

# **UHE SANTO ANTÔNIO**



## **PROGRAMA DE LEVANTAMENTOS E MONITORAMENTO HIDROSEDIMENTOLÓGICO DO RIO MADEIRA E DO FUTURO RESERVATÓRIO DA UHE SANTO ANTÔNIO**

**CONSOLIDAÇÃO E ANÁLISE DOS DADOS  
HIDROSEDIMENTOLÓGICOS DO RIO MADEIRA SEM RESERVATÓRIO  
– JANEIRO DE 2008 A JULHO DE 2009 –**

**RELATÓRIO PARCIAL – R5**

**PJ0697-X-H41-GR-RL-003-0A**

**DEZEMBRO/2009**

## UHE SANTO ANTÔNIO

### PROGRAMA DE LEVANTAMENTOS E MONITORAMENTO HIDROSSEDIMENTOLÓGICO DO RIO MADEIRA E DO FUTURO RESERVATÓRIO DA UHE SANTO ANTÔNIO

#### CONSOLIDAÇÃO E ANÁLISE DOS DADOS HIDROSSEDIMENTOLÓGICOS DO RIO MADEIRA SEM RESERVATÓRIO – JANEIRO DE 2008 A JULHO DE 2009 –

#### RELATÓRIO PARCIAL – R5

PJ0697-X-H41-GR-RL-003-0A

DEZEMBRO/2009

0A	21/12/2009	EMISSÃO INICIAL	NOC/MAS/FBM	EFM	JCS
REV.	DATA	DESCRIÇÃO	ELAB.	VISTO	APROV.

## ÍNDICE

<i>Item</i>	<i>Assunto</i>	<i>Página</i>
<b>1.</b>	<b>CONSIDERAÇÕES INICIAIS</b>	10
<b>2.</b>	<b>DADOS UTILIZADOS</b>	12
<b>3.</b>	<b>SERVIÇOS DE CAMPO E LABORATÓRIO</b>	17
<b>3.1.</b>	<b>INSTALAÇÕES DO ESCRITÓRIO, LABORATÓRIO E SALAS DE HIDROMETRIA</b>	18
<b>3.2.</b>	<b>CONTRATAÇÃO E TREINAMENTO DE PESSOAL</b>	19
<b>3.3.</b>	<b>EQUIPAMENTOS DE HIDROSSEDIMENTOMETRIA</b>	20
<b>3.4.</b>	<b>VIATURAS E EMBARCAÇÕES</b>	21
<b>3.5.</b>	<b>INSTRUMENTAL PARA O LABORATÓRIO DE SEDIMENTOMETRIA</b>	22
<b>4.</b>	<b>PROCEDIMENTOS E CONSISTÊNCIA DE DADOS</b>	28
<b>4.1.</b>	<b>OPERAÇÃO DAS ESTAÇÕES</b>	29
4.1.1.	<u>Leitura de Níveis d'água</u>	29
4.1.2.	<u>Medições e Cálculos da Descarga Líquida com Molinete Hidrométrico</u>	30
4.1.3.	<u>Medições da Descarga Líquida com ADCP</u>	30
4.1.4.	<u>Medições da Descarga Sólida</u>	34
4.1.5.	<u>Determinação da Descarga Sólida em Suspensão</u>	35
4.1.6.	<u>Determinação da Descarga Sólida Total</u>	36
4.1.7.	<u>Medições de Sedimentos do Leito</u>	38
4.1.8.	<u>Distribuição Granulométrica do Material do Leito</u>	39
<b>4.2.</b>	<b>ANÁLISES DE LABORATÓRIO</b>	40
<b>4.3.</b>	<b>CONSISTÊNCIA DE DADOS</b>	40
4.3.1.	<u>Medições da Descarga Sólida</u>	40
4.3.2.	<u>Medições da Descarga Líquida com ADCP</u>	41
<b>5.</b>	<b>RESULTADOS DAS MEDIÇÕES DE DESCARGA LÍQUIDA</b>	42
<b>5.1.</b>	<b>MEDIÇÕES CONVENCIONAIS DE DESCARGA LÍQUIDA</b>	43
5.1.1.	<u>Abunã</u>	43
5.1.2.	<u>Jusante Caldeirão do Inferno</u>	44
5.1.3.	<u>Porto Velho</u>	46
5.1.4.	<u>São Carlos</u>	47
5.1.5.	<u>Humaitá</u>	49
5.1.6.	<u>Jaciparaná</u>	50
<b>5.2.</b>	<b>MEDIÇÕES DE DESCARGA LÍQUIDA COM ADCP</b>	51
<b>6.</b>	<b>RESULTADOS DAS MEDIÇÕES DE DESCARGA SÓLIDA</b>	55

<b>6.1.</b>	<b>Resultados das Análises Laboratoriais</b>	57
<b>6.2.</b>	<b>Resultados do Cálculos da Descarga Sólida</b>	60
<b>7.</b>	<b>ESTUDOS HIDROSSEDIMENTOLÓGICOS BÁSICOS</b>	79
<b>7.1.</b>	<b>CURVAS-CHAVE DE DESCARGAS SÓLIDAS</b>	80
7.1.1.	<u>Abunã</u>	81
7.1.2.	<u>Jusante Caldeirão do Inferno</u>	83
7.1.3.	<u>Porto Velho</u>	85
7.1.4.	<u>São Carlos</u>	87
7.1.5.	<u>Humaitá</u>	89
7.1.6.	<u>Jaciparaná</u>	90
<b>7.2.</b>	<b>SÉRIES DE DESCARGAS SÓLIDAS</b>	91
<b>7.3.</b>	<b>GRANULOMETRIA DOS SEDIMENTOS EM SUSPENSÃO E DO LEITO</b>	102
<b>7.4.</b>	<b>MORFOLOGIA DA SEÇÃO TRANSVERSAL DAS ESTAÇÕES FLUVIOMÉTRICAS</b>	105
<b>8.</b>	<b>AVALIAÇÃO DA PASSAGEM DE TRONCOS NO RIO MADEIRA EM PORTO VELHO</b>	109
<b>9.</b>	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	119

## LISTA DE TABELAS

**- Tabela 2.1.**

Relação das Estações Fluviométricas com Leituras de Réguas e Medições de Descargas Líquidas e Sólidas do Programa de Levantamentos e Monitoramento Hidrossedimentológico do Rio Madeira e do Futuro Reservatório da UHE Santo Antônio

**- Tabela 2.2.**

Relação das Estações Fluviométricas com Leituras de Réguas do Programa de Levantamentos e Monitoramento Hidrossedimentológico do Rio Madeira e do Futuro Reservatório da UHE Santo Antônio

**- Tabela 2.3.**

Disponibilidade de Dados de Leituras de Réguas nas Estações Fluviométricas do Rio Madeira e Jaciparaná

**- Tabela 2.4.**

Distribuição Temporal das Medições de Descarga Líquida do Programa de Monitoramento Hidrossedimentológico

**- Tabela 2.5.**

Distribuição Temporal das Medições de Descarga Sólida do Programa de Monitoramento Hidrossedimentológico

**- Tabela 5.1.**

Resumo das Medições Convencionais de Descarga Líquida em Abunã

**- Tabela 5.2.**

Resumo das Medições Convencionais de Descarga Líquida em Jusante Caldeirão do Inferno

**- Tabela 5.3.**

Resumo das Medições Convencionais de Descarga Líquida em Porto Velho

**- Tabela 5.4.**

Resumo das Medições Convencionais de Descarga Líquida em São Carlos

**- Tabela 5.5.**

Resumo das Medições Convencionais de Descarga Líquida em Humaitá

**- Tabela 5.6.**

Resumo das Medições Convencionais de Descarga Líquida em Jaciparaná

**- Tabela 5.7.**

Resumo das Medições com ADCP em Abunã

**- Tabela 5.8.**

Resumo das Medições com ADCP em Jusante Caldeirão do Inferno

**- Tabela 5.9.**

Resumo das Medições com ADCP em Porto Velho

**- Tabela 5.10.**

Resumo das Medições com ADCP em São Carlos

**- Tabela 5.11.**

Resumo das Medições com ADCP em Humaitá

**- Tabela 6.1.**

Resumo das Análises do Sedimento em Suspensão e do Leito em Abunã

**- Tabela 6.2.**

Resumo das Análises do Sedimento em Suspensão e do Leito em Jusante Caldeirão do Inferno

**- Tabela 6.3.**

Resumo das Análises do Sedimento em Suspensão e do Leito em Porto Velho

**- Tabela 6.4.**

Resumo das Análises do Sedimento em Suspensão e do Leito em São Carlos

**- Tabela 6.5.**

Resumo das Análises do Sedimento em Suspensão e do Leito em Humaitá

**- Tabela 6.6.**

Resumo das Análises do Sedimento em Suspensão e do Leito em Jaciparaná

**- Tabela 6.7.**

Resumo do Cálculo da Descarga Sólida em Abunã

**- Tabela 6.8.**

Resumo do Cálculo da Descarga Sólida em Jusante Caldeirão do Inferno

**- Tabela 6.9.**

Resumo do Cálculo da Descarga Sólida em Porto Velho

**- Tabela 6.10.**

Resumo do Cálculo da Descarga Sólida em São Carlos

**- Tabela 6.11.**

Resumo do Cálculo da Descarga Sólida em Humaitá

**- Tabela 6.12.**

Resumo do Cálculo da Descarga Sólida em Jaciparaná

**- Tabela 7.1.**

Série de Descarga Sólida em Suspensão em Porto Velho (t/dia)

**- Tabela 7.2.**

Série de Descarga Sólida Total em Porto Velho (t/dia)

**- Tabela 7.3.**

Série de Descarga Sólida em Suspensão em Abunã (t/dia)

**- Tabela 7.4.**

Série de Descarga Sólida Total em Abunã (t/dia)

**- Tabela 7.5.**

Granulometria Média dos Sedimentos em Suspensão

**- Tabela 7.6.**

Granulometria Média dos Sedimentos do Leito

**- Tabela 7.7.**

Diâmetro Característico Médio dos Sedimentos do Leito

**- Tabela 8.1.**

Variação do Nível d'água e Vazão Média durante as Campanhas de Observação de Troncos

**- Tabela 8.2.**

Quantidade de Troncos Observados desde cada Margem do Rio Madeira

**- Tabela 8.3.**

Quantidade Média Diária Estimada de Troncos

## LISTA DE FIGURAS

- **Figura 3.1.**  
Vistas Parciais das Instalações da Filial da PCE em Porto Velho
- **Figura 3.2.**  
Vista da Equipe de Hidrometria e do Laboratório e dos Treinamentos Ministrados
- **Figura 3.3.**  
Equipamentos, Viaturas e Embarcações Adquiridos para os Serviços de Monitoramento Hidrossedimentológico
- **Figura 3.4.**  
Vistas Parciais do Laboratório de Sedimentos da PCE e dos Materiais e Equipamentos Adquiridos
- **Figura 4.1.**  
Lances de Régua da Estação Fluviométrica de Cujubim no Rio Madeira
- **Figura 4.2.**  
Instalação do ADCP na Borda Lateral da Embarcação
- **Figura 4.3.**  
Medição da Descarga Líquida com ADCP que Permite Visualizar a Batimetria da Seção e a Composição dos Perfis Verticais de Velocidade ao Longo da Medição
- **Figura 4.4.**  
Con- Figuração dos Vetores da Velocidade Média em Relação a Trajetória do Barco Durante a Medição com ADCP
- **Figura 4.5.**  
Intensidade do Sinal para os Quatro Feixes em Uma Vertical da Medição
- **Figura 4.6.**  
Trajetória do Barco Utilizando o “*bottom track*” como Referência
- **Figura 4.7.**  
Trajetória do Barco Utilizando o DGPS como Referência
- **Figura 4.8.**  
Dispersão dos Dados Fornecidos pelo DGPS em Abunã
- **Figura 4.9.**  
Amostrador de Sedimento em Suspensão Tipo AMS-8 (Saca)
- **Figura 4.10.**  
Amostrador de Sedimento em Suspensão D-49
- **Figura 4.9.**  
Amostrador de Sedimento em Suspensão Tipo AMS-8 (Saca)
- **Figura 4.10.**  
Amostrador de Sedimento em Suspensão D-49



**- Figura 4.11.**

Exemplo de Cálculo da Descarga Sólida Total de Sedimentos Segundo o Método Modificado de Einstein

**- Figura 4.12.**

Avaliação da Descarga Sólida Total Calculada Mediante a Fórmula de Einstein Modificada em relação à Descarga Sólida em Suspensão em Porto Velho

**- Figura 4.13.**

Amostrador de Sedimentos do Leito Modelo US BM-54

**- Figura 4.14.**

Amostrador de Sedimentos do Leito do Tipo de Raspagem Horizontal

**- Figura 5.1.**

Cotagrama da Estação Fluviométrica de Abunã e Distribuição Temporal das Medições de Descarga Líquida

**- Figura 5.2.**

Medições de Descarga Líquida em Abunã

**- Figura 5.3.**

Medições de Descarga Líquida em Jusante Caldeirão do Inferno

**- Figura 5.4.**

Cotagrama da Estação Fluviométrica de Porto Velho e Distribuição Temporal das Medições de Descarga Líquida

**- Figura 5.5.**

Medições de Descarga Líquida em Porto Velho

**- Figura 5.6.**

Cotagrama da Estação Fluviométrica de São Carlos e Distribuição Temporal das Medições de Descarga Líquida

**- Figura 5.7.**

Medições de Descarga Líquida em São Carlos

**- Figura 5.8.**

Cotagrama da Estação Fluviométrica de Humaitá e Distribuição Temporal das Medições de Descarga Líquida

**- Figura 5.9.**

Medições de Descarga Líquida em Humaitá

**- Figura 5.10.**

Cotagrama da Estação Fluviométrica de Jaciparaná e Distribuição Temporal das Medições de Descarga Líquida

**- Figura 5.11.**

Representação do Desvio da Vazão Associado a Cada Medição de ADCP em Abunã

**- Figura 7.1.**

Avaliação dos Valores de Concentração Média de Sedimentos em Suspensão Obtidos pela ANA e por FURNAS/CNO em Porto Velho

**- Figura 7.2.**

Curva de Descarga Sólida em Suspensão em Abunã

**- Figura 7.3.**

Curva de Descarga Sólida Total em Abunã

**- Figura 7.4.**

Relação entre a Descarga Líquida e Sólida em Suspensão para os Períodos de Enchente e Vazante em Abunã

**- Figura 7.5.**

Curva de Descarga Sólida em Suspensão em Jusante Caldeirão do Inferno

**- Figura 7.6.**

Curva de Descarga Sólida Total em Jusante do Caldeirão do Inferno

**- Figura 7.7.**

Curva de Descarga Sólida em Suspensão em Porto Velho

**- Figura 7.8.**

Curva de Descarga Sólida Total em Porto Velho

**- Figura 7.9.**

Relação Entre a Descarga Líquida e Sólida em Suspensão para os Períodos de Enchente e Vazante em Porto Velho

**- Figura 7.10.**

Curva de Descarga Sólida em Suspensão em São Carlos

**- Figura 7.11.**

Curva de Descarga Sólida Total em São Carlos

**- Figura 7.12.**

Curva de Descarga Sólida em Suspensão em Humaitá

**- Figura 7.13.**

Curva de Descarga Sólida Total em Humaitá

**- Figura 7.14.**

Curva de Descarga Sólida em Suspensão em Jaciparaná

**- Figura 7.15.**

Variação Mensal da Descarga Sólida Total em Porto Velho e Abunã

**- Figura 7.16.**

Variação Anual da Descarga Sólida Total em Porto Velho e Abunã

**- Figura 7.17.**

Granulometria Média dos Sedimentos em Suspensão

**- Figura 7.18.**

Granulometria Média dos Sedimentos do Leito

**- Figura 7.19.**

Seção Transversal do Rio Madeira em Abunã

**- Figura 7.20.**

Seção Transversal do Rio Madeira em Jusante Caldeirão do Inferno

**- Figura 7.21.**

Seção Transversal do Rio Madeira em Porto Velho

**- Figura 7.22.**

Seção Transversal do Rio Madeira em São Carlos

**- Figura 7.23.**

Seção Transversal do Rio Madeira em Humaitá

**- Figura 7.24.**

Seção Transversal do Rio Jaciparaná na seção S-2

**- Figura 8.1.**

Localização da Seção de Controle de Troncos em Porto Velho

**- Figura 8.2.**

Observação de Troncos em Porto Velho

**- Figura 8.3.**

Distribuição Temporal das Campanhas de Observação de Troncos

**- Figura 8.4.**

Variação Sazonal da Quantidade de Troncos no Rio Madeira

**- Figura 8.5.**

Troncos Retidos em Rochas no Período de Vazante do Rio Madeira

**- Figura 8.6.**

Troncos Retidos na Margem no Período de Vazante do Rio Madeira

## 1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Apresentam-se a seguir a consolidação, as análises de consistência dos dados hidrossedimentométricos da bacia do rio Madeira obtidos entre janeiro de 2008 e julho de 2009 e as principais análises para o estabelecimento de parâmetros hidrossedimentológicos do rio Madeira nas estações operadas pela PCE- Projetos e Consultorias de Engenharia Ltda, no âmbito do Programa de Levantamento e de Monitoramento Hidrossedimentológico do Rio Madeira e do Futuro Reservatório da UHE Santo Antônio, que tem os seguintes objetivos gerais:

- Aprofundar o conhecimento sobre o comportamento sedimentológico do rio Madeira nas condições atuais, anteriores à construção dos aproveitamentos de Santo Antônio e Jirau, ampliando a base de dados disponível;
- Monitorar a evolução do comportamento hidrossedimentológico do trecho correspondente ao futuro reservatório da UHE Santo Antônio e do rio Madeira a jusante, durante a etapa de construção da usina;
- Subsidiar estimativas de erosão e/ou deposição a jusante da UHE Santo Antônio por meio de levantamento para a realização das modelagens matemáticas de transporte de sedimento;
- Monitorar as variações morfológicas da calha fluvial e margens do rio Madeira no estirão fluvial correspondente ao futuro reservatório da UHE Santo Antônio e o trecho de jusante até Humaitá;
- Avaliar os prognósticos de assoreamento e de vida útil do reservatório, bem como os efeitos a jusante dos mesmos durante a etapa de construção da UHE Santo Antônio.

Trata-se do segundo relatório, de uma série de nove a serem editados até o ano de 2016 especificamente sobre consolidação e análises de dados hidrossedimentométricos no âmbito do Programa, e contém todos os dados que foram obtidos até julho de 2009, considerando que as medições de descargas líquida e sólidas tiveram início em março de 2009.

São as seguintes as atividades do Programa de Levantamento e de Monitoramento Hidrossedimentológico do Rio Madeira e do Futuro Reservatório da UHE Santo Antônio diretamente relacionadas com o presente trabalho:

4.6.3. Atividade VI.3: Realização da análise de consistência das medições hidrossedimentométricas, incluindo: concentração de sedimentos, descarga líquida, descarga sólida em suspensão, fundo e total, granulometria em suspensão e fundo, de toda a base de dados.

4.7.1. Atividade VII.1: Caracterização do sedimento transportado pelo rio Madeira, desde a estação de Abunã-Vila até a localidade de Humaitá, identificando a variabilidade espacial da concentração de sedimentos em suspensão, da descarga sólida em suspensão total, da granulometria para o material de fundo e em suspensão, associadas a diferentes condições hidrológicas típicas, condição atual e sem os reservatórios projetados.

## **2. DADOS UTILIZADOS**

O relatório PJ0697-X-H41-GR-ED-102-0A - Consolidação e Análise dos Dados Hidrossedimentológicos do Rio Madeira sem Reservatório – R3, de Junho/2008, apresentou a consolidação, as análises de consistência dos dados hidrossedimentométricos da bacia do rio Madeira até dezembro de 2007 e as principais análises para o estabelecimento de parâmetros hidrossedimentológicos do rio Madeira em Porto Velho, elaborados inicialmente na fase de Viabilidade, revisados e ampliados com base nos dados coletados posteriormente, bem como nas análises e na ampliação do conhecimento já adquirido na área de influência do empreendimento.

Naquele documento foram considerados basicamente os dados hidrossedimentométricos disponíveis nas estações da rede hidrometeorológica operada hoje pela Agência Nacional de Águas – ANA, e anteriormente pelo extinto Departamento Nacional de Águas e Energia Elétrica - DNAEE, no rio Madeira em Porto Velho e Abunã e no rio Mamoré em Guajará-Mirim, nas quais foram realizadas medições complementares de descargas líquidas, sólidas em suspensão e coletas de material do leito por Furnas Centrais Elétricas / Construtora Norberto Odebrecht - FURNAS / CNO, no âmbito dos estudos dos aproveitamentos hidrelétricos de Santo Antônio e Jirau.

Após os estudos de viabilidade foram instaladas réguas no local denominado Cujubim / Seção 03, 30 km a jusante de Porto Velho, e estações operadas pela AHIMOP em Papagaio e da ANA em São Carlos e Humaitá. Foram efetuadas medições de níveis d'água diárias e três medições de descarga líquida e sólida em cada uma dessas estações. Essas medições, três em cada estação, foram realizadas entre setembro de 2006 e janeiro de 2007.

Todas essas informações, bem como a disponibilidade dos dados de interesse foram apresentados no relatório PJ0697-X-H41-GR-ED-102-0A, já citado.

O presente relatório trata dos dados observados e das medições de descargas líquidas e sólidas realizadas já no âmbito do Programa de Levantamentos e Monitoramento Hidrossedimentológico do Rio Madeira e do Futuro Reservatório da UHE Santo Antônio iniciado em fevereiro de 2008.

