°35'39" O, na confluência de dois mananciais hídricos de grande importância regional, que são eles os Rios Poti e Parnaíba, que banham a cidade e evidenciam uma série de características físicas que devem condicionar o planejamento e a tomada de decisão para este espaço.

Segundo Lima (2011) o rio Poti apresenta uma extensão de 55,48 Km, estando 24,48 Km na área urbana de Teresina. Ao atravessar a cidade o Poti encontra-se no seu baixo curso, apresentando traçado fortemente meandrante até sua foz no Parnaíba, contornando os morros residuais sustentados por depósitos de "massará". Intermitente na maior parte do percurso, o rio apresenta cheias severas, mas de curta duração, dada a baixa capacidade reguladora de sua bacia hidrográfica.

O trecho selecionado para esta pesquisa compreende a área urbana do município, partindo do bairro Cristo Rei ao bairro Poti Velho (Figura 1). A escolha deste trecho é devido a presença do maior contingente populacional residente na área urbana e por estar diretamente ligado aos efeitos das inundações.

ANÁLISE DE SIMULAÇÃO E DELIMITAÇÃO DAS MANCHAS DE INUNDAÇÃO DO RÍO POTI NA CIDADE DE TERESINA-PI

Figura 1: Mapa de localização da área de estudo.



2.2 Análise do modelo hidráulico

Nesta pesquisa buscou-se aplicar a modelagem hidráulica para simulação das inundações de diferentes TR no canal principal do rio Poti, utilizando o modelo unidimensional (1D) do programa HEC-RAS, desenvolvido pelo Corpo de Engenharia do Exército dos Estados Unidos.

Os modelos aplicados pelo *Hydrologic Engineering Center River Analysis System* (HEC-RAS) são os mais comumente utilizados em modelagem hidráulicas para gerenciamento de inundações (LEA; YEONSU; HYUNUK, 2019).

Os modelos 1D têm sido considerados eficazes na previsão da extensão da inundação, que foi o objetivo nesta aplicação onde a modelagem hidráulica, juntamente com as ferramentas de SIG, permitem prever os níveis das inundações para diferentes tempos de recorrências (PSOMIADIS; DIAKAKIS; SOULIS, 2020b).

Segundo Monte, et al (2016) para a realização de modelagem hidráulica é necessário informações de qualidade para uma adequada representatividade das áreas inundadas, tais como (I) dados ou estimativas de vazões a montante do trecho e (II) boa qualidade de dados topobatimétricos da região de estudo. Deficiências nos dados topobatimétricos podem promover problemas na representação das áreas inundadas pelo modelo hidráulico devido à

representação inadequada do fundo do canal do rio e da morfologia da região no entorno do curso d'água.

Como dados de entrada para o modelo foram utilizados os limites do canal “as margens do rio” e a geometria das seções transversais extraída por um Modelo Digital de Elevação (MDE) fornecido pela AGESPISA (Águas e Esgoto do Piauí SA), disponível no site do Serviço Geológico do Brasil (CPRM), o modelo é datado de 2013, onde as curvas de nível são espaçadas de metro em metro, e foram obtidas por restituição aerofotogramétrica.

As seções transversais ao longo do rio foram espaçadas de 100 em 100 m. A interpolação dessas seções foi necessária devido a quantidade limitada de seções transversais. Foram utilizadas um total de 27 seções transversais.

Os valores de profundidade, o coeficiente de rugosidade de Manning (n), as séries históricas de vazão e projeção da vazão com base na série observada para os tempos de recorrência escolhidos também foram utilizados como dados de entrada e foram disponibilizados pelo relatório de manchas de inundação para as cidades de Teresina – PI e Timon – MA (SOUZA, 2018).

Para considerar o escoamento da calha do rio foi selecionado $n =$ como valor inicial 0.042 e para o escoamento da planície de inundação foi utilizado o valor de $n = 0.07$, para ambos os lados.

Outra informação importante para a simulação é a declividade do canal, essa declividade foi determinada com base no MDE, o valor identificado foi de 0.06494.

