

## RESIDÊNCIA DE PORTO VELHO



## RELATÓRIO TÉCNICO

### LEVANTAMENTO BATIMÉTRICO DO RIO MADEIRA BAIRRO TRIÂNGULO

### MUNICÍPIO DE PORTO VELHO - RO

PORTO VELHO - RO  
Abril/2013

## RESIDÊNCIA DE PORTO VELHO

**Helena da Costa Bezerra**  
Chefe da Residência

**Ruy Benedito Calliari Bahia**  
Coordenador Executivo

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

### EQUIPE EXECUTORA:

**Catharina Ramos dos Prazeres Campos**  
Engenheira Hidróloga

**Sebastião Rodrigues Bezerra**  
Técnico em Hidrometria

### EQUIPE DE APOIO:

**Fábio Silva de Carvalho**  
Auxiliar de campo

## SUMÁRIO

<b>1. APRESENTAÇÃO .....</b>	<b>4</b>
<b>2. OBJETIVO .....</b>	<b>4</b>
<b>3. ÁREA DE ESTUDO .....</b>	<b>5</b>
<b>3.1 Localização do Bairro Triângulo .....</b>	<b>5</b>
<b>3.2 Análise Hidrológica .....</b>	<b>5</b>
<b>4. METODOLOGIA .....</b>	<b>7</b>
<b>5. RESULTADOS .....</b>	<b>8</b>
<b>5.1 Análise do Levantamento Batimétrico .....</b>	<b>10</b>
<b>5.2 Análise da Medição de Descarga Líquida .....</b>	<b>16</b>
<b>6. CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>18</b>
<b>7. BIBLIOGRAFIA CONSULTADA.....</b>	<b>19</b>
<b>RELATÓRIO FOTOGRÁFICO .....</b>	<b>20</b>

## FIGURAS

Figura 1 – Localização da área de estudo. ....	5
Figura 2: Cotograma do ano de 1997 da Estação de Porto Velho.....	6
Figura 3 – Equipamentos utilizados para a realização da batimetria e medição de vazão. ....	8
Figura 4 – Localização da área de estudo com detalhamento das seções de medição. ....	10
Figura 5 – Perfil Longitudinal (margem direita do Rio Madeira).....	11
Figura 6 – Perfil Transversal do Rio Madeira .....	12
Figura 7 – Perfil Longitudinal (margem esquerda do Rio Madeira).....	12
Figura 8 – Perfil Transversal do Rio Madeira .....	12
Figura 9 – Perfil Transversal do Rio Madeira .....	13
Figura 10 – Perfil Transversal do Rio Madeira .....	13
Figura 11 – Perfil Transversal do Rio Madeira .....	13
Figura 12 – Detalhamento da margem direita do Rio Madeira (perfis transversais). ....	14
Figura 13 – Curvas de Nível e Perspectiva tridimensional das seções analisadas.....	15
Figura 14 – Perfil de velocidades da 2ª seção de medição .....	17
Figura 15 – Perfil de velocidades da 4ª seção de medição .....	17
Figura 16 – Perfil de velocidade da 5ª seção de medição .....	17
Figura 17 – Perfil de velocidades da 6ª seção de medição .....	17
Figura 18 – Perfil de velocidades da 7ª seção de medição .....	17

## TABELA

Tabela 1 – Parâmetros das seções transversais de medição .....	9
Tabela 2 – Parâmetros das seções longitudinais de medição.....	9
Tabela 3 – Seções transversais medidas.....	18

## 1. APRESENTAÇÃO

Em atendimento a demanda da Defesa Civil do Município de Porto Velho, o Serviço Geológico do Brasil – CPRM, representado por sua Unidade Regional em Porto Velho – REPO realizou, no dia 10/04/13 um trabalho de sondagem batimétrica e medição de descarga líquida às margens do Rio Madeira.

Esta demanda origina-se do problema local de alagamentos no período de cheia que atinge boa parte da população ribeirinha de Porto Velho. O trecho estudado situa-se no leito do Rio Madeira, no Bairro Triângulo, local onde já houve deslocamento e realocação de famílias, as quais sofriam ano a ano com os prejuízos causados pelos alagamentos, inclusive com desbarrancamento de encostas.

Para a realização do presente trabalho, deslocou-se uma equipe de campo do Serviço Geológico do Brasil, formada por uma Engenheira Hidróloga, um Técnico em Hidrometria e um Auxiliar de Campo, que executaram as medições em um barco com motor de popa, com o auxílio de modernos equipamentos de medição de vazão e batimetria.

Apresentar-se-á a seguir a descrição da área de estudo e informações das características do Rio Madeira. Em seguida será explanada a metodologia de trabalho adotada e, por fim, serão discutidos e analisados os resultados.

## 2. OBJETIVO

O objetivo deste trabalho é a realização de levantamento batimétrico e medição de descarga líquida (vazão) no Rio Madeira, às margens do bairro Triângulo para atendimento de demanda da Defesa Civil Municipal, com a finalidade de subsidiar, posteriormente, intervenções estruturais para mitigação do problema de deslizamento de encostas no local estudado.

### 3. ÁREA DE ESTUDO

#### 3.1 Localização do Bairro Triângulo

O bairro Triângulo está localizado na área central do município de Porto Velho, na margem direita do Rio Madeira (Figura 1) e sua delimitação se inicia nas coordenadas 8°47'39"S e 63°55'27"O, à aproximadamente 3km à jusante da Usina de Santo Antônio. O bairro é permeado pela Estrada de Ferro Madeira-Mamoré e pela Estrada de Santo Antônio.



Figura 1 – Localização da área de estudo.

