



## **XII ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE SEDIMENTOS**

### **LEVANTAMENTO BATIMÉTRICO DO RIO MADEIRA**

*Joana Angélica Cavalcanti Pinheiro<sup>1</sup>; Hérculys Pessoa e Castro<sup>2</sup>; Francisco de Assis dos Reis Barbosa<sup>3</sup>; Franco Turco Buffon<sup>4</sup> & Giancarlo Bonotto<sup>5</sup>*

**ABSTRACT**– The bathymetric monitoring of the Madeira River aims to verify the processes acting on changes of the riverbed over time and also to serve as the basis for a decision-making tool. Therefore, a bathymetric survey was conducted in May 2016 and its results were compared with previous surveys. After data processing, it was possible to obtain the Digital Terrain Model (DTM) for the area of study and assess the riverbed behavior. After comparisons with previous work, it was possible to notice the occurrence of erosion / deposition processes, which did not present a homogeneous and continuous behavior. In the case of the margin of the Belmont curve, significant erosion was diagnosed. On the other hand, immediately downstream of the Santo Antônio dam, a strong deposition processes was detected on the right margin and a significant erosion on the left bank. Along the stretch right after the bridge of the BR-364, an erosive process was dominant, especially on the river margins. In the Cai N'Água area, it was observed a large sandbar in the left bank. The relationships between the parameters that influence the changes observed in the riverbed are complex and, therefore, it is essential to continue the surveys in order to produce a better understanding of the riverbed dynamics and support future decision-making tools.

**Palavras-Chave** – Batimetria; erosão; deposição.

---

1) Engenheira Hidróloga do Serviço Geológico do Brasil – CPRM, (69) 3901 3719 - e-mail: joana.pinheiro@cprm.gov.br.

2) Engenheiro Hidrólogo do Serviço Geológico do Brasil – CPRM, (69) 3901 3719 - e-mail: herculys.castro@cprm.gov.br.

3) Engenheiro Hidrólogo do Serviço Geológico do Brasil – CPRM, (69) 3901 3719 - e-mail: francisco.reis@cprm.gov.br.

4) Engenheiro Hidrólogo do Serviço Geológico do Brasil – CPRM, (69) 3901 3719 - e-mail: franco.buffon@cprm.gov.br.

5) Engenheiro Hidrólogo do Serviço Geológico do Brasil – CPRM, (69) 3901 3719 - e-mail: giancarlo.bonotto@cprm.gov.br.

## 1 - INTRODUÇÃO

O Serviço Geológico do Brasil (CPRM/SGB), Residência de Porto Velho (REPO), vem realizando levantamentos batimétricos no rio Madeira desde o ano de 2012. A partir de 2015 esse trabalho passou a englobar áreas maiores que as realizadas em anos anteriores, passando a mapear o leito do rio desde proximidades do barramento da UHE Santo Antônio Energia até imediações da curva do Belmont. Os levantamentos batimétricos automatizados são essenciais na modelagem e gestão de recursos hídricos, pois permitem estimar o grau de assoreamento, calcular volumes de armazenamento, atualizar as curvas de capacidade, modelar o relevo submerso, além de subsidiar informações aos órgãos competentes (Álvares *et al.*, 2001).

Em 2016, dando continuidade ao monitoramento, foi feita uma nova coleta de dados com acréscimo da área mapeada de 6 km em relação ao último ano. Esse trabalho apresenta resultados desse levantamento batimétrico realizado no rio Madeira em maio de 2016, bem como faz comparação com os resultados das batimetrias feitas em maio e novembro de 2015. O monitoramento contínuo das sondagens visa aumentar o entendimento da dinâmica do leito do rio Madeira, assim como subsidiar tomadas de decisões relativas ao uso do rio Madeira e ocupação de suas margens.

