



## LEVANTAMENTO BATIMÉTRICO DO RIO MADEIRA NA ÁREA URBANA DE PORTO VELHO APÓS A CHEIA HISTÓRICA DE 2014

*Francisco de Assis dos Reis Barbosa<sup>1\*</sup>; Franco Turco Buffon<sup>2</sup>;  
Sebastião Rodrigues Bezerra<sup>3</sup>; Wladimir Ribeiro Gomes<sup>4</sup>;*

**Resumo** – No ano de 2014 ocorreu a maior enchente já registrada no rio Madeira, com vazões superiores a 60.000m<sup>3</sup>/s causando velocidades acima de 4m/s no canal do rio. Em determinadas medições de descargas líquidas, realizadas pela equipe técnica do Serviço Geológico do Brasil - CPRM, Residência de Porto Velho, a vazão de fundo móvel estimada foi superior a 6.000m<sup>3</sup>/s. Após a ocorrência deste evento, provavelmente houve a aceleração de processos dinâmicos do rio, originando assim uma campanha especial da equipe da CPRM, com a finalidade de identificar alterações na calha do rio em seu trecho urbano. Foram observadas profundidades próximas de 60,0 m, em cotas baixas (setembro/2014), quando antes a profundidade máxima, em cotas altas (março/2012), não passava de 30,0 m.

**Palavras-Chave** – Rio Madeira; batimetria; transporte de sedimentos.

## BATHYMETRIC SURVEY IN MADEIRA RIVER IN URBAN AREA OF PORTO VELHO AFTER FLOOD HISTORIC OF 2014

**Abstract** – In 2014 there was the biggest flood ever recorded in the Madeira river, with flows greater than 60.000m<sup>3</sup> / s causing speeds above 4m / s in the river channel. In certain measurements of flow, made by the technical team of Geological Survey of Brazil - CPRM, Porto Velho residence, the estimated mobile background flow was over 6.000m<sup>3</sup> / s. After the occurrence of this event, there was probably the acceleration of dynamic processes of the river, thus creating a special campaign of the CPRM team, in order to identify changes in the riverbed in its urban stretch. Next depths of 60.0 m were observed at lower elevations (September / 2014), when before the maximum depth at high quotas (March / 2012), no more than 30.0 m.

**Keywords** – Madeira river; bathymetry; transport of sediments.

<sup>1</sup> Pesquisador em Geociências, CPRM – Serviço Geológico do Brasil, Residência de Porto Velho. francisco.reis@cprm.gov.br.

<sup>2</sup> Pesquisador em Geociências, CPRM – Serviço Geológico do Brasil, Residência de Porto Velho. franco.buffon@cprm.gov.br.

<sup>3</sup> Técnico em Geociências, CPRM – Serviço Geológico do Brasil, Residência de Porto Velho. sebastiao.bezerra@cprm.gov.br.

<sup>4</sup> Técnico em Geociências, CPRM – Serviço Geológico do Brasil, Residência de Porto Velho. wladimir.gomes@cprm.gov.br.



## **INTRODUÇÃO**

O rio Madeira, dentre os afluentes amazônicos, é o maior tributário, contribuindo com aproximadamente 15% da descarga líquida total do rio Amazonas (MARTINELLI et al., 1989). Também é o rio com maior carga de transporte de sedimentos do mundo e está em permanente processo de agradação e erosão fluvial, o que reflete em constantes mudanças de grande magnitude na geometria do canal e na formação de ilhas. Além disso, este rio possui uma grande oscilação sazonal de níveis e vazões, intensificando os processos de sua dinâmica fluvial.

Complementando esse complexo sistema, recentemente foram implantadas duas usinas hidrelétricas no rio Madeira, a montante da área urbana da cidade de Porto Velho, capital de Rondônia. Seus reservatórios e vertedouros agora atuam na dinâmica fluvial, provocando alterações no comportamento natural do transporte de sedimentos do rio, tanto a montante quanto a jusante dos barramentos.