Esse programa teve seus primeiros serviços de campo dificultados em razão da grande cheia observada neste ano, que atingiu um pico de cerca de 45.000 m<sup>3</sup>/s em abril, o quinto maior pico registrado no período de 1967 a 2007. As altas velocidades do rio nas seções e o grande número de troncos flutuantes e submersos transportados pela corrente tornaram as operações de campo extremamente perigosas, colocando em risco a vida dos profissionais envolvidos e os equipamentos utilizados.

As conhecidas dificuldades para a realização de serviços de hidrossedimentometria em rios do porte do Madeira e para o envio e análise das amostras de sedimentos provenientes das medições de descarga sólida em laboratórios distantes da região, assim como a escassa disponibilidade de empresas e profissionais capacitados em executar esses serviços, levou os empreendedores da UHE Santo Antônio a optarem pela implantação, em Porto Velho, de toda a estrutura de pessoal, equipamentos e apoio necessários à execução direta dos serviços pela PCE – Projetos e Consultorias de Engenharia Ltda.

Destaque especial mereceu a importância dada à execução das análises das amostras de sedimentos em suspensão e de fundo provenientes das medições nas diferentes estações do trecho em estudo no rio Madeira e afluentes, que resultou na decisão da implantação de um laboratório de sedimentometria completo em Porto Velho, dedicado exclusivamente ao Programa.

Em razão desses fatos, o início efetivo dos serviços de campo, com as instalações e re-instalações de estações aconteceu em setembro de 2008 e as medições de descargas líquidas e sólidas, bem como as coletas de material de fundo para análise granulométrica, em março de 2009, em função do tempo despendido na contratação dos serviços e principalmente nas aquisições dos equipamentos, veículos e embarcações necessários.

Assim, atendendo as determinações do Programa de Monitoramento Hidrossedimentológico, foram considerados os dados de leituras de réguas e de medições de descargas líquidas e sólidas nas estações listadas na Tabela 2.1. a seguir:

**Tabela 2.1.  
Relação das Estações Fluviométricas com Leituras de Réguas e Medições de Descargas Líquidas e Sólidas do Programa de Levantamentos e Monitoramento Hidrossedimentológico do Rio Madeira e do Futuro Reservatório da UHE Santo Antônio**

Nome	Rio	Coordenadas UTM		Cota Zero (m)	Data da (Re) Instalação
		Norte	Este		
Abunã	Madeira	8926370	240512	74,65	*
Jusante Caldeirão do Inferno **	Madeira	8982304	323362	53,86	31/07/09
Porto Velho **	Madeira	9032851	399179	42,50	*
São Carlos **	Madeira	9066528	444077	38,40	19/09/08*
Humaitá **	Madeira	9170426	497816	24,65	*
Jaciparaná (vila) **	Jaciparaná	8975978	346143	62,90	---

\* Estações instaladas por outras entidades.

\*\* A cota do zero da régua encontra-se em avaliação (sujeita a mudanças).

Além dessas estações, foram também considerados neste trabalho, os dados de leituras de régua referentes às novas estações instaladas (ou re-instaladas) em pontos do rio Madeira entre o eixo da futura UHE Jirau e Humaitá e no rio Jaciparaná, com o objetivo de subsidiar os estudos de modelagem matemática hidrossedimentológica ora em andamento, conforme Tabela 2.2., a seguir:



**Tabela 2.2.  
Relação das Estações Fluviométricas com Leituras de Réguas do Programa de  
Levantamentos e Monitoramento Hidrossedimentológico do Rio Madeira e do  
Futuro Reservatório da UHE Santo Antônio**

Nome	Rio	Coordenadas UTM		Cota Zero (m)	Data da (Re) Instalação
		Norte	Este		
Guajará Mirim	Mamoré	8805961	243326	109,29	*
Cachoeira Jirau Jusante	Madeira	8969207	312225	---	22/10/2008
Cach. Caldeirão Inferno Montante	Madeira	8974232	315586	---	21/10/2008
Cach. Caldeirão Inferno Jusante	Madeira	8976242	319427	---	17/10/2008
Foz do Rio Jaciparaná **	Madeira	8985020	349022	54,94	15/10/08
Cachoeira do Morrinho Montante **	Madeira	9002670	366277	53,50	12/10/08
Cachoeira do Morrinho Jusante **	Madeira	9004736	372421	54,39	08/10/08
Pedral Jusante **	Madeira	9008470	382182	52,84	11/10/08
Cachoeira Teotônio Jusante **	Madeira	9020227	383346	42,51	11/09/08
Cachoeira Teotônio Montante II **	Madeira	9016308	380769	51,02	14/10/08
Cachoeira Teotônio Montante **	Madeira	9020215	383057	52,22	12/09/08
Régua 4 – UHE Santo Antônio **	Madeira	9024456	392343	40,02	08/09/08
Régua 7 – UHE Santo Antônio **	Madeira	9029102	397739	42,39	05/09/08
Cujubim **	Madeira	9050760	418771	42,29	17/09/08*
Papagaios **	Madeira	9095804	490024	29,67	22/09/08*
Jaciparaná (ponte) **	Jaciparaná	8976164	347743	61,54	*

\* Estações instaladas por outras entidades

\*\* A cota do zero da régua encontra-se em avaliação (sujeita a mudanças).

As fichas descritivas das estações fluviométricas listadas nas tabelas anteriores foram apresentadas em relatório específico emitido em janeiro de 2009 (PJ0697-X-H41-GR-RL-002-0A), sendo que a localização das mesmas apresenta-se no desenho PJ0697-Z-H41-GR-DE-101 (ANEXO I). Neste desenho se observam outras estações fluviométricas nas imediações do eixo da barragem de Santo Antônio que são monitoradas pela PCE, além das apresentadas nas tabelas anteriores, mas não constam neste relatório pois operam principalmente fornecendo apoio aos trabalhos desenvolvidos no projeto executivo da usina.

O resumo dos dados obtidos nestas estações no período de janeiro de 2008 a julho de 2009 está representada a seguir, sendo que a Tabela 2.3. mostra a disponibilidade de dados de leituras de régua nas estações fluviométricas e as Tabelas 2.4. e 2.5. apresentam a distribuição temporal das medições de descarga líquida e sólida do Programa de Monitoramento Hidrossedimentológico do Rio Madeira.

Adicionalmente, no ANEXO II apresentam-se as leituras de régua das estações fluviométricas operadas pela PCE no rio Madeira e Jaciparaná, e o cotograma correspondente para cada uma.

**Tabela 2.3.  
Disponibilidade de Dados de Leituras de Réguas nas Estações Fluviométricas do  
Rio Madeira e Jaciparaná**

Estação	2008												2009						
	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul
Guajará - Mirim												X	X	X	X	X	X	X	X
Abunã												X	X	X	X	X	X	X	X
Cachoeira do Jirau Jusante												X	X	X	X	X	X		
Cachoeira do Cald. Inferno Montante												X	X	X	X	X	X		
Cachoeira do Cald. Inferno Jusante												X	X	X	X	X	X		
Jusante do Caldeirão do Inferno																			
Foz do Rio Jaciparaná												X	X	X	X	X	X	X	X
Cachoeira do Morrinho Montante												X	X	X	X	X	X	X	X
Cachoeira do Morrinho Jusante												X	X	X	X	X	X	X	X
Pedral Jusante												X	X	X	X	X	X	X	X
Cachoeira Teotônio Montante II												X	X	X	X	X	X	X	X
Cachoeira Teotônio Montante												X	X	X	X	X	X	X	X
Cachoeira Teotônio Jusante												X	X	X	X	X	X	X	X
R4												X	X	X	X	X	X	X	X
Porto Velho	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
R7												X	X	X	X	X	X	X	X
Cujubim												X	X	X	X	X	X	X	X
São Carlos												X	X	X	X	X	X	X	X
Papagaio												X	X	X	X	X	X	X	X
Humaitá												X	X	X	X	X	X	X	X
Jaciparaná (Vila) - PCE												X	X	X	X	X	X	X	X
Jaciparaná (Ponte) - CPRM												X	X	X	X	X	X	X	X

**Legenda:**

Estações desativadas

**Tabela 2.4.  
Distribuição Temporal das Medições de Descarga Líquida do Programa de  
Monitoramento Hidrossedimentológico**

Estação	Medições de Descarga Líquida													
	Março		Abril		Maio		Junho		Julho					
	ADCP	Molinete	ADCP	Molinete	ADCP	Molinete	ADCP	Molinete	ADCP	Molinete				
Abunã		1		2		2		3		2		1		1
Cachoeira do Cald. Inferno Jusante				3		1		2		2		1		1
Porto Velho		1		2		1		2		1		2		1
São Carlos		1		2				2		1		2		1
Humaitá			1		2			2		1		2		1
Jaciparaná			1		2			1				1		1

**Tabela 2.5.  
Distribuição Temporal das Medições de Descarga Sólida do Programa de  
Monitoramento Hidrossedimentológico**

Estação	Medições de Descarga Sólida									
	Março		Abril		Maio		Junho		Julho	
	Leito	Suspensão	Leito	Suspensão	Leito	Suspensão	Leito	Suspensão	Leito	Suspensão
Abunã	1	1	2	2	2	2	2	3	1	1
Cachoeira do Cald. Inferno Jusante			2	3	2	2	2	3	1	1
Porto Velho	1	1	2	2	2	2	2	3	1	1
São Carlos	1	1	2	2	2	2	2	4	1	1
Humaitá		1	2	2	2	2	2	4	1	1
Jaciparaná		1	2	2	1	1	1	1	1	1

### **3. SERVIÇOS DE CAMPO E LABORATÓRIO**

Para a realização sistemática dos serviços de instalação e operação da rede fluviométrica no âmbito do Programa de Levantamentos e Monitoramento Hidrossedimentológico do Rio Madeira e do Futuro Reservatório da UHE Santo Antônio, incluindo os relativos às medições de descargas líquidas e sólidas, cálculos e análises sedimentométricas em laboratório, foi dado início, em maio de 2008, à implantação de estrutura adequada, de acordo com os itens a seguir.

### **3.1. INSTALAÇÕES DO ESCRITÓRIO, LABORATÓRIO E SALAS DE HIDROMETRIA**

- Aluguel de imóvel para instalação de escritório técnico-administrativo, salas de hidrometria e laboratório de sedimentometria em Porto Velho;
- Reforma, ampliação e adequação das instalações imóveis de Porto Velho para as funções a que se destinam;
- Construção de instalações para o laboratório de sedimentometria;
- Aquisição de equipamentos, móveis e utensílios;
- Instalação de equipamentos, telefonia e internet.

Na Figura 3.1. se observam algumas vistas parciais do imóvel alugado e das condições atuais das instalações da Filial em Porto Velho.

**Figura 3.1.**  
**Vistas Parciais das Instalações da Filial da PCE em Porto Velho**



Laboratório de sedimentos e escritório administrativo da PCE



Escritório de hidrometria, depósito e copa da Filial da PCE



Sala de reuniões



Escritório de processamento dos dados de  
laboratório

### 3.2. CONTRATAÇÃO E TREINAMENTO DE PESSOAL

- Contratação de engenheiro residente com treinamento em hidrossedimentologia;
- Contratação de técnico especializado com formação em hidrometria para a supervisão técnica dos trabalhos de campo;
- Contratação de dois hidrometristas, dois auxiliares de hidrometrista e um ajudante de hidrometrista para realização de levantamentos e medições de campo;
- Contratação de quatro profissionais especializados para apoio de campo, como barqueiros e motoristas;
- Contratação de três laboratoristas para os serviços do laboratório de sedimentometria;
- Contratação de pessoal de apoio administrativo para o escritório de Porto Velho;
- Treinamentos:
  - Treinamento Básico em Hidrossedimentologia, ministrado no período de 16/03/09 à 19/03/09, na filial da PCE Engenharia de Porto Velho, pelo consultor em sedimentologia engenheiro Newton de Oliveira Carvalho, com a participação da engenheira Fernanda Biancardini da PCE. O treinamento contou com a participação da equipe da PCE em Porto Velho e de convidados da SAESA, do Serviço Geológico do Brasil (CPRM), da Faculdade de Ciências Humanas, Exatas e Letras de Rondônia (FARO) e do Instituto Educacional Profissionalizante de Rondônia (IEP).
  - Treinamento em técnicas de análises sedimentométricas realizado no período de 30 de março a 3 de abril, no laboratório da Companhia Energética de São Paulo (CESP) em Ilha Solteira. Esse treinamento foi ministrado aos técnicos Reinaldo Lopez Chaves, Eliel Medeiros de Oliveira e Geovam Opimi de Oliveira, todos da PCE, visando capacitá-los à operação do laboratório de Porto Velho. A segunda etapa desse treinamento foi realizada no mês de junho de 2009, no laboratório da PCE em Porto Velho, com a participação de dois laboratorista da CESP.

- Capacitação e treinamento em medição de descarga líquida com o uso de ADCP, ministrado no período de 11/05/2009 à 19/05/2009, na filial da PCE Engenharia de Porto Velho. A capacitação contou com o auxílio do Eng. Pedro Moreira da Rocha Neto (CPRM/Rio de Janeiro) e do Técnico Robson da Cunha Coelho (TRIMBASE), além da participação do Eng. Maximiliano Andrés Strasser e do Técnico Paulo Sergio Torres de Barros da PCE. Este treinamento esteve direcionado preferencialmente aos hidrometristas da PCE, porém contou também com a participação de 2 (dois) engenheiros do Serviço Geológico do Brasil (CPRM/Porto Velho).

Na Figura 3.2. se observa a equipe responsável pelos trabalhos de hidrometria e de laboratório, e algumas imagens dos treinamentos ministrados.

**Figura 3.2.  
Equipe de Hidrometria e do Laboratório e dos Treinamentos Ministrados**



Equipe de hidrometria



Equipe de laboratório e administrativa



Treinamento em hidrossedimentologia



Treinamento no uso de ADCP

### 3.3. EQUIPAMENTOS DE HIDROSSEDIMENTOMETRIA

- Aquisição dos seguintes instrumentos e equipamentos para os serviços de levantamentos e medições de campo

<b>Descrição</b>	<b>Quantidade</b>
Molinete fluviométrico – newton	3
Contador de pulso eletrônico	4
Lastro 50 kg	2
Lastro 30 kg	2
Guincho fluviométrico 50m – elétrico 12v	3
Guincho fluviométrico 35 m - manual	2
Amostrador de sedimentos em suspensão tipo AMS 8	2
Amostrador – D 49	2
Amostrador de sedimentos de fundo USBM 54	2
Amostrador de sedimentos de fundo USBMH 60	1
Amostrador – D 49 pontual – com lastro	2
Inclinômetro para guincho	4
Contador para guincho	3
Baterias de carro e cabos acessórios	3
Termômetro de hidrometria	3
Ecobatímetro digital BATHY 500 MF	1
DGPS Crescent R130	1
Software HyPack Max Full Coastal	1
ADCP WH Rio Grande 600 kHz com software e acessórios	1
Níveis topográficos com tripé e mira	2
GPS Garmin	2
Medidor de concentração e granulometria a laser LISST-SL (em andamento)	1
Réguas limnimétricas de 1m	550

### 3.4. VIATURAS E EMBARCAÇÕES

- Aquisição das seguintes viaturas e embarcações para os serviços de campo:

<b>Descrição</b>	<b>Quantidade</b>
Veículo Mitsubishi, cabine dupla, modelo L200 outdoor GLS 4x4	2
Barco alumínio 7,00 m x 1,80 m com capota	1
Barco alumínio 5,50 m x 1,35 m com capota	1
Motor de popa Mercury 40 HP	1
Motor de popa Mercury 25 HP	1
Carreta rodoviária para barcos	1

Na Figura 3.3. se observam alguns dos equipamentos de hidrossedimentometria adquiridos, além das viaturas e embarcações utilizadas durante os serviços.

**Figura 3.3.**  
**Equipamentos, Viaturas e Embarcações Adquiridos para os Serviços de Monitoramento Hidrossedimentológico**



Barco com capota



Molinete hidrométrico e lastro



Veículo e carreta rodoviária



Veículos e acampamento durante os trabalhos de hidrometria



Equipamento ADCP



Ecobatímetro



Antena para DGPS

**3.5. INSTRUMENTAL PARA O LABORATÓRIO DE SEDIMENTOMETRIA**

- Aquisição do seguinte instrumental para o laboratório de sedimentometria:



**Programa de Levantamentos e Monitoramento Hidrossedimentológico  
do Rio Madeira e do Futuro Reservatório da UHE Santo Antônio**

<b>Descrição</b>	<b>Quantidade</b>
Agitador de peneiras eletromagnético	1
Almofariz 2500 ml com Pistilo	2
Anel espaçador de cápsula do dessecador	15
Tanque com aparelho para controle de temperatura da pipetagem	1
Balança digital marca Mettler Toledo, 32000 g, precisão 1 g	1
Balança eletrônica digital, marca Mettler Toledo, 610 g, precisão 0,01 g	1
Balança eletrônica digital, marca Sartorius ou Toledo, 200 g, precisão 0,0001 g	1
Bastão de vidro liso, 6x300 mm, diâmetro 6 mm, comprimento 300 mm	10
Cápsula de alumínio, diâmetro 92 mm, altura 40mm, espessura 1mm	10
Cápsula de evaporação com bico vertedor, em porcelana, diâmetro 16 cm	10
Cápsula de vidro transparente, parede grossa, forma cônica, altura total 5 cm	30
Copo de Béquer, capacidade 250 ml $\pm$ 5%, graduação permanente 25 ml	25
Copo de Béquer, capacidade 100 ml $\pm$ 5%, aferido a 20 °C	25
Copo de béquer, volume 4000 ml, graduação permanente 500 ml	10
Copo de béquer, capacidade 1000 ml $\pm$ 5%, aferido a 20 °C	20
Copo de béquer, capacidade 2000 ml $\pm$ 5%, aferido a 20°C	10
Dessecador de vidro modelo 250 m/m 337L, diâmetro interno 250mm	4
Placa de porcelana para dessecador com furo pequenos e diâmetro de 240 mm	4
Destilador de água de parede em inox, modelo NT 425	1
Dispensor de solos com suporte para 2 copos de aço inox com chicanas	1
Escova de aço com cerdas de latão para limpeza das peneiras	2
Estufa com termostato para controle de temperatura a 105 °C, 81 litros	2
Frasco para coleta, marca Milkan, volume 20 litros, cinza escuro (tipo leiteira)	5
Frasco para coleta, marca Milkan, volume 10 litros, cinza escuro (tipo leiteira)	10
Frasco para coleta, marca Milkan, volume 5 litros, cinza escuro (tipo leiteira)	10
Fundo de peneira, em latão, diâmetro 3 polegadas, altura 1 polegada	2
Fundo de peneira, em latão, diâmetro 8 polegadas, altura 2 polegadas	2
Funil de vidro, boca superior 100 mm, altura 95 mm	1
Funil de vidro, boca superior 80 mm, altura 64 mm	1
Hexametafosfato de sódio (Na PO <sub>3</sub> ) <sub>n</sub> , (frasco 1 kg)	1
Hidróxido peróxido (peróxido de hidrogênio), reagente analítico 395, H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	3
Luva de borracha para pistilo ou mão de gral, para almofariz 2500 ml	10
Mangueira de látex Synth M2008.08.LT, código 205 (m)	5

**Programa de Levantamentos e Monitoramento Hidrossedimentológico  
do Rio Madeira e do Futuro Reservatório da UHE Santo Antônio**

Painel para tubo de remoção pela base	1
Paquímetro analógico, capacidade nominal 12" e 300mm, resolução 0,01mm	1
Peneira 3 x 1", aro em latão, abertura 0,0625 mm, USS/ASTM nº 230	4
Peneira 3 x 1", aro em latão, abertura 0,125 mm, USS/ASTM nº 120	2
Peneira 3 x 1", aro em latão, abertura 0,25 mm, USS/ASTM nº 60	2
Peneira 3 x 1", aro em latão, abertura 0,5 mm, USS/ASTM nº 35	2
Peneira 3 x 1", aro em latão, abertura 1 mm, USS/ASTM nº 18	2
Peneira 3 x 1", aro em latão, abertura 2 mm, USS/ASTM nº 10	2
Peneira 8x2", aro em latão, abertura 0,0625 mm, USS/ASTM nº 230	4
Peneira 8x2", aro em latão, abertura 0,125 mm, USS/ASTM nº 120	2
Peneira 8x2", aro em latão, abertura 0,25 mm, USS/ASTM nº 60	2
Peneira 8x2", aro em latão, abertura 0,5 mm, USS/ASTM nº 35	2
Peneira 8x2", aro em latão, abertura 1 mm, USS/ASTM nº 18	2
Peneira 8x2", aro em latão, abertura 2 mm, USS/ASTM nº 10	2
Peneira 8x2", aro em latão, abertura 4 mm, USS/ASTM nº 5	2
Peneira 8 x 2", aro em latão, abertura 7,93 mm, USS/ASTM 5/16"	2
Peneira 8 x 2", aro em latão, abertura 15,9 mm, 5/8 de polegada	2
Peneira 8 x 2", aro em latão, abertura 31,7 mm, 1 <sup>1/4</sup> de polegada	2
Pescador de líquidos para redução da amostra	1
Pinça de Mohr; largura ± 4mm, espessura ± 2mm	5
Pinça para cápsula, tipo tesoura, em aço inox, comprimento 22cm	1
Pipeta de vidro transparente, capacidade 25 ml, TD aferida a 20 °C A, n.º 7100	5
Pipeta de vidro transparente, capacidade 50ml	5
Pipeta de vidro transparente, capacidade 100ml, TD aferida a 20 °C A, n.º 7100	2
Pipeteador de borracha para pipeta, três vias, tipo pêra, código BOE100	4
Pisseta, código 3.552.050, volume 500 ml, diâmetro externo 70 mm	6
Proveta de vidro transparente , volume 1000 ml, graduação permanente de 10 ml	10
Relógio de alarme para laboratório, até 60 minutos, leitura em 1 minuto	1
Rolha cônica de borracha, diâmetro superior 29 mm, diâmetro inferior 26 mm,	6
Seringa estéril, volume 3 ml, graduação 0,01 ml, sem agulha	3
Sílica gel cor azul, PA, tamanho 1 a 4 mm (embalagem com 500 g)	12
Sulfato de cobre para análise PA, penta hidratado, reagente PA, PM 249,68	1
Suporte para peneira, utilizado na separação da areia do silte+argila	
Tampa de latão para peneira com diâmetro externo de 3x1 polegadas	2
Tampa de latão para peneira com diâmetro externo de 8x2 polegadas	2

