

BATIMETRIA E MEDIÇÕES DE VAZÕES NA FÓZ DO RIO ITACAIUNAS E NA CONFLUÊNCIA COM RIO TOCANTINS, MARABÁ-PARÁ, AMAZÔNIA ORIENTAL, BRASIL

BATHYMETRY AND FLOW MEASUREMENTS AT THE MOUTH OF THE ITACAIUNAS RIVER AND THE CONFLUENCE WITH THE TOCANTINS RIVER, MARABÁ-PARÁ, EASTERN AMAZON, BRAZIL

Ronis Cley Fontes da Silva
Universidade Federal do Pará

Maria Rita Vidal
Universidade Federal do Pará

Abraão Levi dos Santos Mascarenhas
Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará

RESUMO: O artigo tem como objetivo apresentar técnicas de batimetria e medições das vazões coletadas pelo método do ADCP - *Acoust Doppler Current Profiler*, na área da foz do rio Itacaiunas e confluência com rio Tocantins, para analisar dados batimétricos e geometria dos canais (profundidade, largura, área, velocidade da água e vazão), podendo assim, comparar com os dados das medições realizadas nas estações hidrometeorológica Fazenda Alegria e Marabá, administrada pela Agência Nacional de Águas e Saneamento, com intuito de analisar a morfologia submersa na foz do rio Itacaiunas. Como os principais resultados, destaca-se a elaboração de mapas para caracterização da área de estudo. Além, da tabulação dos dados obtidos em campo e das estações da ANA. Por fim, a carta batimétrica com as profundidades em metros, mostrando a morfologia submersa na área de foz do rio Itacaiunas (local de retirada de sedimentos). A partir dos dados de medição, pode-se observar as diferenças geométricas e fluviais entre esses dois rios, além de analisar a estrutura morfológica submersa da foz do Itacaiunas, sendo possível preliminarmente observar a existência de barramentos (sedimentológico/hidrológico) existentes no rio Itacaiunas provocado pelo rio Tocantins.

Palavras-chave: Barramento; Adcp; Sedimento; Fluvial; Hidrologia.

ABSTRACT: This article aims to present bathymetry techniques and flow measurements collected using the ADCP - *Acoust Doppler Current Profiler* method, in the area of the mouth of the Itacaiunas river and confluence with the Tocantins river, to analyze bathymetric data and channel geometry (depth, width, area, water speed and flow), thus being able to compare with data from measurements carried out at the Fazenda Alegria and Marabá hydrometeorological stations, administered by the National Water and Sanitation Agency, with the aim of analyzing the submerged morphology at the mouth of the Itacaiunas river. The main results include the creation of maps to characterize the units. In addition, the tabulation of data obtained in the field and from ANA stations. Finally, the bathymetric map with depths in meters shows the submerged morphology in the mouth area of the Itacaiunas River (sediment removal site). From the measurement data, it is possible to observe the geometric and fluvial differences between these two rivers, in addition to analyzing the submerged morphological structure

of the mouth of the Itacaiunas, making it possible to preliminarily observe the existence of dams (sedimentological/hydrological) existing in the Itacaiunas river caused by the Tocantins River.

Keywords: Bus; Adcp; Sediment; River; Hydrology.

INTRODUÇÃO

O monitoramento dos fluxos hídricos, transporte de sedimentos e possíveis anomalias de descargas líquidas em determinado local de uma bacia hidrográfica permite buscar respostas para impactos provocados por mudanças no padrão de drenagem (SILVA, 2021). Conseqüentemente as medições hidrológicas é a forma de obtenção de parâmetros significativos na discussão sobre batimetria e vazões.

Atualmente, as medições hidrológicas são realizadas também por intermédio de ADCP (*Acoustic Doppler Corrent Profiler*) que é um perfilador hidroacústico de correntes que mede a velocidade de partículas na coluna de água a partir de um princípio físico de propagação de ondas sonoras conhecido como efeito Doppler (GAMARO, 2008). Além desse equipamento, existem os Ecobatímetros e Estações Totais.

Assim sendo, os levantamentos batimétricos têm por objetivo efetuar medições de profundidades que estejam associadas a uma posição da embarcação na superfície da água, as quais são necessárias em áreas marítimas, fluviais, canais, lagoas e rios (KRUEGER; VEIGA; FAGGION, 2003). Por sua vez, a vazão é uma quantidade de fluído, nesse caso líquido, que atravessa a seção transversal por unidade de tempo (TUCCI, 2000, 2004).

Em especial o caso da confluência entre os rios Tocantins e Itacaiunas, na Região do Sul e Sudeste do Pará, destaca-se como uma área de grande importância socioambiental, pois os levantamentos e análises de dados hidrossedimentológicos são fundamentais para estudo das diferenças entre esses dois canais.

As históricas cheias da cidade de Marabá (Pará), impactam de forma direta os núcleos urbanos ao longo das contas topográficas abaixo dos 82 metros, as perdas materiais e não raro, as perdas de vidas afeta toda a sociedade. Pois, Marabá (2018), o plano diretor municipal considera as áreas não

edificáveis devido os riscos de alagamento com cota altimétrica abaixo de 82,00 (oitenta e dois) metros acima do nível médio dos mares.