No ano de 2014 ocorreu a maior enchente já registrada no rio Madeira, com vazões superiores a  $60.000\text{m}^3/\text{s}$  causando velocidades superiores a  $4\text{m/s}$  no canal do rio. Em determinadas medições de descargas líquidas, realizadas pela equipe técnica do Serviço Geológico do Brasil - CPRM, Residência de Porto Velho, a vazão de fundo móvel estimada foi superior a  $6.000\text{m}^3/\text{s}$ . Após a ocorrência deste evento, provavelmente houve a aceleração de alguns desses processos dinâmicos do rio, originando assim uma campanha especial da equipe da CPRM, com a finalidade de identificar alterações na calha do rio em seu trecho urbano.

Neste artigo é apresentado o levantamento batimétrico realizado no trecho compreendido entre as Torres de Energia (localizadas  $3,0\text{ km}$  à jusante do barramento da Usina Hidrelétrica Santo Antônio Energia - UHE/SAE) e o Terminal do Cai N'água, abrangendo um trecho longitudinal de aproximadamente  $3,0\text{km}$ .

## **ÁREA DE ESTUDO**

### **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 inicia-se nas coordenadas  $8^{\circ}47'39''\text{S}$  e  $63^{\circ}55'27''\text{O}$  aproximadamente  $4,0\text{ km}$  à jusante da UHE de Santo Antônio Energia. O bairro é permeado pela Estrada de Ferro Madeira-Mamoré e pela Estrada de Santo Antônio.



Figura 1 – Localização da área de estudo (Imagem do Google Earth).

## METODOLOGIA UTILIZADA

As atividades de campo realizadas e apresentadas neste relatório incluem apenas os levantamentos batimétricos, não considerando, portanto, as medições 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).

Os equipamentos utilizados para a realização deste trabalho foram o Acoustic Doppler Profiler ADP-RiverSurveyor-M9 (ADP-M9) e o Rio Grande ADCP. 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, 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.



## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Em virtude da construção do empreendimento hidrelétrico Santo Antônio Energia, localizado 5 km à montante da área urbana de Porto Velho, a CPRM passou a monitorar desde o ano de 2012, uma seção específica do rio, através de realização de levantamento batimétrico. Este ponto localiza-se 3 km à jusante do barramento (Figura 2).



Figura 2 – Seção de monitoramento próxima à UHE Santo Antônio Energia (Google Earth).

Os levantamentos batimétricos foram realizados em períodos diferentes ao longo dos anos, ou seja, em cotas altas e baixas. A Tabela 1 apresenta um resumo dos levantamentos batimétricos realizados na seção de monitoramento (torres de energia). A coluna “Cota Altimétrica” representa a cota com relação ao nível do mar, cujo zero da régua utilizado foi de 42,50m. Esta correção se faz necessário, considerando que a leitura da régua linimétrica “Cota da régua” possui um referencial arbitrário e, para que fosse possível comparar os perfis gerados em cotas diferentes houve a necessidade da correção.

Tabela 1 – Resumo dos levantamentos batimétricos na seção de monitoramento.

Data	Equipamento utilizado (ADCP)	Cota da régua (m)	Cota Altimétrica (m)	Largura do canal (m)	Profundidade Média (m)	Área (m <sup>2</sup> )
01/03/2012	Rio Grande	15,09	57,59	988,64	21,68	21.585,16
31/05/2012	Rio Grande	13,60	56,10	949,06	23,66	21.947,40
14/09/2012	M9	3,39	45,89	835,00	12,67	10.856,70
03/12/2012	Rio Grande	7,79	50,29	891,04	17,43	15.545,19
10/04/2013	M9	15,92	58,42	968,21	25,19	23.791,00



26/04/2013	M9	15,72	58,22	935,69	26,75	24.330,40
16/07/2014	Rio Grande	11,90	54,40	923,76	39,84	37.552,49
02/09/2014	Rio Grande	5,42	47,92	897,00	39,42	34.321,61
29/10/2014	Rio Grande	4,21	46,71	900,00	35,40	31.896,83
<b>Média</b>				<b>920,93</b>	<b>26,89</b>	<b>24.647,42</b>
<b>Desvio Padrão</b>				<b>46,27</b>	<b>9,55</b>	<b>8.683,47</b>