## 2 - ÁREA DE ESTUDO

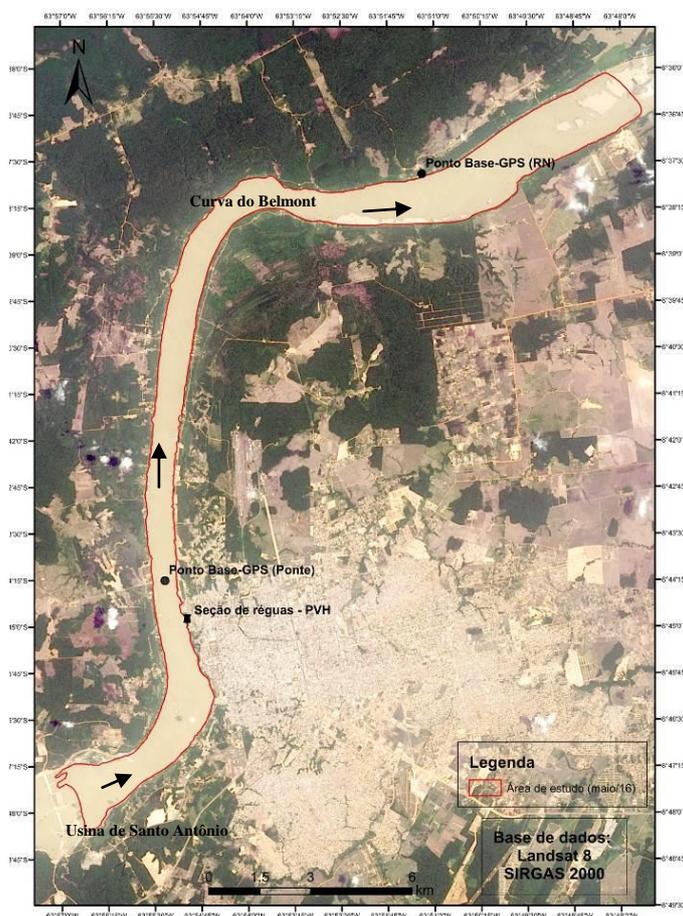


Figura 1 - Localização da área de estudo.

A região de estudo está localizada no rio Madeira, nas imediações da cidade de Porto Velho, iniciando-se a jusante da Usina Hidroelétrica Santo Antônio e estendendo-se 32 km ao longo do rio, estando delimitada entre os paralelos 8°36' e 8°49' de Latitude Sul e os meridianos 63°47' e 63°58' de Longitude Oeste de Greenwich, como pode ser visto na Figura 1. A coleta de dados de campo foi realizada do dia 17/05/2016 ao dia 31/05/2016, sendo que o nível do rio variou entre 9,28 a 11,94 metros na seção de réguas linimétricas da Estação de Porto Velho.

### 3 - METODOLOGIA

Para a execução do trabalho, foi realizado um planejamento das linhas de sondagem por meio de *softwares* específicos, o Hypack 2015 e ArcGIS 10.2. O trecho analisado foi dividido em setores com espaçamentos diferentes entre as linhas de sondagem, visando representar melhor os locais com maior possibilidade de variabilidade, gerando um maior detalhamento na região urbana e nas regiões de curva do rio, variando de 100 a 350 m.

Para aquisição dos dados, utilizaram-se equipamentos para leitura batimétrica do fundo, tendo sido eles o ADCP Rio Grande 600 kHz e o Ecobatímetro ODOM ECHOTRAC CV-100, e equipamentos de localização georreferenciada, sendo eles um DGPS GeoTech GTR-G<sup>2</sup>, um GPS de navegação Garmin MAP 62s, o rádio PDL Pacific Crest para transmissão de dados.

O DGPS foi utilizado no modo de processamento RTK, sendo o GPS Base instalado primeiramente na ponte da BR-319 e posteriormente na margem esquerda da curva do Belmont, em local elevado e sem obstáculos para a transmissão do sinal do rádio. O local de instalação teve seu posicionamento geográfico e altimétrico gerado através do Posicionamento por Ponto Preciso (PPP), no site do IBGE, após 3 horas de coleta de dados com GPS, com precisão planimétrica de 0,01 mm e altimétrica de 0,02 m.

O envio dos dados para o GPS Móvel foi através do Rádio PDL, com alcance aproximado de 15 km. O GPS Móvel foi instalado na mesma linha vertical do ecobatímetro, onde foi medida diariamente a altura do centro de fase da antena do GPS em relação ao transdutor do ecobatímetro e ao nível da água. Ressalta-se que a precisão de posicionamento e altitude advinda do GPS/RTK não garante a precisão inerente aos demais equipamentos utilizados para mapeamento das profundidades, sendo a precisão final limitada pelo ecobatímetro.