Dessa forma, conhecer os aspectos morfodinâmicos por meio dos fluxos hidrosedimentar podem sensibilizar os tomadores de decisões para a gestão dos riscos de desastres, o objetivo da presente seção é compreender o comportamento hídrico e sedimentar da confluência dos rios Tocantins e Itacaiunas.

METODOLOGIA

A metodologia deste artigo consiste no levantamento de dados primários e secundários. Os primários são as medições e coleta de dados em campo, medição de vazão e batimetria na foz do rio Itacaiunas e medição de vazão a jusante da confluência do rio Tocantins. Obtendo esses dados para fim de comparação com os dados secundário (oficiais) de medição das estações hidrometeorológica da ANA (Fazenda Alegria e Marabá), disponibilizados no site hidroweb.

Por fim, consolida-se as análises a partir das tabulações (vazão e geometria dos canais) e carta imagens (localização e batimetria), tendo assim um entendimento preliminar sobre dinâmica hídrica, transporte, deposição de sedimentos e remanso na área estudada.

LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A área de aplicação do modelo está inserida na Região Hidrográfica Tocantins-Araguaia (RHTA) com cerca de 920.000 km² (aproximadamente 11% do território nacional) abrangendo os estados de Goiás, Tocantins, Pará, Maranhão, Mato Grosso e Distrito Federal (CÂMARA *et al.*, 2016).

Segundo Ab'Saber (2003), essa região é conhecida por ter um macrodomínio de terras baixas florestadas que com o passar do tempo resultou no uso indiscriminado dos recursos naturais; esses problemas podem ser mitigados, diminuídos com a elaboração/efetivação de planos de usos adequados e suporte técnico-científico.

Por sua vez, a BHRI-Bacia Hidrográfica do Rio Itacaiunas contém uma área de drenagem de 41.732 km² e 1.782,138 km de perímetro, localizada na região sudeste do Estado do Pará (SILVA, 2021). Na figura 1, consta a carta imagem de localização da área de estudo, referente ao ano de 2023. Delimitada pelo polígono envolvente, georreferenciada pelas coordenadas geográficas, Longitude: 49°12'W; Latitude: 5°18'S / Longitude: 49°4'W; Latitude: 5°30'S.

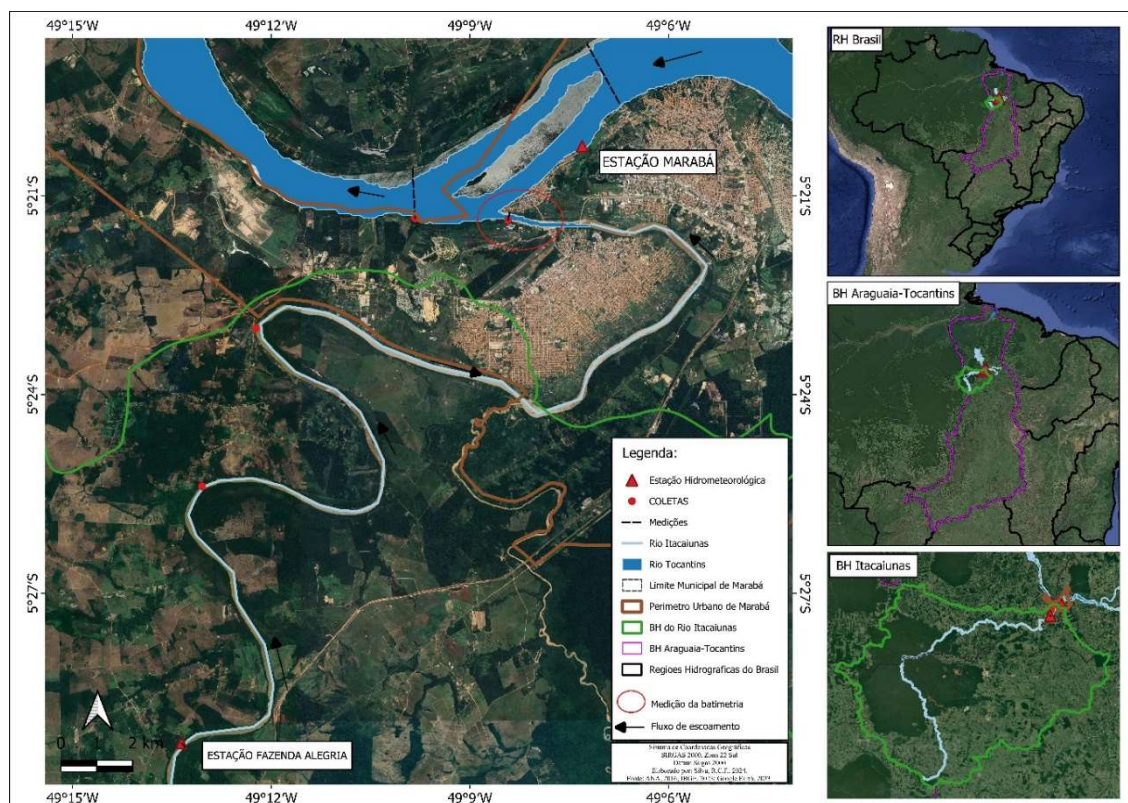


Figura 1: Carta Imagem com a localização da área de estudo.