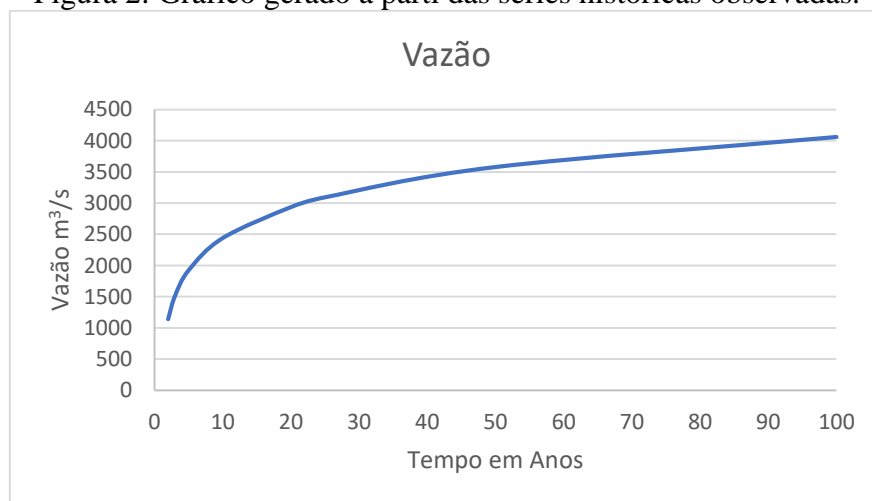
Apesar da falta de dados de vazão para eventos extremos, as projeções estatísticas nos permitem identificar, indiretamente, os valores aproximados para diferentes cenários. Após os cálculos e calibração do modelo, ele estimou a extensão e a profundidade das áreas inundáveis para os diferentes cenários. Para melhor interpretação dos dados foi realizado a exportação para o ambiente SIG, no qual foram gerados os mapas.

3 Análise dos resultados

3.1 Resultados estatísticos das projeções de vazão

A seguir veremos o resultado das vazões projetadas com base nas series históricas disponibilizadas pela ANA (Figura 2).

Figura 2: Gráfico gerado a parti das séries históricas observadas.



ANÁLISE DE SIMULAÇÃO E DELIMITAÇÃO DAS MANCHAS DE INUNDAÇÃO DO RIO POTI NA CIDADE DE TERESINA-PI

Como resultado das simulações de vazão, obtemos os seguintes dados: 1138,92 m³/s para TR 2; 1509,03 TR 3; 1921,24 m³/s TR 5; 2439,20 m³/s TR 10; 2936,04 m³/s TR 20; 3579,156 m³/s TR 50 e 4061,076 m³/s para TR 100. Nos primeiros 10 anos houve um aumento de aproximadamente 1500m³/s da vazão de pico, no entanto, notamos que, mesmo que haja uma tendência de aumento, com o passar dos anos esse aumento fica menos acentuado.

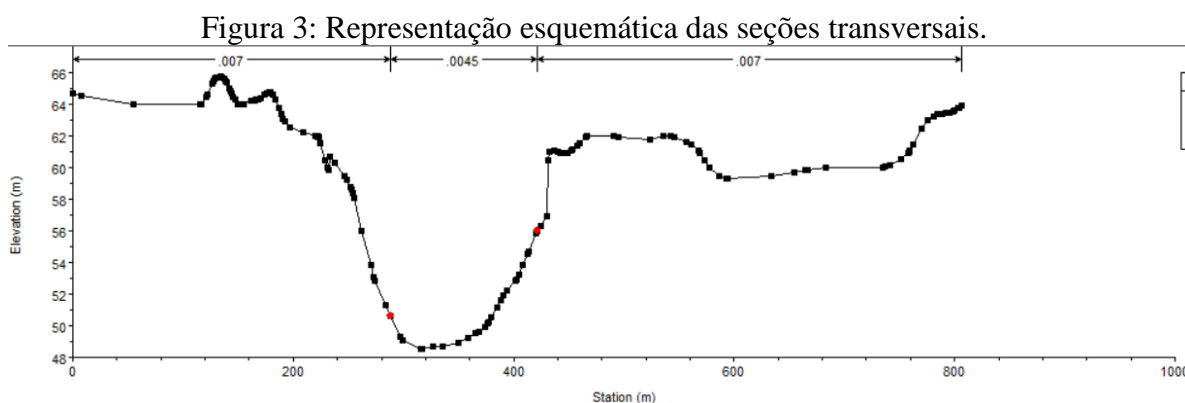
3.2 Batimetria

As seções transversais e os perfis longitudinais, compõem os dados iniciais de entrada no modelo, caracterizando a geometria do canal e seu traçado, para representar de maneira mais fidedigna a realidade que foi modelada.

Os dados topobatimétricos foram baseados em na metodologia aplicado por Souza (2018). Na

Figura 3 temos o exemplo da seção transversal plotado pelo HEC-RAS a partir dos dados inseridos e os valores do coeficiente de *manning* para cada margem do rio e canal principal.

