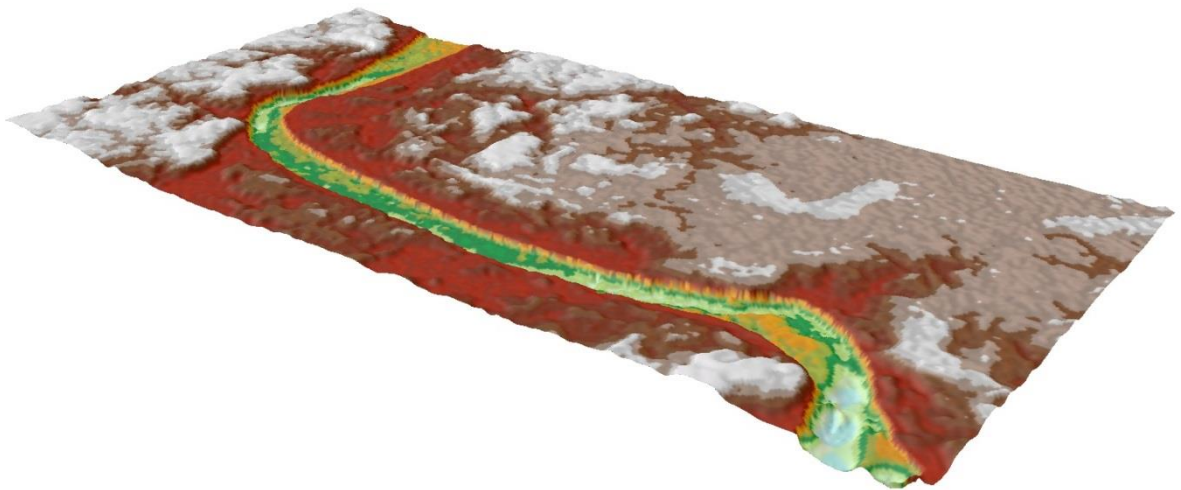




CPRM – SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL

RELATÓRIO TÉCNICO

LEVANTAMENTO BATIMÉTRICO DO RIO MADEIRA II



Residência de Porto Velho – REPO

PORTO VELHO
Março/2016

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA
SECRETARIA DE GEOLOGIA, MINERAÇÃO E TRANSFORMAÇÃO MINERAL

Edison Lobão
Ministro de Estado

Carlos Nogueira da Costa Júnior
Secretário de Geologia, Mineração e Transformação Mineral

SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL – CPRM

Manoel Barretto da Rocha Neto
Diretor-Presidente

Roberto Ventura Santos
Diretor de Geologia e Recursos Minerais

Stênio Petrovich Pereira
Diretor de Hidrologia e Gestão Territorial

Antonio Carlos Bacelar Nunes
Diretor de Relações Institucionais e Desenvolvimento

Eduardo Santa Helena
Diretor de Administração e Finanças

RESIDÊNCIA DE PORTO VELHO

Edgar Romeo Herrera de Figueiredo Iza
Chefe Interino da Residência

Ruy Benedito Calliari Bahia
Coordenador Executivo

Francisco de Assis dos Reis Barbosa
Assistente de Hidrologia e Gestão Territorial

EQUIPE EXECUTORA:

Joana Angélica Cavalcanti Pinheiro
Pesquisadora em Geociências – D Sc.

Herculys Pessoa e Castro
Pesquisador em Geociências

Francisco de Assis dos Reis Barbosa
Pesquisador em Geociências – M Sc.

Fábio Silva Carvalho
Auxiliar de Campo

Wladimir Ribeiro Gomes
Técnico em Geociências

Edcarlos Bezerra de Freitas
Auxiliar de Campo

Sumário

1 APRESENTAÇÃO	1
2 ÁREA DE ESTUDO	1
3 METODOLOGIA	2
3.1 Planejamento do levantamento batimétrico	2
3.2 Equipamentos utilizados	3
4 RESULTADOS.....	6
4.1 Execução do Levantamento Batimétrico	6
4.2 Processamento e análise dos dados batimétricos.....	7
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	18
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	19

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - Localização da área de estudo.	2
Figura 2 - Percurso a ser realizado o levantamento batimétrico no rio Madeira	3
Figura 3 - Equipamentos utilizados para a realização da batimetria e medição de vazão.....	4
Figura 4 - Montagem dos equipamentos com alimentação da energia por painéis solares.....	5
Figura 5 - Computador com WinRiver II.	6
Figura 6 - Percurso realizado pela embarcação no levantamento batimétrico.....	7
Figura 7 - Comparação entre os dados do ADCP e do Ecobatímetro.....	8
Figura 8 - Métodos para obtenção da altitude ortométrica.	9
Figura 9 - Mapa batimétrico do trecho de estudo do rio Madeira.	10
Figura 10 - Isolinhas de cota altimétrica, com espaçamento de 5 metros, do trecho de estudo do rio Madeira.....	11
Figura 11 - Alterações do leito do rio entre as campanhas batimétricas de maio e novembro de 2015.	13
Figura 12 - Perfis transversais do rio Madeira com as cotas altimétricas.....	16
Figura 13 - Localização dos perfis transversais analisados.	17
Figura 14 - Modelo Digital de Elevação (MDE) em 3D do levantamento batimétrico do rio Madeira.	18

1 APRESENTAÇÃO

Este documento apresenta resultados do levantamento batimétrico realizado no rio Madeira em novembro de 2015, bem como, dá continuidade aos trabalhos realizados pelo Serviço Geológico do Brasil (CPRM/SGB), Residência de Porto Velho (REPO), desde o ano de 2012, ano em que foi elaborado o relatório técnico *“Levantamento batimétrico do rio Madeira: Região próxima ao bairro triângulo”*, elaborado pela CPRM, Residência de Porto Velho – REPO.

No ano de 2015, foram realizados levantamentos batimétricos nos meses de maio e novembro, onde se englobou áreas maiores que os de anos anteriores, tendo sido mapeado o leito do rio desde proximidades do barramento da UHE Santo Antônio Energia até imediações da curva do Belmont. Esta batimetria do mês de novembro difere-se da realizada em maio, por Barbosa et al., (2015), por ter abrangido áreas ainda maiores do rio Madeira e por algumas alterações na metodologia de aquisição dos dados, essas modificações serão detalhadas no decorrer do presente relatório.

A continuidade das sondagens visa monitorar a dinâmica do leito do rio Madeira para subsidiar eventuais tomadas de decisões que possam advir do conhecimento desse levantamento. É importante destacar que os resultados deste trabalho se tratam de avaliações preliminares e que se necessita de um tempo maior de estudo para gerar informações conclusivas a respeito de alterações do leito do rio Madeira, dada à complexidade dos processos que ocorrem simultaneamente no rio.

2 ÁREA DE ESTUDO

A região de estudo está localizada no rio Madeira, na cidade de Porto Velho (Figura 1) e sua delimitação encontra-se entre os paralelos 8°36'45" e 8°49'30" Latitude Sul e entre os meridianos 63°49'30" e 63°57'35" Longitude Oeste de Greenwich, iniciando à jusante da Usina Hidroelétrica de Santo Antônio e se estendendo por aproximadamente 26 km.