#### 3.2 Análise Hidrológica

O Serviço Geológico do Brasil (CPRM), através da Unidade Regional de Porto Velho monitora desde 1967 uma estação fluviométrica localizada também à margem direita do Rio Madeira à 3km à jusante da área de estudo deste trabalho e poderá servir de base de análise, já que não existem interferências nem contribuições entre esses dois locais.

Apresenta-se na Figura 2,, o cotagrama (gráfico que mostra os níveis do rio ao longo do tempo) do ano de 1997, no qual o Rio Madeira atingiu a maior cota histórica, de 17,50 metros, registrada no dia 08 de abril de 1997. Neste ano de 2013, o nível máximo observado foi de 16,55 metros no dia 07 de abril.

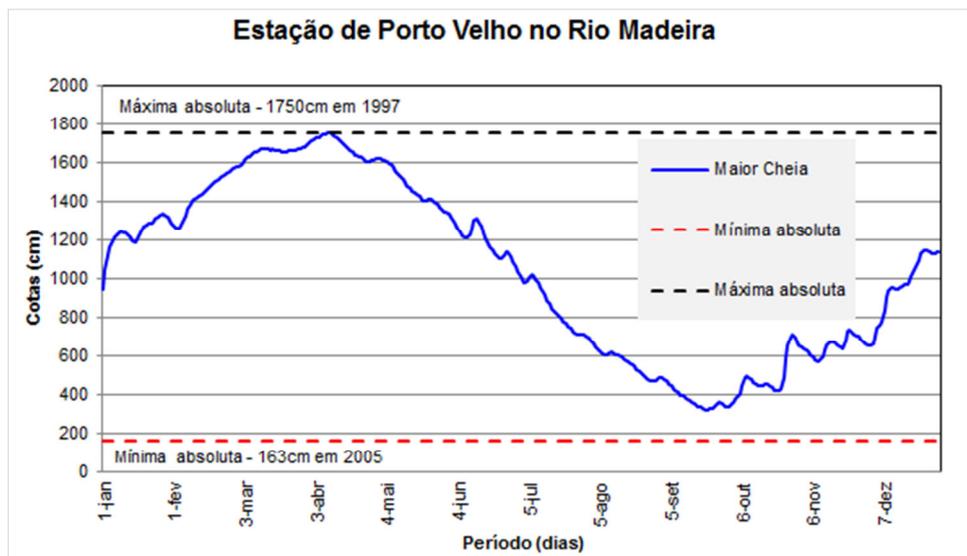


Figura 2: Cotagrama do ano de 1997 da Estação de Porto Velho.

Para uma análise mais ampla sobre a ocorrência das cheias do Rio Madeira e seus impactos na área central de Porto Velho, é importante que se verifique o comportamento do regime pluviométrico registrado mais acima, ou seja, à montante do rio. Neste caso, a CPRM também monitora uma estação hidrometeorológica (Estação de Abunã) localizada à margem direita do Rio Madeira na divisa com a Bolívia, à aproximadamente 230 km à montante da estação fluviométrica de Porto Velho.

O período mais chuvoso registrado na Estação de Abunã todos os anos compreende os meses de janeiro, fevereiro e março. Neste trimestre, a precipitação média é de 780 mm. Esta ocorrência mais intensificada de chuvas, no primeiro trimestre do ano, contribui para que o pico das cheias se concentre no mês de abril como se constatou também no vigente ano de 2013.

#### 4. METODOLOGIA

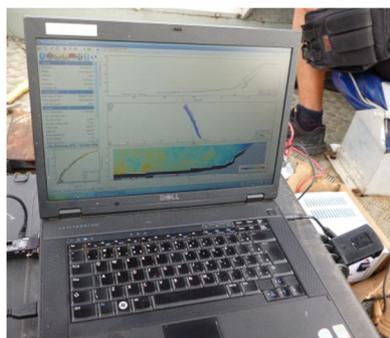
As atividades de campo realizadas e apresentadas neste relatório incluem os levantamentos batimétricos e medição de descarga líquida (vazão) nas seções estudadas. Os levantamentos batimétricos são realizados com a utilização de um equipamento denominado ecobatímetro, capaz de medir a profundidade do rio a cada ponto monitorado.

Um grande avanço em equipamentos desta categoria são os medidores acústicos, em inglês “Acoustic Doppler Current Profiler” (ADCP). O método acústico baseia-se na medição e integração de áreas e velocidades, obtidas pela análise do eco de pulsos de ultrassom (ondas acústicas de alta frequência), refletidas pelas partículas sólidas em suspensão na massa líquida e pela superfície sólida do fundo (SANTOS et al, 2001).

O equipamento utilizado para a realização deste trabalho foi o Acoustic Doppler Profiler ADP-RiverSurveyor-M9 (ADP-M9), equipamento que possui oito feixes diagonais que realizam o perfilamento das velocidades da água, e um feixe perpendicular (ecobatímetro) para a medição da profundidade (Figura 3).

Para a determinação do posicionamento do equipamento durante o levantamento batimétrico utilizou-se um Sistema de Posicionamento Global Diferencial (DGPS) ou GPS Diferencial e um receptor GPS de base instalado na margem do rio. A associação destes equipamentos permite conhecer a diferença entre a posição obtida através do receptor de GPS de base e a posição real do equipamento, possibilitando a correção diferencial do erro.

O procedimento de medição de vazão e levantamento batimétrico segue uma sequência padrão, onde se acopla o equipamento na embarcação (Figura 3b), realizam-se as travessias e acompanha-se o processo de medição em um monitor de notebook que informa a cada pulso lançado pelo equipamento, as velocidades do barco e da água; as vazões calculadas por vertical; as posições geográficas; o delineamento do perfil de fundo, dentre outras informações necessárias ao cálculo de vazão total do trecho analisado.



(a) Microcomputador para registrar os dados coletados em tempo real.