Fonte: Autoria própria.

As transformações ocorridas na área de estudo localizada na confluência dos rios, Tocantins e Itacaiunas – na cidade de Marabá-PA, iniciaram conforme o histórico de ocupação a partir da década de 1970, através do projeto de realocação da população da Marabá Pioneira para o núcleo da Nova Marabá, por consequência das enchentes nas margens dos referidos rios.

Cursos d'água significativos dinamizam a planície fluvial da cidade de Marabá, entre eles as dinâmicas que ocorrem na confluência desses grandes rios, localizada dentro do perímetro urbano do município de Marabá, na mesorregião sudeste do Pará (VIDAL; MASCARENHAS, 2020).

Os rios Tocantins e Itacaiúnas têm grande importância na formação econômica da região sudeste do Pará, desde áreas destinadas a recreação, esporte, transporte fluvial, esses e outros fatores contribuem para o aumento de população que habitam as margens dos rios Tocantins e Itacaiúnas, estando sujeitas a riscos ambientais, inundações e alagamentos, devido ao comportamento hidrológico neste recorte especial, colocando em risco a sustentabilidade social, econômica e ambiental, bem como provocando na paisagem natural a intensos processos de artificialização.

LEVANTAMENTOS DE DADOS

CARACTERIZAÇÃO DAS ESTAÇÕES HIDRO METEOROLÓGICAS

Os dados hidroclimatológicos têm como meta identificar vários elementos de rede de drenagem pela análise, recorte e classificação dos dados vetoriais no formato Shapefile (shp) da hidrologia e bacia. Estes disponibilizados pelo Portal da HidroWeb.

Para este estudo, foram realizados levantamentos de dados secundários (vazão) das Estações Hidrometeorológicas Marabá de códigos (29050000-flu) e Fazenda Alegria (21100000-flu). Essas estações fazem parte da Rede Hidrometeorológica de Referência Nacional da ANA (Agência Nacional de Águas e Saneamento) e operadas pelo SGB (Serviço Geológico do Brasil). Esses dados estão disponíveis no site do hidroweb-ANA.

MEDIÇÃO DE VAZÃO E BATIMETRIA

Para, levantamentos de dados primários de Fluviometria foram realizados nos trechos selecionados, com intuito de levantamento de dados hidráulicos (perfil transversal, velocidade e direção de fluxo) do canal, foi levantado com uso de Acoustic Doppler Current Profiler (RiverRay™ ADCP) sendo, um no trecho do rio Tocantins a jusante da confluência Tocantins/Itacaiunas, e outros no trecho de foz e a jusante da estação Fazenda Alegria no rio Itacaiunas.

O levantamento batimétrico do trecho da foz do rio Itacaiunas de montante para jusante, levantamentos longitudinais no período de cheia (Abril, 2023) por *Acoustic Doppler Current Profiler*

(*RiverRay™ ADCP*). Os pontos coletados de profundidade do rio (*river depth*) foram inseridos em um Sistema de Informação Geográfica (SIG - Qgis, 2023) e interpolados pelo método *Triangular Irregular Network* (TIN). A interpolação realizada permitiu a geração de uma carta imagem batimétrica da foz do rio Itacaiunas, possibilitando assim a visualização da morfologia submersa do rio.

MATERIAIS E EQUIPAMENTOS

Softwares para processamento dos dados:

- Qgis para tratamento e elaboração de layout de mapas;
- Excel para tabulação e elaboração de gráficos;
- Winriver II para coleta de dados hidrológicos.

Equipamentos para coletas de dados:

- ADCP para coleta de dados de vazão e geometria de canais;
- Máquina Fotográfica para coleta de imagens para reconhecimento de área;

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A conectividades entre as bacias hidrográficas é um fator de relevância, pois imprime dinâmica própria, pois as bacias hidrográficas são importantes para conhecimento e planejamento ambiental devido às mudanças na paisagem provocadas por agentes naturais e antrópicos (SILVA JÚNIOR, 2017).

Sobre a Rede Hidrometeorológica Nacional (RHN) possuía quase 23 mil estações sob responsabilidade de várias entidades (CPRM; ANA, 2017; ANA, 2023). Nesse caso vamos considerar apenas duas estações, Fazenda Alegria e Marabá. Estas estações, sendo de referência são compostas por seções de medição de descarga líquida e sólida, seção de réguas linimétricas, PCD (Plataforma de Coleta de Dados), e qualidade de água.

As medições são realizadas 4 vezes por ano, por equipes do SGB, utilizando equipamento de medição acústica (ADCP), coletores de sedimentos em suspensão, Sondas de Qualidade de Água e topografia (perfil transversal de seção) (Figura 2).