Analisando os dados da tabela, observa-se que a largura do canal não variou ao longo do tempo. Isso provavelmente deve-se ao enrocamento (muro de contenção) feito no ano de 2012 pela UHE-SAE, ao longo das margens direita e esquerda do rio. A média da largura encontrada foi de 920,00 m. Com relação à profundidade média, o que se observa é um aprofundamento do canal, identificadas principalmente nas medições realizadas no ano de 2014. Foram observadas profundidades próximas de 60,0 m, em cotas baixas (setembro/2014), quando antes a profundidade máxima, em cotas altas (março/2012), não passava de 30,0 m. Se comparadas às medições realizadas em 14/09/2012 e 29/10/2014, cujas cotas altimétricas estão bem próximas, é possível observar uma variação de profundidade média em torno de 27,0 m (aumento de 279%). Com relação à área da seção transversal, houve um aumento de 294% (aumento de quase três vezes), cuja área medida em setembro/2012 foi de 10.856,70 m<sup>2</sup> enquanto que no mês de outubro/2014 o valor encontrado foi de 31.896,83 m<sup>2</sup>.

A Figura 3 apresenta os perfis levantados nos anos de 2012 a 2015, em períodos diferentes. Pode-se observar uma mudança mais abrupta no ano de 2014 (Período pós-cheia histórica).

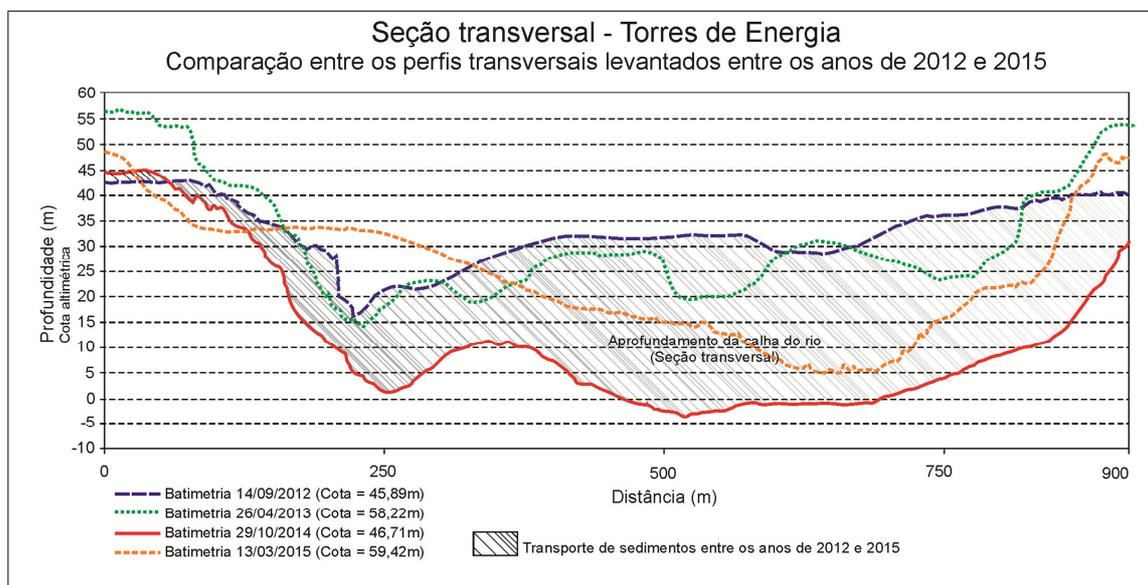


Figura 3 – Comparação entre os perfis transversais levantados nos anos de 2012 a 2015.