Algumas situações ocorridas durante o percurso impediram o funcionamento correto do GPS/RTK, contudo esses dados foram analisados para sua posterior eliminação ou correção. Os erros de leitura provocados pelas oscilações das ondas, caracterizados por eventuais picos de medição, foram analisados e eliminados, quando necessário. Para suprir eventuais problemas no GPS/RTK, no início e no fim de cada dia de medição, foram realizadas leituras da cota do rio nas

réguas linimétricas da estação fluviométrica (ANA/CPRM) de Porto Velho. Já o GPS Garmin foi utilizado para guiar o barqueiro no percurso pré-estabelecido.

Para integrar o funcionamento do ADCP, ecobatímetro e do GPS/RTK foi utilizado o software WinRiver II (Figura ), que é amplamente utilizado para medição de vazão e para levantamentos batimétricos, fornecendo dados de posição e profundidade, bem como, permitindo a exportação dos dados para o formato “.txt”. Os resultados foram comparados com os levantamentos anteriores, de novembro de 2015 (Pinheiro *et al.*, 2016) e maio de 2015 (Barbosa *et al.*, 2015).

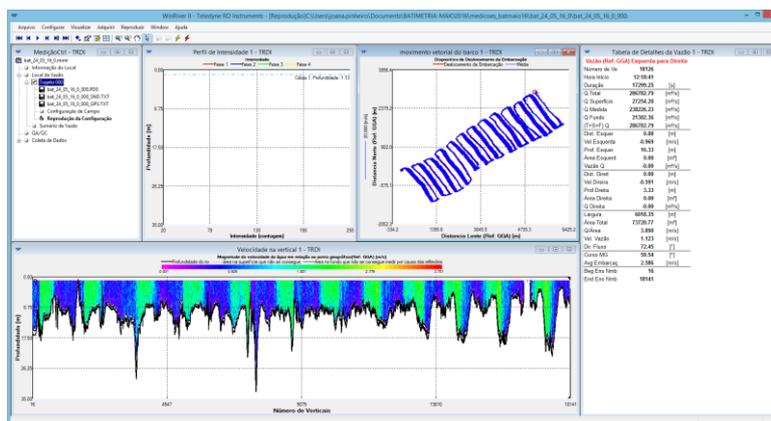


Figura 2 – Tela com dados coletados no WinRiver II.

O tratamento dos dados foi iniciado com o processamento no software WinRiver II. Os dados foram exportados em formato \*.txt para o Excel 2010, onde foram eliminados erros decorrentes de leitura dos equipamentos. A primeira análise consistiu em verificar a ocorrência de falhas e dados “absurdos” coletados pelos equipamentos. Para isso, foram comparados os dados coletados do ADCP e do Ecobatímetro. Apenas quando a aquisição dos dados pelo ecobatímetro falhou, houve a inserção das leituras do ADCP. Esse procedimento de suprir as falhas do ecobatímetro foi satisfatório, já que as leituras dos aparelhos encontraram-se pareadas. Após a consistência dos dados, foram considerados 135.761 pontos, sendo cada ponto caracterizado pela latitude, longitude, altitude, profundidade registrada pelo ADCP e profundidade registrada pelo ecobatímetro.

Após a consistência, os dados foram processados no *software* de geoprocessamento ArcGIS 10.2, onde foi gerado um Modelo Digital de Elevação (MDE), obtido pela interpolação dos dados consistidos.

#### 4 – RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para cada ponto consistido anteriormente, determinou-se a profundidade em relação ao nível da água, que em seguida foi transformada em cota ortométrica. Tal transformação ocorreu de duas formas: com os dados de altitude fornecida pelo GPS/RTK e com os dados de cota obtidos pela utilização da leitura das régua, sendo esta obtida determinando-se a média entre a cota inicial e

final obtidas em cada dia de campo e somando-se 42,5 m, por ser a taxa de conversão entre os RN's das réguas e a altimetria referente ao nível do mar.

Posteriormente, foi realizada a verificação da cota ortométrica dos dados, onde foram comparadas as duas formas de obtenção das cotas. Em grande parte das situações, observou-se que a metodologia baseada nas cotas pode servir para suprir eventuais falhas de altimetria do GPS, devido à grande similaridade dos gráficos gerados com esses dados (Figura ).