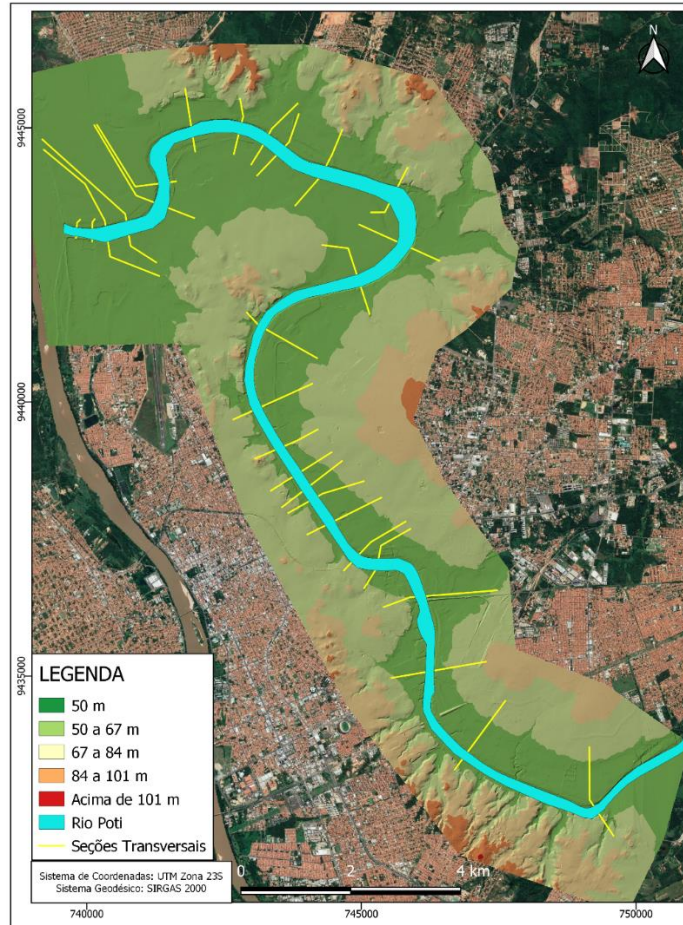
As seções transversais necessitam de dimensões como: profundidade, largura do leito e extensão das margens. Dados estes geralmente obtidos com a topobatimetria.



Na

Figura 4 temos o mapa com as 27 seções usadas na pesquisa e o modelo digital de elevação usado para a interpolação dos dados da superfície.

Figura 4: Mapa com as seções e delimitação do rio Poti.

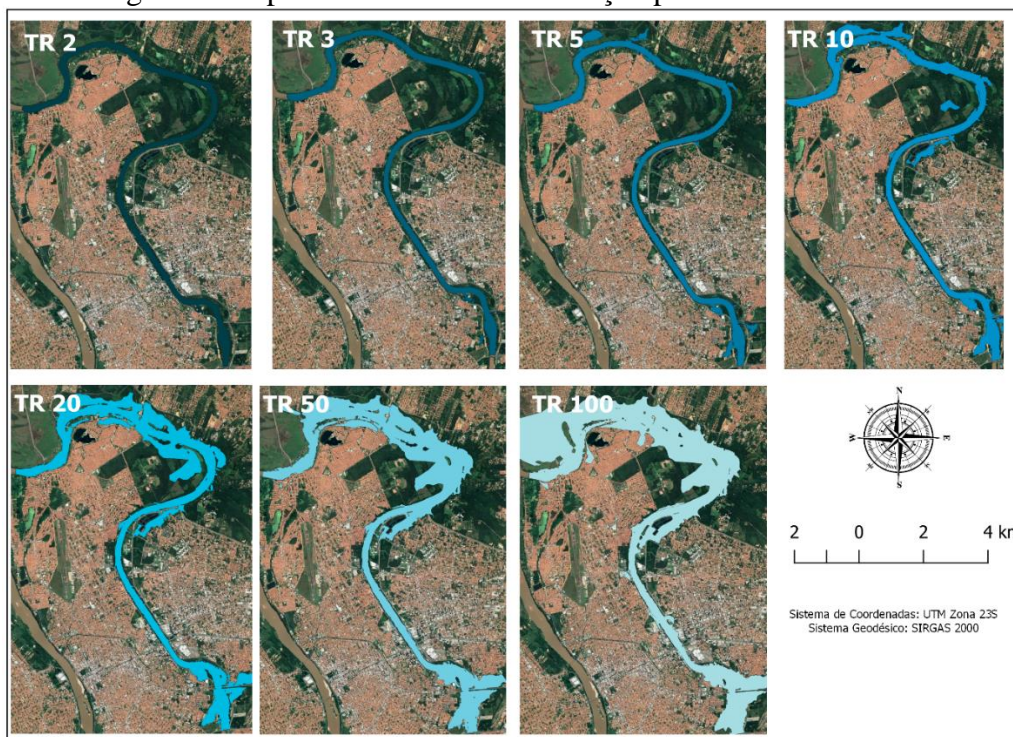


3.3 Resultados do Modelo Hidráulico e identificação das áreas mais vulneráveis

A partir das simulações para os diferentes cenários de vazão no modelo hidráulico, foi identificado as manchas de inundação para os TR escolhidos. Os mapas das manchas de inundação estão ilustrados na **Erro! Fonte de referência não encontrada.**6.