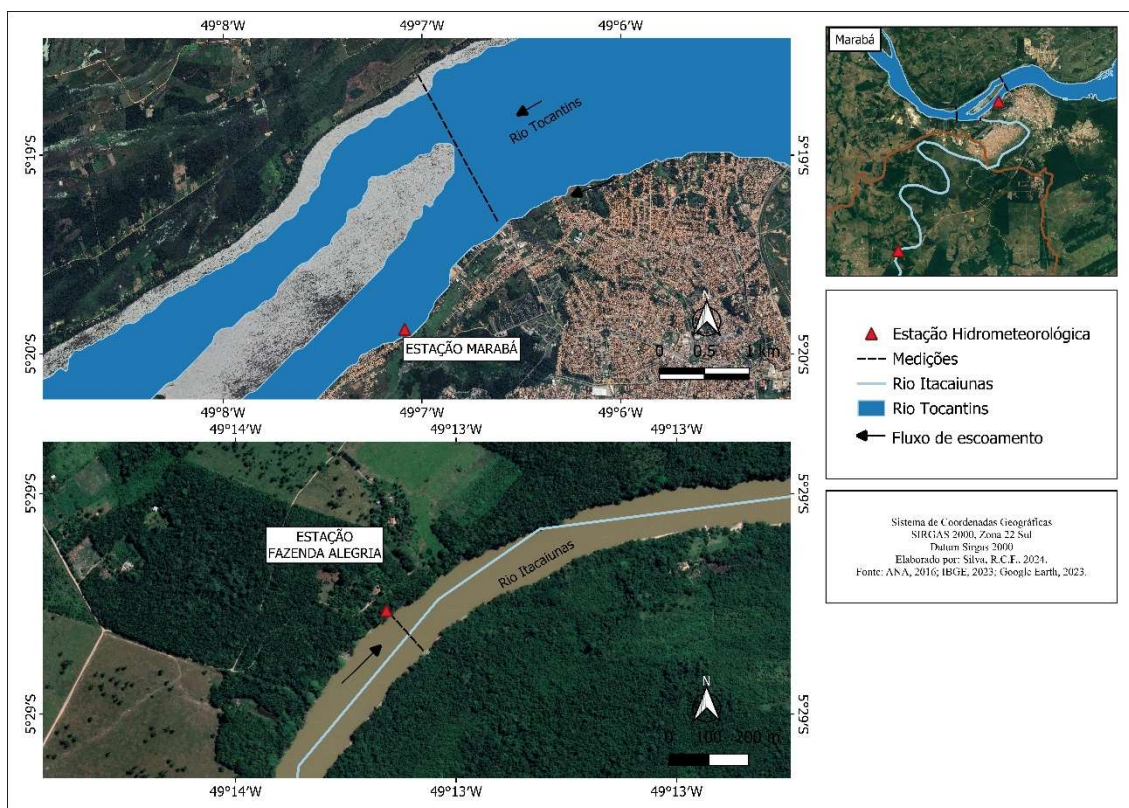


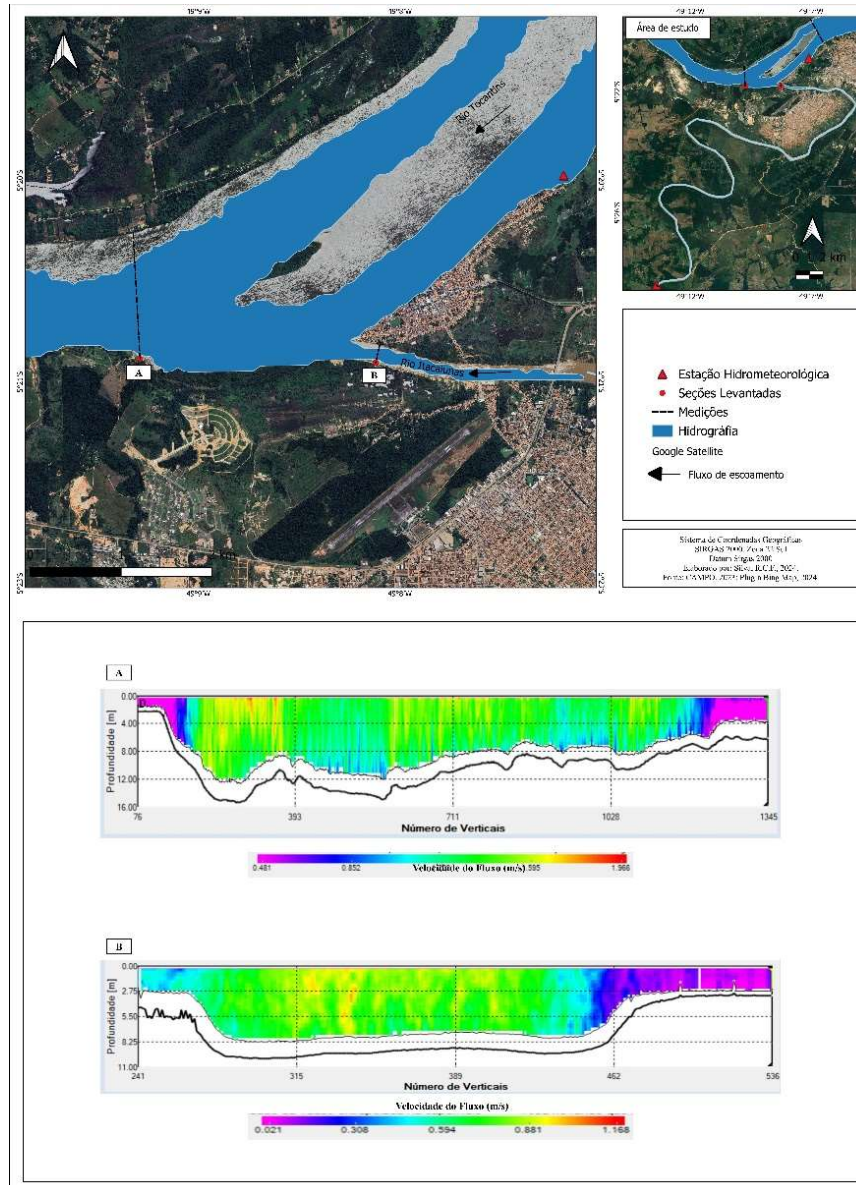
Figura 2: Localização das estações de Marabá e Fazenda Alegria.