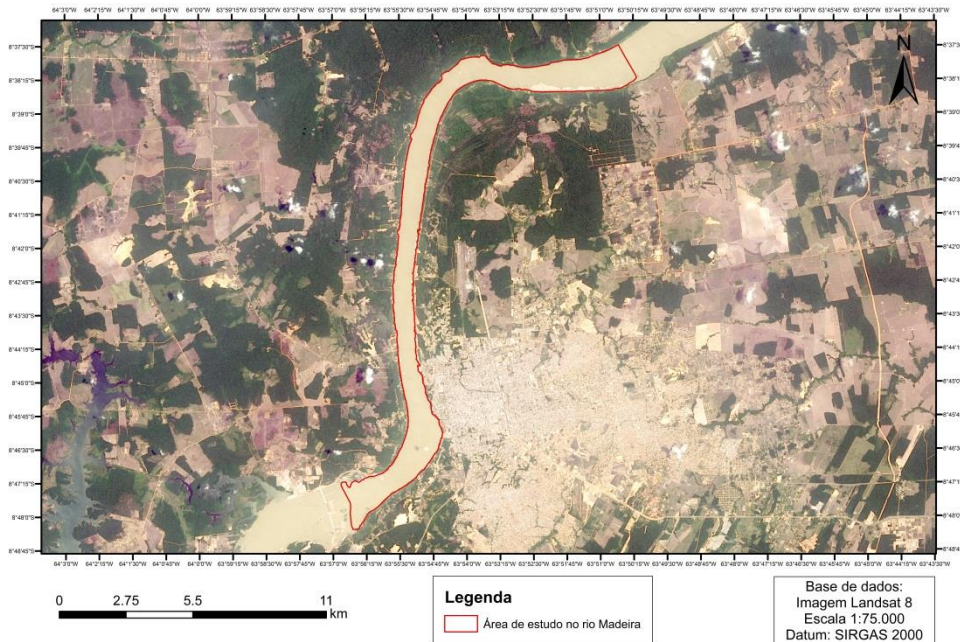


Figura 1 - Localização da área de estudo.

3 METODOLOGIA

3.1 Planejamento do levantamento batimétrico

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 (Figura 2), de forma similar ao executado no Relatório Batimétrico do Rio Madeira de maio de 2015 (BARBOSA et al., 2015), visando representar melhor os locais com maior possibilidade de variabilidade. Nesse levantamento foi acrescentado um setor adicional em relação ao anterior, a jusante da curva do Belmont. Cada setor teve espaçamentos diferentes entre as linhas, gerando um maior detalhamento na região urbana e nas regiões de curva do rio. O primeiro setor foi definido entre a Usina Santo Antônio e as antenas presentes antes do Cai N'água, utilizando o espaçamento entre linhas de 100 metros. O segundo setor foi definido entre o final do primeiro trecho até a ponte da BR-319, com espaçamento de 150 metros. O terceiro setor até o início da curva do Belmont, com espaçamento de 350 metros. O quarto setor foi delimitado até aproximadamente 4 km antes do novo porto, com espaçamento de 250 metros. Ainda, para complementar o trabalho, as margens foram delimitadas para garantir a representatividade das bordas.

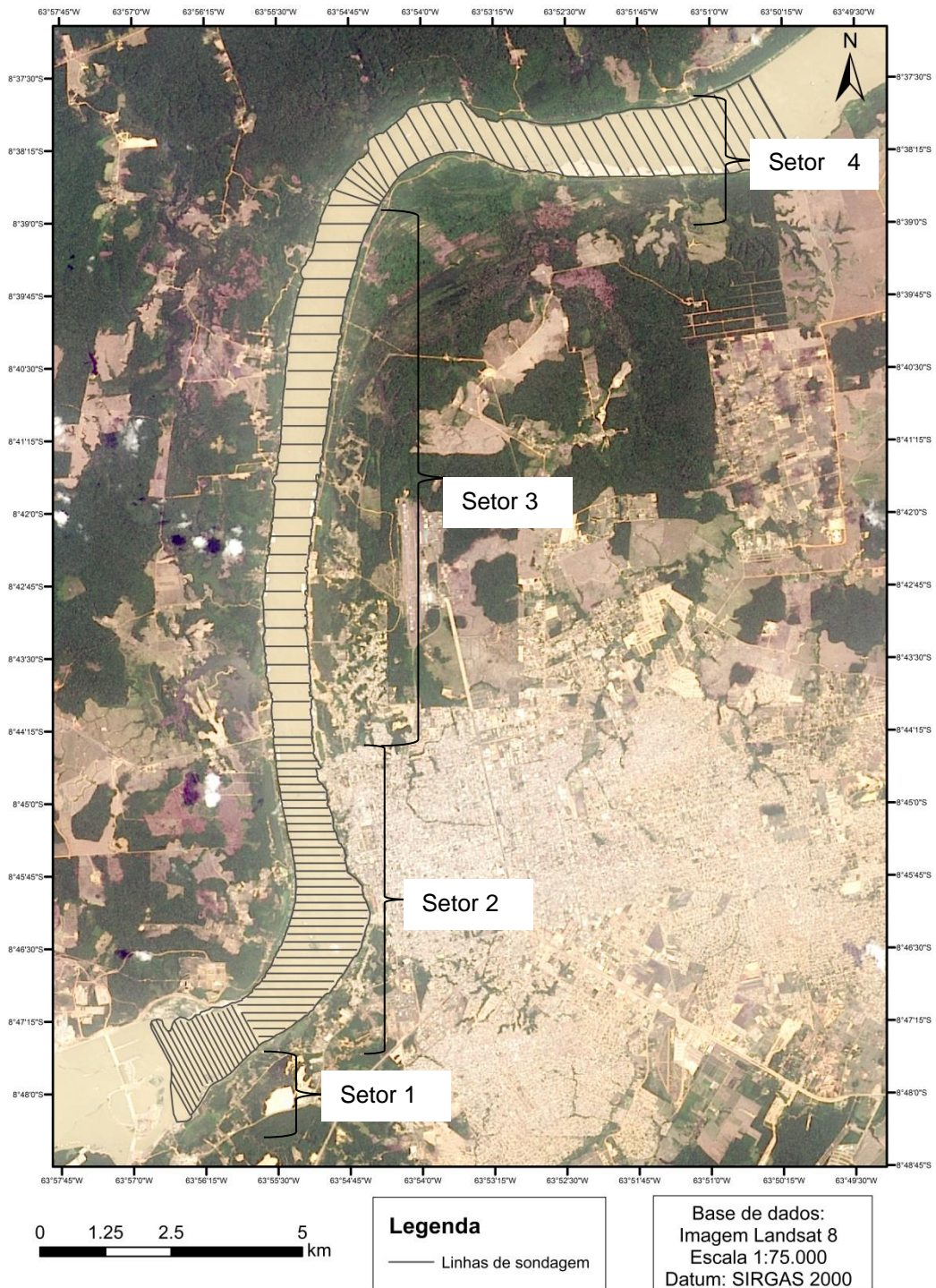


Figura 2 - Percurso a ser realizado o levantamento batimétrico no rio Madeira .

3.2 Equipamentos utilizados

Para aquisição dos dados, utilizaram-se equipamentos para leitura batimétrica do fundo, tendo sido eles o ADCP Rio Grande 600 kHz (Figura 3-a) e o Ecobatímetro ODOM

ECHOTRAC CV-100 (Figura 3-b), e equipamentos de localização georreferenciada, sendo eles um DGPS GeoTech GTR-G² (Figura 3-c), um GPS de navegação Garmin MAP 62s (Figura 3-d) e o rádio PDL Pacific Crest para transmissão de dados (Figura 3-e).



(a) ADCP Rio Grande



(b) Ecobatímetro ODOM



(c) DGPS GeoTech



(d) GPS Garmin



(e) Rádio PDL Pacific Crest

Figura 3 - Equipamentos utilizados para a realização da batimetria e medição de vazão.

O ADCP, em inglês “Acoustic Doppler Current Profiler”, é um medidor acústico, que possui quatro feixes diagonais que realizam o perfilamento das velocidades da água e determinação do fundo, obtidas por pulsos de ultrassom que são refletidos pelas partículas sólidas em suspensão e pela superfície sólida do fundo. Já o ecobatímetro emite um único feixe sonoro e mede a velocidade com que este retorna ao equipamento. Através da velocidade com que o som se propaga na água é calculada a profundidade daquele ponto com o retorno de apenas um valor de profundidade para um dado intervalo de tempo.