**Programa de Levantamentos e Monitoramento Hidrossedimentológico  
do Rio Madeira e do Futuro Reservatório da UHE Santo Antônio**

Termômetro de vidro, escala interna de 0 a 50 °C, graduação de 0,1 °C, enchimento com mercúrio, comprimento 460 mm, diâmetro externo 8,5 mm	2
Termômetros de vidro, escala de 0 a 150 °C, graduação 1 °C	2
Trincha 12,5 mm	2
Trincha 25,4 mm	2
Trincha 38 mm	2
Tubo de Remoção pela Base	5
Vidro de relógio, diâmetro 8 cm, forma côncava, não lapidado	40
Vidro de relógio, diâmetro 15 cm, forma côncava, não lapidado	15
Vidro de relógio, diâmetro 20 cm, forma côncava, não lapidado	10
Vidro de relógio, diâmetro 10 cm, forma côncava, lapidado	10
Densímetro de haste longa, faixa: 0,995 à 1,130, divisão de 0,005	2
Densímetro de haste curta, faixa: 0,990 à 1,010, divisão de 0,005	2
Bandeja Galvanizada de 20cmx30cm	5
Bandeja Galvanizada de 20cmx10cm	5
Luvas de Kevlar punho curto (par)	2
Frasco Kitasato, capacidade 1000 ml c/saida lateral superior	2
Frasco Kitasato, capacidade 2000 ml c/saida lateral superior	1
Rolha de borracha para kitasato de 1000ml com orifício de 3/8"	4
Rolha de borracha para kitasato de 2000ml com orifício de 3/8"	2
Bureta graduada a 20C classe A	2
Sistema múltipla de filtração em PVC tipo Manifold	1
Bomba vácuo/pressão, 115V/60Hz, diafragmada flexível, vácuo max 700mmHg	1
Suporte de filtração em polisulfona, 47 mm de diâmetro, 500ml de capacidade	4
Pinça aço inox com bordas lisos chatos para manuseio de membranas	2
Membrana H A em ester de celulose (nitrato 75-80% e Acetato), 0,45 micra	3
Placa de petri tipo laminada p exame em microscópio, com base retangular	1
Assadeiras de alumínio	-
Furadeira e Brocas	-
Sacos de plástico diversos tamanhos e balde	-
Cadinho de Gooch em vidro, 50 ml	10
Cápsula em vidro transparente, forma cônica, altura total de 50mm	35
Garrafão em vidro transparente, capacidade de 5000 ml, com rolha de borracha	2
Grelhas para as estufas	6
Suporte para buretas	2

Pinça para bureta com mufa regulável	4
Membrana filtrante GF92, de fibra de vidro, diâmetro 47 mm ( $\pm 0,5$ mm)	1
Garrafão em vidro transparente, capacidade de 5000 ml, com rolha de borracha	2
Balão volumétrico 50 ml	2
Balão volumétrico 100 ml	2
Balão volumétrico 500 ml	2
Proveta de vidro de 10 ml	2
Proveta de vidro de 100 ml	2
Pipeteador de borracha, três vias, tipo pêra, código BOE100	2
Balão Volumétrico 1000 ml***	2
Balão Volumétrico de 250 ml***	2
Timer para laboratório com precisão de segundos***	2
Cronômetro digital***	2

Na Figura 3.4. se observam algumas vistas parciais do Laboratório de Sedimentos da PCE em Porto Velho com alguns dos materiais e equipamentos adquiridos e obras civis executadas para a realização das análises sedimentológicas propostas no Programa.

**Figura 3.4.**  
**Vistas Parciais do Laboratório de Sedimentos da PCE e dos Materiais e Equipamentos Adquiridos**



Balança de precisão e  
dessecadores



Destilador de água



Vista parcial do laboratório

**Programa de Levantamentos e Monitoramento Hidrossedimentológico  
do Rio Madeira e do Futuro Reservatório da UHE Santo Antônio**



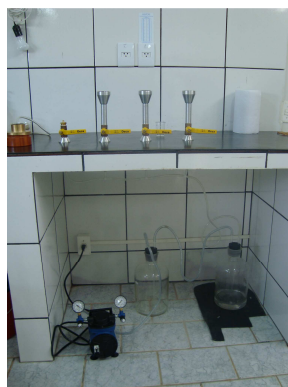
Estufas



Agitador mecânico e peneiras



Frescos para coleta



Equipamentos de  
filtração



Vidraçaria diversa: béquer,  
proveta e funil

## **4. PROCEDIMENTOS E CONSISTÊNCIA DOS DADOS**

## 4.1. OPERAÇÃO DAS ESTAÇÕES

A operação de estações hidrométricas obedeceu às Normas Hidrológicas de 1970 do extinto Departamento Nacional de Águas e Energia Elétrica (DNAEE, 1970) e ao Guia de Práticas Sedimentométricas publicado pela ANEEL (Carvalho *et al.*, 2000). Essas normas estão de acordo com as regras emitidas por entidades internacionais como a Organização Mundial de Meteorologia (OMM), o Serviço Geológico dos Estados Unidos (USGS – United States Geological Survey) e o Comitê Internacional de Grandes Barragens (ICOLD - International Committee on Large Dam).

A operação incluiu leituras de nível d'água obtidas nas réguas, medições de descargas líquida e de sedimentos, nivelamento das réguas, manutenção dos equipamentos da estação, limpeza da seção transversal e outras providências. A seguir são descritas sucintamente as principais atividades:

### 4.1.1. Leitura de Níveis d'água

A leitura de nível d'água nas réguas instaladas em lances (Figura 4.1.) são normalmente realizadas por um observador local, devidamente treinado, diariamente às 7h e às 17h. As anotações são feitas em cadernetas apropriadas recolhidas pelo hidrometrista a cada visita à estação ou, excepcionalmente, a cada fim de mês.

**Figura 4.1.**  
**Lances de Régua da Estação Fluviométrica de Cujubim no Rio Madeira**



#### 4.1.2. Medições e Cálculos da Descarga Líquida com Molinete Hidrométrico

A realização de medições de descarga líquida simultaneamente às medições de descarga sólida é fundamental para a precisão dos cálculos de descarga sólida.

Como se sabe, as medições de descarga líquida em grandes rios, com o uso de molinetes hidrométricos, juntamente com as amostragens de sedimentos em suspensão e do leito, podem se estender por até mais de 12 horas de duração. Por este motivo foram adotadas diferentes estratégias de medição e amostragem para os diferentes períodos do ano hidrológico. Nos períodos de estiagem as medições foram realizadas com o barco ancorado, considerando 20 verticais e 6 (seis) pontos por vertical (superfície, fundo, 20%, 40%, 60%, 80%). Na medida em que o rio começa a encher, as medições passaram a ser realizadas em três pontos por vertical: a 20%, 60% e 80 % da profundidade total.

Em condições excepcionais, nas grandes enchentes, com altas velocidades e profundidades e grande fluxo de troncos de madeira flutuantes e submersos dificultando a medição, a velocidade foi medida em somente um ponto na vertical, a 60% da profundidade total. A quantidade de verticais foi mantida durante o ano todo, independentemente do período de águas altas ou águas baixas.

A descarga líquida foi calculada através do método da meia seção no escritório no Rio de Janeiro, por meio de programa computacional. Além deste procedimento, a equipe de hidrometria da filial Porto Velho foi também orientado a calcular a medição por calculadora, para possibilitar verificações de erros de digitação e a precisão dos resultados.

#### 4.1.3. Medições da Descarga Líquida com ADCP

De forma concomitante às medições de descarga líquida com molinete hidrométrico está sendo utilizado um medidor acústico de efeito Doppler, comumente denominado ADCP (*Acoustic Doppler Current Profiler*). O equipamento adquirido pela PCE corresponde à serie *WorkHorse* da *RD Instruments®*, com frequência de 600 kHz, é especificado para operar em rios com grandes profundidades (até 100 m), mede a velocidade instantânea da corrente nas três dimensões (u, v, w) a partir de um dispositivo que pode ser montado na lateral de um barco ou lancha (Figura 4.2.).

Para evitar interferências magnéticas com a bússola do equipamento, o barco utilizado é de alumínio e o suporte do equipamento também foi construído a maior parte de alumínio. Por outro lado, no momento de realizar as medições, era inserida uma correção local da variação magnética no arquivo de configuração.

O ADCP emite pulsos acústicos a partir de transdutores (quatro beams) e, posteriormente, recebe e processa o sinal refletido pelas partículas sólidas em suspensão na água. Através do uso do efeito Doppler é possível transformar esse sinal refletido (retroespalhamento ou “backscatter”) em componentes da velocidade da corrente e, dessa forma, determinar a velocidade e a direção do fluxo em diferentes níveis da coluna de água. O somatório dos sucessivos perfis verticais de velocidades instantâneas ao longo da medição permite determinar a vazão instantânea do rio. O ADCP determina também a intensidade do sinal refletido, fato que é considerado uma medida relativa ou



indireta da concentração de sedimentos em suspensão na água (RDI, 2003; Filizola & Guyot, 2004).

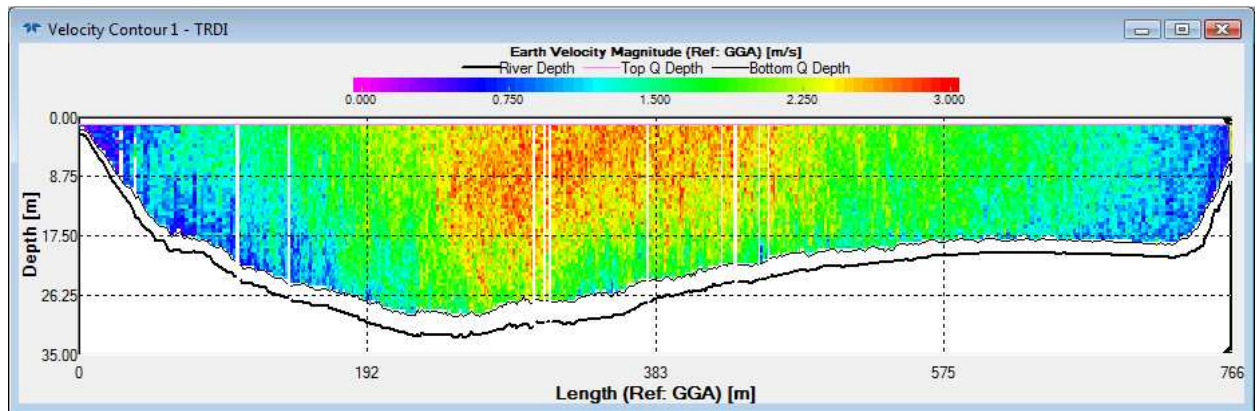
**Figura 4.2.**  
**Instalação do ADCP na Borda Lateral da Embarcação**



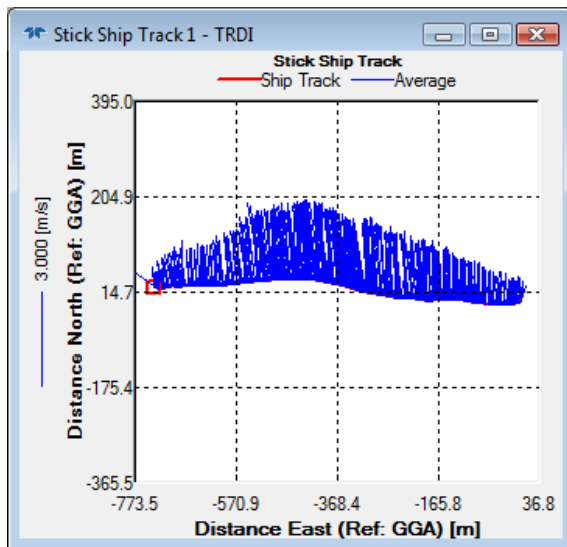
O princípio de funcionamento do ADCP assume que a corrente é homogênea em camadas de espessura constante e, conseqüentemente, os transdutores encontram-se orientados em diferentes direções para estimar as componentes da velocidade e o erro associado. Cada transdutor orienta-se de forma ortogonal e com uma inclinação de  $20^\circ$  em relação a vertical o que, na prática, implica que cada medição é realizada em um local diferente para cada componente da velocidade.

O programa de aquisição dos dados fornecido pelo fabricante denomina-se *WinRiver*, sendo que essa interface permite visualizar em tempo real as medições bem como realizar diferentes gráficos em função da variável de interesse. A Figura 4.3. apresenta um dos diagramas mais utilizados nesse aplicativo, sejam a batimetria da seção e a composição dos perfis verticais de velocidade ao longo de uma medição em Porto Velho, enquanto que na Figura 4.4. se observa a configuração dos vetores da velocidade média (módulo e direção) em relação a trajetória da embarcação (praticamente transversal ao escoamento) durante a medição da descarga líquida e na Figura 4.5. um exemplo da intensidade do sinal para os quatro feixes do ADCP em uma vertical dessa medição. O WinRiver permite exportar todos os dados da medição em formato ASCII.

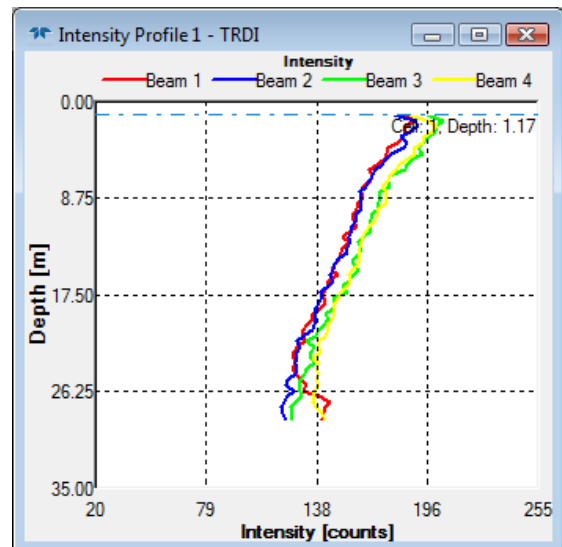
**Figura 4.3.**  
**Medição da Descarga Líquida com ADCP que Permite Visualizar a Batimetria da Seção e a Composição dos Perfis Verticais de Velocidade ao Longo da Medição**



**Figura 4.4.**  
**Configuração dos Vetores da Velocidade Média em Relação a Trajetória do Barco Durante a Medição com ADCP**



**Figura 4.5.**  
**Intensidade do Sinal para os Quatro Feixes em Uma Vertical da Medição**

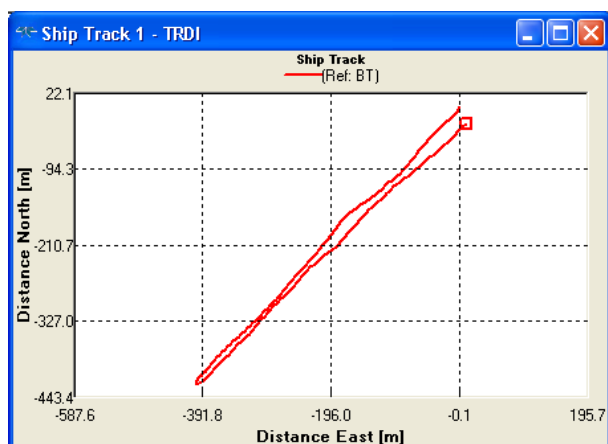


Para aumentar a precisão das medições de descarga líquida com o ADCP é necessário que o mesmo trabalhe acoplado a um equipamento de posicionamento via satélite (comumente denominado GPS). Neste sentido foi realizada a avaliação das medições de ADCP utilizando um GPS (manual) e um DGPS (GPS com correção diferencial).

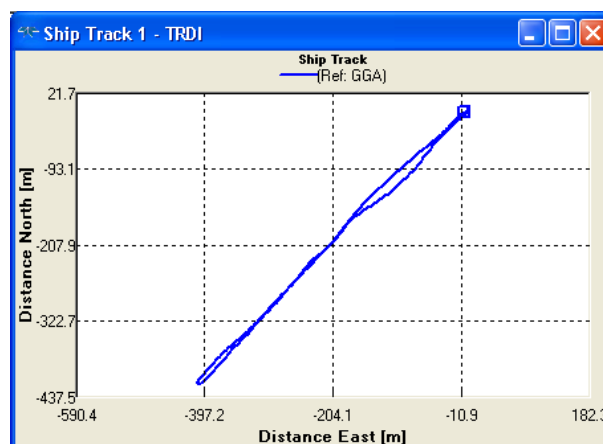
Um dos testes utilizou o DGPS de forma acoplada ao ADCP para avaliar o fenômeno de leito móvel do rio Madeira em Abunã (foi realizada uma ida e volta até a margem oposta do rio sem desligar o equipamento, caracterizando apenas 1 travessia). Na Figura 4.6. se observa a trajetória do barco usando o “*bottom tracking*” como Referência, ou seja, a medição usa como referência o leito do rio. Na Figura 4.7. se observa a trajetória do barco usando como referência o DGPS.

Verifica-se na Figura 4.6. que os pontos de início e fim da medição são diferentes, o que caracteriza a presença de leito móvel devido à dificuldade do ADCP para reconhecer o fundo do rio. Na Figura 4.7. os pontos de início e fim da medição os pontos são coincidentes. Desta forma, determinou-se que as medições de descarga líquida com o uso de ADCP seriam normalmente realizadas a partir de 3 ou mais travessias, com o uso de DGPS acoplado (excepcionalmente pode utilizar-se o GPS manual), de forma a evitar os problemas de fundo móvel.

**Figura 4.6.**  
**Trajétoria do Barco Utilizando o “bottom track” como Referência**

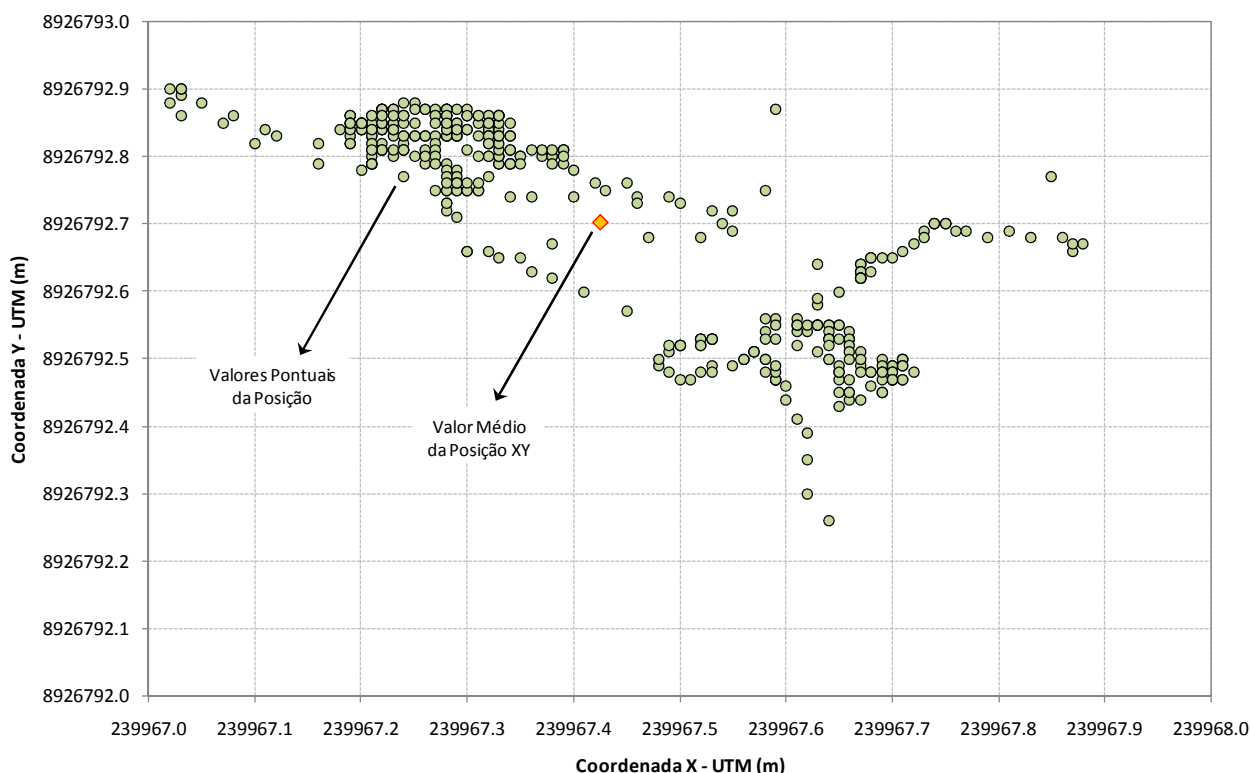


**Figura 4.7.**  
**Trajétoria do Barco Utilizando o DGPS como Referência**



Também, rotinamente, é realizado um teste para validar a confiabilidade da correção diferencial do GPS (sinal OMNISTAR) a partir da avaliação da dispersão das coordenadas fornecidas pelo DGPS. Na Figura 4.8. se observa um exemplo de avaliação realizado na estação fluviométrica de Abunã. O equipamento foi fixado num local por 10 minutos e foram levantados 416 conjuntos de dados de Latitude e Longitude, perfazendo um erro quadrático médio de 0,25m.