Fonte: Autoria própria.

Nas seções de medição da ANA (Figura 3) Marabá tem 1.91 km de extensão e 4.64 km na confluência dos rios para evitar o banco de areia (Praia do Tucunaré). A estação Fazenda Alegria tem cerca de 130 m de extensão e fica cerca de 40 km da confluência dos rios. A seção de régua linimétrica é composta por estacas com régua graduadas de 0 a 100 cm para indicar a altura do nível d'água (cotas), podendo ser composta por mais de uma régua na mesma estaca.

Sobre a parte do campo foi realizado em abril de 2023, cujo os valores de geometria do canal, velocidade de fluxo, vazão e profundidades do rio Tocantins e Itacaiunas foi realizado ainda no período de cheia do mesmo ano (Figura 3). O levantamento será analisado e comparado os valores hidráulicos com os dados das estações da ANA.

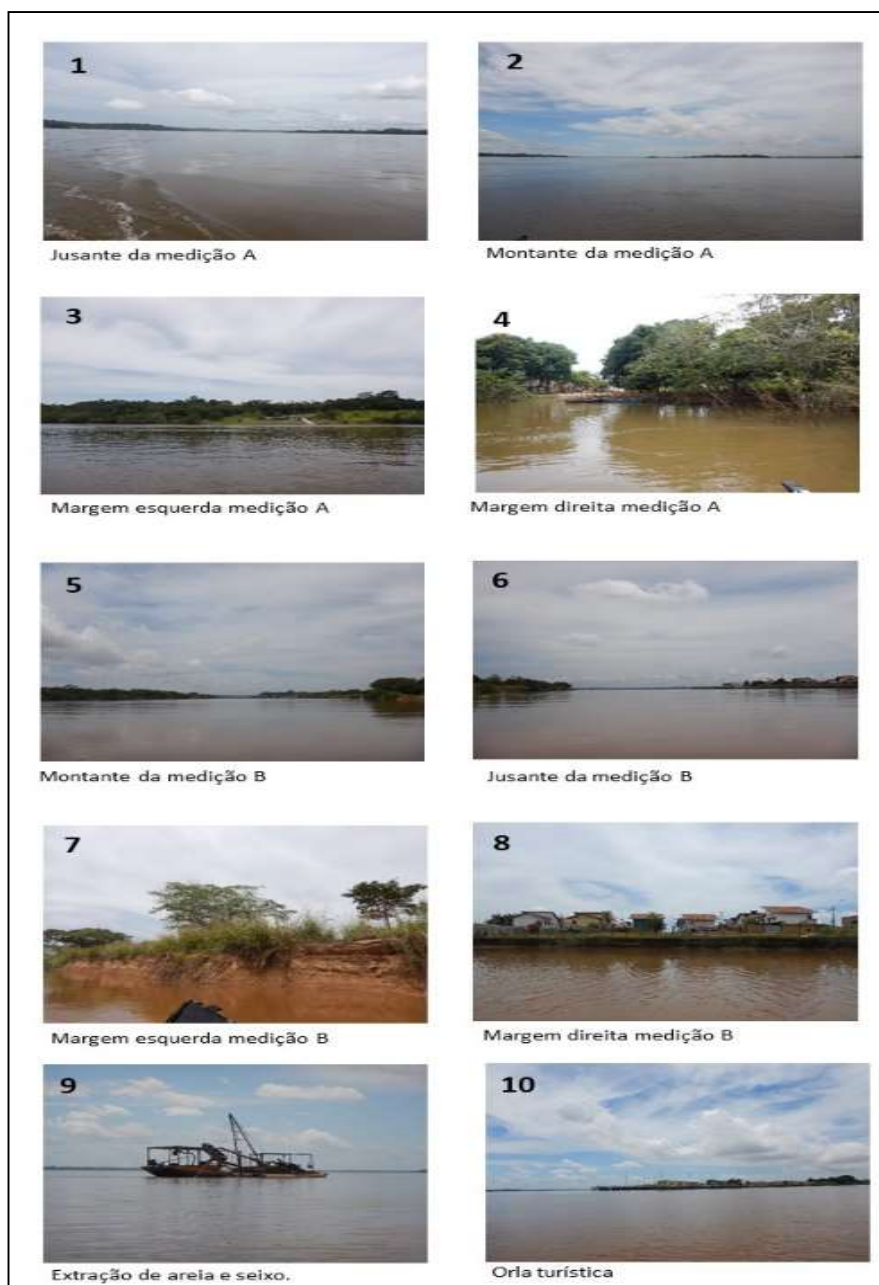
Figura 3: Localização das medições realizadas em campo.



Fonte: Autoria própria.