## Levantamento batimétrico (Campanha de campo - outubro de 2014)

A área cujo levantamento batimétrico foi realizado está apresentada na Figura 4, com detalhamento das seções transversais e longitudinais realizadas. Neste levantamento, percorreu-se um polígono iniciado à margem esquerda do rio (torres de energia - 1ª seção ST-01; transversal; 898,52m); partindo-se da margem direita em sentido jusante (1ª seção SL-01; longitudinal; 542,00

m). Este procedimento se deu nas demais seções (2ª seção ST-02; transversal; 1.014,00 m; 2ª seção SL-02; longitudinal; 669,00 m; 3ª seção ST-03; transversal; 1.190,35 m; 3ª seção SL-03; longitudinal; 543,00 m; 4ª seção ST-04; transversal; 1.251,20 m; 4ª seção SL-04; longitudinal; 555,00 m; 5ª seção ST-05; transversal; 1.501,34 m; 5ª seção SL-05; longitudinal; 631,00 m; e por fim a 6ª seção ST-06; transversal; 1.524,77 m). Para concluir o trabalho, optou-se por fazer um trecho longitudinal iniciando nas proximidades da Praça Estrada de Ferro Madeira-Mamoré em sentido montante até as torres de energia (6ª seção SL-06; longitudinal; 3.023,00 m).

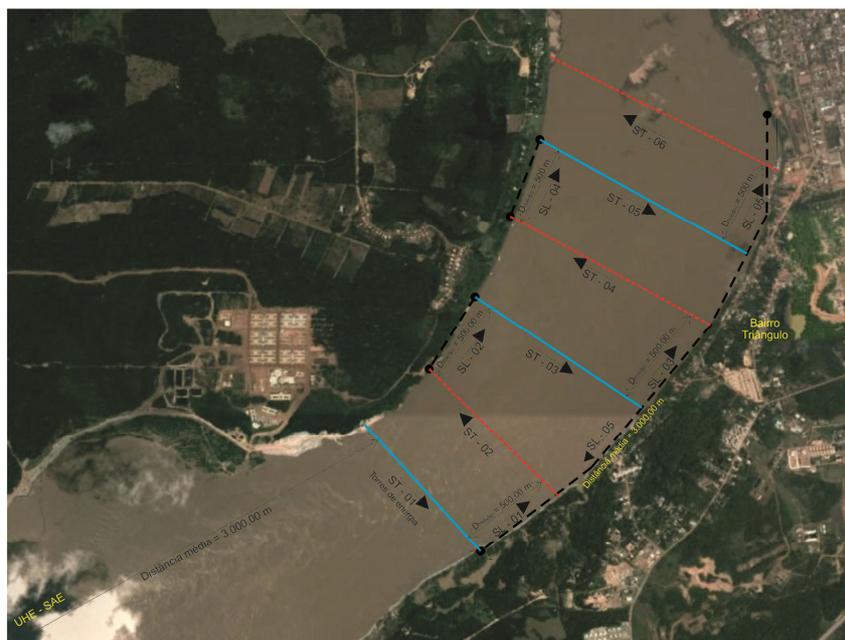


Figura 4 – Localização da área de estudo com detalhamento das seções de medição – Estudo realizado em Outubro/2014 (Imagem do Google Earth).

### **Análise das Medições (Campanha de campo – outubro de 2014)**

Para a determinação da batimetria de fundo do rio Madeira, no trecho do Bairro Triângulo (Figura 4), foram estudadas 12 seções, sendo 06 longitudinais e 06 transversais.

Cabe ressaltar que esta campanha de medição foi realizada no período de cotas baixas do rio. No dia de realização do trabalho o nível do rio estava em 421 cm (46,71m – nível altimétrico).