ANÁLISE DE SIMULAÇÃO E DELIMITAÇÃO DAS MANCHAS DE INUNDAÇÃO DO RIO POTI NA CIDADE DE TERESINA-PI

Figura 5: Mapa das manchas de inundação para os diferentes TR.



Como resultados das simulados de vazão obtemos os seguintes valores: 1138,92 m³/s/TR 2; 1509,03 m³/s/TR 3; 1921,24 m³/s/TR 5; 2439,20 m³/s/TR 10; 2936,04 m³/s/TR 20; 3579,156 m³/s/TR 50; 4061,076 m³/s/TR 100.

As extensões de inundação simuladas estão de acordo com a topografia local, no entanto, as manchas de inundações na região norte do mapa, que corresponde ao encontro dos rios Poti e Parnaíba, mostram uma certa defasagem. Essa defasagem está relacionada a limitação dos dados levantados naquela área.

Em termos de área máxima de inundação, as manchas apresentam um valor de 143,89 km² para a vazão de 4061,076 m³/s, TR de 100 anos.

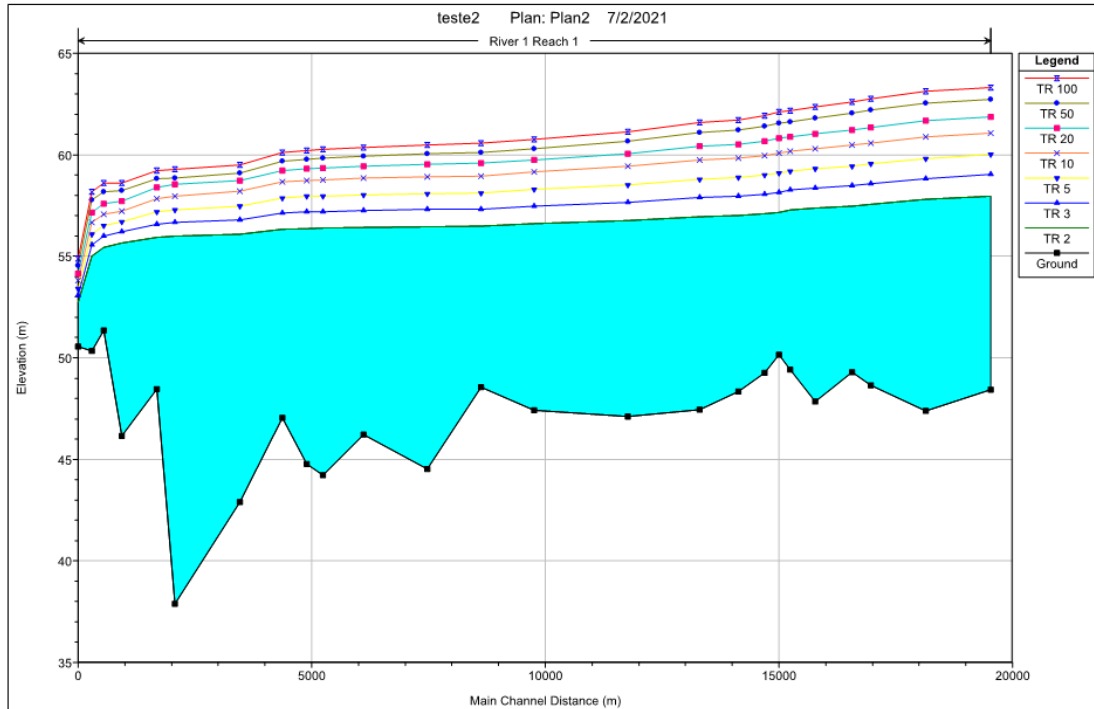
Com a elaboração das simulações podemos estimar que, para os TR de 10, 20, 50 e 100 anos poderá ocasionar riscos para os moradores dos bairros São João, Cristo Rei, Ilhotas e Mocambinho e Vila São Francisco.

Embora tenhamos resultados satisfatórios com as simulações de inundação para a área de interesse deste estudo, os cenários de 50 e 100 anos de recorrência podem sofrer maiores variações devido aos valores históricos da base de dados serem limitados a 28 anos de análise das vazões.

3.3.1 Cotas inundadas

As cotas de inundação correspondem à máxima para cada TR. Na Figura 6 veremos a representação gerada no HEC-RAS, do perfil longitudinal demonstrando a linha d'água em função dos sete tempo de recorrência (TR-anos).