As medições (Figura 3) foram realizadas primeiramente a jusante da confluência no rio Tocantins da margem esquerda para a direita e depois realizamos a medição na foz do Itacaiunas para posteriormente realizar a batimetria de montante para jusante, realizando trajetos alternando as margens, conforme as imagens registradas abaixo (Figura 4).

Figura 4: Registro fotográfico das medições na confluência dos rios Tocantins e Itacaiunas.



Fonte: Autoria própria (04/2023).

Os registros fotográficos são de fundamental importância para visualizar as diferentes características existentes na área de coleta. As fotografias:

1) Consta a visão a jusante da medição A, área de continuidade do rio Tocantins e sua curva na direção WNN.

2) Consta a visão a montante da medição A, área de confluência entre os rios Tocantins e Itacaiunas, a ponta da orla turística Sebastião Miranda de Marabá.

3) Consta a margem esquerda da medição A, onde foi iniciado a medição da descarga líquida, local conhecido como Cabana do Sol.

4) Consta a margem direita do rio Tocantins, final do perfil A.

5) Consta a visão montante da medição B, visualizando a ponte sobre rio Itacaiunas e orla turística do bairro Amapá.

6) Consta a visão a jusante da medição B (rio Itacaiunas), visualizando a desembocadura do rio Itacaiunas.

7) Margem esquerda da medição B, mostra a elevação de barrancos.

8) Margem da medição B, consta o residencial do bairro Velha Marabá e muro de arrimo.

9) Dragas realizando extração de seixo e areia na foz do rio Itacaiunas.

10) Visão aproximada da ponta da orla Turística Sebastião Miranda no bairro da Velha Marabá.

Por fim, apresento a tabulação das medições realizadas em campo e as medições disponibilizadas pelo site hidroweb (Tabela 1).

Tabela 1: Seções levantadas em campo, seções ANA.

DATA	CANAL/ESTAÇÃO	VAZÃO	LARGURA	ÁREA	VEL. MÉDIA	PROF. MAX.
25/04/2023	A-TOCANTINS	19900	1453.3	15891.4	1.25	15.9
25/04/2023	B-ITACAIUNAS	1240	223.3	1836.8	0.674	10.1
19/04/2023	EST-MARABÁ	19800	1868.2	17312.7	1.15	11.9
24/04/2023	EST- FAZENDA ALEGRIA	1.070	136.6	932.4	1.14	9.08

Fonte: Autoria própria.

Analisando a tabela 1, conta as medições nos rios e estações: a medição no rio Tocantins apresentou vazão de 19.900 m³/s, é superior as outras vazões obtidas pois encontram-se em área mais rebaixada e alimentada por outros tributários. A largura de 1.453,3 m, é a segunda maior devido está localizado em área estreita.

A área de passagem hídrica de 15.891,4m², é a segunda maior devido a mesclarem das profundidades mínimas e máximas. A velocidade média da água de 1.25 m/s, é a maior devido uma boa inclinação nessa parte do canal. A profundidade máxima do canal foi de 15.9 m, devido à proximidade da confluência e retirada de sedimentos.

A medição no rio Itacaiúnas, apresentou uma vazão de 1.240 m³/s, medição de 6.2% a menos do que a medição do rio Tocantins-A. A largura de 223,3 m, com 15.4% inferior a largura do perfil A. A área de passagem de 1.836,6m², 11.55% inferior a área do perfil A. A velocidade média de 0.674 m/s, equivale a 55.9% da velocidade do perfil A. A profundidade máxima de 10.1 m, equivale a 63.5% da profundidade máxima do perfil A.

Os dados de medição nas estações da ANA de Marabá, apresenta uma vazão de 19.800 m³/s, largura de 1.868,2m, área de 17.312,7 m², velocidade média de 1.15 m/s, profundidade máxima de 11,9 m. Na estação de Fazenda Alegria, apresenta uma vazão de 1.070 m³/s, largura do canal de 136.6m, área de passagem de 932,4 m², velocidade média 1.14 m/s e por fim a profundidade máxima de 9.08 m.

Os dados são parecidos com valores obtidos em campo, porém inferiores devido suas localizações e posições a montante. Aqui segue-se a síntese dos dados, pois consta a batimetria de 1969m de extensão da área submersa na foz do rio Itacaiunas (Figura 5).