O DGPS foi utilizado no modo de processamento RTK, garantindo precisão centimétrica de localização geográfica e de altimetria, sendo o GPS Base instalado na ponte da BR-319, 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 TPLINK, 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.

Devido ao consumo elevado de bateria, foram instalados painéis solares para alimentação das baterias, tanto na base quanto na embarcação (Figura 4). Ressalta-se que a precisão de posicionamento e altitude advinda do GPS/RTK não corrige a imprecisão inerente aos demais equipamentos utilizados para mapeamento das profundidades.



Figura 4 - Montagem dos equipamentos com alimentação da energia por painéis solares.

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. Já o GPS Garmin foi utilizado para guiar o barqueiro no percurso pré-estabelecido, mostrado na Figura 3.

Para integrar o funcionamento do ADCP, ecobatímetro e do GPS/RTK foi utilizado o software WinRiver II (Figura 5), 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”.

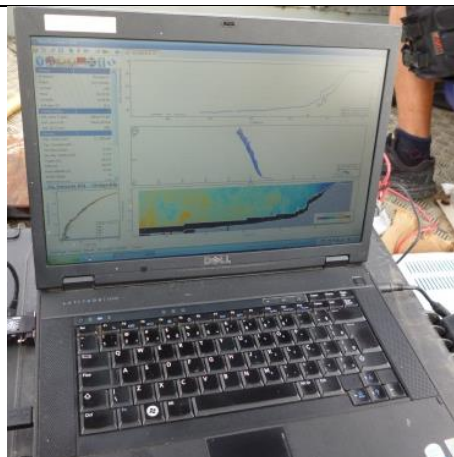


Figura 5 - Computador com WinRiver II.

4 RESULTADOS

4.1 Execução do Levantamento Batimétrico

O trajeto percorrido (Figura 6) pela embarcação foi bastante próximo do planejado (Figura 2). No entanto, como no levantamento anterior, 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. Devido à grande turbulência do rio próxima à usina, não foi possível executar uma pequena parte do trajeto planejado. Para suprir eventuais problemas no GPS/RTK, diariamente foram realizadas as leituras da cota do rio durante o levantamento com base nas leituras da régua linimétrica realizadas sempre no início e no fim de cada dia de medição.

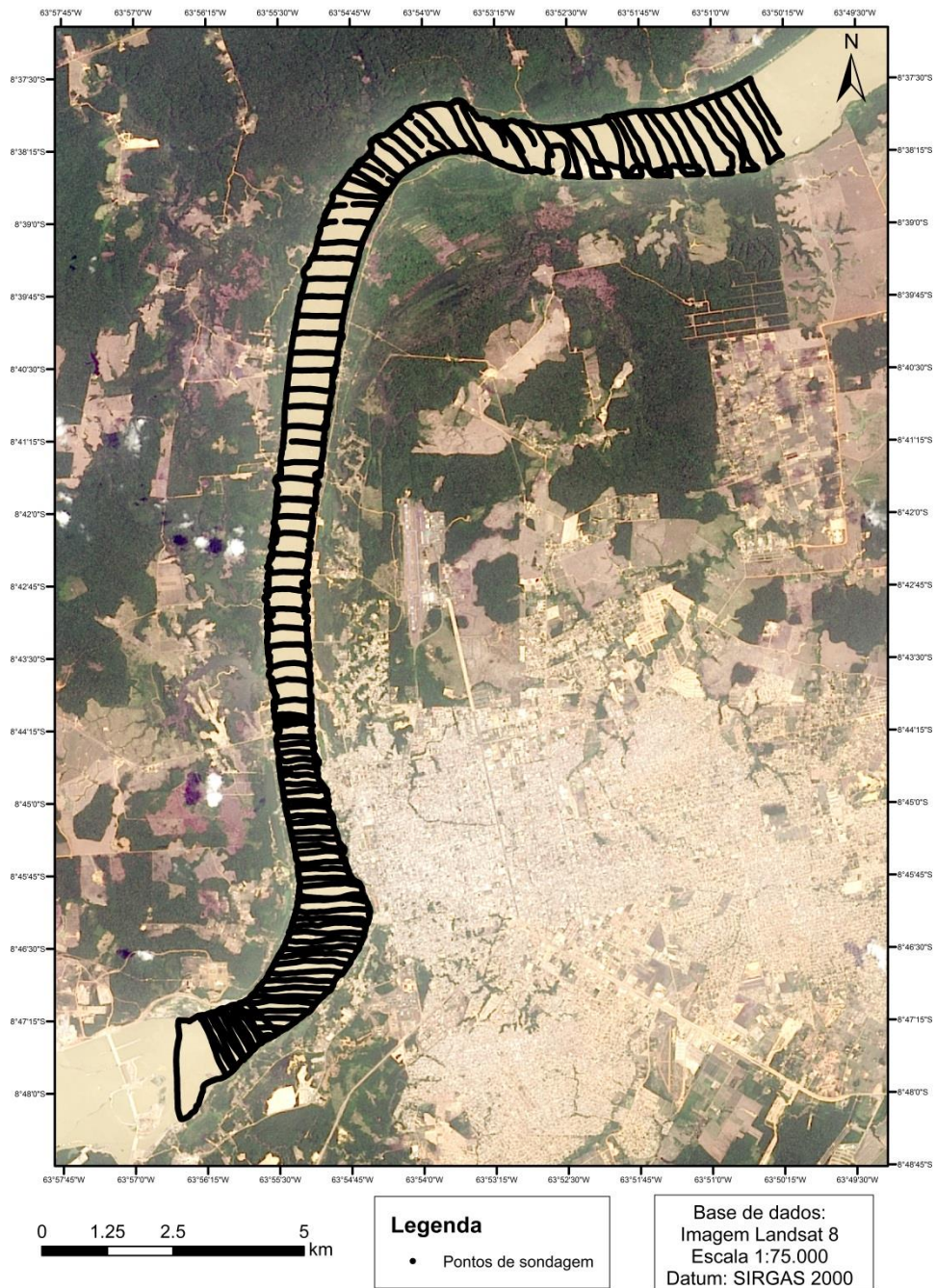


Figura 6 - Percurso realizado pela embarcação no levantamento batimétrico.

4.2 Processamento e análise dos dados batimétricos

O tratamento dos dados iniciou com o processamento no software WinRiver II. Os dados foram exportados em formato *.txt para o Excel 2010. Nesta análise inicial foram obtidos 99.130 pontos, resultando em 88.443 pontos consistidos, sendo cada ponto

caracterizado pela latitude, longitude, altitude, profundidade registrada pelo ADCP e profundidade registrada pelo ecobatímetro.

A primeira análise consistiu em verificar a ocorrência de falhas. Para isso, foram comparados os dados retirados do ADCP e do Ecobatímetro. A Figura 7 mostra um exemplo da análise realizada. Neste caso, é possível identificar, para o trecho analisado, que tanto o ADCP quanto o ecobatímetro apresentaram falhas. De forma geral, os dados utilizados foram obtidos das leituras do ecobatímetro. Somente quando houve ocorrência de falha deste equipamento, utilizaram-se os dados do ADCP. A utilização desses dados ocorreu com critérios para o ajuste dos dados, visto que nem sempre as leituras dos dois equipamentos se sobrepõem. Portanto, foi realizado o procedimento a fim de ajustar as falhas do ecobatímetro para os dados do ADCP.