(b) ADP-RiverSurveyor-M9 (ADP-M9)



(c) DGPS – Instalado na embarcação.

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

## 5. RESULTADOS

Os dados batimétricos foram obtidos com o emprego do ADP-RiverSurveyor-M9 (ADP-M9), medido através do seu feixe vertical. Para isso, foi adotada inicialmente na configuração do sistema a referência de profundidade como sendo este feixe. A Tabela 1 apresenta as informações das seções transversais de medição. Pode-se observar uma largura média do rio de 1.393,46 m e uma área média de 25.431,90 m<sup>2</sup>.

A Tabela 2 apresenta as informações referentes à medição de batimetria nas seções longitudinais do rio. Neste caso, o programa do equipamento entende que ainda estamos medindo uma seção transversal, ou seja, adotando o procedimento de medição de vazão padrão. Assim, mesmo percorrendo 721 metros pela margem direita e 800 metros pela margem esquerda do rio, o programa identificou apenas uma extensão média de 557 metros. Porém, como o objetivo desta medição foi apenas a obtenção da batimetria às margens do rio, o resultado batimétrico continua satisfatório.

Tabela 1 – Parâmetros das seções transversais de medição

Seções Transversais	Data	Hora	Duração	Largura (m)	Área (m <sup>2</sup> )
2ª Seção	10/04/2013	10:52:16	0:11:05	1.465,21	25.775,60
4ª Seção	10/04/2013	11:12:23	0:09:37	1.270,92	25.719,30
5ª Seção	10/04/2013	11:28:48	0:09:20	1.389,02	25.043,80
6ª Seção	10/04/2013	11:40:08	0:09:28	1.402,29	24.894,20
7ª Seção	10/04/2013	11:52:27	0:09:24	1.439,85	25.726,90
		<b>Média</b>	<b>0:09:47</b>	<b>1.393,46</b>	<b>25.431,90</b>

Tabela 2 – Parâmetros das seções longitudinais de medição

Seções Transversais	Data	Hora	Duração	Largura (m)	Área (m <sup>2</sup> )
1ª Seção	10/04/2013	10:47:19	0:04:48	577,88	5.510,90
3ª Seção	10/04/2013	11:04:23	0:07:41	537,74	2.791,10
		<b>Média</b>	<b>0:06:14</b>	<b>557,81</b>	<b>4.151,00</b>

A Figura 4 a seguir apresenta a localização da área de estudo, com detalhamento das seções transversais e longitudinais realizadas. Para o trabalho aqui apresentado, percorreu-se um polígono iniciado à margem direita do rio em sentido jusante (1ª seção; longitudinal; 721,55 m), partindo-se em seguida para a margem esquerda do rio (2ª seção; transversal; 1.445,63 m), retornando pela margem esquerda no sentido montante (3ª seção; longitudinal; 800,41 m). Depois atravessamos para a margem direita (4ª seção; transversal; 1.477,47 m), seguimos para a esquerda (5ª seção; transversal), retornamos em sentido contrário para a margem direita (6ª seção; transversal) e, por fim, para a última seção, atravessamos o rio da direita para a margem esquerda (7ª seção; transversal).



Figura 4 – Localização da área de estudo com detalhamento das seções de medição.

## 5.1 Análise do Levantamento Batimétrico

Para a determinação da batimetria de fundo do Rio Madeira, no trecho do Bairro Triângulo (Figura 4), foram estudadas 7 seções, sendo duas longitudinais (margem direita-MD e margem esquerda-ME) e 5 transversais.

Sobre os perfis transversais é importante destacar que, embora as travessias tenham sido feitas alternadamente da margem direita para a esquerda e vice-versa, o perfil apresentado pelo equipamento permanece com as margens esquerda e direita em seu local correto, sem alteração. A largura média das seções transversais foi de aproximadamente 1.400 metros. Em quase todas as seções transversais verifica-se um grande rebaixamento de fundo pela margem direita do rio, de aproximadamente 29 metros, chegando a 33 metros de profundidade na 4ª seção de medição, localizada no início do polígono analisado ( $8^{\circ}46'39''S$  ;  $63^{\circ}54'45''O$ ). Os perfis transversais apresentam uma configuração semelhante, não sofrendo altas quedas e subidas de nível de uma margem a outra, possuindo em média 18 metros de profundidade a partir dos primeiros 400 metros distantes da margem direita. Na margem esquerda as profundidades são bem menores em relação à margem oposta, em

torno de 16 metros. Somente no perfil da 6ª seção, pela margem esquerda, é possível verificar um aumento na profundidade semelhante ao que ocorre na margem direita do rio, chegando a medir 28 metros de profundidade à 200 metros da margem. Este comportamento destoante parece, à primeira vista, ser de caráter pontual. Este fato somente poderá ser confirmado com a realização de novas sondagens no local.

O perfil longitudinal da margem direita do Rio Madeira (1ª seção; Figura 5) mostra grandes variações, variando de 2,78 a 20 metros de profundidade numa extensão de 720 metros. Comportamento este esperado para margens de rios amazônicos, como o Rio Madeira. Já analisando o perfil longitudinal da margem esquerda, verifica-se a ocorrência de inúmeras interferências no sinal do equipamento de medição, causadas provavelmente pelo excesso de partículas em suspensão, presença de fundo móvel e turbulências. A turbulência à margem esquerda é alta e este fato é comprovado pela ocorrência de maiores velocidades da água, em torno de 1,5 a 2,0 m/s. As velocidades de fluxo serão abordadas com maiores detalhes na análise de medições das seções transversais, no próximo item deste relatório.

Os detalhamentos dos perfis transversais são mostrados a seguir, nas Figuras 6, 8, 9, 10 e 11 (gráficos em azul) e os perfis longitudinais estão expostos nas Figuras 5 e 7 (gráficos em vermelho).