**Figura 4.8.**  
**Dispersão dos Dados Fornecidos pelo DGPS em Abunã**



#### 4.1.4. Medições da Descarga Sólida

A realização de medições diretas da carga de sedimentos do leito no rio Madeira não foi possível devido às grandes profundidades e altas velocidades verificadas. Nessas condições o equipamento de medida da carga do leito, colocado no fundo do curso d'água, ficaria em posição instável devido ao empuxo no cabo. Por outro lado este tipo de equipamento representa um corpo estranho que modifica as condições locais, desviando as correntes e alterando a descarga do leito.

Em vista disso foi estabelecido que as medições de descarga sólida fossem feitas pelo método indireto, que consiste em fazer amostragens dos sedimentos em suspensão e do leito, analisar as amostras para determinação da concentração e da granulometria dos sedimentos em suspensão e granulometria dos sedimentos do leito, além da medida da descarga líquida instantânea no momento da amostragem. Os resultados são obtidos por cálculos através de fórmulas conhecidas e de uso tradicional.

De acordo com as normas, as coletas dos sedimentos em suspensão foram realizadas com o amostrador de saca, AMS-8 (Figura 4.9.), de fabricação nacional, que possibilita a obtenção da amostra em toda a vertical em profundidade elevada pelo método de integração na vertical. Já para a amostragem de sedimentos do rio Jaciparaná está sendo utilizado o amostrador de sedimentos em suspensão D-49 (Figura 4.10.).

**Figura 4.9.**  
**Amostrador de Sedimento em**  
**Suspensão Tipo AMS-8 (Saca)**



**Figura 4.10.**  
**Amostrador de Sedimento em**  
**Suspensão D-49**



Nas medições foi utilizado o processo de igual incremento de largura (IIL), sendo 20 verticais para a medida da descarga líquida, entre 9 e 12 verticais para a amostragem de sedimentos em suspensão e 5 ou 6 verticais para amostragem do material do leito.

Considerando que o processo permite a análise de uma só amostra composta pelas sub-amostras de água e sedimentos das diversas verticais, o material em suspensão foi colocado adequadamente, no momento da amostragem, em pequenos tambores de plástico para remessa ao laboratório. De acordo com os critérios de quantidade de amostra para análise, em condições de águas altas com sedimentos com grande concentração de partículas, somente um litro ou pouco mais seria suficiente para os procedimentos. No entanto, devido ao processo de coleta com amostrador de saca, a amostra total variou de 15 a 20 litros, cujo volume completo foi enviado ao laboratório.

Todas as amostras foram etiquetadas com a data, nome do rio, do local, do processo de coleta, nome do hidrometrista e outras informações.

#### 4.1.5. Determinação da Descarga Sólida em Suspensão

A descarga sólida em suspensão medida pelo amostrador de sedimentos é sempre inferior à descarga sólida em suspensão total, uma vez que o amostrador, durante o procedimento de amostragem de sedimentos em suspensão nas diversas verticais pelo método IIL (Igual Incremento de Largura), não alcança toda a profundidade do curso d'água. A descarga em suspensão não medida corresponde à distância do bico do amostrador ao fundo do rio, que normalmente compreende 0,3 a 0,4m.

Essa descarga sólida em suspensão medida é calculada pela seguinte expressão:

$$Q_{ss} = 0,0864. Q.C$$

sendo,

$Q_{ss}$  = descarga sólida em suspensão medida, em t/dia,

$Q$  = descarga líquida, em  $m^3/s$ ,

$C$  = concentração medida, em mg/l,

0,0864 = constante de transformação de unidades.

#### 4.1.6. Determinação da Descarga Sólida Total

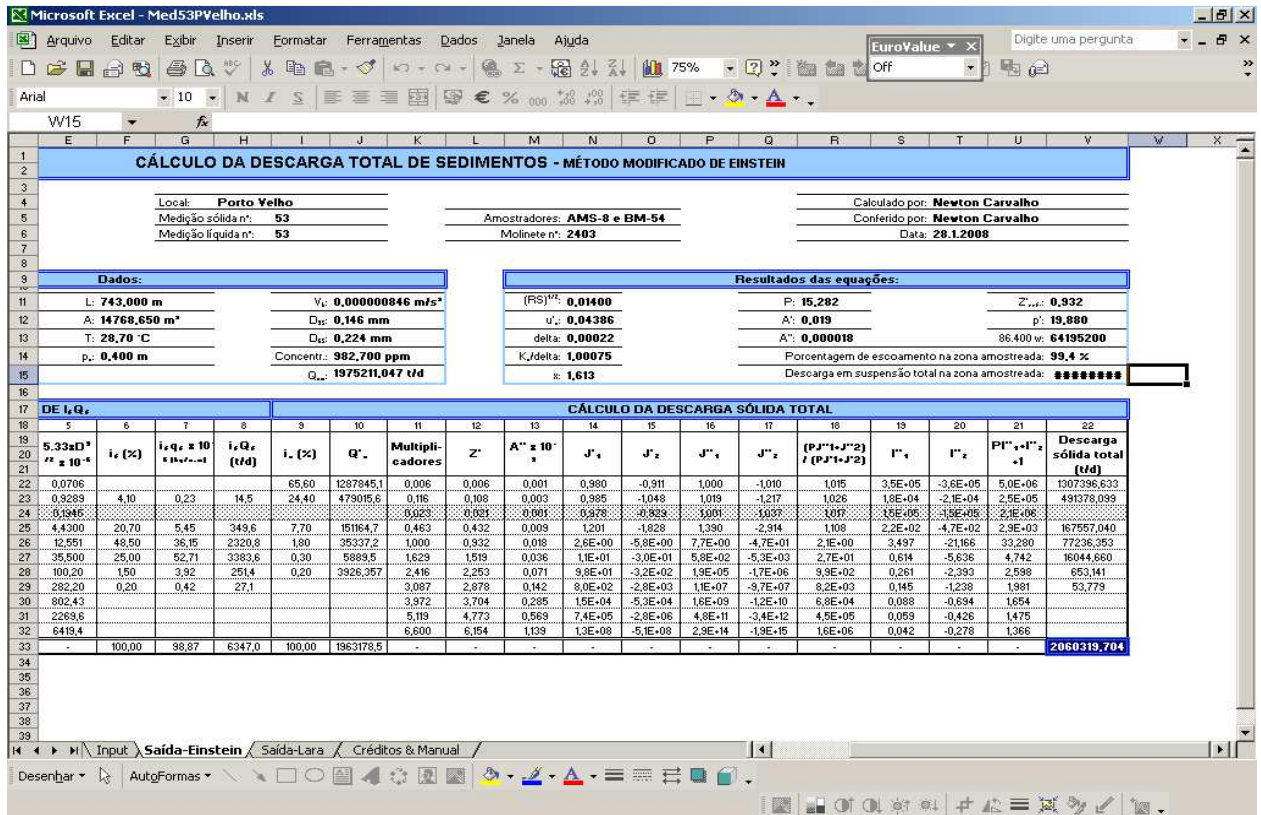
A descarga sólida total foi calculada pelo Método Modificado de Einstein (método de Einstein modificado por Colby & Hembree - 1955) considerando duas alternativas de procedimentos: *Saída Einstein*, segundo o critério do Serviço Geológico dos Estados Unidos (USGS), e *Saída Lara*, de acordo com o processo do US Bureau of Reclamation (USBR). Os resultados conduzem a valores próximos, tendo sido selecionado o método do USGS, por ser mais tradicional.

Os cálculos foram realizados mediante a utilização de um programa computacional desenvolvido por Mendes (2001), preparado segundo as instruções contidas em publicações do USGS e do USBR. A Figura 4.11. apresenta um exemplo da planilha de saída deste programa. O processo calcula a descarga sólida em suspensão medida ( $Q_{sm}$ ), apresentada no quadro de *Dados*; a descarga sólida total ( $Q_{st}$ ), apresentada na parte inferior da coluna 22; a descarga sólida total de cada faixa granulométrica nas linhas da coluna 22; e a descarga de arrasto na parte inferior da coluna 7 de  $i_f Q_f$ .

O método original de Einstein utiliza um expoente  $Z$  para o cálculo da distribuição granulométrica dos sedimentos numa vertical, considerando amostragens pontuais. O método modificado de Einstein foi desenvolvido para amostragens por integração na vertical, tendo sido, então, adotado um expoente  $Z'$  em substituição ao expoente original.

O expoente  $Z'$  do método modificado é obtido a partir do diâmetro de sedimento considerado como referência, sendo os demais valores obtidos a partir de multiplicadores tabelados e plotados em gráficos. Para partículas muito finas (como areia fina, silte e argila) esses valores são normalmente muito baixos. No programa utilizado a escolha de uma faixa de referência, que é função de  $Z'$ , muitas vezes provoca incoerência matemática, resultando em erro nos cálculos da descarga sólida total, apresentando um valor da descarga total menor do que a descarga em suspensão medida. Assim ressalta-se que a escolha do diâmetro de referência é um ponto fundamental no uso deste programa.

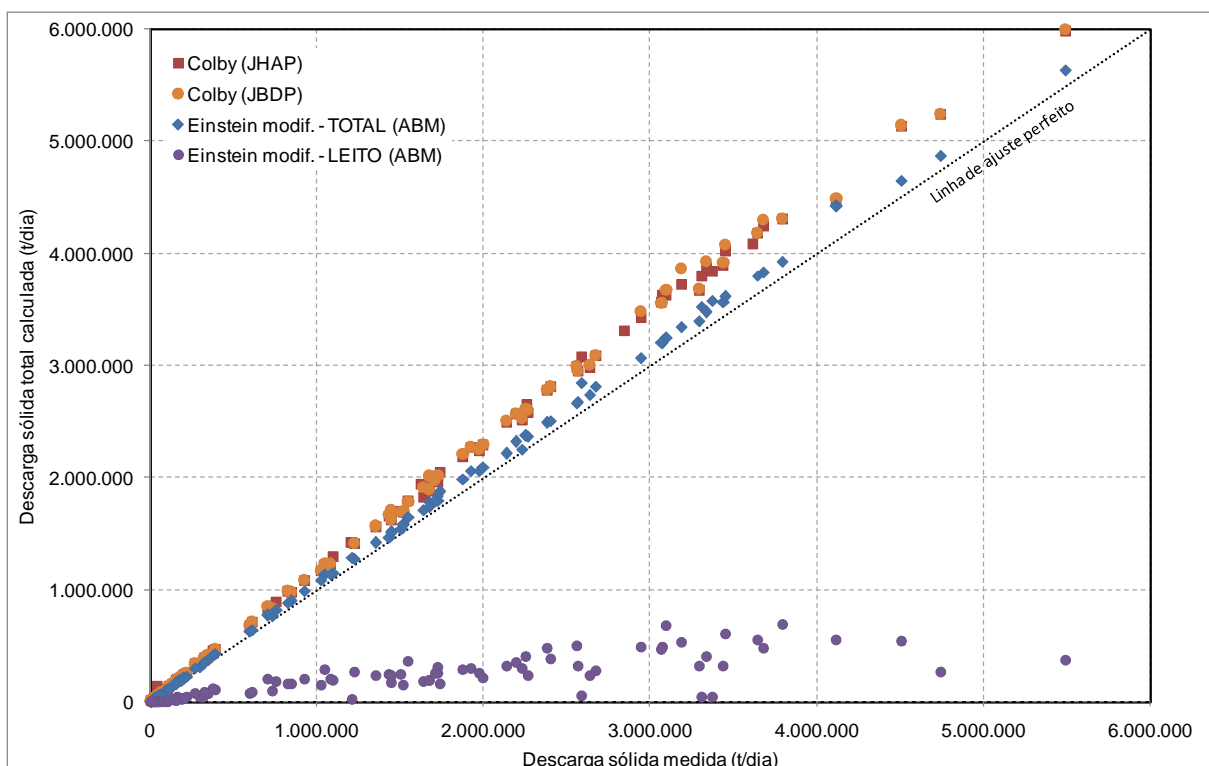
Figura 4.11.  
Exemplo de Cálculo da Descarga Sólida Total de Sedimentos Segundo o Método Modificado de Einstein



Aos efeitos de avaliar o desempenho da fórmula de Einstein modificada por Colby e Hembree (Colby & Hembree, 1955) foi realizado um estudo de consistência da mesma. Para isto, a descarga sólida total foi estimada mediante a fórmula de Colby - 1957 (implementada nos programas de Jorge Henrique Alves Prodanoff (JHAP) e de João Batista Dias de Paiva (JBPD)) e a fórmula de Einstein modificada (implementada no programa de Anderson Braga Mendes (ABM)). Os resultados obtidos na aplicação destas três expressões foi consistente, como se observa na Figura 4.12, com resultados semelhantes para a fórmula de Colby e levemente inferiores para a fórmula de Einstein modificada.

A Figura 4.12. mostra a descarga sólida calculada (segundo as diferentes fórmulas) no eixo de ordenadas *versus* a descarga sólida em suspensão (descarga medida) no eixo de abscissas. As pequenas diferenças observadas em relação à linha de ajuste perfeito (linha tracejada a 45°) são atribuídas ao fato de que a descarga sólida medida não contemplar a camada mais próxima ao leito (0,20 - 0,30 m) nem a descarga sólida de arrasto, além da dispersão intrínseca do processo hidrossedimentológico. Conclui-se, desta forma, que a fórmula de Einstein modificada apresenta um ótimo ajuste aos dados observados no rio Madeira em Porto Velho.

**Figura 4.12.**  
**Avaliação da Descarga Sólida Total Calculada Mediante a Fórmula de Einstein Modificada em relação à Descarga Sólida em Suspensão em Porto Velho**



#### 4.1.7. Medições de Sedimentos do Leito

Segundo a literatura (Julien, 1995; Carvalho *et al.*, 2000), um dos equipamentos mais adequados para operar à grandes profundidades e com elevadas velocidades é o modelo US BM-54, do tipo de penetração vertical (Figura 4.13.). Nos trabalhos desenvolvidos pela PCE os sedimentos do leito foram coletados com o amostrador BM-54 que possibilita obter uma amostra da superfície do material do leito em quantidade e profundidade adequadas.

Além deste amostrador, em algumas ocasiões especiais foi utilizado um outro tipo de amostrador, de construção simples, do tipo de raspagem horizontal. Este equipamento é constituído por um cilindro de ferro fundido de ~ 0,39 m de comprimento e 0,10 m de diâmetro, com bordas cortantes, com peso total de ~15 kg e capacidade de coleta de material de 7,5 kg. Na parte posterior do amostrador há uma sacola de tecido que deixa passar a água e armazena o material coletado. A sacola é presa ao amostrador por meio de braçadeiras (Figura 4.14.).

As coordenadas dos locais de amostragem foram gravadas no GPS durante o procedimento de amostragem ou imediatamente após a finalização do mesmo, utilizando coordenadas UTM e *Datum* WGS 1984.



**Figura 4.13.**  
**Amostrador de Sedimentos do Leito**  
**Modelo US BM-54**



**Figura 4.14.**  
**Amostrador de Sedimentos do Leito do**  
**Tipo de Raspagem Horizontal**



As amostras individuais de cada vertical de material do leito foram acondicionadas em sacos plásticos para remessa ao laboratório, totalizando cerca de 2 kg de material. Todas as amostras foram etiquetadas com a data, nome do rio, local de amostragem, número da vertical, processo de coleta e outras informações, e encaminhadas para o laboratório.

#### 4.1.8. Distribuição Granulométrica do Material do Leito

A determinação da distribuição granulométrica dos sedimentos do leito foi realizada com o método de peneiramento a seco, mediante a agitação mecânica e manual da série de peneiras com malhas padronizadas.

Os resultados das análises granulométricas são apresentados pelas porcentagens de material dos diversos diâmetros, para os quais são traçadas as curvas granulométricas. Nas curvas granulométricas de material do leito, podem ser assinaladas as porcentagens de diâmetros característicos para 16, 50, 84 e 90%, que são denominados de  $d_{16}$ ,  $d_{50}$ ,  $d_{84}$  e  $d_{90}$ , respectivamente.

Adicionalmente ao trabalho de amostragem que acontece regularmente nas estações fluviométricas destaca-se que entre 23 de março e 23 de junho de 2009 realizou-se a coleta de material do leito para análise granulométrica para fornecer suporte à modelagem hidrossedimentológica uni-dimensional. Como resultado desse trabalho foi emitido em Outubro de 2009 o Relatório PJ 0697-X-H41-GR-ED-103-1A que descreve a coleta e análise granulométrica de 104 amostras de sedimentos no rio Madeira entre Jusante Caldeirão do Inferno e Humaitá e 19 amostras nos rios afluentes do rio Madeira: rios Jaciparaná, São Francisco, Branco e Caracol.

## **4.2. ANÁLISES DE LABORATÓRIO**

Cada amostra recebida pelo laboratório foi catalogada em livro especial e em meio magnético. Em seguida foi pesada e depois armazenada em local apropriado para posterior análise.

Para o material em suspensão, considerado como sedimento fino, as análises foram realizadas pelo processo de pipetagem ou do tubo de remoção pela base, de acordo com o valor da concentração de sedimentos na amostra. O procedimento nos dois processos exigia a retirada preliminar de areia presente na amostra com uso de peneiras de 5 cm de diâmetro e a pesagem desse material a fim de compor a curva granulométrica.

O material do leito foi analisado pelo processo de peneiramento. O material resultante da peneira mais fina foi analisado por pipetagem, pelo tubo de remoção pela base ou por densitometria, dependendo do peso do resíduo. Pouco material, de 0,150 a 5 g, foi analisado com o tubo de remoção pela base, de 5 a 10 g por pipetagem. Quantidades de 30 a 50 g foram analisadas pelo processo de proveta com densímetro.

## **4.3. CONSISTÊNCIA DE DADOS**

### **4.3.1. Medições da Descarga Sólida**

Os erros nos resultados das medições da descarga sólida ocorrem geralmente devido ao uso de amostrador inadequado, erros na amostragem, na análise de laboratório, descarga líquida mal medida ou mal calculada, erros de digitação, entre outros.

Mesmo com a realização criteriosa das medições, na literatura consta que o erro médio esperado é de 10% no resultado da descarga sólida em suspensão e 25% na descarga sólida do leito ou do material do leito (Yuqian, 1983).

A análise de consistência de dados sedimentométricos exige grande quantidade de medições para se chegar a resultado adequado. Devido à irregularidade da carga sólida nos cursos d'água, com grandes variações a cada momento, é recomendável uma boa quantidade de dados, com a maior frequência de medições possível. Além disso, as medições devem ser executadas com o máximo cuidado, seguindo os critérios estabelecidos em normas, tais como:

- Designar técnicos experientes para compor as equipes de campo e laboratório;
- Efetuar a medição da descarga líquida de maneira correta seguindo as normas;
- Utilizar o equipamento adequado às condições locais de profundidades e velocidades considerando o método de medição escolhido;
- Obedecer aos métodos de amostragem e coletar quantidade de material adequado às análises que deverão ser efetuadas;
- Ter o máximo cuidado com as amostras e etiquetá-las adequadamente;
- Efetuar as análises de acordo com os métodos estabelecidos;
- Escolher métodos adequados de cálculos;
- Garantir a digitação dos dados sem erros.

Com os resultados é possível efetuar análises gráficas para verificar a qualidade das medições. Uma das análises é feita na observação dos pontos plotados na curva-chave de sedimentos em escala logarítmica. No caso de haver pontos muito dispersos, procura-se analisar os resultados de concentração, de granulometria, etc., antes de descartar a medição.

Por outro lado, valores dispersos de níveis altos podem indicar ajustes diferentes no período de subida ou descida dos hidrogramas. Neste sentido, um dos procedimentos adotados para avaliar a consistência das análises laboratoriais consistiu na re-amostragem dos sedimentos em suspensão durante as medições. Isto é, sazonalmente, em cada estação fluviométrica, foi realizada uma amostragem dos sedimentos em suspensão por duplicado, estando associadas as duas amostras à mesma medição de descarga líquida.

Os procedimentos de campo, de laboratório e de cálculos nas medições foram efetuados observando os critérios citados, sempre com a mesma equipe e equipamentos, e com o acompanhamento de profissionais especializados.