Figura 6: Representação das cotas de inundação para cada TR.



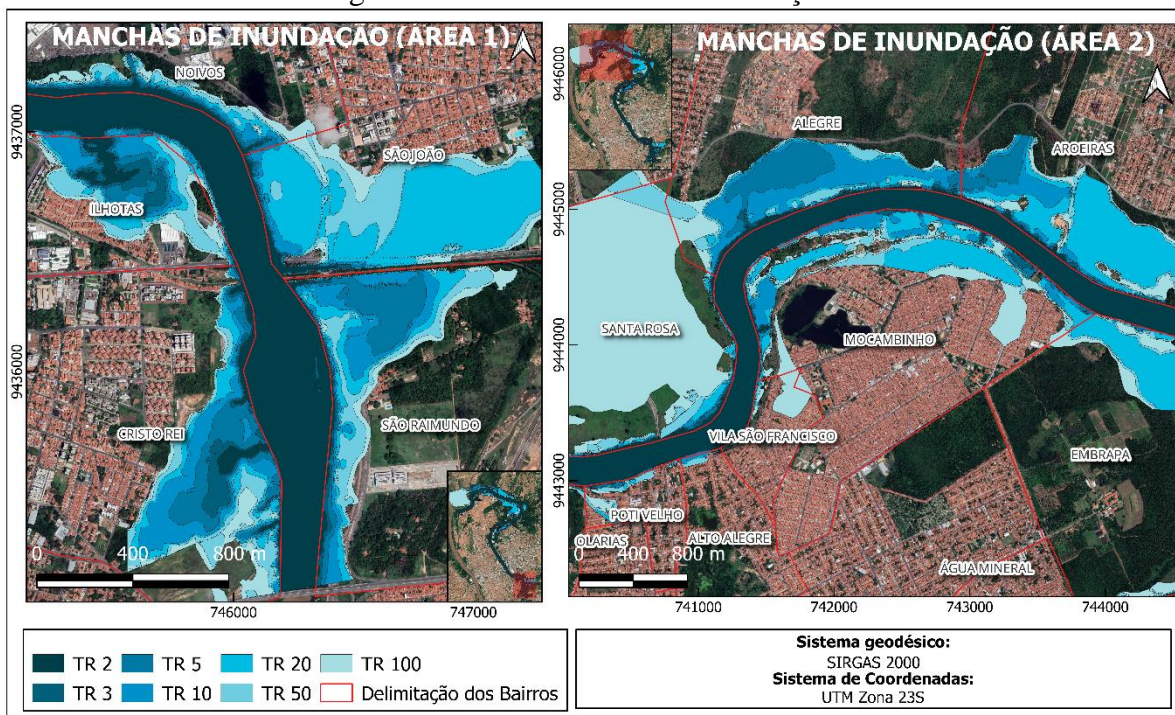
Cada ponto no fundo do canal representa uma seção transversal, a área em azul representa a calha molhada inicial, em seguida as linhas representando cada TR. O gráfico nos mostra que os valores de cotas maiores foram na entrada do modelo, ou seja, na primeira seção transversal, e foi reduzindo de acordo com a prolongação do canal, isso ocorre por causa das condições do canal, como por exemplo a sua rugosidade e sua característica meandrante, o que contribui para diferenças de cotas de profundidade do canal.

3.3.2 Áreas vulneráveis

Em se tratando dos pontos mais vulneráveis, foi possível identificar dois trechos de transbordamento mais críticos, esses trechos estão destacados nas Figura 7.