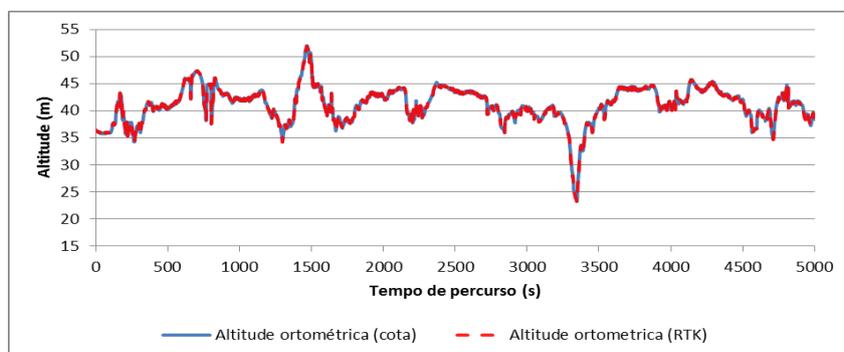


Figura 3 - Métodos para aquisição da altitude ortométrica.

Em seguida, foi gerado o mapa batimétrico do trecho estudado e efetuadas as comparações com os levantamentos anteriores, como mostra a Figura . Pela análise da Figura 4-a, é possível notar a configuração geral da calha com a identificação das áreas mais profundas do curso d'água, caracterizando o curso principal do rio. Nota-se, pela Figura 4-b e 4-c, uma tendência de escavação no centro e na margem esquerda do rio logo após a usina, enquanto na margem direita existe uma tendência de deposição. Cunha (1998) afirma que a capacidade de erosão das águas depende da velocidade e turbulência, do volume e das partículas por elas transportadas. Nessa parte sul do trecho, isto é, próximo a Usina Hidroelétrica de Santo Antônio, encontram-se as maiores profundidades, com altitudes abaixo do nível do mar, sendo provavelmente decorrente da escavação advinda da água vertida em grandes velocidades.

Na curva próxima à área urbana de Porto Velho, compreendendo o bairro Triângulo e Porto do Cai N'água, a calha principal localiza-se na margem direita do rio, local com maiores velocidades do fluxo de água e, conseqüentemente, de maiores propensões à erosão (margem côncava). Em contrapartida, a margem esquerda da curva possui profundidades bastante baixas, revelando um imenso balcão de areia (margem convexa). Esse local apresentou locais com tendência à erosão e à sedimentação em padrões similares ao que vinha ocorrendo desde maio de 2015 (Figura 4-c). Há uma mancha de erosão localizada no centro do rio, levemente deslocado pra margem direita, entremeado por manchas de deposição. Outro padrão que se repetiu, encontra-se na região logo após a ponte da BR-364, notadamente mais expressivo na margem direita, onde tem ocorrido um processo erosivo do leito do rio. Na margem esquerda predominou a deposição.