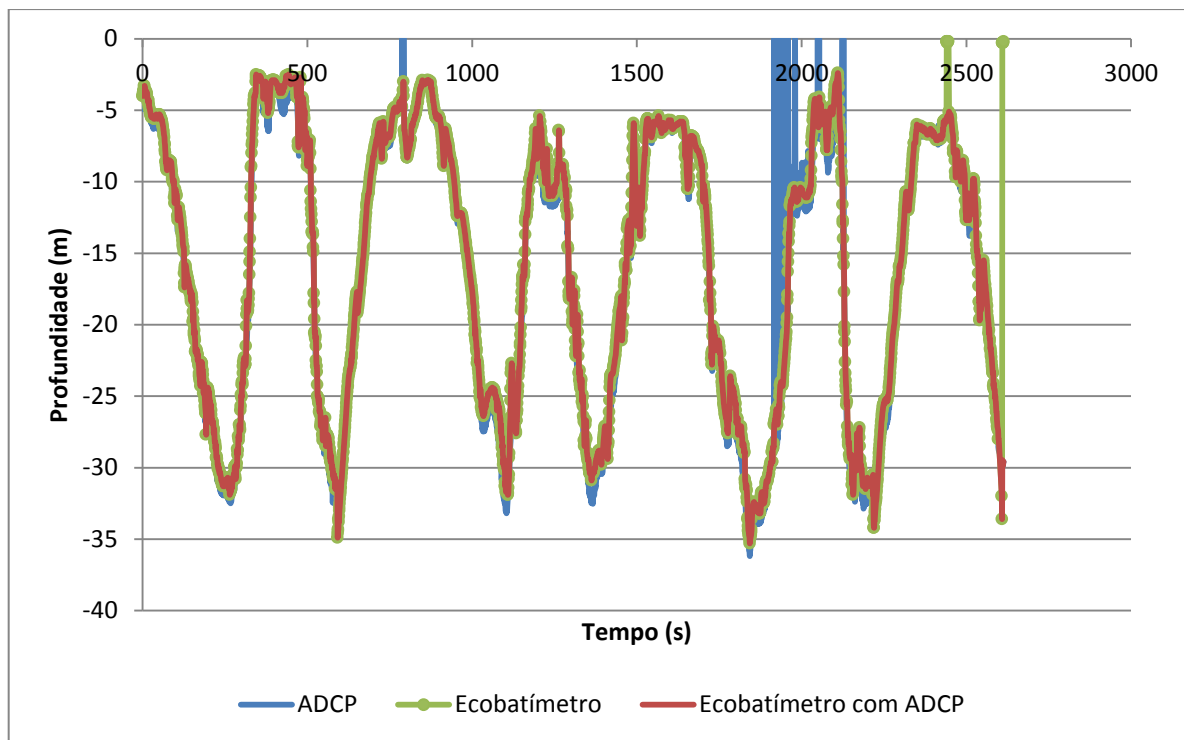


Figura 7 - Comparação entre os dados do ADCP e do Ecobatímetro.

Dessa forma, determinou-se a profundidade para cada ponto consistido, e em seguida foram transformadas em cotas ortométricas. Para cada dia, determinou-se a média entre a cota inicial e final obtidas pela leitura da régua linimétrica e somou-se 42,5 m, sendo esta a taxa de conversão entre os RN's das régua e a altimetria referente ao nível do mar.

Posteriormente à consistência das profundidades, foi realizada a verificação da cota ortométrica dos dados, onde foram comparadas duas metodologias: a empregada na

batimetria de maio de 2015, onde a transformação foi obtida pela utilização da leitura das réguas e a metodologia utilizando o GPS/RTK. Na grande maioria das situações, observou-se que a metodologia baseada nas cotas pode servir para suprir eventuais falhas de altimetria do GPS, devido à grande similaridade das curvas (Figura 8).

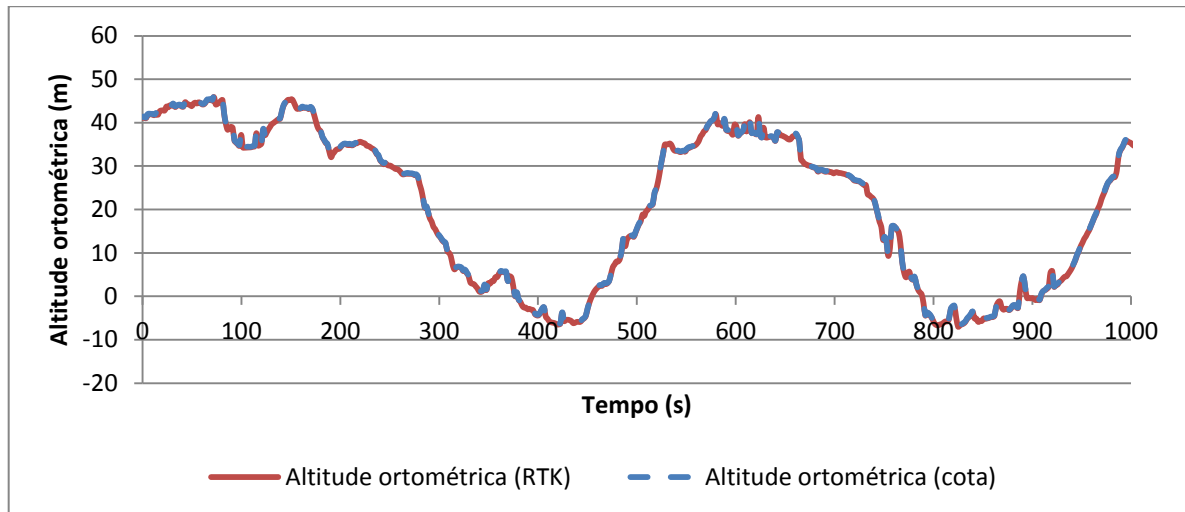


Figura 8 - Métodos para obtenção da altitude ortométrica.

Após essas análises, os dados foram processados no *software* de geoprocessamento, o ArcGIS 10.2. A Figura 9 mostra o mapa batimétrico do trecho estudado, obtidos pela interpolação dos dados consistidos. A Figura 10 mostra as isolinhas com espaçamento vertical de 5 metros, geradas a partir do mapa batimétrico.