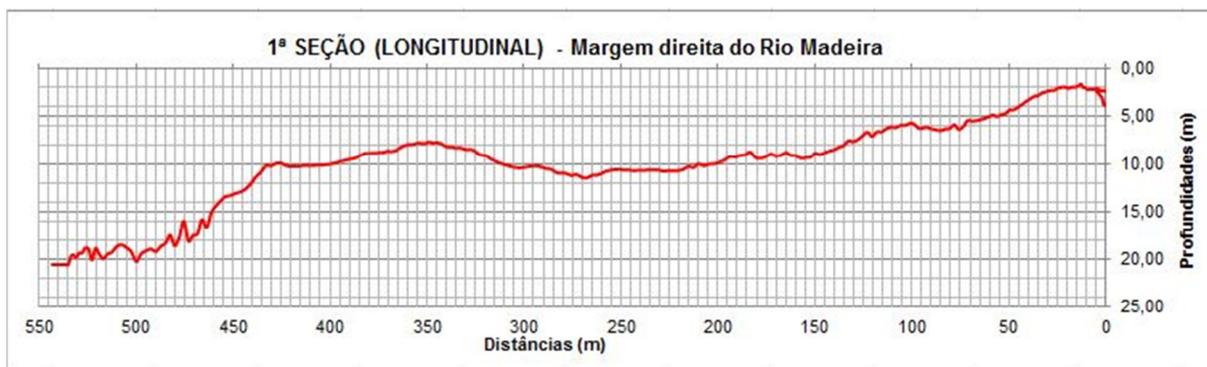


Figura 5 – Perfil Longitudinal (margem direita do Rio Madeira)

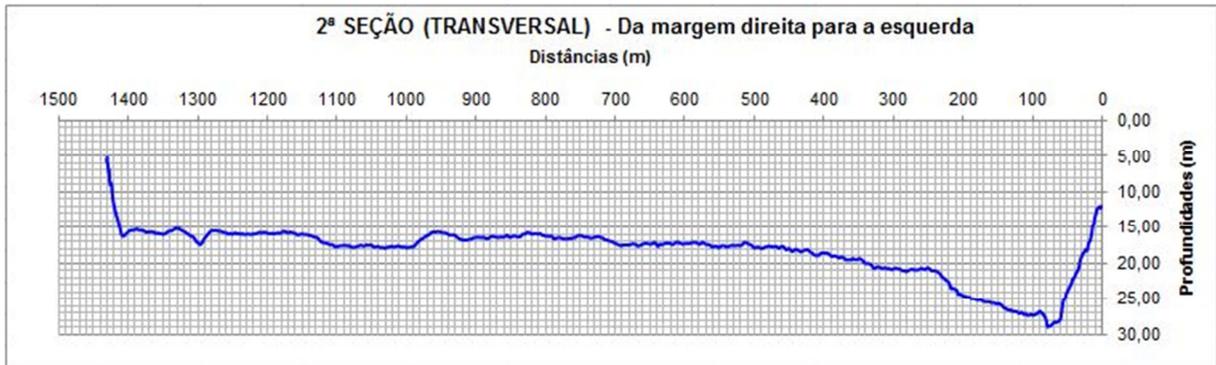


Figura 6 – Perfil Transversal do Rio Madeira



Figura 7 – Perfil Longitudinal (margem esquerda do Rio Madeira)