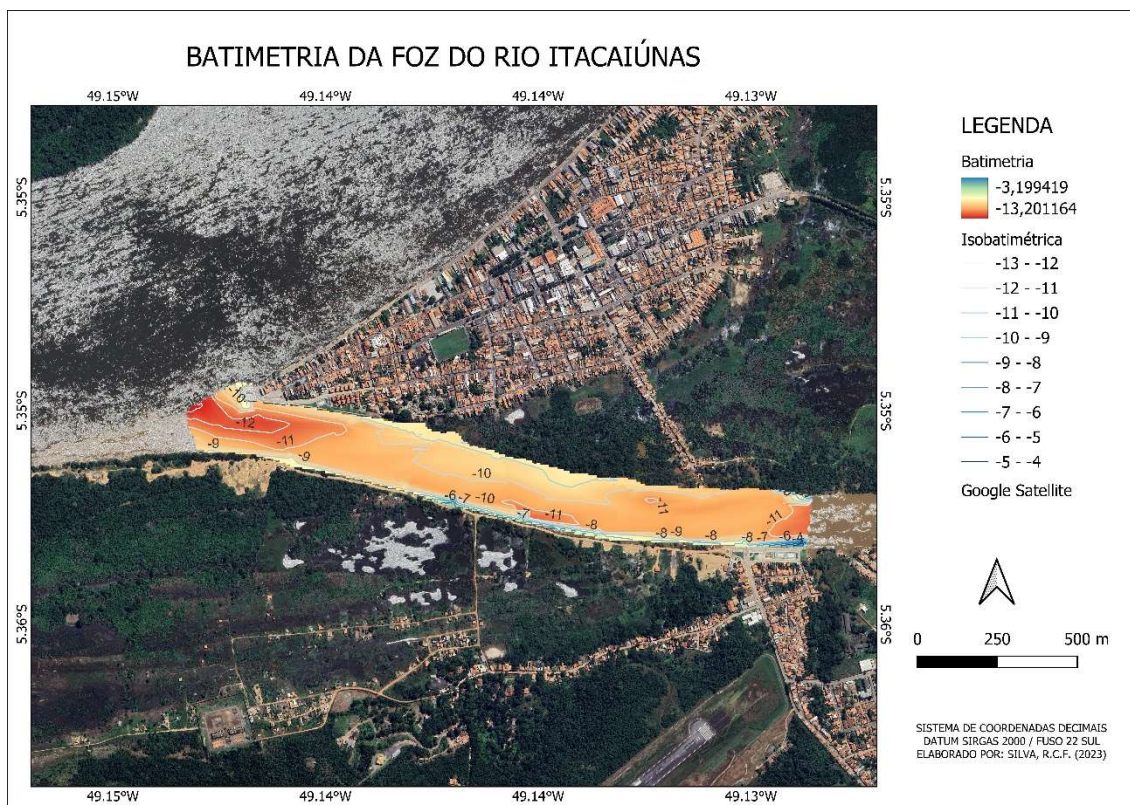
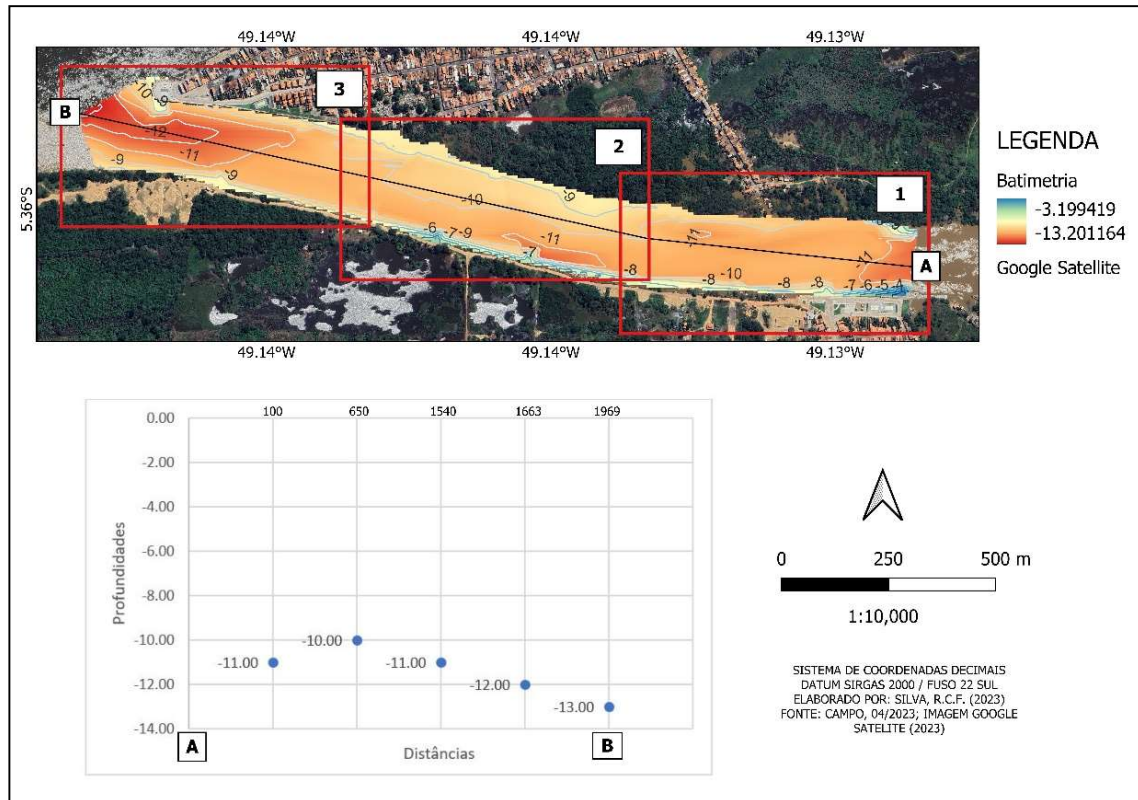


Figura 5: Carta imagem da batimetria na foz do rio Itacaiunas.
Fonte: Autoria própria (04/2023).