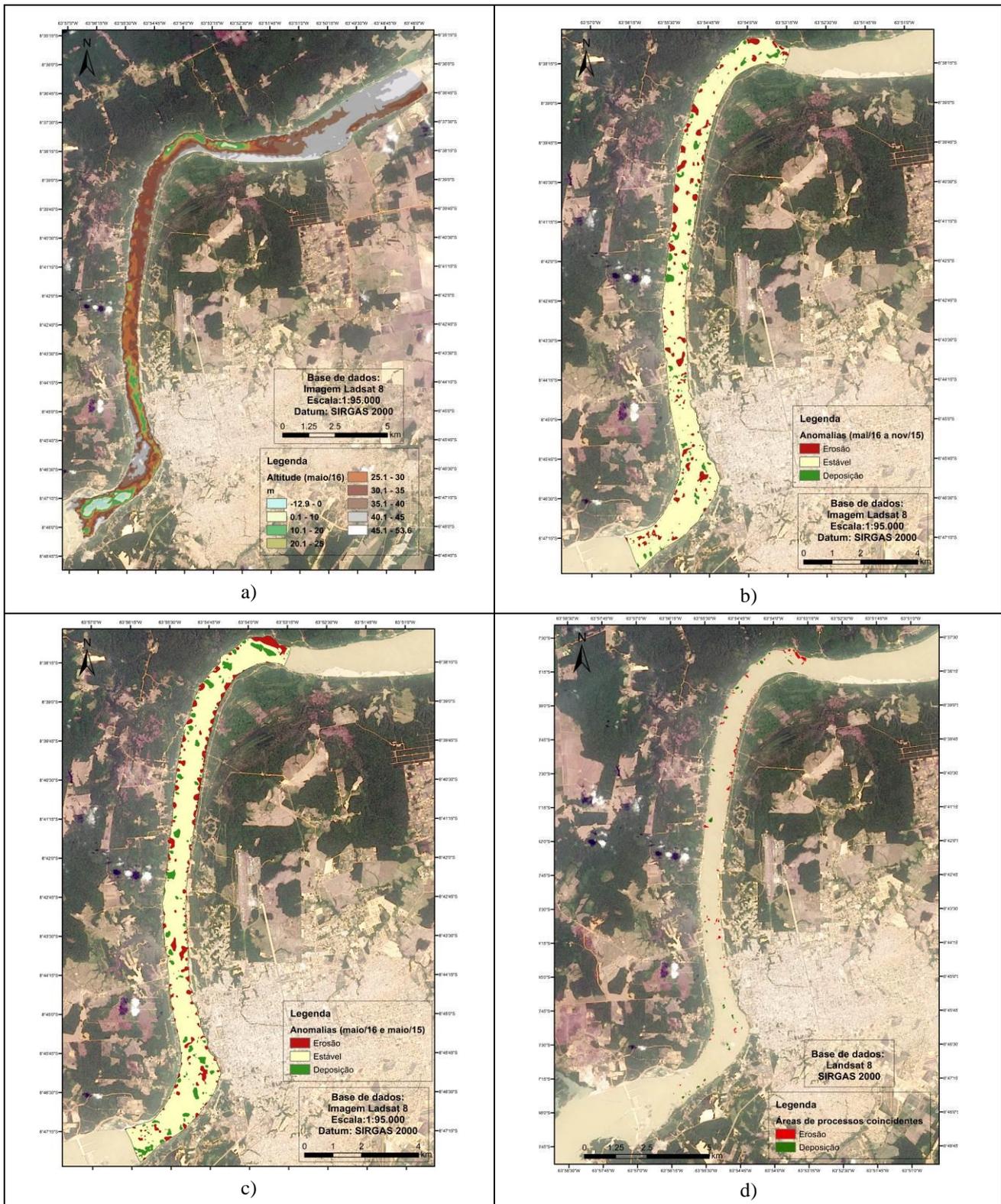


Figura 4 – a) Mapa batimétrico do trecho de estudo do rio Madeira; b) Alterações do leito do rio entre as campanhas batimétricas de novembro de 2015 e maio de 2016; c) Alterações do leito do rio entre as campanhas batimétricas de novembro de 2015 e maio de 2016; d) Processos de deposição/erosão consecutivos.

A calha principal do rio segue pela margem direita até proximidades da ponte da BR-319, onde se desloca gradualmente para a margem esquerda do rio Madeira. No trecho retilíneo, o rio não apresenta uma calha tão bem definida, caracterizando uma região mais homogênea. No decorrer do curso d'água até a curva do Belmont, nota-se a predominância de processos erosivos em

detrimento à deposição, principalmente nas margens do rio (Figura 4-d). Nessa região existe uma grande concentração de balsas e dragas, podendo essas modificações serem potencializadas pelo fluxo de embarcações sempre nas mesmas localidades. Segundo Labadessa (2014), os efeitos erosivos são significativamente potencializados pelo constante deslocamento das embarcações de vários tamanhos e potência, que promovem a incidência constante dos banzeiros.

Na região conhecida como curva do Belmont, o rio novamente apresenta um canal bem definido localizado na margem esquerda do rio (margem côncava), com grandes profundidades. Bem próximo à margem esquerda, nota-se a ocorrência de processos erosivos, enquanto na parte mais central, há uma mancha de deposição de sedimentos (Figura 4-d).

Analisando as modificações, não é possível afirmar qual o limiar de alterações naturais ou antrópicas, o qual possivelmente possa ser definido após vários anos de monitoramento. No entanto, sabe-se da existência de fatores que potencializam as modificações. No caso do rio Madeira, por ser um rio de grande velocidade, bem como pelo seu tipo de solo, ocorre o fenômeno conhecido como “fundo móvel”, que é caracterizado pelo arraste de grandes quantidades de sedimentos do fundo, modificando constantemente o leito do rio. Algumas alterações não apresentaram um padrão, não caracterizando uma tendência de processo contínuo desde que o monitoramento foi iniciado. Isso não quer dizer que as alterações não foram significativas, apenas traduz que o motivo pelo qual essa alteração seja dinâmica, o que se supõe que possa ser devido à utilização de dragas para extração de ouro, sendo essa uma atividade muito usual na região estudada, ou a uma característica sazonal do rio, em que áreas de solo sedimentar de pouca estabilidade apresentem comportamentos distintos em períodos de cheia e vazante do rio.