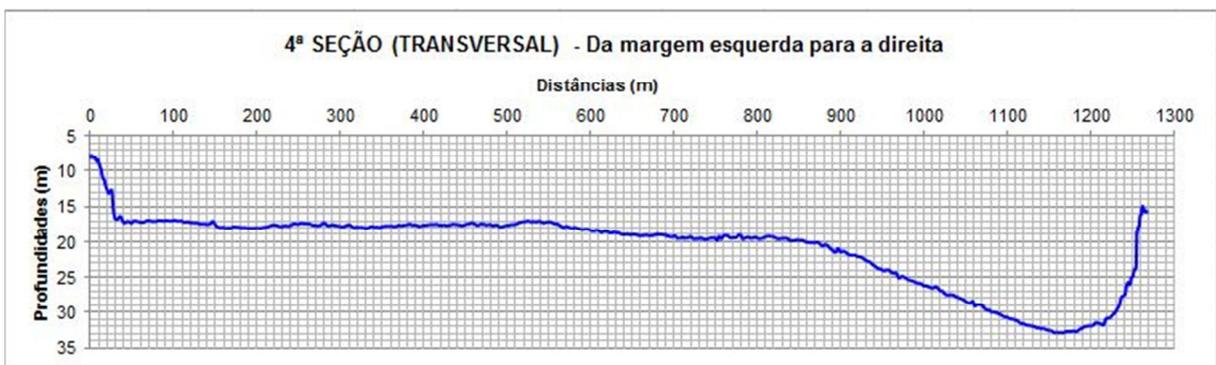


Figura 8 – Perfil Transversal do Rio Madeira

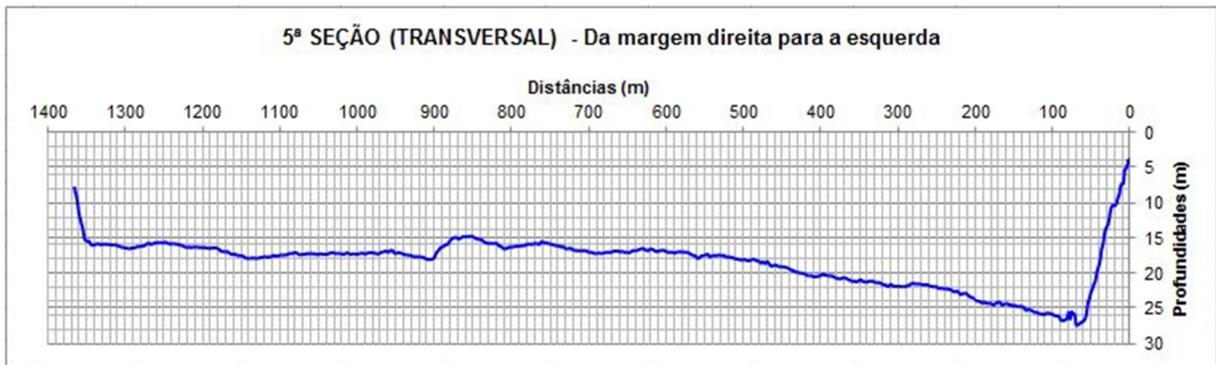


Figura 9 – Perfil Transversal do Rio Madeira

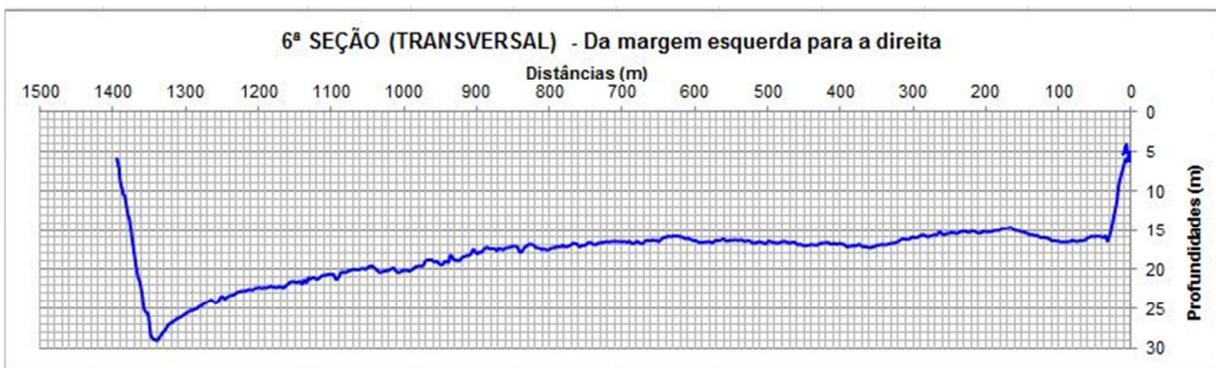


Figura 10 – Perfil Transversal do Rio Madeira

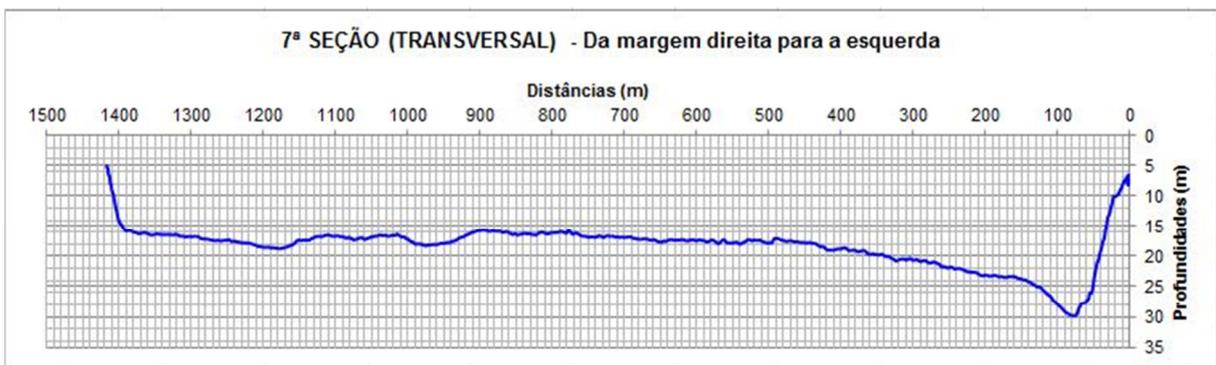
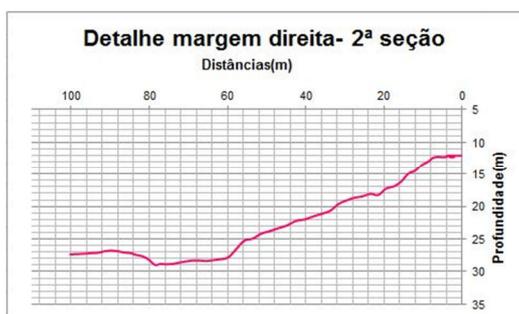
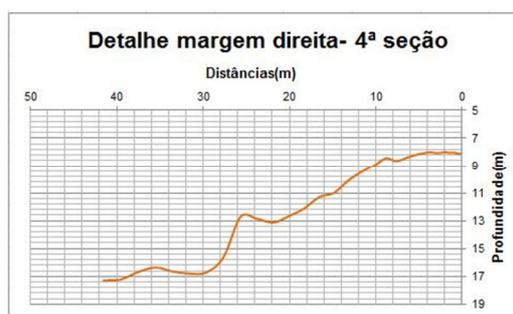


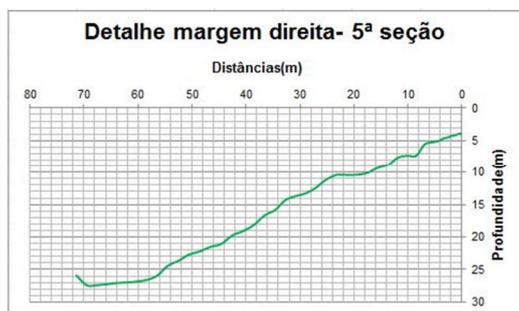
Figura 11 – Perfil Transversal do Rio Madeira



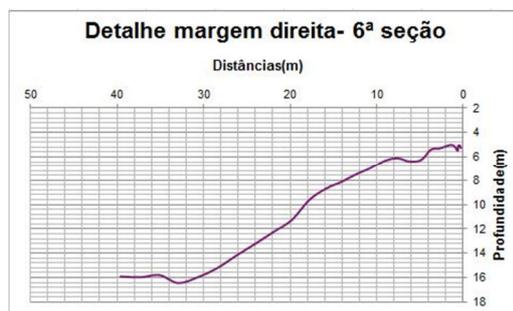
(a) Detalhe margem direita – 2ª seção.