A largura média das seções transversais foi de aproximadamente 1.230,00 metros. A seção transversal ST-02, localizada 500,0 m à jusante das torres de energia, apresenta um comportamento muito parecido com a ST-01, ou seja, um aprofundamento do canal mais significativo na margem direita. Na margem esquerda as profundidades são menores. Nos demais perfis transversais observa-se um canal bem identificado na margem direita (perfis ST-03 e ST-05). Em média, 55% da largura do canal, partindo da margem esquerda para a direita, apresentou cotas variando em torno de 5,0 m de profundidade e, em alguns pontos este valor chegou a apenas 2,0 m, o que forçou a equipe deslocar o barco durante o procedimento de medição para profundidades maiores, de modo a garantir a segurança da tripulação. Durante a medição a equipe observou bancos de areia superficiais próximas às seções ST-05 e ST-06. Com relação aos perfis longitudinais, os dois localizados na margem esquerda (ST-02 e ST-04) retratam todo o trecho monitorado, ou seja, pouca variação de profundidade em torno de 2,0 a 5,0 m. Com relação à margem direita, apenas a seção SL-05 apresentou variação mais significativa de profundidades de até 20,0m, com uma distância da

margem de 35,0 m. O perfil longitudinal SL-06, representado pela Figura 4, mostra a variação de profundidade no trecho de 3,0 km, com a seção iniciando próximo à Praça Madeira-Mamoré até a Torre de Energia.

A Figura 5 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.

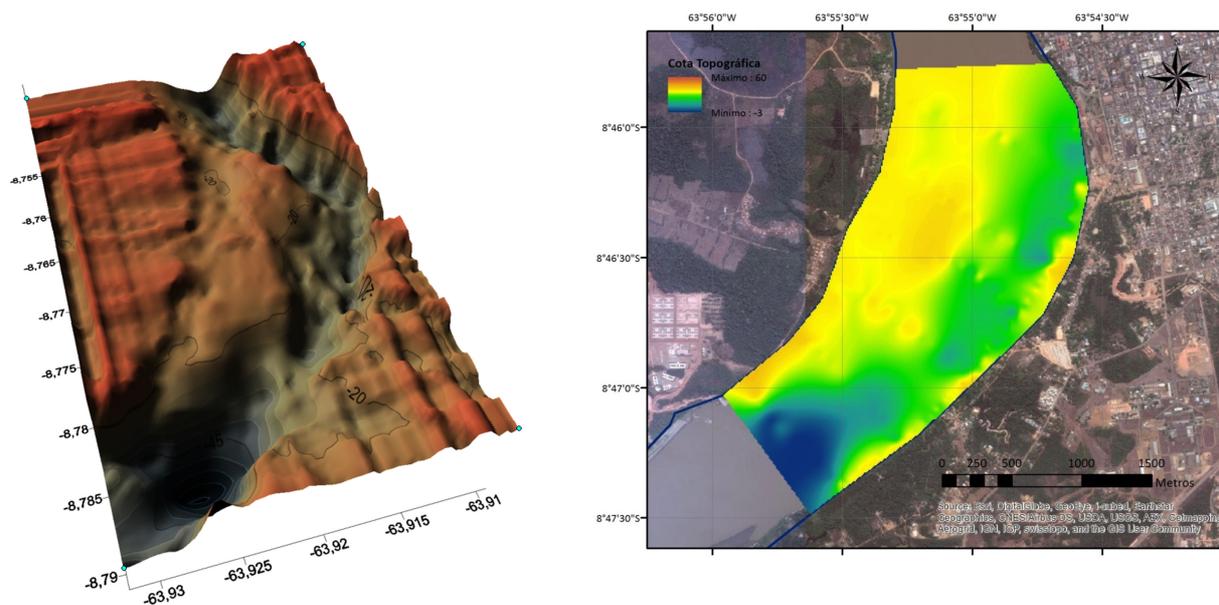


Figura 5 – Perspectiva tridimensional e MDT do trecho do rio Madeira.

## CONSIDERAÇÕES

As medições realizadas no ano de 2014, para o trecho de 3,0 km do rio Madeira, próximo ao bairro Triângulo, mostraram resultados condizentes para um trecho de rio curvilíneo, como é o caso do rio Madeira neste ponto estudado, ou seja, ocorrências de processos que envolvem o transporte e a deposição de sedimentos. A partir da análise dos perfis foi possível identificar um padrão no comportamento da seção transversal. As medições permitiram observar uma plataforma praticamente plana, numa extensão de cerca de 800,0 m, partindo da margem esquerda do rio, com profundidade de até 5,0 m. A partir deste ponto o rio começa a atingir profundidades maiores. Isto pode ser explicado pelo fato deste lado do rio (esquerdo) ser numa margem convexa tendo, portanto, um processo mais acelerado de deposição de sedimentos, em detrimento à margem oposta (direita) que sofre com o processo erosivo (margem côncava).