Na área foi mapeada com ADCP - Acoustic Doppler Current Profiler (RiverRay™ ADCP). Os pontos coletados de profundidade do rio (river depth) inseridos no Qgis e interpolados pelo método Triangular Irregular Network (TIN). Os valores variam de -4m a -13m de profundidades. Perceba-se as variações existente entre as cores e curva isobatimétricas que existe um retardamento de deposição de sedimentos nas áreas destacadas (Figura 6).

Figura 6: Carta imagem da batimetria na foz do rio Itacaiunas e perfil com as diferenças de profundidades na



divisão de 3 áreas.
Fonte: Autoria própria.

Na Figura 6, verifica-se que as zonas de maiores profundidades se encontram junto a confluência (cores vermelhas) do estuário do rio Itacaiunas, enquanto nas margens e meio do leito apresenta morfologia convexa (cores amarelas-vermelhas) indicando a existência de avançado de preenchimento sedimentar ou existência de barrancos nas beiradas e fundos, este preenchimento está relacionado as diferenças entre as três áreas.

Ao longo das 3 áreas, o comportamento morfológico do fundo do rio caracteriza zonas distintas. Área 1, as profundidades variam entre -3m a 11m. Enquanto a área 2 varia de -6m a -11m, com profundidade mais acentuada na margem esquerda devido a retirada de seixos e areia, que remobilizam os sedimentos erodidos nas margens opostas e adjacentes que formam os bancos arenosos. A área 3, ocorre as maiores profundidades, devido extração de sedimentos e força de deslocamento hídrico provocado pelo rio Tocantins. Verifica-se que o comportamento hidrológico é determinado conjuntamente por características geoambientais, hidrológicas. As relações de uso e ocupação do solo

na área de estudo tem levado os sistemas ambientais a um estado crítico devido as trocas intensas de energia e matéria, que fundamentam as relações de evolução do geossistema. As paisagens e seus componentes sofrem modificações em seus aspectos estruturais, sendo necessário compreender o funcionamento dos elementos físicos, biológicos e antrópicos (VIDAL; SILVA, 2021).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados obtidos mostraram-se compatíveis com o comportamento hídricos definido para correlação dos dados obtidos que representa a variabilidade entre as estações. A avaliação do comportamento das vazões da estação Fazenda Alegria, Marabá e dos dados coletados em campo apresentaram resultados consistentes.

Os resultados da análise batimétrica permitiram concluir que existem diferenças significativas entre as três áreas delimitadas a partir do levantamento batimétrico. O uso de dados batimétricos, foi fundamental para o desenvolvimento preliminar de um modelo de deposição e retirada de sedimentos na foz do rio Itacaiunas. A análise da distribuição das profundidades nessa área, revelou, um relevo heterogêneo, com picos de elevação no meio do perfil longitudinal.

Portanto, a partir desses dados vislumbra-se novos procedimentos de levantamentos e análises para aprofundar as discussões acerca do barramento hidrossedimentar entre o rio Tocantins e Itacaiunas.

REFERÊNCIAS

AB'SABER, A. N. **Os domínios de natureza no Brasil**. São Paulo: Ateliê, 2003.

ANA. Agência Nacional de Águas e Saneamento. Hidroweb – Rede Hidrometeorológica Nacional. Disponível em: <https://www.snirh.gov.br/hidroweb>. Acesso em: 01 mar. 2024.

GAMARO, P. E. **IV Curso de Medidores de Vazão Acústico Doppler**. Apostila módulo básico. Revisão 1.1, 2008.

KRUEGER, C. P.; VEIGA, L. A. K.; FAGGION, P. L. **Levantamento Batimétrico no Rio Uruguai**. Anais em CD-ROM do XXI CBC, 2003, Belo Horizonte, MG, Brasil.

MARABÁ. **Lei Nº 17.846 de 29 de março de 2018**. Dispõe Sobre a Revisão do Plano Diretor Participativo do Município de Marabá, instituído pela Lei Municipal nº 17.213 de 09 de outubro de 2006, e dá outras providências. Disponível em:

https://www.governotransparente.com.br/transparencia/documentos/4466490/download/29/Plano_Diretor_Participativo_%2017.846_Mar%C3%A7o_2018.pdf Acesso em: 10 abr. 2022.

SILVA, R. C. F. **Análise da Bacia Hidrográfica do Rio Itacaiunas (BHRI): subsídio ao planejamento ambiental.** 120f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Pará, Instituto de Filosofia e Ciências Humana, Programa de Pós-Graduação em Geografia, Belém-2021.

SILVA JÚNIOR, R. O. da. **Resposta hidrológica devido às mudanças no uso do solo e cobertura vegetal na bacia hidrográfica do rio Itacaiunas (BHRI) – Amazônia Oriental.** 2017. 136 f. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 2017.

TUCCI, C. E. M. **Regionalização de Vazões.** Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 256p. 2002.

TUCCI, C. E. M. **Hidrologia: ciência e aplicação.** 3. ed. Porto Alegre: ABRH, 2004.

TUCCI, C. E. M.; MENDES, C. A. **Avaliação Ambiental Integrada de Bacia Hidrográfica.** Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2006.

VIDAL, M. R.; SILVA, E. V. Enfoque estrutural e funcional da Geoecologia das paisagens: modelos e aplicações em ambientes tropicais. **Geofronter**, n. 7 v.1. 2021.