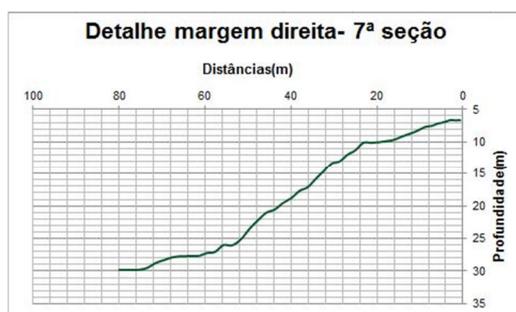
(b) Detalhe margem direita – 4ª seção.



(c) Detalhe margem direita – 5ª seção.



(d) Detalhe margem direita – 6ª seção.



(e) Detalhe margem direita – 7ª seção.

Figura 12 – Detalhamento da margem direita do Rio Madeira (perfis transversais).

A Figura 12 acima apresenta, em destaque, o comportamento do talude submerso da margem direita do Rio Madeira analisado no dia da medição, numa cota de 15,92 metros, em uma extensão de até 100 m, analisado em cada seção transversal. Observa-se que a margem direita possui 17° de inclinação média no trecho estudado.

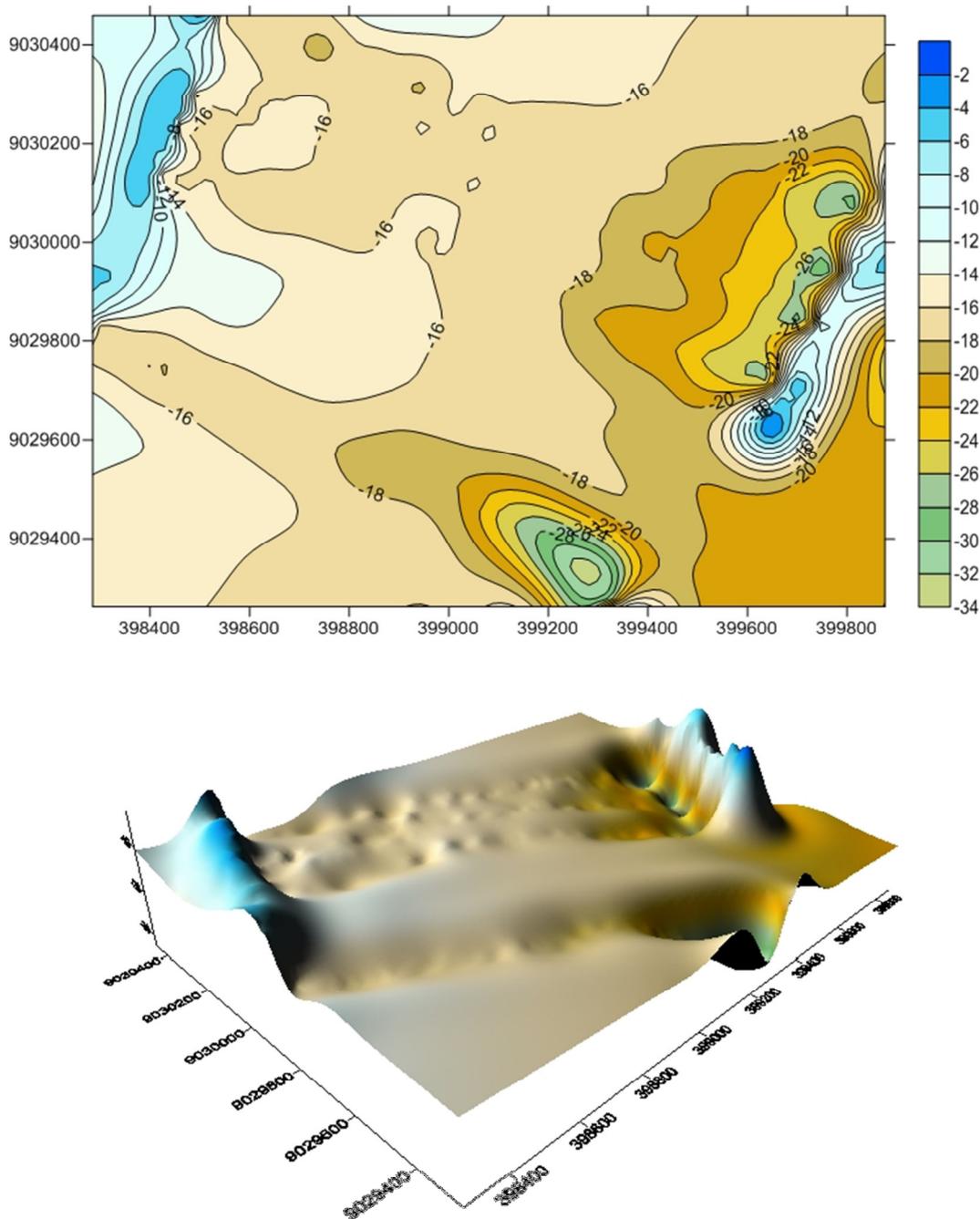


Figura 13 – Curvas de Nível e Perspectiva tridimensional das seções analisadas

A Figura 13 mostra a interpolação de todos os perfis batimétricos levantados no estudo, apresentando as curvas de nível do fundo do rio, além de uma visão em perspectiva tridimensional, sendo uma importante ferramenta para futuras intervenções de obras civis.