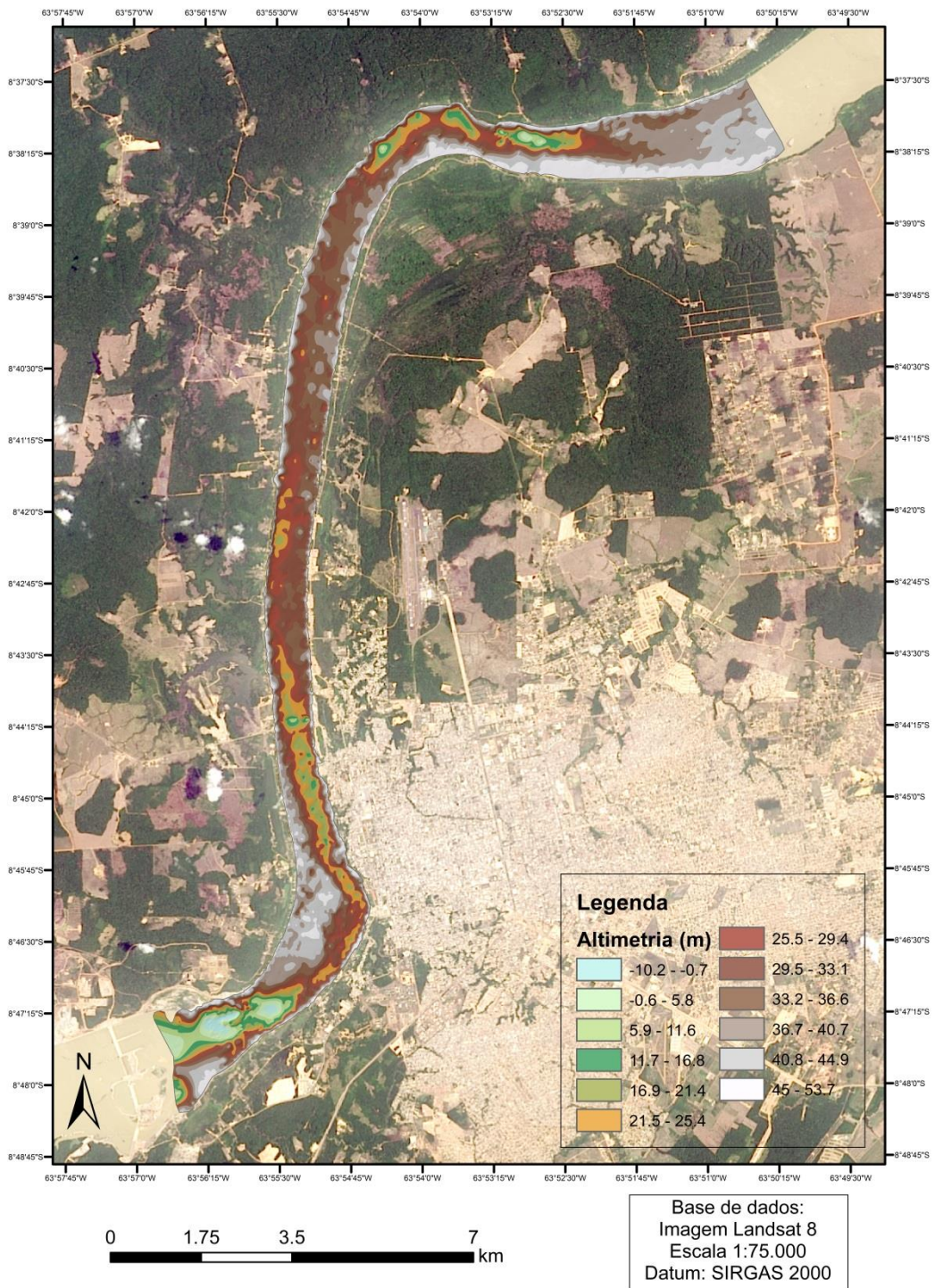


Figura 9 - Mapa batimétrico do trecho de estudo do rio Madeira.

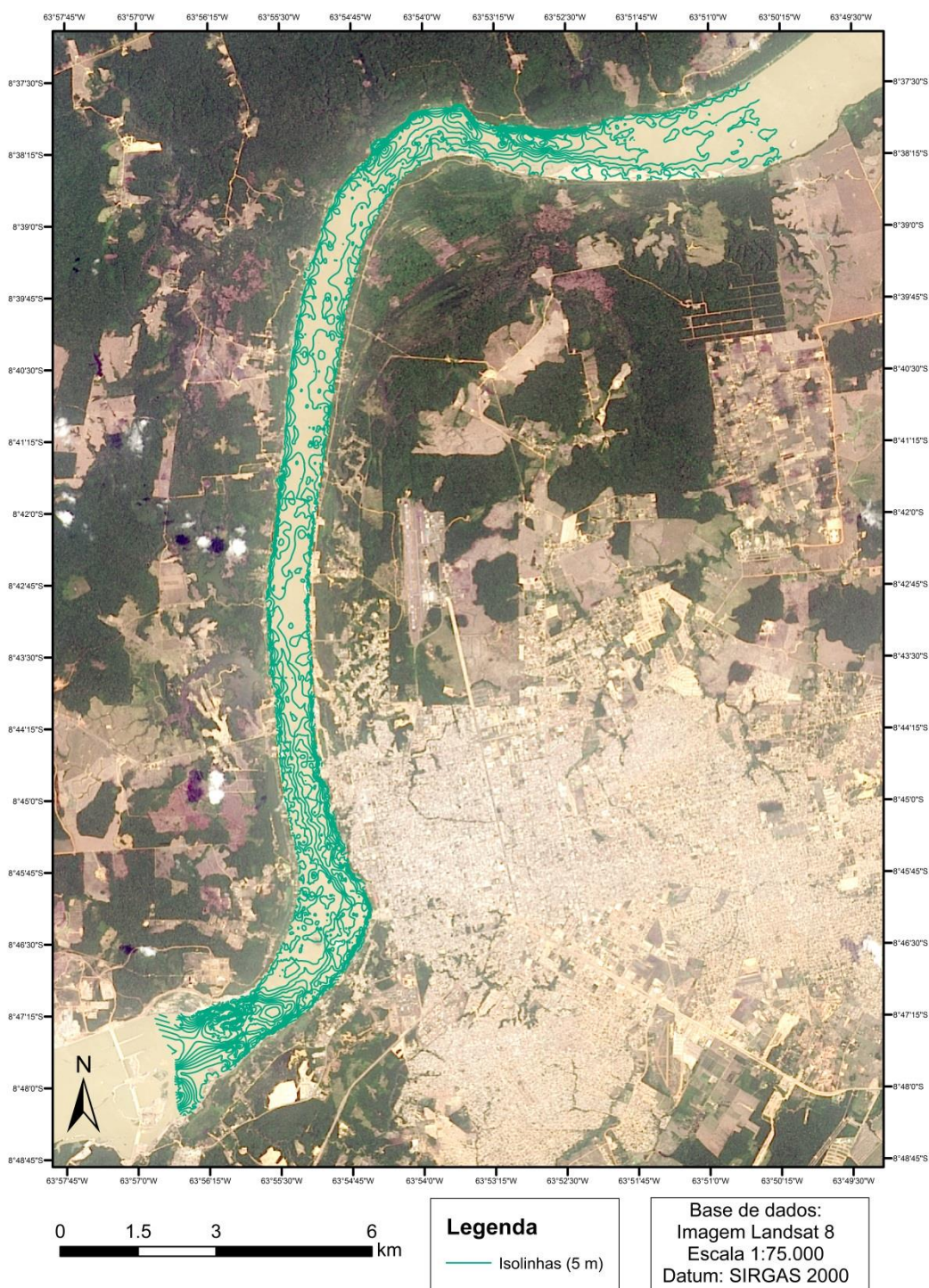


Figura 10 - Isolinhas de cota altimétrica, com espaçamento de 5 metros, do trecho de estudo do rio Madeira.

Pela análise dessas figuras, nota-se que a configuração geral da calha do rio se mantém em relação ao levantamento batimétrico de maio de 2015, sendo possível a identificação das áreas mais profundas do curso d'água, caracterizando o curso principal do

rio. Na parte sul do trecho, isto é, próximo a Usina Hidroelétrica de Santo Antônio, encontram-se as maiores profundidades, sendo estas associadas às cotas negativas, ou seja, abaixo do nível do mar. Na curva próxima à área urbana de Porto Velho, compreendendo o bairro Triângulo e Terminal 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). 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 setor 3 (Figura 2), o rio não apresenta uma calha tão bem definida, caracterizando uma região mais homogênea. No setor 4, região conhecida como curva do Belmont, o rio novamente apresenta um canal bem definido localizado na margem esquerda do rio (margem côncava), apresentando cotas próximas ao nível do mar.

Com intuito de realizar uma comparação entre o levantamento batimétrico realizado em maio e novembro, ambos em 2015, foi confeccionado o mapa da Figura 11. Para essa análise, foi feita a diferença das altimetrias da batimetria de novembro para a realizada em maio, pixel a pixel, do Modelo Digital de Elevação gerado em virtude da interpolação dos dados levantados. Posteriormente, o mapa foi reclassificado visando à facilidade de entendimento, onde foram consideradas estáveis pequenas alterações de cota. Essas variações podem ocorrer em virtude de motivos distintos (observar as Considerações Finais), portanto recomenda-se cautela na interpretação dos resultados.