A extração de ouro no leito do rio Madeira se dá através do bombeamento do material do fundo para a superfície, geralmente feito por dragas flutuantes com bombas de sucção (Chaves e Albuquerque, 1994) que apresentam, normalmente, brocas com alcance de 15 a 40 m de profundidade. A sucção dos leitos provoca modificações profundas, tal como a liberação de grandes volumes de silte e argila, que provocam alterações nas condições físico-químicas da água (Barreto, 2001), assim como alterações do leito do rio. Não se sabe o real impacto que as dragas podem causar no leito do rio Madeira, mas a continuidade do monitoramento batimétrico poderá fornecer indícios de alterações originadas pela extração contínua nessa área.

Os processos de erosão, que têm predominado nas margens do rio Madeira, possuem diversos fatores complexos que interagem e convergem para esse resultado. Dentre os fenômenos naturais, tem-se a constituição das margens por sedimentos arenoargilosos pouco consolidados, favorecendo a instabilidade das margens. Das causas artificiais, pode-se dizer que o intenso fluxo de embarcações, a exploração de ouro no local e a ocupação e uso das margens maximizariam o processo erosivo das áreas marginais do rio.

## 5 - CONSIDERAÇÕES FINAIS

O trajeto percorrido pela embarcação foi bastante próximo do planejado. No entanto, foram encontradas dificuldades em alguns trechos, devido à correnteza, aos troncos, à turbulência da água nas proximidades da usina, às balsas, aos bancos de areias encontrados devido aos baixos níveis do rio durante a tomada de dados de campo e às pedreiras existentes no trecho final do levantamento. Próximo à usina, devido à grande turbulência do rio, não foi possível executar uma pequena parte do trajeto planejado.

O monitoramento contínuo do levantamento batimétrico tem sido satisfatório, sendo possível realizar uma análise preliminar dos processos de erosão/deposição de sedimentos. Observou-se que, no decorrer do tempo, alguns locais apresentaram processos de erosão/sedimentação de forma contínua, enquanto outros não apresentaram um padrão regular de ocorrência. Dessa forma, considera-se que esse levantamento serve como base para se avaliar as modificações do leito do rio, bem como um instrumento de auxílio à tomada de decisão para possíveis intervenções estruturais. A continuidade do monitoramento é essencial para possibilitar a realização de análises mais concretas acerca das modificações que vêm ocorrendo.

## BIBLIOGRAFIA

ÁLVARES, M. T.; FERNANDES, S.; MARIANO, A. C.; PIMENTA, M. T. *Monitorização Batimétrica em Albufeiras*. Lisboa: Instituto da Água, Direção de Serviços de Recursos Hídricos. 2001.

BARBOSA, F. A. R., BUFFON, F. T.; CASTRO, H. P.; PINHEIRO, J. A. C.; GOMES, W. R.; FREITAS, E. B. *Levantamento batimétrico do rio Madeira*. Relatório Técnico. Ministério de Minas e Energia Secretaria de Geologia, Mineração e Transformação Mineral. Serviço Geológico do Brasil – CPRM. 13 p., junho/2015, Porto Velho.

BARRETO. *Mineração e desenvolvimento sustentável: desafios para o Brasil*. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2001, p.225.

CHAVES, A. P; ALBUQUERQUE, G.S. Garimpo na Amazônia; Um problema que pode ter solução. *Brasil Mineral*, (118):48-51; s/1, 1994.

CUNHA, Sandra Baptista da. Geomorfologia fluvial. IN: GUERRA, Antonio José Teixeira; CUNHA, Sandra Baptista da. *Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos*. 3. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1998.

LABADESSA, A. S. “Terras caídas”, as causas e implicações socioeconômicas: uma análise preliminar na comunidade de Calama – baixo rio Madeira/RO. *Boletim de Geociências Paranaense*, v. 71, p. 12 – 20. 2014.

PINHEIRO, J. A. C.; CASTRO, H. P.; BARBOSA, F. A. R.; CARVALHO, F. S.; GOMES, W. R.; FREITAS, E. B. *Levantamento batimétrico do rio Madeira II*. Relatório Técnico. Ministério de Minas e Energia Secretaria de Geologia, Mineração e Transformação Mineral. Serviço Geológico do Brasil – CPRM. 19 p., março/2016, Porto Velho.