## 5.2 Análise da Medição de Descarga Líquida

Para o cálculo da vazão do rio em determinada seção transversal, as equipes de campo da CPRM realizam em média 04 campanhas anuais em cada estação hidrológica para medir a seção transversal do rio e determinar a velocidade do fluxo. Com estes valores é possível determinar a vazão ou descarga líquida, que é calculada multiplicando-se a velocidade da água pela área da seção de medição. Este processo se torna mais simples com a utilização dos medidores acústicos, como o ADP-M9 usado neste trabalho, pois o cálculo da vazão é realizado internamente pelo equipamento e com uma rapidez sem comparação ao método tradicional, através do uso de molinetes.

Neste trabalho foram realizadas medições de vazão em 05 (cinco) seções transversais, denominadas de 2<sup>a</sup>, 4<sup>a</sup>, 5<sup>a</sup>, 6<sup>a</sup> e 7<sup>a</sup> seção. O equipamento fornece para cada seção, um perfil com informações de profundidades, distâncias à margem e velocidades do fluxo em cada célula de medição, que são quadrículas divididas pelo programa para informar a cada ponto o resultado do pulso sonoro emitido pelo sensor de medição.

Na Tabela 3 são fornecidas largura, área, velocidade absoluta média e vazão total de cada uma das seções medidas. Podemos observar que a largura média das seções foi de 1.393,46 metros, a área média de 25.431,90 m<sup>2</sup>, a velocidade média de 1,377 m/s e a vazão total média de 35.001,82 m<sup>3</sup>/s. Importante destacar que a informação da velocidade média, pouco diz a respeito do comportamento do fluxo, já que existem células com velocidades muito baixas, em torno de 0,5 m/s e velocidades bem altas em torno de 2,5 m/s.

As Figuras de 14 a 18 apresentam os perfis de velocidade obtidos para cada uma das seções transversais medidas. As cores desde o lilás até o azul mais intenso mostram velocidades variando de 0,5 a 1,0 m/s; as cores desde o azul mais intenso até uma mesclagem de azul claro e verde claro apresentam velocidades de 1,0 a 1,5 m/s; as cores desde o verde claro até o amarelo são velocidades de 1,5 a 2,0 m/s e, por fim, do amarelo, passando pelo alaranjado até o vermelho representam velocidades de 2,0 a 2,5 m/s.

Verifica-se que na margem direita, para todos os casos, as velocidades variam de 0,5 m/s a 1,0 m/s até aproximadamente 50 m desde a beira do rio, tendo um rápido incremento de velocidades a partir destes 50 metros, com valores variando de 1,20 m/s até 1,80 m/s, velocidades estas já consideráveis. Na parte central do rio, verifica-se um grande aumento no fluxo, com velocidades variando em média de 1,8 m/s até 2,5 m/s, principalmente em superfície. Na margem esquerda as velocidades da água aumentam mais

lentamente e verificam-se valores de até 1,6 m/s até uma distância de 500 metros distantes da margem.