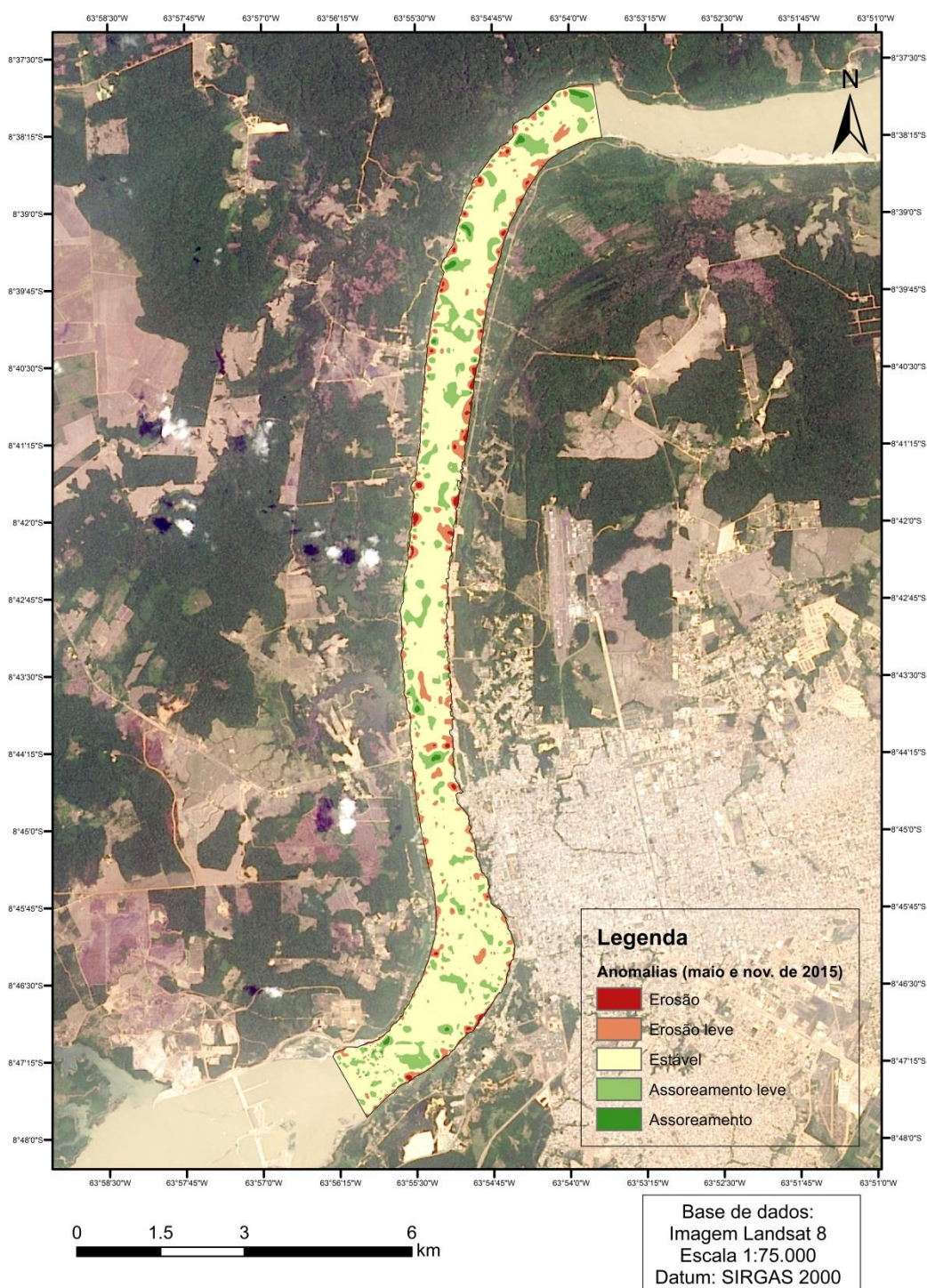


Figura 11 - Alterações do leito do rio entre as campanhas batimétricas de maio e novembro de 2015.

De forma geral, nota-se que não houve muitas alterações no leito do rio no trecho analisado do rio Madeira, sendo possivelmente ocasionada pelas baixas velocidades da água e, portanto, baixa energia cinética associada ao fluxo, devido ao período de estiagem

do rio Madeira. Nas margens predominaram processos erosivos, situação comum em períodos de estiagem, onde frequentemente ocorrem deslizamentos das margens. Tal situação é conhecida como fenômeno de “terras caídas”, que são as margens constituídas por sedimentos arenoargilosos, pouco consolidados e permeáveis, favorecendo a saturação do solo e a instabilidade das margens do rio.

De maneira geral, em regiões de topografia plana, o rio tende a formar meandros e a declividade do rio se mantém pouco expressiva. Assim, uma ação erosiva mais vigorosa é esperada em margens côncavas, submetidas ao impacto direto do fluxo da correnteza de um rio; de forma inversa, uma margem convexa, com condições hidrodinâmicas menos severas, favorecerá a deposição dos sedimentos carreados pelo rio, podendo constituir bancos arenosos. Entretanto, segundo Adamy (2013), salienta-se que os efeitos erosivos no rio Madeira constituem um fenômeno natural, comprovado desde os primeiros estudos técnicos na região em todo o seu curso onde existirem condições propícias para a atuação das correntes fluviais.

Outra situação refere-se à ocupação desordenada das margens sem a manutenção da distância mínima de proteção prevista segundo o Código Florestal e, muitas vezes, realizando obras e alterações sem devido estudo sobre os seus impactos. Essa ocupação das margens frágeis, aliado ao desmatamento, remove a proteção natural e conseqüentemente aceleram o processo erosivo (ADAMY, 2013). Assim como essas alterações de margem, existem também dragas de extração de ouro que se supõe apresentar impactos no leito do rio ao considerar a junção de inúmeras dragas trabalhando simultaneamente.

Outro fator a ser considerado é a alteração da dinâmica da água vertendo da Usina de Santo Antônio, alterando a velocidade e a direção do fluxo no local. Nenhum desses fatores pode ser avaliado conclusivamente no presente relatório, visto o pouco tempo de monitoramento e, especificamente no caso da Usina, a falta de estudos semelhantes antes da sua construção. Entretanto, sabe-se que o aumento da velocidade da água tende a acelerar processos erosivos, notadamente na margem direita, devido à conformação inerente do rio a jusante da usina.