ANÁLISE DE SIMULAÇÃO E DELIMITAÇÃO DAS MANCHAS DE INUNDAÇÃO DO RIO POTI NA CIDADE DE TERESINA-PI

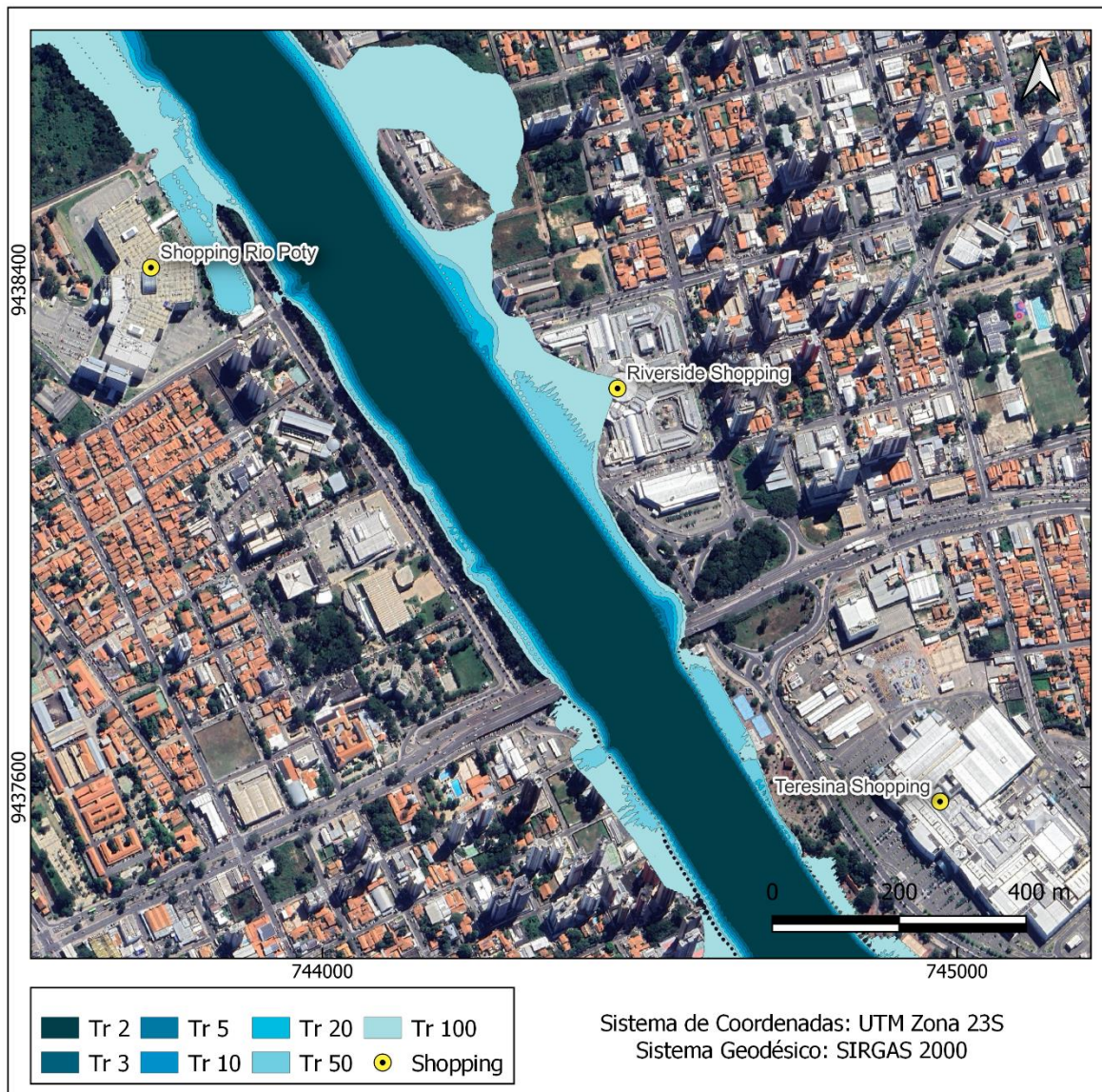
Figura 7: Pontos vulnererais as inundações.



Vazões superiores a 20 anos de TR já é suficiente para inundar alguns pontos da área urbana de Teresina, principalmente na parte média e baixa do trecho do rio Poti. Essas áreas de risco são áreas residenciais, comerciais, de serviços públicos e privados da cidade, e podem ser divididas em zonas leste e norte, representadas na figura 7 como “área 1” e “área 2”.

A área 1 está localizada na zona leste de Teresina, onde se localizam os dois maiores empreendimentos de alto padrão da capital, os shoppings centers (Figura 8). Ambos foram construídos em locais de planície de inundação, que foram aterradas para dar lugar as estruturas urbanas. Segundo Chaves (2015) essa interferência vem provocando diversos problemas de drenagem, dentre elas a inundação.

Figura 8: Mapa de identificação dos shoppings de Teresina.



A área 2 está localizada na zona norte, que é caracterizada por ser a área mais baixa da cidade, onde ocorre a confluência dos rios Poti e Parnaíba, que compõem um sistema natural de acumulação de água da região. A ocupação dessa área da cidade, se desenvolveu principalmente depois da instalação do aeroporto e dos diversos conjuntos habitacionais.

Por ser áreas de planície de inundação, essas áreas já foram inundadas diversas vezes. Segundo Chaves (2015) em 2009 aconteceu uma das maiores cheias de Teresina dos últimos 25 anos. Esse evento fez com que aumentasse o nível das águas dos rios Parnaíba e Poti, promovendo graves episódios de inundações nas diversas zonas da cidade. No evento o rio Poti apresentou uma vazão de $3.658\text{m}^3/\text{s}$ e uma cota máxima de 14,52m (CHAVES, 2015).