#### 4.3.2. Medições da Descarga Líquida com ADCP

As medições de vazão com equipamentos de efeito Doppler apresentam numerosas vantagens técnicas em relação às medições convencionais, mas também representam um desafio já que é necessário um adequado conhecimento técnico e operacional para avaliar as mesmas. As principais diretrizes levadas em consideração para garantir o bom desempenho durante as medições e no processamento das informações são as seguintes:

- uma medição é válida quando, pelo menos, 50% da vazão foi medida pelo equipamento (lembrar que existem camadas próximas ao leito, à superfície e nas margens que não são medidas, são estimadas),
- o número total de *bad ensembles* e *lost ensembles* não deve superar o 10% do total de *ensembles* da medição já que estes vazios são calculados por extrapolação das verticais próximas,
- recomenda-se que a quantidade de travessias realizada durante os trabalhos de campo seja em números pares (para evitar tendências nos resultados das medições que começaram em uma ou outra margem),
- uma travessia considera-se adequada quando a variação de vazão em relação ao valor médio da medição (média de todas as travessias) é menor que 5%. O programa de aquisição e processamento de dados do equipamento, o *WinRiver*, auxilia ao usuário na identificação de travessias com este problema colorindo as mesmas em vermelho,
- recomenda-se que a trajetória da embarcação durante as diferentes travessias seja a mesma,
- o valor médio das principais magnitudes deve ser semelhante durante as diferentes travessias, para assegurar a uniformidade dos resultados,
- devem evitar-se as variações acentuadas na velocidade da embarcação.

## **5. RESULTADOS DAS MEDIÇÕES DE DESCARGA LÍQUIDA**

Neste item, apresenta-se o resumo dos resultados das medições de descarga líquida executadas pela PCE nas seis estações fluviométricas descritas na tabela 2.1. Todas as medições foram realizadas com o uso do molinete. Após a aquisição do ADCP, este passou a ser utilizado em paralelo à medição convencional com molinete.

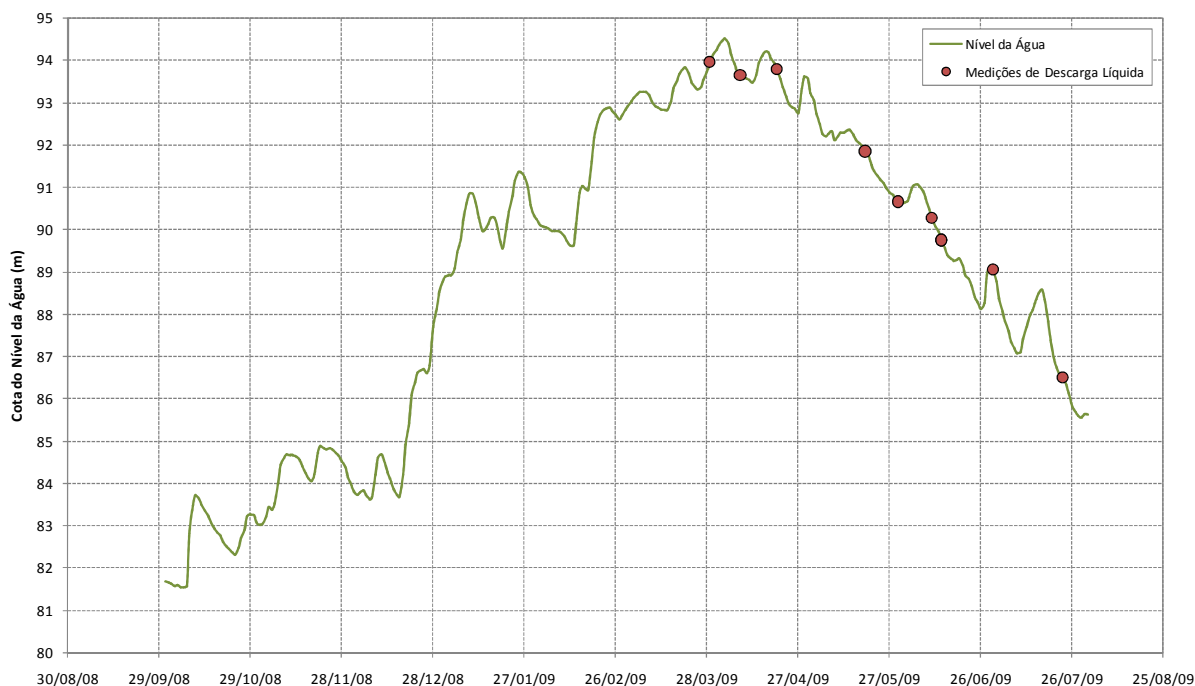
## 5.1. MEDIÇÕES CONVENCIONAIS DE DESCARGA LÍQUIDA

As medições convencionais de descarga líquida foram realizadas com molinete hidrométrico, conforme metodologia descrita no item Procedimentos e Consistência dos Dados. No período março à julho de 2009 foram realizadas 46 medições convencionais, cujos resumos são apresentados a seguir.

### 5.1.1. Abunã

Na estação fluviométrica de Abunã foram realizadas oito medições de março à julho de 2009 (Figura 5.1.), sendo o resumo das mesmas apresentado na Tabela 5.1. A Figura 5.2. apresenta estas medições plotadas na curva-chave de descarga líquida da estação conjuntamente com os dados medidos por CNO/FURNAS no período 2003-2007. Adicionalmente, na mesma figura, estão presentes os dados obtidos a partir das medições realizadas com ADCP.

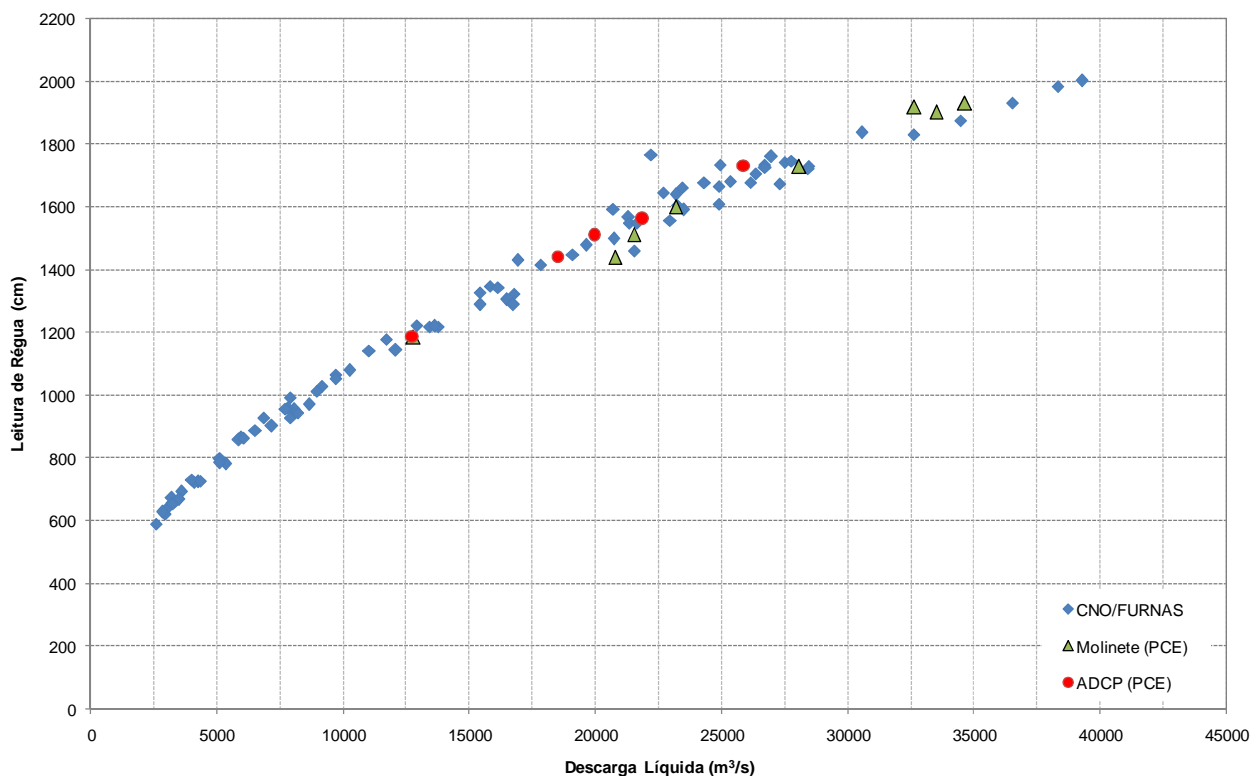
**Figura 5.1.**  
**Cotograma da Estação Fluviométrica de Abunã e Distribuição Temporal das Medições de Descarga Líquida**



**Tabela 5.1.**  
**Resumo das Medições Convencionais de Descarga Líquida em Abunã**

Número da medição	Data	Leitura da Régua (m)	Largura (m)	Área da seção (m <sup>2</sup> )	Prof. média (m)	Vel. Média (m/s)	Descarga Líquida (m <sup>3</sup> /s)
1	29/3/2009	19,30	639,88	14.346,26	22,42	2,14	34.624,09
2	8/4/2009	19,02	644,94	15.096,15	23,41	2,22	33.496,11
3	20/4/2009	19,17	637,83	15.049,14	23,59	2,17	32.633,41
4	19/5/2009	17,29	630,21	13.781,15	21,87	2,04	28.079,13
5	30/5/2009	15,99	638,79	13.049,82	20,43	1,78	23.171,18
6	13/6/2009	15,09	624,98	12.487,47	19,98	1,72	21.529,24
7	30/6/2009	14,38	617,82	11.871,03	19,21	1,75	20.761,95
8	23/7/2009	11,84	607,32	10.027,59	16,51	1,27	12.760,34

**Figura 5.2.**  
**Medições de Descarga Líquida em Abunã**



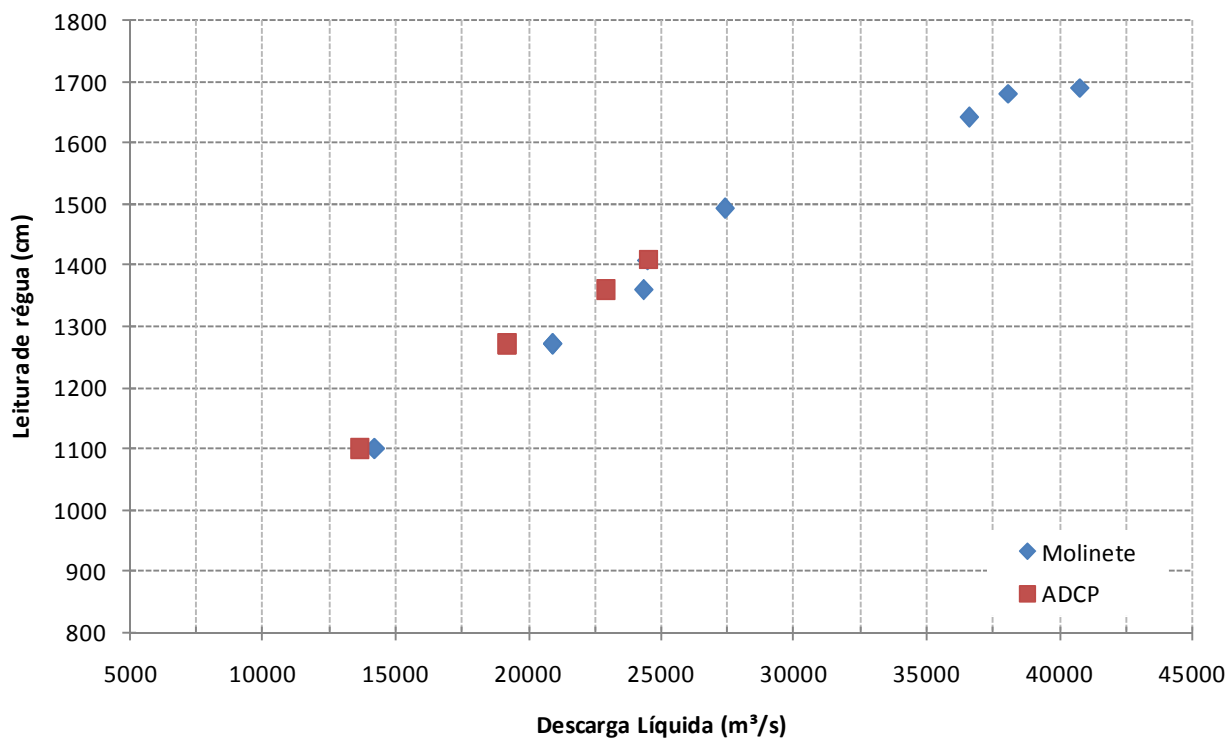
### 5.1.2. Jusante Caldeirão do Inferno

No período em estudo foram realizadas oito medições na estação fluviométrica Jusante do Caldeirão do Inferno, sendo o resumo das mesmas apresentado na Tabela 5.2. A Figura 5.3 apresenta o gráfico com a relação entre a leitura de régua e descarga líquida desta estação.

**Tabela 5.2.**  
**Resumo das Medições Convencionais de Descarga Líquida  
em Jusante Caldeirão do Inferno**

Número da medição	Data	Leitura da Régua (m)	Largura (m)	Área da seção (m <sup>2</sup> )	Prof. média (m)	Vel. Média (m/s)	Descarga Líquida (m <sup>3</sup> /s)
1	1/4/2009	16,91	1.270,46	21.776,11	17,14	1,87	40.775,29
2	9/4/2009	16,42	1.271,86	21.373,31	16,80	1,71	36.591,99
3	18/4/2009	16,81	1.278,26	21.139,90	16,54	1,80	38.081,02
4	20/5/2009	14,93	1.254,52	19.232,30	15,33	1,43	27.422,77
5	29/5/2009	14,08	1.252,00	17.431,69	13,92	1,41	24.510,88
6	11/6/2009	13,60	1.246,59	17.390,01	13,95	1,40	24.362,20
7	29/6/2009	12,71	1.243,35	16.123,20	12,97	1,30	20.891,73
8	21/7/2009	11,00	1.260,10	14.315,91	11,36	0,99	14.234,10

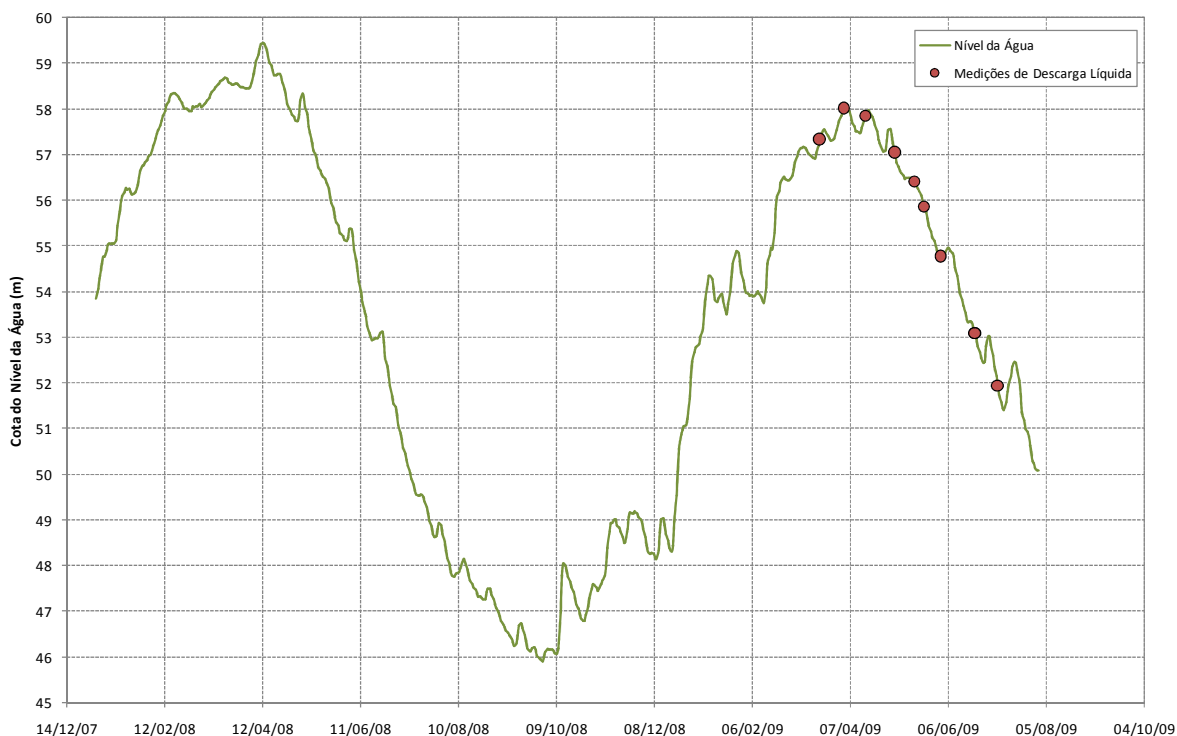
**Figura 5.3.**  
**Medições de Descarga Líquida em Jusante Caldeirão do Inferno**



### 5.1.3. Porto Velho

Na estação fluviométrica de Porto Velho foram realizadas oito medições de descarga líquida com molinete no período em estudo, conforme se visualiza na Figura 5.4., sendo o resumo apresentado na Tabela 5.3. As medições de descarga líquida realizadas durante 2009 se observam na curva-chave da estação conjuntamente com os dados medidos por CNO/FURNAS (Figura 5.5.).

**Figura 5.4.**  
**Cotograma da Estação Fluviométrica de Porto Velho e Distribuição Temporal das Medições de Descarga Líquida**

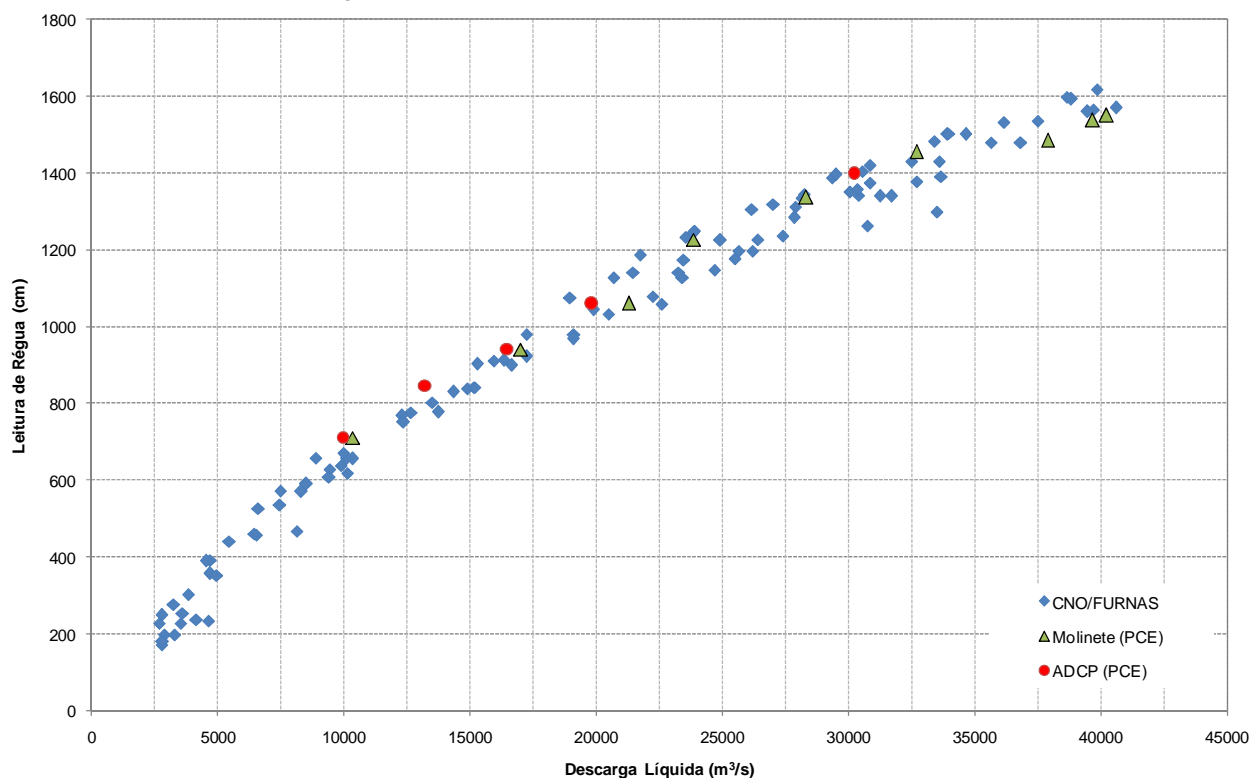


**Tabela 5.3.**  
**Resumo das Medições Convencionais de Descarga Líquida em Porto Velho**

Número da medição	Data	Leitura da Régua (m)	Largura (m)	Área da seção (m <sup>2</sup> )	Prof. Média (m)	Vel. Média (m/s)	Descarga Líquida (m <sup>3</sup> /s)
1	19/3/2009	14,84	757,07	17.091,84	22,58	2,22	37.877,20
2	3/4/2009	15,51	755,26	17.345,05	22,97	2,32	40.196,16
3	16/4/2009	15,38	756,96	17.488,44	23,10	2,27	39.655,70
4	4/5/2009	14,55	755,06	16.872,48	22,35	1,94	32.671,84
5	22/5/2009	13,37	751,07	15.950,83	21,24	1,77	28.287,32
6	1/6/2009	12,27	741,19	15.086,85	20,35	1,58	23.865,73
7	22/6/2009	10,60	738,42	14.944,46	20,24	1,52	21.280,73
8	6/7/2009	9,41	733,98	14.088,98	19,20	1,21	16.979,65



**Figura 5.5.**  
**Medições de Descarga Líquida em Porto Velho**



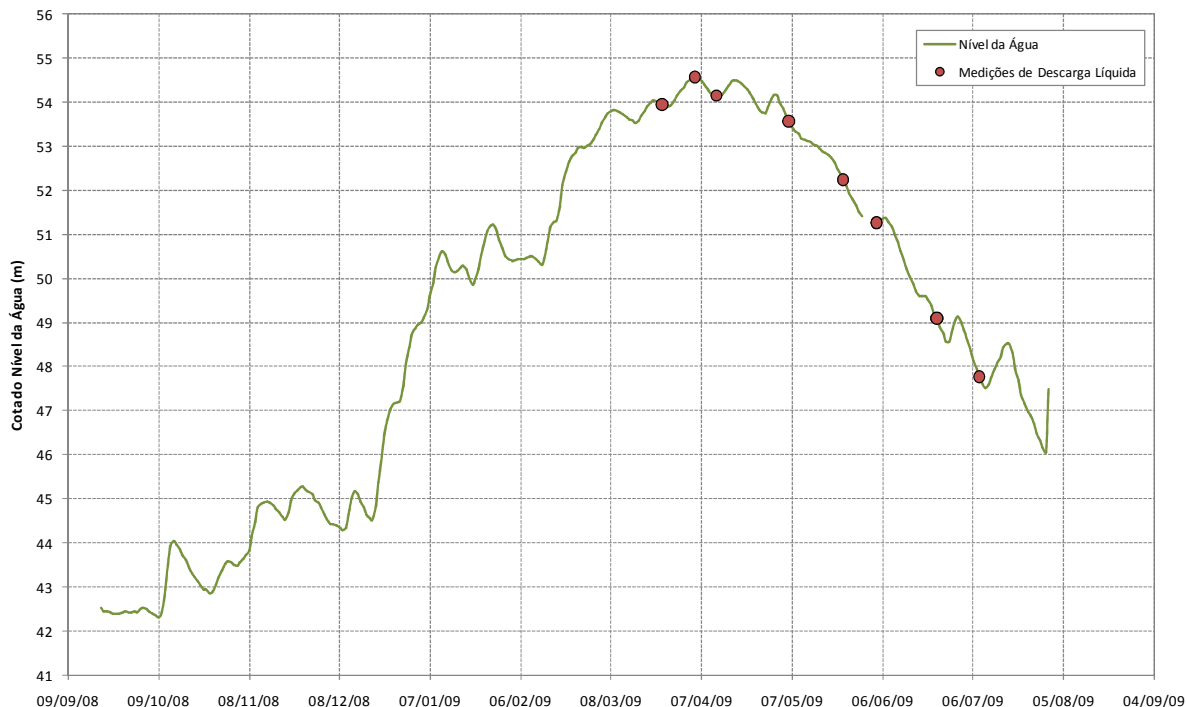
#### 5.1.4. São Carlos

No período avaliado neste relatório foram realizadas oito medições de descarga líquida com molinete na estação fluviométrica de São Carlos, com a distribuição temporal que se observa na Figura 5.6. sendo o resumo das mesmas apresentado na Tabela 5.4. O gráfico com estas medições de descarga líquida se observam na Figura 5.7.