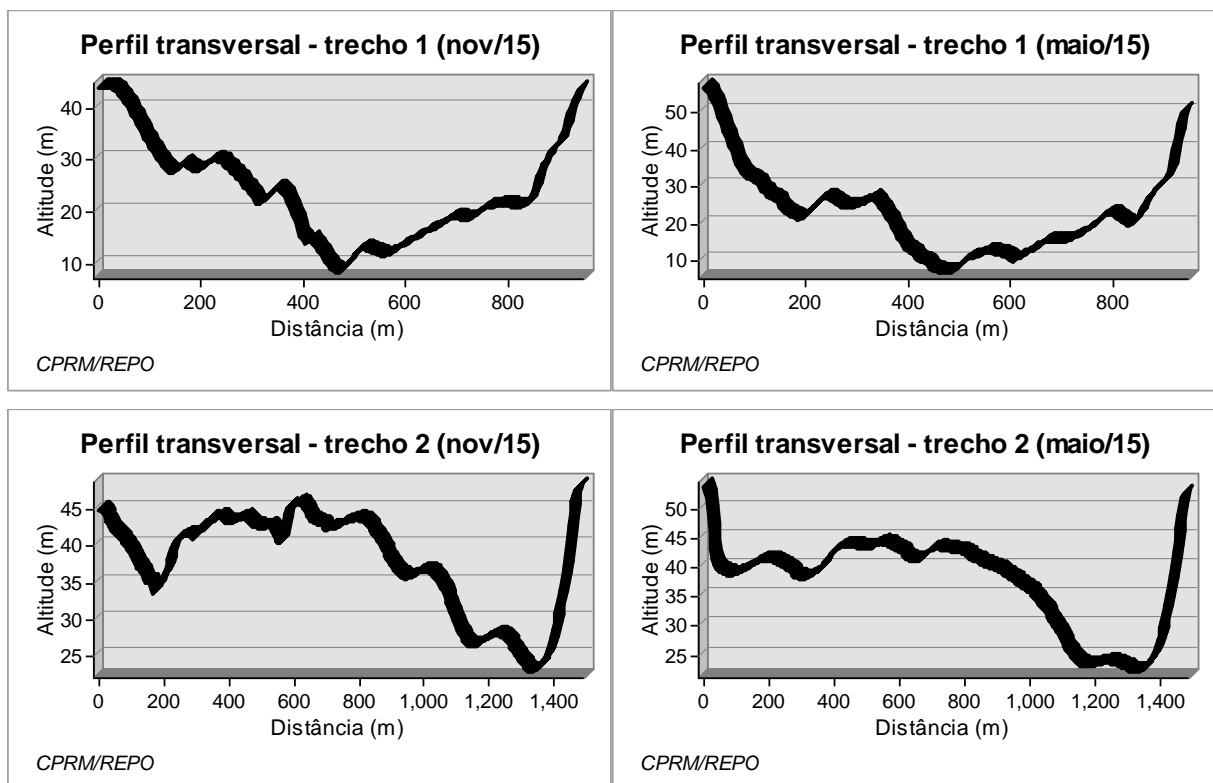
A Figura 12 mostra o perfil transversal de alguns trechos estratégicos selecionados, onde o eixo Y mostra as cotas ortométricas de cada perfil e o eixo X a distância entre as margens. A Figura 13 detalha a localização espacial de cada trecho selecionado. O trecho 1, região localizada entre as antenas à jusante da Usina Hidrelétrica de Santo Antônio, apresentou grande amplitude de profundidade, com a calha principal ligeiramente deslocada

para a margem direita. Houve assoreamento na margem esquerda do rio entre as campanhas batimétricas de maio e novembro de 2015. Devido à grande velocidade da água nesse local, as mudanças não foram consideradas significantes.

O trecho 2 apresentou as maiores distâncias entre as margens, com uma elevação na parte central do perfil e aprofundando substancialmente na margem direita, passando próximo à margem do Cai N'Água. A margem esquerda teve pequenas alterações entre as campanhas, resultando em aprofundamento na distância de aproximadamente 200 m da margem.

No trecho 3, localizado anteriormente à ponte da BR-319, a alteração foi pouco expressiva, sendo que na margem esquerda houve a formação de pequenos platôs no leito do rio.

Já o trecho 4 apresentou a calha principal do rio na margem esquerda, com posterior ascensão das cotas até a margem direita. Não houve diferença significativa entre as campanhas.



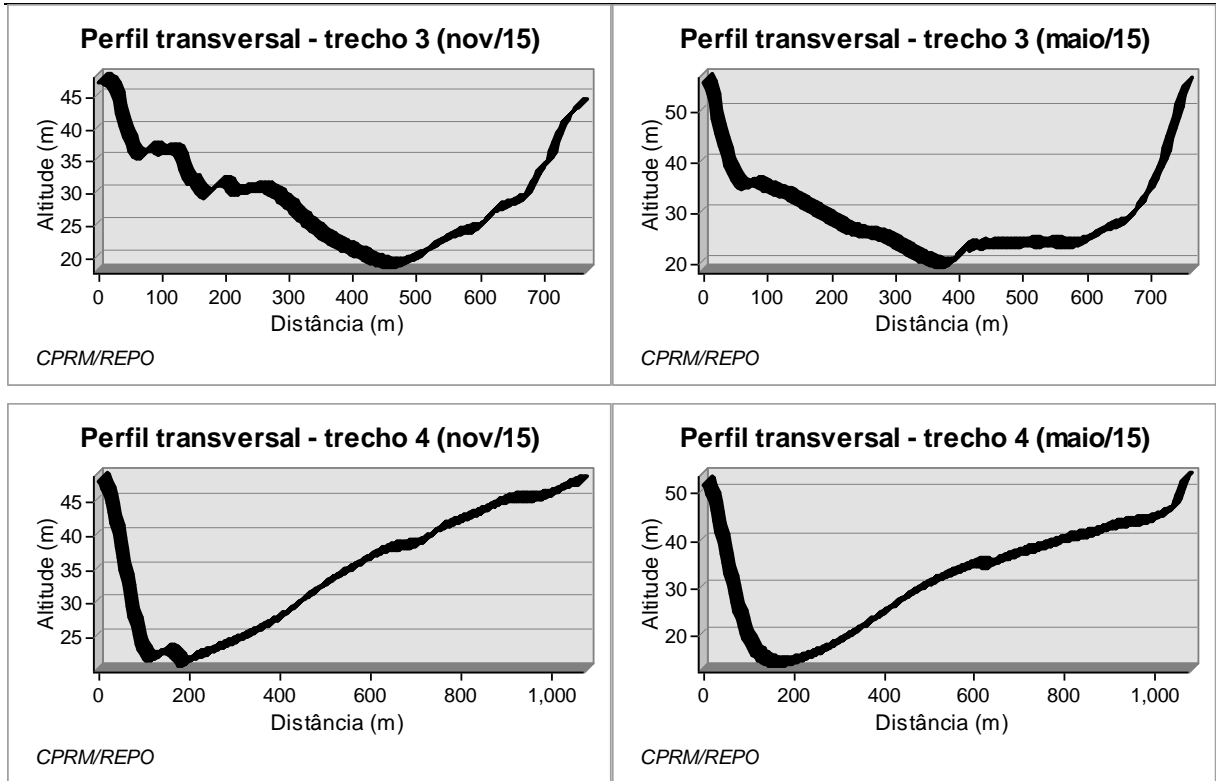


Figura 12 - Perfis transversais do rio Madeira com as cotas altimétricas.