De acordo com o a Figura 2 e os dados registrado em Chaves (2015) o valor referente a essa vazão é igualado ou superado apenas uma vez em um intervalo de 50 anos. Esta vazão, de acordo com Chaves (2015) é considerada a maior das últimas quatro décadas, superando, inclusive, a registrada em 1985 ($3.210\text{m}^3/\text{s}$), em função das fortes chuvas caídas na nascente do Poti no estado do Ceará.

ANÁLISE DE SIMULAÇÃO E DELIMITAÇÃO DAS MANCHAS DE INUNDAÇÃO DO RIO POTI NA CIDADE DE TERESINA-PI

Chaves (2015) destaca que durante esse evento foi registrado inundações na entrada do Riverside Shopping, zona leste de Teresina, no encontro entre as avenidas Ipês e Cajuína, que interligam as zonas sudeste e leste, e nas proximidades do bairro Tancredo Neves, zona sudeste de Teresina. Esses eventos na cidade de Teresina nos possibilitam comparar os cenários existentes e simulados, como podemos observar para os cenários de TR de 50 anos.

Figura 9: Ponte Wall Ferraz interditada, Bairro dos noivos, Zona Leste de Teresina (2009).



Fonte: (CHAVES, 2015).

Para os demais cenários escolhidos, foi possível concluir que os períodos de recorrência até os 5 anos não apresentam nenhum risco de inundação. Para os cenários de 10 anos já é possível identificar algumas áreas afetadas pelas inundações.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

As simulações realizadas nesta pesquisa nos mostram que, apesar de algumas limitações, se apresentou satisfatório considerando os propósitos do estudo. Uma das principais vantagens do software HEC-RAS para a simulação de eventos de cheia é a facilidade de aquisição de dados e sua interface por ser bastante interativa e de boa manipulação. Os resultados deste estudo indicaram que a conjugação da modelagem hidráulica com as ferramentas SIG proporcionaram um melhor entendimento das características das inundações, bem como sua área de abrangência, podendo caracterizar, com riquezas de detalhes, as áreas inundadas.

A maioria das áreas identificadas como áreas de risco de inundação, apresentam um elevado contingente populacional, o que torna um gravemente para os ocupantes dessas regiões são as características topográficas das áreas, pois, a partir do momento que a água ultrapassa o nível máximo do canal (dique) ela encontra um nível muito mais baixo, regiões consideradas com de amortecimento das cheias, no estado, essas regiões já se encontram ocupadas, seja por residências ou comercio, como já identificadas nas áreas 1 e 2 da figura 7.

Com a disponibilidade de tais informações, a prefeitura de Teresina, juntamente com as secretarias de planejamento, poderá articular novos sistemas de gestão das inundações, buscado minimizar os impactos socioambientais através de medidas estruturais e não estruturais, como por exemplo a construção de novos diques e realocação de famílias para áreas mais seguras.

Embora os softwares utilizados tenha gerado resultados satisfatórios para o atendimento dos objetivos da pesquisa, sugere-se, para um melhor enriquecimento do modelo, recomenda-se a elaboração de novas seções topobatimétrica, que alcance os limites do bairro Mocambinho, além do monitoramento e aperfeiçoamento do modelo, na inserção de novas informações como por exemplo os dados pluviométricos, e adicionado novos elemento do escoamento de canais superficiais que não foram inseridos e que fazem parte da dinâmica local, tornando as simulações mais ricas em detalhes.

Sugere-se também para próximos estudos, a inserção do rio Parnaíba no modelo, tendo em vista que há uma grande influência deste rio na dinâmica do rio Poti durante as cheias, através do represamento do rio Poti pelo Parnaíba, evento bastante comum durante as grandes cheias.

De acordo com as simulações realizadas, podemos concluir que, para podemos representar com maior riqueza de detalhes as áreas inundadas, são necessárias mais observações das cheias com o apoio de medidores de nível d'água, além de considerar nos cenários a contribuição do rio Parnaíba, os pontos a serem considerados são as seções transversas nos bairros Mocambinho e Vila São Francisco. Recomenda-se também a combinação entre análise unidirecional com bidirecional, para poder avaliar os comportamentos laterais das ondas de água em processo de inundação.

5 REFERÊNCIAS

ANA. Conjecture of water resources in Brazil 2018 - Annual report [Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil 2018: informe anual]. p. 72, 2018. Disponível em: <https://www.snirh.gov.br/portal/centrais-de-conteudos/conjuntura-dos-recursos-hidricos/informe_conjuntura_2018.pdf>.

AVASHIA, Vidhee; GARG, Amit. Implications of land use transitions and climate change on local flooding in urban areas: An assessment of 42 Indian cities. *Land Use Policy*, v. 95, n. February, p. 104571, 2020. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0264837719316011>>.