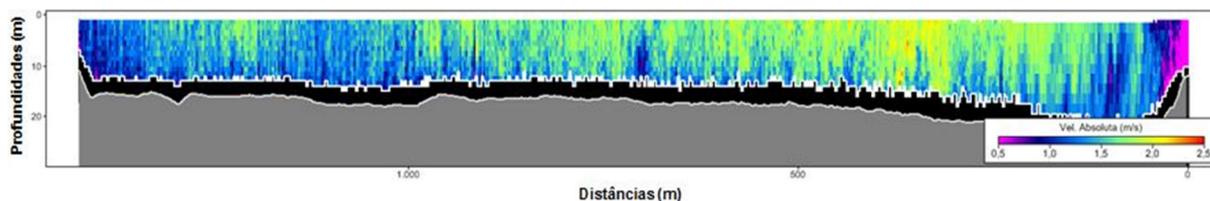


Figura 14 – Perfil de velocidades da 2ª seção de medição

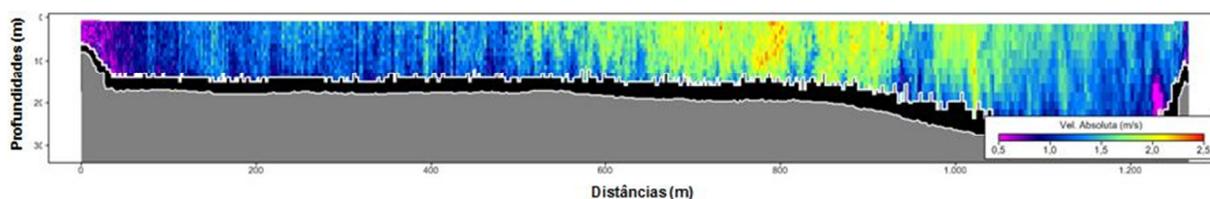


Figura 15 – Perfil de velocidades da 4ª seção de medição

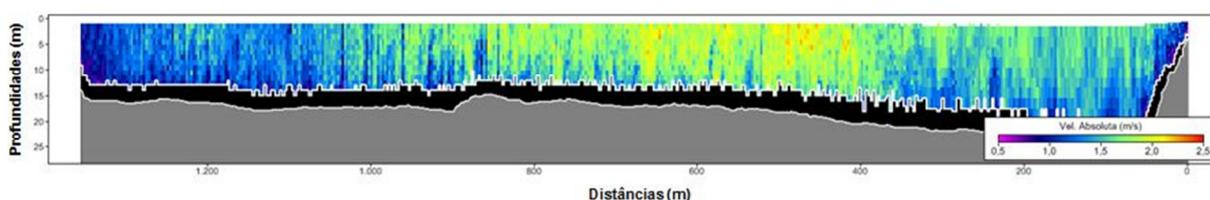


Figura 16 – Perfil de velocidade da 5ª seção de medição

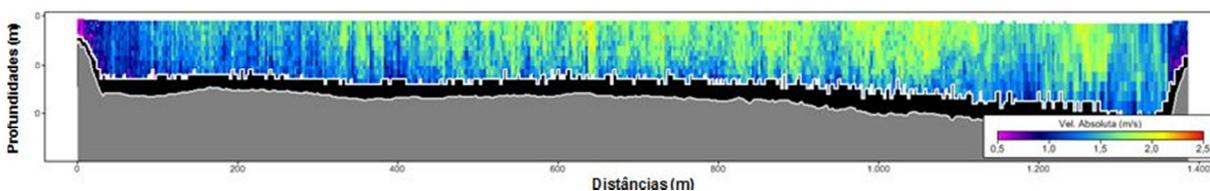


Figura 17 – Perfil de velocidades da 6ª seção de medição

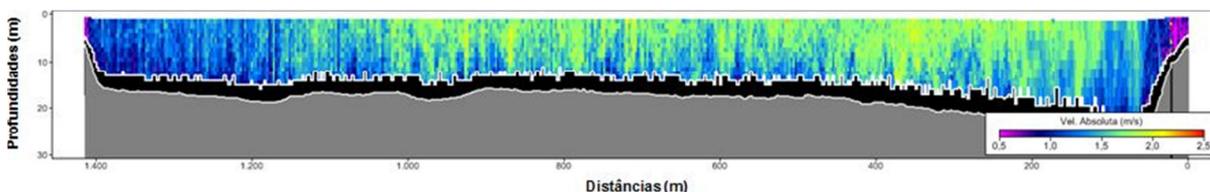


Figura 18 – Perfil de velocidades da 7ª seção de medição

Tabela 3 – Seções transversais medidas

Seções Transversais	Data Inicial	Hora Inicial	Duração	Largura	Área	Vel. Abs. Média	Vaz. Total
2ª Seção	10/04/2013	10:52:16	0:11:05	1.465,21	25.775,60	1,386	35.729,87
4ª Seção	10/04/2013	11:12:23	0:09:37	1.270,92	25.719,30	1,316	33.857,44
5ª Seção	10/04/2013	11:28:48	0:09:20	1.389,02	25.043,80	1,413	35.374,90
6ª Seção	10/04/2013	11:40:08	0:09:28	1.402,29	24.894,20	1,39	34.612,27
7ª Seção	10/04/2013	11:52:27	0:09:24	1.439,85	25.726,90	1,377	35.434,62
		<b>Média</b>	<b>0:09:47</b>	<b>1.393,46</b>	<b>25.431,90</b>	<b>1,377</b>	<b>35.001,82</b>

## 6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Realizada medição de vazão e levantamento batimétrico no Rio Madeira, às margens do Bairro Triângulo, área central do município de Porto Velho, para atendimento de demanda da Defesa Civil Municipal devido aos prejuízos da população no período de cheias. Para o trabalho realizado, utilizou-se o equipamento de medição acústica ADP-M9, que fornece informações de velocidade do fluxo, profundidades, descarga líquida, área da seção, dentre outros parâmetros.

O resultado do perfil de velocidades das seções transversais estudadas está de acordo com o esperado em comparação a outros trabalhos de medição de vazão realizados no Rio Madeira. Porém, a análise comparativa só foi possível em relação à seção de medição de Porto Velho da CPRM, que está localizada mais a jusante do trecho do Bairro Triângulo. Não foi possível se realizar um comparativo no mesmo local, por falta de dados de monitoramento na seção estudada neste trabalho. A análise batimétrica foi satisfatória, mesmo havendo falhas de leitura do equipamento no detalhamento da margem esquerda do rio, pois o programa interno conseguiu descrever o comportamento do fundo através da interpolação das informações válidas.

Importante ressaltar que os resultados apresentados neste relatório foram gerados por uma análise preliminar e pontual, tendo como base apenas alguns parâmetros dentre vários outros necessários a um diagnóstico completo do problema erosivo ocorrido às margens do Rio Madeira, não só nesta região específica, mas também em outras regiões ao longo de seu percurso.

Diante das dificuldades de análise comparativa e por ser uma análise preliminar do problema, sugerimos que novos estudos sejam realizados no local e que haja monitoramento das seções estudadas neste trabalho, além de uma integração disciplinar das áreas de estudo afins, como a Geologia, Hidrogeologia, Geotecnia, Engenharia Civil, Hidrologia, dentre outras.

## 7. BIBLIOGRAFIA CONSULTADA

SANTOS, I. et al., 2001. **Hidrometria aplicada**. Curitiba: Instituto de Tecnologia para o desenvolvimento.

TUCCI, C. E. M., 1999. Água no meio urbano. In: REBOUÇAS, A. C.; BRAGA, B.; TUNDISI, J. G. (organizadores). **Águas doces no Brasil**. São Paulo: Escrituras Editora, 1999.

TUCCI, C. E. M., 1993. **Hidrologia: ciência e aplicação**. Porto Alegre: Ed. da Universidade: ABRH: EDUSP.

URBONAS, B.; STAHERE, P., 1993. **Stormwater Best Management Practices and Detention**, Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey. 450p.

2º Boletim de Monitoramento Hidrológico (CPRM/REPO, 2012), <http://www.cprm.gov.br/>

TUCCI, C.E.M. **Inundações Urbanas**. Porto Alegre: ABRH/Editora da Universidade/UFRGS, p. 16-36. 1995.

# RELATÓRIO FOTOGRÁFICO