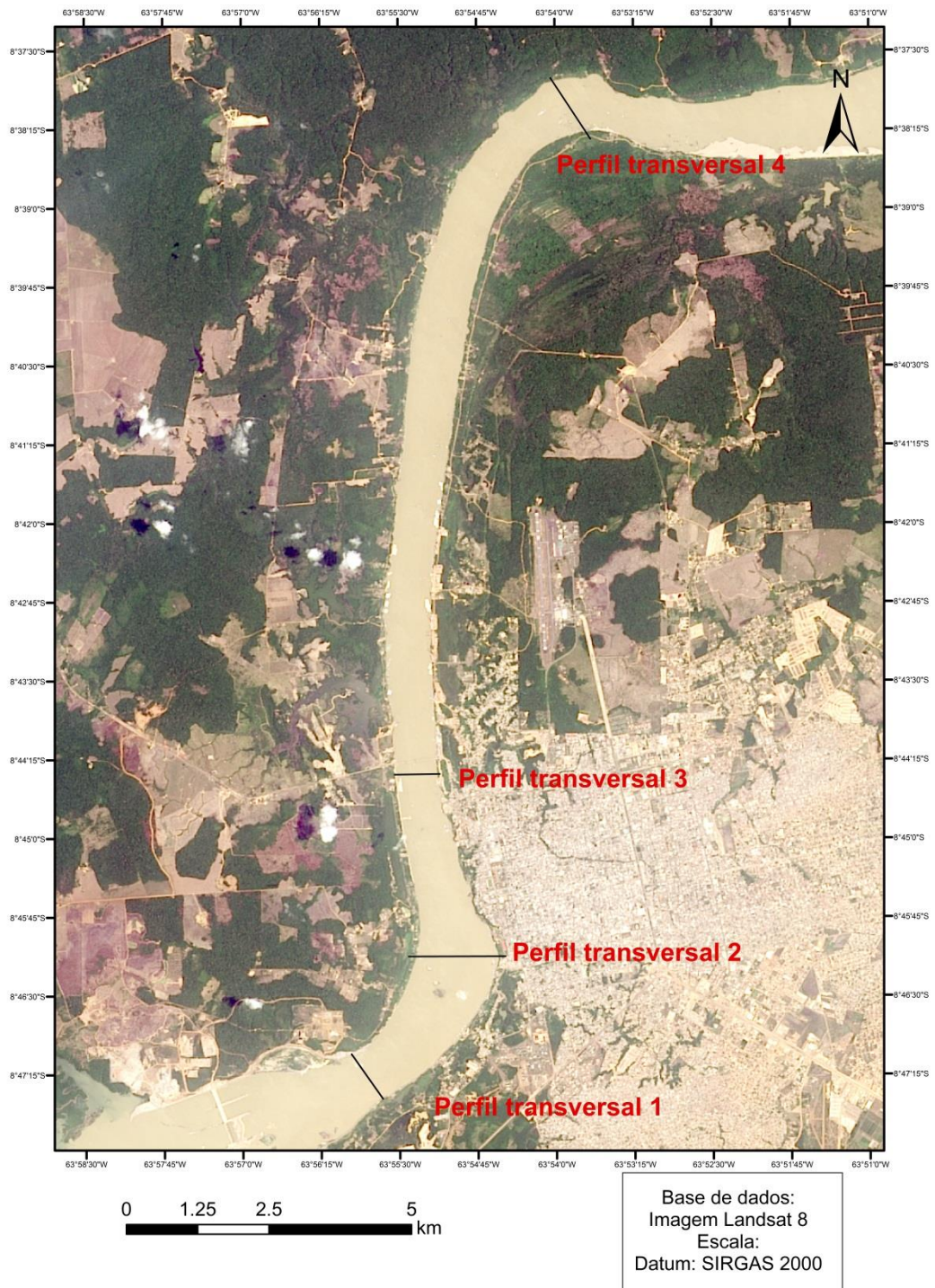


Figura 13 - Localização dos perfis transversais analisados.

A Figura 14 mostra a imagem em três dimensões (3D), obtidas a partir dos dados batimétricos coletados e geradas pelo *software* ArcScene.

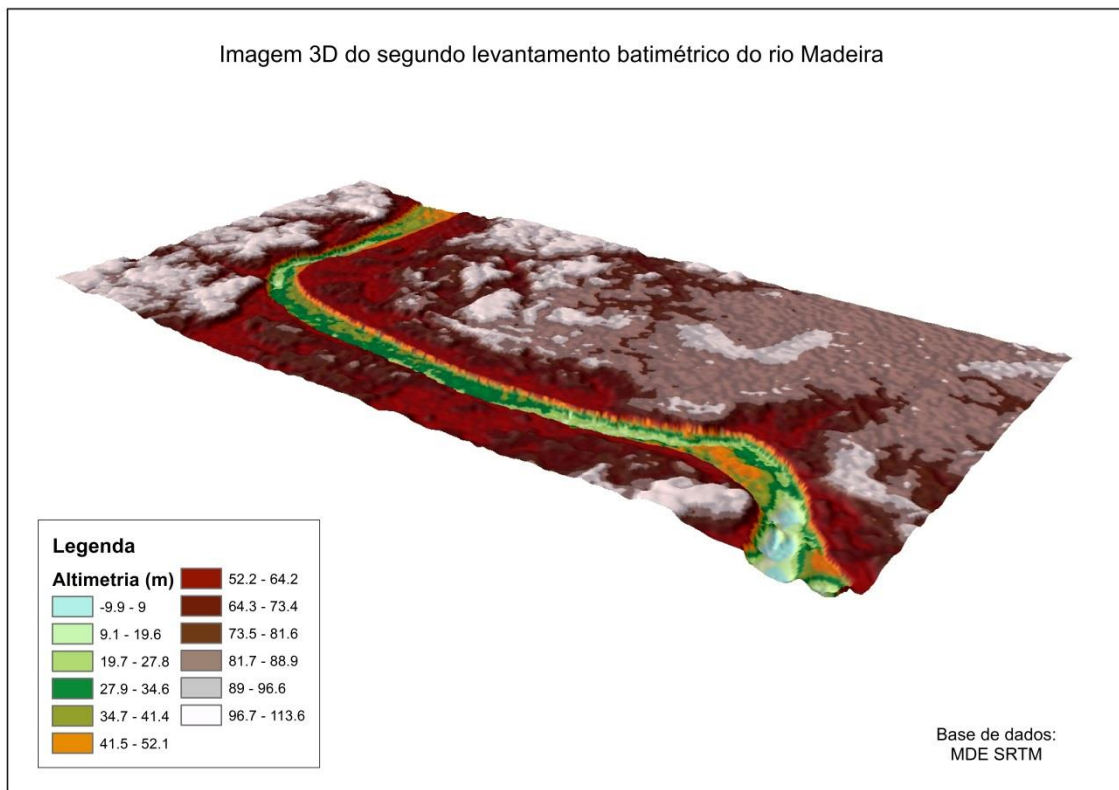


Figura 14 - Modelo Digital de Elevação (MDE) em 3D do levantamento batimétrico do rio Madeira.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir do levantamento batimétrico realizado, é possível avaliar o comportamento do fluxo da água do rio Madeira na área estudada, onde se observa a sedimentação das margens convexas e a erosão das margens côncavas, ficando nítida localização da calha principal do escoamento. O monitoramento contínuo do levantamento batimétrico foi satisfatório, sendo possível realizar uma comparação preliminar dos processos de erosão/deposição de sedimentos. Dessa forma, considera-se que esse levantamento serve como base para se avaliar as modificações no leito do rio, bem como serve de instrumento de auxílio à tomada de decisão para possíveis intervenções estruturais. Sugere-se a manutenção do levantamento de forma mais permanente, a fim de obter alterações contundentes e relacionar com os processos formadores.

Observam-se, de forma geral, processos erosivos predominantes nas margens do rio e sedimentação na parte central do rio. Entretanto, devido ao aumento da área de estudo e à utilização do GPS/RTK no levantamento de novembro, houve alteração das linhas de sondagem para adequar o tempo de levantamento de dados. Dessa forma, o traçado do levantamento atual não se sobrepôs perfeitamente ao realizado em maio (BARBOSA et al., 2015), sendo possível que algumas alterações detectadas sejam advindas da mudança do percurso das linhas. Sugere-se que nos próximos monitoramentos sejam mantidas as linhas de sondagem do presente levantamento. Além disso, as dificuldades de manutenção do traçado planejando devido à presença de balsas, dragas ou outros impedimentos existentes no rio também devem ser consideradas.

Cabe ressaltar a importância da realização de campanhas anuais de levantamento batimétrico visando monitorar as alterações no decorrer do tempo. Além disso, para um diagnóstico completo do problema erosivo que ocorre às margens do rio Madeira, sugere-se que novos estudos sejam realizados com uma integração disciplinar das áreas de estudo afins.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADAMY, A. **Avaliação do processo erosivo fluvial em Vila Calama, rio Madeira.** Relatório Técnico. Ministério de Minas e Energia Secretaria de Geologia, Mineração e Transformação Mineral. Serviço Geológico do Brasil – CPRM. 30 p., abril/2013, Porto Velho.

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.