BERMÚDEZ, M. *et al.* Assessing the Effects of Climate Change on Compound Flooding in Coastal River Areas. *Water Resources Research*, v. 57, n. 10, p. 1–19, 2021. Disponível em: <<https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1029/2020WR029321>>.

BRASIL, Diretoria D E Planejamento E. MANUAL DE HIDROLOGIA BÁSICA PARA ESTRUTURAS DE DRENAGEM. *Brasil. Departamento Nacional de Infra-Estrutura de Transportes. Diretoria de Planejamento e Pesquisa. Coordenação do Instituto de Pesquisas Rodoviárias*, n. 2, 2005. Disponível em: <https://www.gov.br/dnit/pt-br/assuntos/planejamento-e-pesquisa/ipr/coletanea-de-manuais/vigentes/715_manual_de_hidrologia_basica.pdf>.

CHAVES. Vulnerabilidade às inundações em Teresina, Piauí. p. 0–232, 2015. Disponível em: <<https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/139394/000864675.pdf?sequence=1&isAllowed=y>>

DE LIMA, Andre de Souza *et al.* Hydrodynamic and waves response during storm surges on the southern brazilian coast: A hindcast study. *Water (Switzerland)*, v. 12, n. 12, p. 1–21, 2020. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/347356219_Hydrodynamic_and_Waves_Response_during_Storm_Surges_on_the_Southern_Brazilian_Coast_A_Hindcast_Study>.

DOUNGMANEE, PIAMCHAN, SIKHAO, Monnapatt. WATER-RELATED DISASTERS IN THAILAND FROM THE PERSPECTIVE OF THE WATER SECURITY INDEX. *INTERNATIONAL ACADEMIC MULTIDISCIPLINARY RESEARCH CONFERENCE IN*

ANÁLISE DE SIMULAÇÃO E DELIMITAÇÃO DAS MANCHAS DE INUNDAÇÃO DO RIO POTI NA CIDADE DE TERESINA-PI

SWITZERLAND 2019, p. 30–36, 2019. Disponível em: <<http://icbtsproceeding.ssrui.ac.th/index.php/ICBTSSWITZERLAND/article/view/338>>.

LEA, Dasallas; YEONSU, Kim; HYUNUK, An. Case study of HEC-RAS 1D-2D coupling simulation: 2002 Baeksan flood event in Korea. *Water (Switzerland)*, v. 11, n. 10, p. 1–14, 2019. Disponível em: <<https://www.mdpi.com/2073-4441/11/10/2048>>.

LIMA, Iracilde Maria de Moura Fé. O Relevo De Teresina, Pi: Compartimentação E Dinâmica Atual. n. 1966, p. 1–9, 2011. Disponível em: <<http://files.iracildefelima.webnode.com/200000034-8785d887e3/GT22 - O RELEVO DE TERESINA.pdf>>.

MARGARETAWAHLSTROM, Guha-Sapir. The Human Cost of Weather-Related Disasters 1995-2015. 2015. Disponível em: <<http://repo.floodalliance.net/jspui/bitstream/44111/1165/1/The%20Human%20Cost%20Of%20Natural%20Disasters%20A%20global%20perspective.pdf>>.

MIRANDA, Simone; VALLADARES, Gustavo Souza. SOBRE A QUALIDADE AMBIENTAL DO BAIRRO MOCAMBINHO EM TERESINA-PI ENVIRONMENTAL VULNERABILITY ANALYSIS AND ITS INFLUENCE ON THE ENVIRONMENTAL QUALITY OF MOCAMBINHO NEIGHBORHOOD IN TERESINA-PI. p. 48–67, 2019. Disponível em: <<https://ojs.ufpi.br/index.php/geografia/article/viewFile/8384/7655>>.

MONTE, Benício Emanuel Omena *et al.* Modelagem hidrológica e hidráulica aplicada ao mapeamento de áreas inundáveis. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v. 21, n. 1, p. 152–167, 2016. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rbrh/v21n1/2318-0331-rbrh-21-1-152.pdf>>.

PSOMIADIS, Emmanouil; DIAKAKIS, Michalis; SOULIS, Konstantinos X. Combining SAR and Optical Earth Observation with Hydraulic Simulation for Flood Mapping and Impact Assessment. *Remote Sensing*, v. 12, n. 23, p. 3980, 4 dez. 2020b. Disponível em: <<https://www.periodicos.rc.biblioteca.unesp.br/index.php/geociencias/article/view/11822>>.

SOUZA, Fernandes (CPRM). ELABORAÇÃO DE MANCHAS DE INUNDAÇÃO PARA AS CIDADES DE TERESINA - PI E TIMON – MA. *CPRM*, 2018.