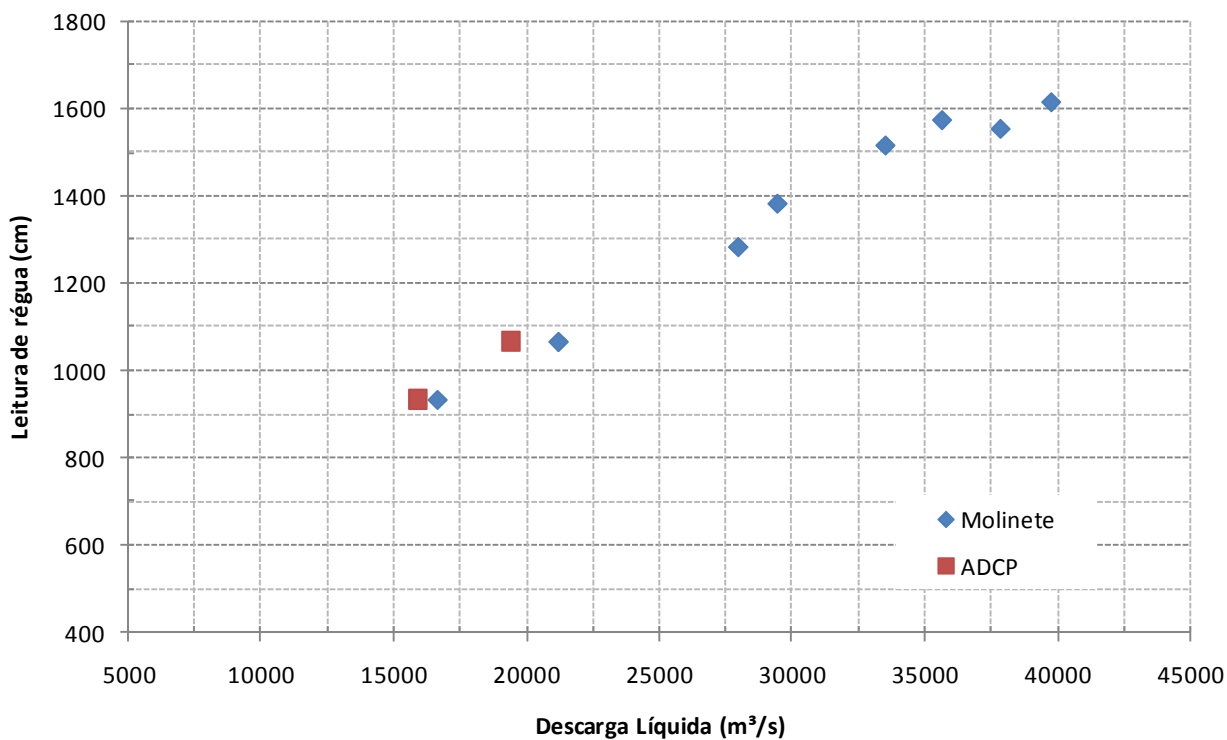
**Tabela 5.4.**  
**Resumo das Medições Convencionais de Descarga Líquida em São Carlos**

Número da medição	Data	Leitura da Régua (m)	Largura (m)	Área da seção (m <sup>2</sup> )	Prof. Média (m)	Vel. Média (m/s)	Descarga Líquida (m <sup>3</sup> /s)
1	25/3/2009	15,54	1.001,31	17.367,25	17,34	2,18	37.804,79
2	5/4/2009	16,15	1.005,00	18.474,73	18,38	2,15	39.712,15
3	12/4/2009	15,74	1.000,93	18.740,22	18,72	1,90	35.606,08
4	6/5/2009	15,16	997,50	17.059,19	17,10	1,96	33.479,78
5	24/5/2009	13,83	986,67	17.580,71	17,82	1,67	29.419,14
6	4/6/2009	12,84	985,53	16.830,17	17,08	1,66	27.949,26
7	24/6/2009	10,68	980,20	14.486,56	14,78	1,46	21.191,69
8	8/7/2009	9,35	978,90	13.330,09	13,62	1,25	16.647,90

**Figura 5.6.**  
**Cotograma da Estação Fluviométrica de São Carlos e Distribuição Temporal das**  
**Medições de Descarga Líquida**



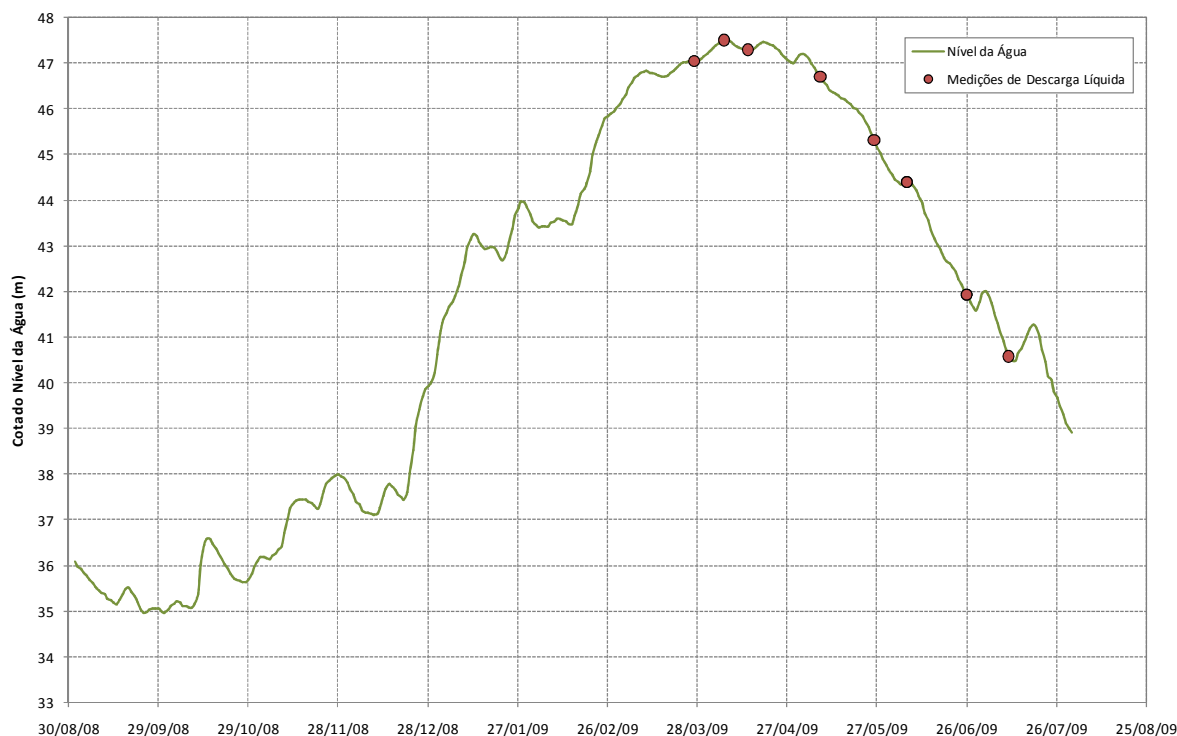
**Figura 5.7.**  
**Medições de Descarga Líquida em São Carlos**



### 5.1.5. Humaitá

Na estação fluviométrica de Humaitá foram realizadas oito medições no período em estudo, conforme apresentado na Figura 5.8, na qual foram também inseridas as medições realizadas pela ANA. O resumo destas medições consta na Tabela 5.5. O gráfico com as medições de descarga líquida e as leituras de régua associadas apresenta-se na Figura 5.9.

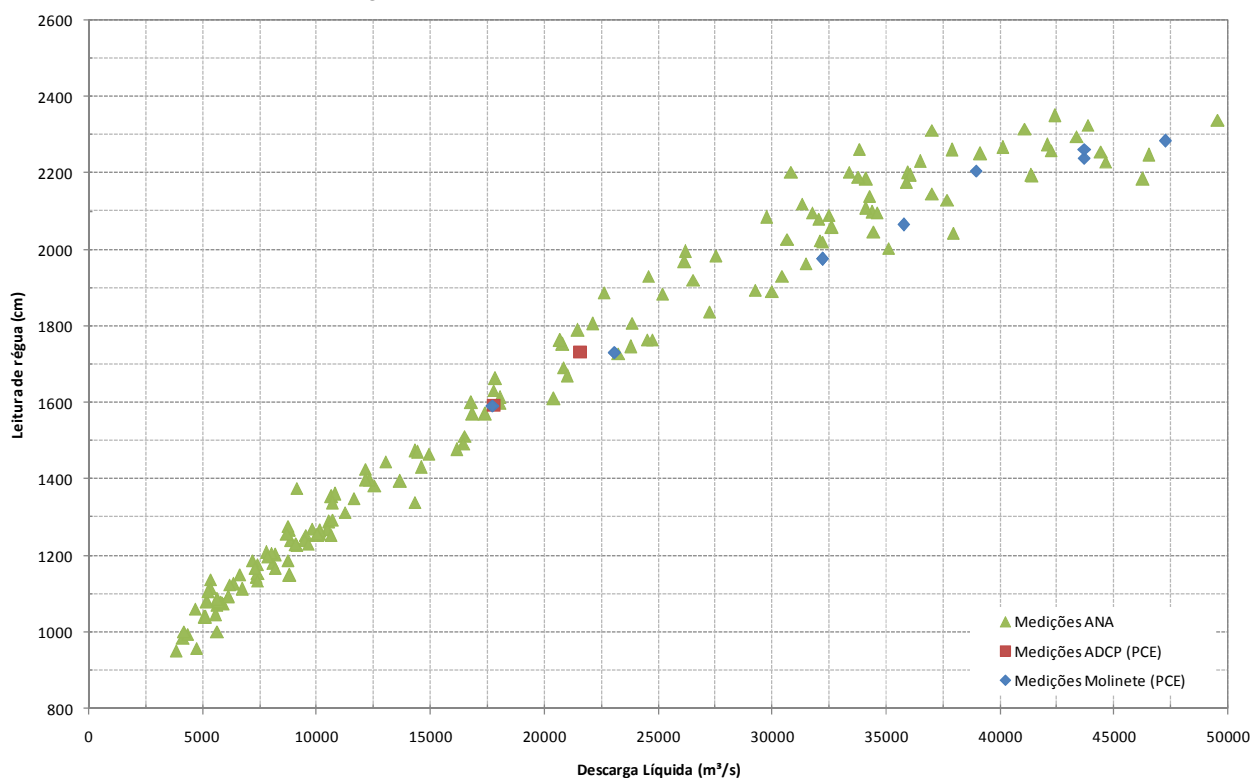
**Figura 5.8.**  
**Cotograma da Estação Fluviométrica de Humaitá e Distribuição Temporal das Medições de Descarga Líquida**



**Tabela 5.5.**  
**Resumo das Medições Convencionais de Descarga Líquida em Humaitá**

Número da medição	Data	Leitura da Régua (m)	Largura (m)	Área da seção (m <sup>2</sup> )	Prof. Média (m)	Vel. Média (m/s)	Descarga Líquida (m <sup>3</sup> /s)
1	27/3/2009	22,39	1.110,13	20.173,73	18,17	2,17	43.694,18
2	6/4/2009	22,84	1.107,13	21.628,57	19,54	2,19	47.257,92
3	14/4/2009	22,63	1.108,42	20.866,46	18,82	2,10	43.708,66
4	8/5/2009	22,06	1.108,27	20.705,90	18,68	1,88	38.938,71
5	26/5/2009	20,66	1.089,84	20.456,60	18,77	1,75	35.782,76
6	6/6/2009	19,76	1.089,94	18.771,05	17,22	1,71	32.185,97
7	26/6/2009	17,31	1.075,88	15.473,88	14,38	1,49	23.059,72
8	10/7/2009	15,93	1.056,12	14.133,33	13,38	1,25	17.736,29

**Figura 5.9.**  
**Medições de Descarga Líquida em Humaitá**

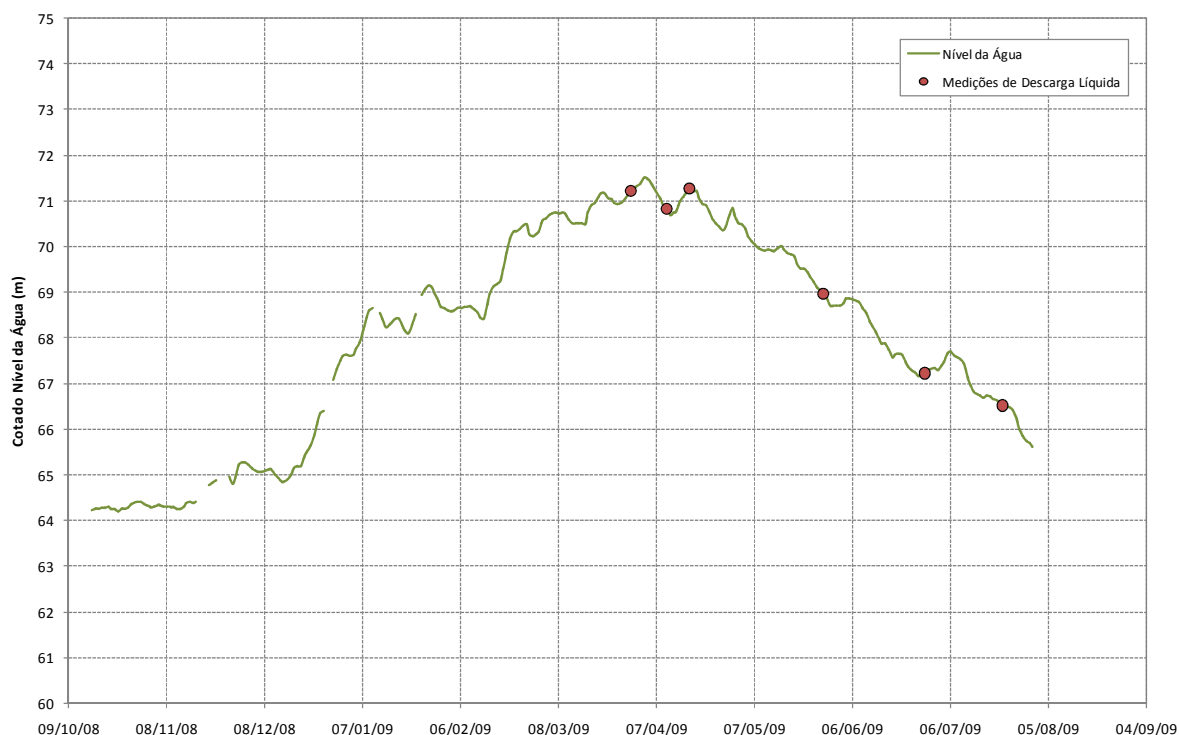


### 5.1.6. Jaciparaná

No período em estudo foram realizadas seis medições no rio Jacy-Paraná, conforme se observa na Figura 5.10. Inicialmente as medições foram realizadas na seção denominada S-03, originalmente implantada por FURNAS, a jusante da foz do rio Branco. Posteriormente, verificou-se que este local não abrangia a vazão afluente pelo rio São Francisco motivo pelo qual a seção de medição foi deslocada para a Vila Jaciparaná. Por se tratar de um trecho curvilíneo e com alta influência do efeito de remanso do rio Madeira, esta estação foi novamente deslocada para montante, e hoje a medição é realizada na seção de FURNAS denominada S-02.

Nas seções de medição S-03 e S-02 não existem lances de régua instalados, motivo pelo qual nos dias em que as medições são realizadas nestas seções é realizado um nivelamento topográfico para obtenção da cota do nível d'água a partir de um marco próximo. O resumo destas medições apresenta-se na Tabela 5.6.

**Figura 5.10.**  
**Cotograma da Estação Fluviométrica de Jaciparaná e Distribuição Temporal das**  
**Medições de Descarga Líquida**



**Tabela 5.6.**  
**Resumo das Medições Convencionais de Descarga Líquida em Jaciparaná**

Número da medição	Local da Medição	Data	Cota (m)	Leitura de Régua (m)	Largura (m)	Área da seção (m <sup>2</sup> )	Prof. média (m)	Vel. Média (m/s)	Descarga Líquida (m <sup>3</sup> /s)
1	S03	30/3/2009	72,69	-	103,39	648,80	6,28	0,9	577,66
2	S03	10/4/2009	72,28	-	113,03	612,90	5,42	0,8	489,83
3	VILA	17/4/2009	-	8,36	152,00	1.145,41	7,54	0,3	371,45
4	VILA	28/5/2009	-	6,01	150,34	847,21	5,64	0,5	450,19
5	S02	28/6/2009	67,65	-	109,13	412,65	3,78	0,7	271,48
6	S02	22/7/2009	66,57	-	108,68	298,14	2,74	1,0	286,64

## 5.2. MEDIÇÕES DE DESCARGA LÍQUIDA COM ADCP

A partir de meados de maio de 2009 as medições de descarga líquida ocorreram paralelamente com molinete hidrométrico e com o medidor acústico de efeito Doppler (ADCP), de forma que no período maio à julho de 2009 foram realizadas 18 medições com este equipamento.

Os resumos destas medições, para cada estação fluviométrica são apresentados a seguir (Tabela 5.7. a 5.11.), com destaque para as principais informações que caracterizam uma medição de ADCP:

- o número de travessias na seção (utilizado para promediar as demais variáveis),
- a vazão média total,
- o desvio médio,
- o erro médio calculado para cada medição,
- a vazão média efetivamente medida pelo ADCP,
- a área média,
- a velocidade média do escoamento, e
- a largura média da seção.

**Tabela 5.7.  
Resumo das Medições com ADCP em Abunã**

Data	Nº de Travessias	Vazão Total (m <sup>3</sup> /s)	Desvio Qtotal (m <sup>3</sup> /s)	Erro (%)	Vazão medida (m <sup>3</sup> /s)	Área (m <sup>2</sup> )	Velocidade média (m/s)	Largura (m)
19/05/09	6	25869,0	307,0	1,0	21934,2	14293,8	1,94	623,2
30/05/09	3	19191,9	506,5	3,0	16713,7	13639,2	1,49	632,0
10/06/09	4	21855,1	242,7	1,0	18487,4	13084,7	1,75	621,3
13/06/09	6	19967,2	452,5	2,0	16887,2	12972,9	1,56	619,8
30/06/09	8	18532,8	399,0	2,0	15640,7	12027,9	1,58	611,3
23/07/09	4	12738,9	238,2	2,0	10862,0	10800,1	1,21	591,8

Observação: a medição realizada em 30/05/2009 deve ser desconsiderada aos efeitos de cálculo da curva de descarga líquida com base no análise de consistência de dados.