Os perfis levantados mostram trechos do rio que sofreu processo de sedimentação e erosão ao longo dos últimos dois anos. Na Figura 6a pode-se observar que, praticamente 80% do perfil transversal sofreu processo de sedimentação (partindo da margem esquerda) e na margem direita processo erosivo. Já na Figura 6b, houve pouca sedimentação, sendo que na margem direita novamente o processo erosivo em destaque. Fica evidente que o canal principal do rio está localizado na margem direita.

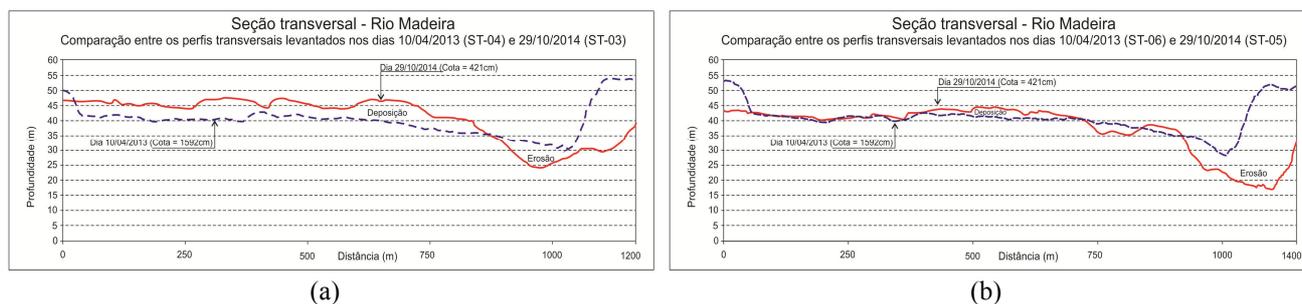


Figura 6 – Comparação entre perfis transversais levantados nos anos de 2013 e 2014.

## RECOMENDAÇÕES

O trabalho realizado na localidade do bairro Triângulo, em Porto Velho/RO, teve como objetivo conhecer a morfologia submersa do trecho do rio Madeira a partir do levantamento batimétrico da região. Recomenda-se para continuidade dos estudos que as seguintes medidas sejam adotadas:

- Ampliação da área levantada pela batimetria de um trecho ainda mais próximo a UHE Santo Antônio até um trecho ligeiramente a jusante da seção de medição de vazão operada pela CPRM, para subsidiar estudos mais detalhados;
- Realização anual de uma campanha de levantamento batimétrico do trecho estendido até a seção de medição durante a época da vazante, para monitorar as alterações decorrentes das cheias neste período;
- Modelagem hidrodinâmica para análise do comportamento das velocidades e linha d'água ao longo do trecho urbano de Porto Velho;
- Realização esporádica de medições de vazão na seção da antena, visando monitorar também o início do trecho urbano de Porto Velho.

## BIBLIOGRAFIA CONSULTADA

Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL. Superintendência de Estudos e Informações Hidrológicas, 2000. Guia de avaliação de assoreamento de reservatórios. Brasília, 2000.

CARVALHO, N.O. Hidrossedimentologia prática, 2008. 2ª ed., ver., atual. e ampliada. – Rio de Janeiro: Interciência.

GOOGLE EARTH 4.0. Disponível em: <<http://earth.google.com/>>. Acesso em: 13 nov. 2014.

MARTINELLI, L., DEVOL, A.; FORSBERG, B.; VICTORIA, R.; RICKEY, J.; RIBEIRO, M. Descarga de sólidos dissolvidos totais do Rio Amazonas e seus principais tributários. Geochim. Brasil, 3:141–148, 1989.

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