**Tabela 5.8.  
Resumo das Medições com ADCP em Jusante Caldeirão do Inferno**

Data	Nº de Travessias	Vazão Total (m <sup>3</sup> /s)	Desvio Qtotal (m <sup>3</sup> /s)	Erro (%)	Vazão medida (m <sup>3</sup> /s)	Área (m <sup>2</sup> )	Velocidade média (m/s)	Largura (m)
29/05/09	2	24553,0	438,6	2,0	19973,4	18385,4	1,39	1242,5
11/06/09	4	22955,5	246,2	1,0	18699,8	17860,4	1,28	1247,5
29/06/09	6	19251,5	610,8	3,0	15666,4	16222,3	1,20	1218,1
21/07/09	5	13673,7	233,0	2,0	11035,4	14321,1	0,92	1240,9

Observação: a medição realizada em 29/05/2009 apresentou apenas duas travessias pois houve um problema na alimentação de energia do notebook. Ainda assim a medição considera-se válida.

**Tabela 5.9.  
Resumo das Medições com ADCP em Porto Velho**

Data	Nº de Travessias	Vazão Total (m <sup>3</sup> /s)	Desvio Qtotal (m <sup>3</sup> /s)	Erro (%)	Vazão medida (m <sup>3</sup> /s)	Área (m <sup>2</sup> )	Velocidade média (m/s)	Largura (m)
15/05/09	3	30253,7	236,8	1,0	26746,7	17591,8	1,85	747,5
22/06/09	4	19807,8	862,9	4,0	16874,1	15275,5	1,31	739,3
06/07/09	6	16460,1	111,1	1,0	14124,3	14309,9	1,11	732,6
24/07/09	6	13205,3	214,6	2,0	11210,2	16759,0	0,89	994,9

**Tabela 5.10.  
Resumo das Medições com ADCP em São Carlos**

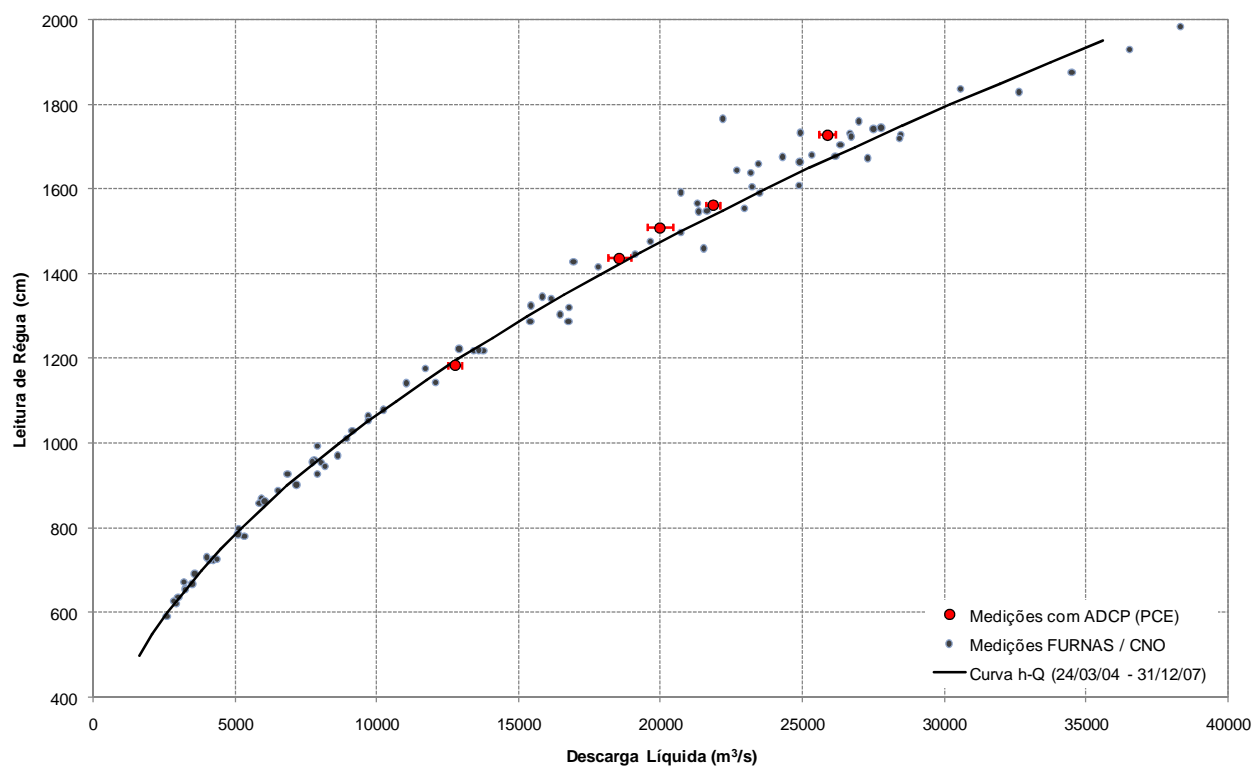
Data	Nº de Travessias	Vazão Total (m <sup>3</sup> /s)	Desvio Qtotal (m <sup>3</sup> /s)	Erro (%)	Vazão medida (m <sup>3</sup> /s)	Área (m <sup>2</sup> )	Velocidade média (m/s)	Largura (m)
24/06/09	6	19372,5	285,4	1,0	16107,1	15050,4	1,26	973,4
08/07/09	6	15928,6	298,6	2,0	13179,1	13784,2	1,10	966,1

**Tabela 5.11.  
Resumo das Medições com ADCP em Humaitá**

Data	Nº de Travessias	Vazão Total (m <sup>3</sup> /s)	Desvio Qtotal (m <sup>3</sup> /s)	Erro (%)	Vazão medida (m <sup>3</sup> /s)	Área (m <sup>2</sup> )	Velocidade média (m/s)	Largura (m)
26/06/09	6	21580,7	139,6	1,0	17990,8	16003,0	1,36	1073,1
10/07/09	6	17797,0	180,7	1,0	14639,4	14503,8	1,21	1053,6

Da observação das tabelas precedentes destaca-se que, independentemente da estação considerada, existe uma elevada precisão nos resultados obtidos. Isto se manifesta principalmente no valor do desvio médio e do erro médio associado a cada uma das medições. Na Figura 5.11. se visualiza, a modo de exemplo, as medições de ADCP na estação de Abunã, sendo que cada dado apresenta o desvio de vazão correspondente, verificando-se que esta dispersão é pequena em relação à dispersão natural da curva de descarga.

**Figura 5.11.**  
**Representação do Desvio da Vazão Associado a Cada Medição de ADCP em Abunã**





## **6. RESULTADOS DAS MEDIÇÕES DE DESCARGA SÓLIDA**

As amostras de sedimento em suspensão e do leito foram analisadas pelo Laboratório de Sedimentos da PCE em Porto Velho conforme descrito em itens anteriores. Após a finalização dos ensaios de cada amostra, os resultados foram enviados para o escritório da PCE no Rio de Janeiro, onde estes resultados foram analisados e posteriormente utilizados para o cálculo da descarga sólida em suspensão e da descarga sólida total, conforme descrito no item Procedimentos e Consistência dos Dados.

Como já fora apresentado anteriormente, sazonalmente foram executadas re-amostragens dos sedimentos em suspensão durante as medições. Estas re-amostragens tiveram como finalidade avaliar a consistência das análises laboratoriais. Para o cálculo da descarga sólida total pelo Método de Einstein Modificado, com a re-amostragem dos sedimentos em suspensão, foram assumidos os dados da descarga líquida e os dados da análise granulométrica dos sedimentos do leito amostrados no mesmo dia.

### **6.1. Resultados das Análises Laboratoriais**

A síntese dos resultados das análises granulométricas dos sedimentos em suspensão e dos sedimentos do leito para cada estação fluviométrica são apresentadas nas Tabelas 6.1. a 6.6. As planilhas com todos os dados utilizados durante os ensaios laboratoriais dos sedimentos em suspensão e do leito, para cada local e cada data de amostragem, estão disponíveis, respectivamente, nos ANEXOS III e IV.

**Programa de Levantamentos e Monitoramento Hidrossedimentológico  
do Rio Madeira e do Futuro Reservatório da UHE Santo Antônio**

**Tabela 6.1.  
Resumo das Análises do Sedimento em Suspensão e do Leito em Abunã**

No. Med.	Data	Material em suspensão						Material do leito										Observação	
		(%)					Conc. Total (ppm)	(%)						Coeficiente de Uniformidade (mm)					
		Argila	Silte	Ar.fina	Ar.med.	Ar.gros.		Argila	Silte	Ar.fina	Ar.med.	Ar.gros.	Pedreg	D 10%	D 35%	D 50%	D 65%		D 90%
0,0005 – 0,004	0,004 – 0,0625	0,0625 – 0,250	0,250 – 0,500	0,500 – 2,00	0,0005-0,004	0,004 – 0,0625	0,0625 – 0,250	0,250 – 0,500	0,500 – 2,00	2,00 – 64,00									
1	29/3/09	17,5	67,1	12,3	0,2	2,9	1014	0	1,5	18,8	62,8	16,8	0,1	0,174	0,302	0,357	0,406	0,629	
2	8/4/09	19,9	68,4	11,5	0,2	0	772,5	0	0,6	67,4	31,1	0,6	0,3	0,112	0,168	0,202	0,241	0,378	
3	20/4/09	19,2	62,4	18,2	0,1	0,1	840,1	0	2,2	74,3	21,4	1,8	0,3	0,082	0,145	0,175	0,214	0,357	
4	19/5/09	16,8	54,1	28,6	0,3	0,2	578,6	0	1,8	87,1	11	0,1	0	0,085	0,142	0,165	0,193	0,263	
5	30/5/09	23,6	44,2	31,9	0,3	0	411,3	0	0,7	80,2	18,4	0,7	0	0,097	0,152	0,177	0,204	0,320	
6	13/6/09	23,4	51,6	24,9	0,1	0	515,7	0	0,5	80,5	17,9	1,1	0	0,085	0,146	0,172	0,205	0,324	
Ream.	13/6/09	28,5	44,7	26,7	0,1	0	517,7	0	0,5	80,5	17,9	1,1	0	0,085	0,146	0,172	0,205	0,324	Re-amostragem dos sedimentos em suspensão
7	30/6/09	12,3	61,4	25,9	0,4	0	538,5	0,7	6,4	47,7	34,3	10,6	0,3	0,091	0,183	0,231	0,307	0,507	
8	23/7/09	20,1	57,9	21,7	0,1	0,2	342,2	0	0,3	82,1	11,8	4,7	1,1	0,132	0,165	0,187	0,210	0,346	

**Tabela 6.2.  
Resumo das Análises do Sedimento em Suspensão e do Leito em Jusante Caldeirão do Inferno**

No. Med.	Data	Material em suspensão						Material do leito										Observação	
		(%)					Conc. Total (ppm)	(%)						Coeficiente de Uniformidade (mm)					
		Argila	Silte	Ar.fina	Ar.med.	Ar.gros.		Argila	Silte	Ar.fina	Ar.med.	Ar.gros.	Pedreg	D 10%	D 35%	D 50%	D 65%		D 90%
0,0005 – 0,004	0,004 – 0,0625	0,0625 – 0,250	0,250 – 0,500	0,500 – 2,00	0,0005-0,004	0,004 – 0,0625	0,0625 – 0,250	0,250 – 0,500	0,500 – 2,00	2,00 – 64,00									
1	1/4/09	17,7	57,6	22,1	1,1	1,5	1181												Sem granulometria do leito
2	9/4/09	17,6	63,4	18,4	0,4	0,2	982,4	0	0,1	39,2	48	9,6	3,1	0,155	0,237	0,293	0,362	0,590	
3	18/4/09	12,5	64,6	21,8	0,8	0,3	992,3	0	0,2	42	34,4	13,6	9,8	0,149	0,223	0,294	0,396	1,937	
4	20/5/09	19,7	48,8	30,7	0,8	0	444,1	0	0,4	57,4	40,1	1,9	0,2	0,139	0,188	0,226	0,283	0,421	
5	29/5/09	10,2	54,0	35,1	0,7	0	413,9	0	0,2	51,8	46,9	0,9	0,2	0,139	0,199	0,244	0,303	0,433	
6	11/6/09	24,2	52,6	22,5	0,6	0,1	498,2	0	0,3	41,3	50,4	7,6	0,4	0,150	0,228	0,282	0,345	0,481	
Ream.	29/6/09	17,4	52,5	30,0	0,1	0	356,4	0	0,1	38,7	50	7,4	3,8	0,148	0,235	0,293	0,349	0,527	Re-amostragem dos sedimentos em suspensão
7	29/6/09	7,3	65,3	27,2	0,2	0	317,5	0	0,1	38,7	50	7,4	3,8	0,148	0,235	0,293	0,349	0,527	
8	21/7/09	27,9	47,6	24,3	0,2	0	295,1	1,4	11,4	35,4	41,8	8,2	1,8	0,044	0,193	0,263	0,330	0,500	

**Observação:** a amostragem de sedimentos do leito do dia 01/04/2009 não foi realizada devido a problemas na caçamba do amostrador US BM-54.

Programa de Levantamentos e Monitoramento Hidrossedimentológico  
do Rio Madeira e do Futuro Reservatório da UHE Santo Antônio

**Tabela 6.3.**  
**Resumo das Análises do Sedimento em Suspensão e do Leito em Porto Velho**

No. Med.	Data	Material em suspensão						Material do leito										Observação	
		(%)					Conc. Total (ppm)	(%)					Coeficiente de Uniformidade (mm)						
		Argila 0,0005 – 0,004	Silte 0,004 – 0,0625	Ar.fina 0,0625 – 0,250	Ar.med. 0,250 – 0,500	Ar.gros. 0,500 – 2,00		Argila 0,0005 – 0,004	Silte 0,004 – 0,0625	Ar.fina 0,0625 – 0,250	Ar.med. 0,250 – 0,500	Ar.gros. 0,500 – 2,00	Pedreg 2,00 – 64,00	D 10%	D 35%	D 50%	D 65%		D 90%
1	19/3/09	20,0	66,4	13,3	0,3	0	1082	4,2	10,5	58,8	26,3	0,2	0,0	0,023	0,148	0,181	0,220	0,375	
2	3/4/09	21,5	65,1	13,0	0,4	0	1103	0	0,2	41,5	34,4	19,7	4,2	0,139	0,221	0,296	0,397	1,228	
3	16/4/09	18,0	64,9	16,8	0,3	0	748,8	0	0,4	50,8	43,4	5,4	0	0,143	0,202	0,247	0,312	0,460	
4	4/5/09	22,5	61,3	15,8	0,3	0,1	664,7	0	0,5	57,6	34,9	6,8	0,2	0,130	0,184	0,224	0,282	0,466	
5	22/5/09	17,3	59,2	23,1	0,3	0,1	558,3	0	1	59,1	27,7	11,8	0,4	0,104	0,172	0,215	0,283	0,572	
6	1/6/09	19,6	56,4	23,8	0,2	0	496,5	0	2	57,5	33,2	7,1	0,2	0,084	0,160	0,210	0,280	0,468	
7	22/6/09	17,0	58,4	24,5	0,1	0	345,8	0	3,7	54,8	37,5	3	1	0,079	0,154	0,209	0,282	0,443	
Ream.	22/6/09	20,7	58,0	21,2	0,1	0	333,1	0	3,7	54,8	37,5	3	1	0,079	0,154	0,209	0,282	0,443	Re-amostragem dos sedimentos em suspensão
8	6/7/09	23,2	57,1	19,6	0,1	0	332	0	3,5	55,6	34,8	5,6	0,5	0,074	0,146	0,208	0,281	0,462	

**Tabela 6.4.**  
**Resumo das Análises do Sedimento em Suspensão e do Leito em São Carlos**

No. Med.	Data	Material em suspensão						Material do leito										Observação	
		(%)					Conc. Total (ppm)	(%)					Coeficiente de Uniformidade (mm)						
		Argila 0,0005 – 0,004	Silte 0,004 – 0,0625	Ar.fina 0,0625 – 0,250	Ar.med. 0,250 – 0,500	Ar.gros. 0,500 – 2,00		Argila 0,0005 – 0,004	Silte 0,004 – 0,0625	Ar.fina 0,0625 – 0,250	Ar.med. 0,250 – 0,500	Ar.gros. 0,500 – 2,00	Pedreg 2,00 – 64,00	D 10%	D 35%	D 50%	D 65%		D 90%
1	25/3/09	26,0	59,3	14,0	0,2	0,5	832,9	0,0	0,6	63,6	11,7	22,5	1,6	0,102	0,163	0,198	0,259	1,240	
2	5/4/09	17,7	70,4	11,2	0,3	0,4	928	0,0	0,1	39,9	42,1	16,5	1,4	0,151	0,229	0,295	0,369	0,908	
3	12/4/09	18,3	66,7	14,2	0,5	0,3	756	0,0	0,2	55,1	31,2	11,7	1,8	0,142	0,195	0,234	0,300	0,604	
4	6/5/09	22,5	63,1	13,7	0,6	0,1	646,2	0,0	0,1	39,7	40,5	16,2	3,5	0,155	0,233	0,299	0,385	1,109	
5	24/5/09	14,5	64,4	20,1	1,0	0,0	500,7	0,0	0,1	32,9	47,1	16,7	3,2	0,165	0,260	0,322	0,400	1,173	
6	4/6/09	18,1	62,2	19,0	0,7	0,0	388	0,0	0,1	25,5	57,9	15,2	1,3	0,179	0,288	0,336	0,401	0,740	
Ream.	4/6/09	12,1	67,0	19,5	1,3	0,1	459,4	0,0	0,1	25,5	57,9	15,2	1,3	0,179	0,288	0,336	0,401	0,740	Re-amostragem dos sedimentos em suspensão
7	24/6/09	23,8	61,8	14,2	0,2	0,0	372,2	0,6	7,1	36,5	40,2	12,3	3,3	0,079	0,205	0,284	0,350	0,895	
Ream.	24/6/09	14,9	71,6	13,2	0,3	0,0	403,5	0,6	7,1	36,5	40,2	12,3	3,3	0,079	0,205	0,284	0,350	0,895	Re-amostragem dos sedimentos em suspensão
8	8/7/09	19,8	63,0	17,0	0,2	0,0	361,6	1,4	13,5	32,3	23,9	19,5	9,4	0,048	0,113	0,279	0,409	1,922	

Programa de Levantamentos e Monitoramento Hidrossedimentológico  
do Rio Madeira e do Futuro Reservatório da UHE Santo Antônio

**Tabela 6.5.**  
**Resumo das Análises do Sedimento em Suspensão e do Leito em Humaitá**

No. Med.	Data	Material em suspensão						Material do leito										Observação		
		(%)					Conc. Total (ppm)	(%)						Coeficiente de Uniformidade (mm)						
		Argila	Silte	Ar.fina	Ar.med.	Ar.gros.		Argila	Silte	Ar.fina	Ar.med.	Ar.gros.	Pedreg	D 10%	D 35%	D 50%	D 65%		D 90%	
0,0005 – 0,004	0,004 – 0,0625	0,0625 – 0,250	0,250 – 0,500	0,500 – 2,00	0,0005 – 0,004	0,004 – 0,0625	0,0625 – 0,250	0,250 – 0,500	0,500 – 2,00	2,00 – 64,00										
1	27/3/09	26,4	57,4	15,9	0,3	0	720,8													Sem granulometria do leito
2	6/4/09	22,1	65,4	12,2	0,3	0	832,1	0	0,2	38,3	58,8	2,6	0,1	0,154	0,242	0,286	0,339	0,448		
3	14/4/09	14,6	69,4	15,7	0,3	0	735,3	0	0,3	34,8	57,2	7,5	0,2	0,155	0,252	0,300	0,359	0,481		
4	8/5/09	14,4	64,5	20,5	0,6	0	650,6	0	0,1	39,1	42	17,2	1,6	0,145	0,238	0,300	0,383	0,741		
5	26/5/09	16,1	61,7	21,7	0,5	0	562,1	0	0,4	40,8	39,3	16,4	3,1	0,144	0,225	0,293	0,380	0,900		
6	6/6/09	17,2	58,6	23,5	0,6	0,1	493,5	1,5	8,3	39	38,3	12,3	0,6	0,066	0,181	0,256	0,335	0,584		
Ream.	6/6/09	12,2	63,1	24,2	0,4	0,1	500,8	1,5	8,3	39	38,3	12,3	0,6	0,066	0,181	0,256	0,335	0,584	Re-amostragem dos sedimentos em suspensão	
7	26/6/09	19,0	65,9	15,1	0	0	353,4	0	0,2	28,4	41,7	24,2	5,5	0,159	0,281	0,358	0,458	1,435		
Ream.	26/6/09	13,3	68,6	18,1	0	0	347,7	0	0,2	28,4	41,7	24,2	5,5	0,159	0,281	0,358	0,458	1,435	Re-amostragem dos sedimentos em suspensão	
8	10/7/09	20,7	62,1	17,2	0	0	326,4	0	0,1	14,0	62,5	20,1	3,3	0,229	0,318	0,377	0,430	0,945		

**Observação:** a amostragem de sedimentos do leito do dia 27/03/2009 não foi realizada devido a problemas na caçamba do amostrador US BM-54.

**Tabela 6.6.**  
**Resumo das Análises do Sedimento em Suspensão e do Leito em Jaciparaná**

No. Med.	Data	Material em suspensão						Material do leito										Observação		
		(%)					Conc. Total (ppm)	(%)						Coeficiente de Uniformidade (mm)						
		Argila	Silte	Ar.fina	Ar.med.	Ar.gros.		Argila	Silte	Ar.fina	Ar.med.	Ar.gros.	Pedreg	D 10%	D 35%	D 50%	D 65%		D 90%	
0,0005 – 0,004	0,004 – 0,0625	0,0625 – 0,250	0,250 – 0,500	0,500 – 2,00	0,0005 – 0,004	0,004 – 0,0625	0,0625 – 0,250	0,250 – 0,500	0,500 – 2,00	2,00 – 64,00										
1	30/3/09						20,69													Sem granulometria de suspensão e do leito
2	10/4/09						16,23	0,0	0,6	21,4	26,9	42,5	8,6	0,140	0,349	0,516	0,784	1,883	Sem granulometria de suspensão	
3	17/4/09						13,03	0,0	2,0	40,6	20,9	25,3	11,2	0,101	0,209	0,321	0,543	2,189	Sem granulometria de suspensão	
4	28/5/09	27,2	46,1	24,2	1,6	0,9	25,37	0,0	4,7	50,8	16,8	14,9	12,8	0,079	0,165	0,223	0,370	2,669		
5	28/6/09	23,2	75,6	1,2	0,0	0,0	21,67	0,0	0,0	19,7	14,3	36,1	29,9	0,179	0,519	0,841	1,573	5,542		
6	22/7/09	36,2	63,8	0,0	0,0	0,0	25,56	0,0	0,1	20,8	23,8	37,6	17,7	0,175	0,378	0,583	0,884	3,230		

**Observação 1:** a amostragem de sedimentos do leito do dia 30/03/2009 não foi realizada devido a problemas na caçamba do amostrador US BM-54.

**Observação 2:** as baixas concentrações de sedimentos em suspensão encontradas em 30/03/2009, 10/04/2009 e 17/04/2009 impossibilitam a obtenção da granulometria dos sedimentos em suspensão.

## **6.2. Resultados dos Cálculos da Descarga Sólida**

Os resultados do cálculo da descarga sólida em suspensão, de arrasto e total, para cada estação fluviométrica, apresenta-se nas Tabelas 6.7. a 6.12. Nestas tabelas se visualizam também os valores obtidos na determinação da descarga sólida total segundo o método de Einstein modificado por faixa granulométrica. As faixas consideradas são as seguintes:

- < 0,0625mm;
- 0,0625 – 0,250mm;
- 0,250 – 0,500mm;
- 0,500 – 2,000mm;
- 2,000 – 16,000mm.

As planilhas geradas pelo programa de cálculo para cada medição estão disponíveis no ANEXO V. Os cálculos foram feitos conforme descrito no item Procedimentos e Consistência dos Dados.

Destaca-se que na estação fluviométrica Jaciparaná não foi possível determinar a descarga sólida total e de arrasto pelo Método de Einstein Modificado para as medições realizadas em 30/03/2009, 10/04/2009 e 17/04/2009 devido a baixa concentração de sedimentos em suspensão que impede a determinação da granulometria destes sedimentos. No dia 22/07/2009 também não foi possível calcular a descarga pelo Método de Einstein Modificado pois a granulometria dos sedimentos do leito e em suspensão não apresentam nenhuma faixa em comum.

Programa de Levantamentos e Monitoramento Hidrossedimentológico  
do Rio Madeira e do Futuro Reservatório da UHE Santo Antônio

**Tabela 6.7.**  
**Resumo do Cálculo da Descarga Sólida em Abunã**

Número da medição	Data	Conc. (mg/l)	Descarga Líquida (m³/s)	Descarga Sólida em Suspensão (t/dia)	Descarga Sólida Total USGS (t/dia) Método Einstein Mod.	Descarga Sólida de Arrasto USGS (t/dia) Método Einstein Mod.	Descarga Sólida Total USGS (t/dia) por Faixa Granulométrica - Método Einstein Mod.					Observações
							Descarga Sólida de Argila + Silte (0,000 - 0,0625)	Descarga Sólida de Areia Fina (0,0625 - 0,250)	Descarga Sólida de Areia Média (0,250 - 0,500)	Descarga Sólida de Areia Grossa (0,500 - 2,00)	Descarga Sólida de Pedregulho (2,00 - 16,00)	
1	29/3/2009	1.014,00	34.624,09	3.033.403,01	3.001.594,79	13.613,40	2.590.729,65	355.018,65	41.087,40	14.700,05	59,03	
2	8/4/2009	772,50	33.496,11	2.235.664,34	2.377.833,33	11.331,35	1.999.333,48	346.195,19	31.651,42	528,28	124,946	
3	20/4/2009	840,10	32.633,41	2.368.684,37	2.533.198,17	10.362,04	1.958.558,86	547.643,47	25.433,77	1.487,33	74,730	
4	19/5/2009	578,60	28.079,13	1.403.704,68	1.544.275,80	7.385,06	1.008.299,33	524.219,06	11.684,21	73,20	0,000	
5	30/5/2009	411,30	23.171,18	823.418,59	924.730,08	6.165,51	565.284,46	345.614,65	13.461,14	369,83	0,000	
6	13/6/2009	515,70	21.529,24	959.267,14	1.052.083,94	5.791,38	728.140,41	311.853,15	11.603,76	486,62	0,000	
Ream.	13/6/2009	517,70	21.529,24	962.987,39	1.060.101,18	5.791,38	713.199,53	334.320,35	12.087,48	493,82	0,000	
7	30/6/2009	538,50	20.761,95	965.978,91	1.061.972,94	8.010,38	721.606,74	310.432,40	24.306,44	5.573,81	53,556	
8	23/7/2009	342,20	12.760,34	377.273,36	414.805,09	2.568,64	297.968,38	113.142,84	3.035,03	645,67	13,164	

**Tabela 6.8.**  
**Resumo do Cálculo da Descarga Sólida em Jusante Caldeirão do Inferno**

Número da medição	Data	Conc (mg/l)	Descarga Líquida (m³/s)	Descarga Sólida em Suspensão (t/dia)	Descarga Sólida Total USGS (t/dia) Método Einstein Mod.	Descarga Sólida de Arrasto USGS (t/dia) Método Einstein Mod.	Descarga Sólida Total USGS (t/dia) por Faixa Granulométrica - Método Einstein Mod.					Observações
							Descarga Sólida de Argila + Silte (0,000 - 0,0625)	Descarga Sólida de Areia Fina (0,0625 - 0,250)	Descarga Sólida de Areia Média (0,250 - 0,500)	Descarga Sólida de Areia Grossa (0,500 - 2,00)	Descarga Sólida de Pedregulho (2,00 - 16,00)	
1	1/4/2009	1.181,00	40.775,29	4.160.645,16								Sem granulometria do leito
2	9/4/2009	982,40	36.591,99	3.105.904,46	3.304.014,08	15.628,72	2.552.539,90	667.532,75	72.268,54	11.005,88	667,014	
3	18/4/2009	992,30	38.081,02	3.264.865,36	3.479.633,15	18.938,01	2.553.009,05	850.695,47	56.584,23	17.458,26	1886,141	
4	20/5/2009	444,10	27.422,77	1.052.218,36	1.179.231,22	9.170,07	731.468,95	414.231,43	32.491,96	1.019,88	19,006	
5	29/5/2009	413,90	24.510,88	876.532,56	997.381,41	8.883,64	571.942,84	389.779,57	35.147,70	510,74	0,557	
6	11/6/2009	498,20	24.362,20	1.048.658,06	1.144.931,72	9.004,76	815.837,33	282.049,26	42.563,85	4.449,60	31,679	
7	29/6/2009	356,40	20.891,73	643.318,33	688.899,02	6.761,92	456.730,73	211.282,86	18.390,55	2.380,59	114,284	
Ream.	29/6/2009	317,50	20.891,73	573.102,05	629.922,58	6.761,92	423.733,99	182.705,62	20.877,21	2.488,33	117,429	
8	21/7/2009	295,10	14.234,10	362.921,72	398.403,42	3.278,29	277.329,13	107.767,01	12.278,91	1.026,15	2,206	

Programa de Levantamentos e Monitoramento Hidrossedimentológico  
do Rio Madeira e do Futuro Reservatório da UHE Santo Antônio

**Tabela 6.9.**  
**Resumo do Cálculo da Descarga Sólida em Porto Velho**

Número da medição	Data	Conc. (mg/l)	Descarga Líquida (m³/s)	Descarga Sólida em Suspensão (t/dia)	Descarga Sólida Total USGS (t/dia) Método Einstein Mod.	Descarga Sólida de Arrasto USGS (t/dia) Método Einstein Mod.	Descarga Sólida Total USGS (t/dia) por Faixa Granulométrica - Método Einstein Mod.					Observações
							Descarga Sólida de Argila + Silte (0,000 - 0,0625)	Descarga Sólida de Areia Fina (0,0625 - 0,250)	Descarga Sólida de Areia Média (0,250 - 0,500)	Descarga Sólida de Areia Grossa (0,500 - 2,00)	Descarga Sólida de Pedregulho (2,00 - 16,00)	
1	19/3/2009	1.082,00	37.877,20	3.540.942,47	3.745.124,85	12.986,20	3.098.692,30	607.360,68	38.855,06	216,81	0,000	
2	3/4/2009	1.103,00	40.196,16	3.830.661,87	4.027.328,54	22.486,86	3.357.616,06	599.070,56	43.997,52	25.174,40	1469,998	
3	16/4/2009	748,80	39.655,70	2.565.577,86	2.755.191,80	16.209,06	2.155.437,10	541.351,64	51.952,89	6.450,16	0,000	
4	4/5/2009	664,70	32.671,84	1.876.346,38	2.004.352,82	11.280,67	1.593.836,93	376.545,99	28.685,30	5.215,79	68,816	
5	22/5/2009	558,30	28.287,32	1.364.499,07	1.474.373,66	9.915,25	1.058.623,81	388.054,73	20.530,97	7.080,66	83,494	
6	1/6/2009	496,50	23.865,73	1.023.782,45	1.115.007,65	7.427,84	788.906,85	299.903,96	23.073,25	3.102,97	20,631	
7	22/6/2009	345,80	21.280,73	635.806,88	675.948,46	6.760,05	487.225,64	173.121,87	14.657,95	929,03	13,964	
Ream.	22/6/2009	333,10	21.280,73	612.455,96	657.911,51	6.760,05	489.956,91	152.472,97	14.542,03	925,70	13,902	
8	6/7/2009	332,00	16.979,65	487.057,85	515.192,28	3.885,67	397.310,47	109.234,49	7.864,43	779,83	3,059	

**Tabela 6.10.**  
**Resumo do Cálculo da Descarga Sólida em São Carlos**

Número da medição	Data	Área da seção (m²)	Descarga Líquida (m³/s)	Descarga Sólida em Suspensão (t/dia)	Descarga Sólida Total USGS (t/dia) Método Einstein Mod.	Descarga Sólida de Arrasto USGS (t/dia) Método Einstein Mod.	Descarga Sólida Total USGS (t/dia) por Faixa Granulométrica - Método Einstein Mod.					Observações
							Descarga Sólida de Argila + Silte (0,000 - 0,0625)	Descarga Sólida de Areia Fina (0,0625 - 0,250)	Descarga Sólida de Areia Média (0,250 - 0,500)	Descarga Sólida de Areia Grossa (0,500 - 2,00)	Descarga Sólida de Pedregulho (2,00 - 16,00)	
1	25/3/2009	17.367,25	37.804,79	2.720.529,82	2.912.636,65	24.940,07	2.351.935,90	513.362,28	17.728,84	28.315,04	1294,590	
2	5/4/2009	18.474,73	39.712,15	3.184.088,60	3.366.164,10	25.101,49	2.840.525,93	427.096,66	72.272,31	24.937,97	1331,229	
3	12/4/2009	18.740,22	35.606,08	2.325.731,90	2.492.102,18	16.151,86	2.003.107,07	441.291,31	35.515,22	11.386,89	801,681	
4	6/5/2009	17.059,19	33.479,78	1.869.232,61	2.013.753,43	20.366,76	1.622.048,49	332.288,95	40.078,37	17.359,44	1978,183	
5	24/5/2009	17.580,71	29.419,14	1.270.907,02	1.386.393,06	12.780,81	1.016.465,06	299.150,61	56.227,14	13.661,84	888,408	
6	4/6/2009	16.830,17	27.949,26	936.948,64	1.023.097,96	11.707,59	762.918,01	204.458,96	44.055,64	11.369,25	296,096	
Ream.	4/6/2009	16.830,17	27.949,26	1.109.366,50	1.209.659,23	11.707,59	889.653,68	245.536,16	61.470,51	12.685,35	313,518	
7	24/6/2009	14.486,56	21.191,69	681.484,03	745.704,92	8.396,42	592.336,24	126.568,00	21.524,28	5.031,47	244,934	
Ream.	24/6/2009	14.486,56	21.191,69	738.793,14	804.087,84	8.396,42	649.631,91	127.510,14	21.658,49	5.042,05	245,257	
8	8/7/2009	13.330,09	16.647,90	520.117,70	549.048,64	6.387,51	440.330,57	97.676,96	7.456,61	3.394,66	189,838	



Programa de Levantamentos e Monitoramento Hidrossedimentológico  
do Rio Madeira e do Futuro Reservatório da UHE Santo Antônio

**Tabela 6.11.**  
**Resumo do Cálculo da Descarga Sólida em Humaitá**

Número da medição	Data	Conc. (mg/l)	Descarga Líquida (m³/s)	Descarga Sólida em Suspensão (t/dia)	Descarga Sólida Total USGS (t/dia) Método Einstein Mod.	Descarga Sólida de Arrasto USGS (t/dia) Método Einstein Mod.	Descarga Sólida Total USGS (t/dia) por Faixa Granulométrica - Método Einstein Mod.					Observações
							Descarga Sólida de Argila + Silte (0,000 - 0,0625)	Descarga Sólida de Areia Fina (0,0625 - 0,250)	Descarga Sólida de Areia Média (0,250 - 0,500)	Descarga Sólida de Areia Grossa (0,500 - 2,00)	Descarga Sólida de Pedregulho (2,00 - 16,00)	
1	27/3/2009	720,80	43.694,18	2.721.147,61								Sem granulometria do leito
2	6/4/2009	832,10	47.257,92	3.397.534,26	3.713.953,51	20.585,58	3.009.463,12	602.858,72	97.088,07	4.433,38	110,216	
3	14/4/2009	735,30	43.708,66	2.776.807,89	3.032.053,39	20.695,10	2.364.387,17	573.819,74	82.028,57	11.631,73	186,181	
4	8/5/2009	650,60	38.938,71	2.188.816,29	2.365.457,05	19.185,85	1.750.187,36	521.826,66	70.160,24	22.596,41	686,393	
5	26/5/2009	562,10	35.782,76	1.737.805,56	1.885.607,28	15.980,71	1.371.143,70	458.329,98	39.925,95	15.297,40	910,245	
6	6/6/2009	493,50	32.185,97	1.372.358,30	1.496.555,51	14.807,18	1.056.171,78	390.889,80	39.222,92	10.116,37	154,638	
Ream.	6/6/2009	500,80	32.185,97	1.392.658,63	1.522.805,36	14.807,18	1.064.980,99	407.365,46	40.109,83	10.193,72	155,360	
7	26/6/2009	353,40	23.059,72	704.100,02	767.182,42	11.229,74	608.004,34	131.531,27	14.953,44	12.199,38	494,000	
Ream.	26/6/2009	347,70	23.059,72	692.743,57	759.137,20	11.229,74	577.001,68	153.311,60	15.870,03	12.453,39	500,491	
8	10/7/2009	326,40	17.736,29	500.180,51	566.184,81	5.374,00	420.006,96	94.376,35	43.400,70	8.276,46	124,337	

**Tabela 6.12.**  
**Resumo do Cálculo da Descarga Sólida em Jaciparaná**

Número da medição	Local da medição	Data	Conc. (mg/l)	Descarga Líquida (m³/s)	Descarga Sólida em Suspensão (t/dia)	Descarga Sólida Total USGS (t/dia) Método Einstein Mod.	Descarga Sólida de Arrasto USGS (t/dia) Método Einstein Mod.	Descarga Sólida Total USGS (t/dia) por Faixa Granulométrica - Método Einstein Mod.					Observações
								Descarga Sólida de Argila + Silte (0,000 - 0,0625)	Descarga Sólida de Areia Fina (0,0625 - 0,250)	Descarga Sólida de Areia Média (0,250 - 0,500)	Descarga Sólida de Areia Grossa (0,500 - 2,00)	Descarga Sólida de Pedregulho (2,00 - 16,00)	
1	S03	30/3/2009	20,69	577,66	1032,632								Não foi possível aplicar o Método de Einstein Modificado
2	S03	10/4/2009	16,23	489,83	686,876								Não foi possível aplicar o Método de Einstein Modificado
3	VILA	17/4/2009	13,03	371,45	418,181								Não foi possível aplicar o Método de Einstein Modificado
4	VILA	28/5/2009	25,37	450,19	986,795	1.174,51	17,45	739,18	392,09	39,66	3,58	0,000	
5	S02	28/6/2009	21,67	271,48	508,281	552,34	17,07	514,64	12,21	3,35	22,07	0,070	
6	S02	22/7/2009	25,56	286,64	633,003								Não foi possível aplicar o Método de Einstein Modificado

## **7. ESTUDOS HIDROSSEDIMENTOLÓGICOS BÁSICOS**

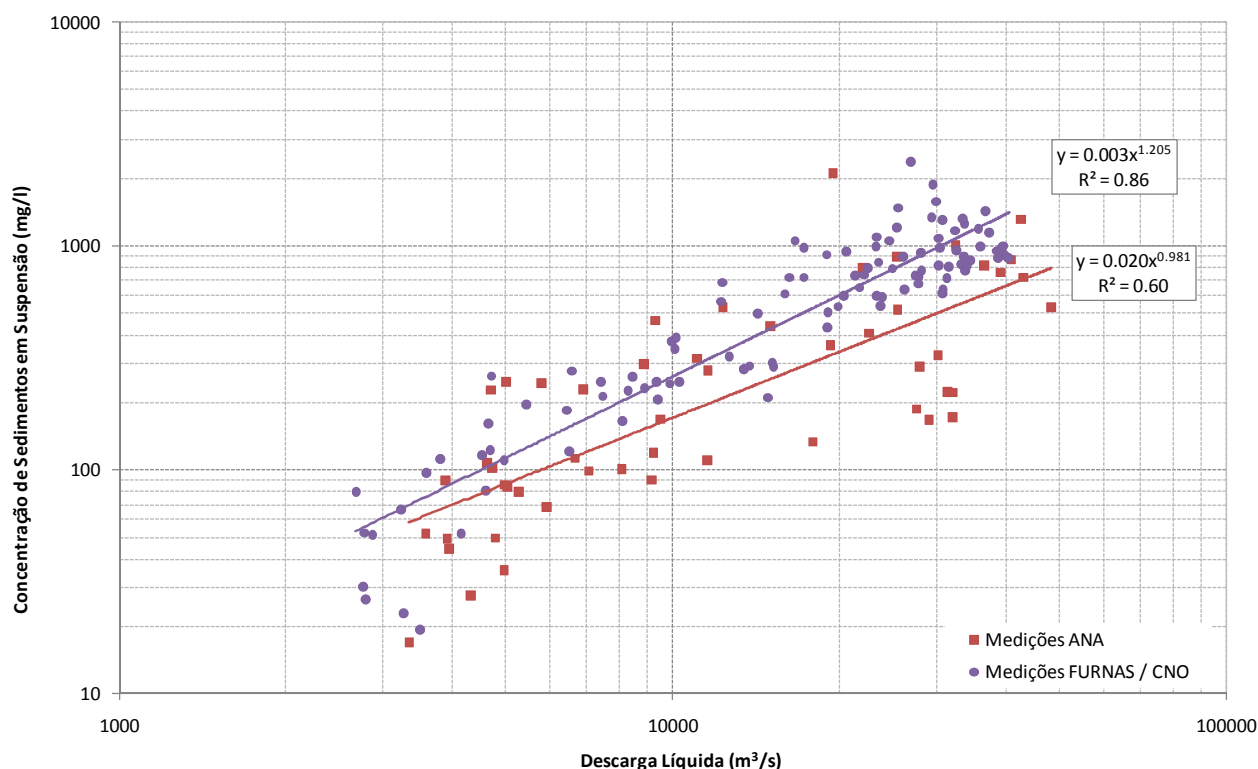
A seguir serão apresentados os principais estudos e análises realizadas a partir dos dados coletados e processados no período a que faz referência o presente relatório. Particularmente, nas estações fluviométricas de Humaitá, Porto Velho e Abunã dispunha-se de uma quantidade considerável de medições de outras entidades, o que possibilitou uma avaliação não apenas qualitativa como também quantitativa.

### 7.1. CURVAS-CHAVE DE DESCARGAS SÓLIDAS

A seguir serão apresentadas as curvas de descarga sólida em suspensão e total obtidas a partir das medições efetuadas pela PCE para cada estação fluviométrica. Para as estações com histórico de medições executadas anteriormente por outras entidades, as mesmas são apresentadas conjuntamente as medições realizadas pela PCE.

As estações fluviométricas de Abunã e Porto Velho possuem dados pretéritos de duas entidades: ANA e FURNAS/CNO. No estudo de consolidação de dados apresentado anteriormente, em junho de 2008 (PJ0697-X-H41-GR-ED-102-0A), nota-se a existência de diferenças significativas nas concentrações medidas pelas duas entidades, conforme gráfico apresentado na Figura 7.1. Nota-se a maior dispersão nos dados da ANA, que apresentam um coeficiente de determinação de 0,60, enquanto os dados de FURNAS/CNO apresentam um coeficiente de 0,86.

**Figura 7.1.**  
**Avaliação dos Valores de Concentração Média de Sedimentos em Suspensão Obtidos pela ANA e por FURNAS/CNO em Porto Velho**



As diferenças são atribuídas aos diferentes critérios de medição e métodos de análise das amostras, mas principalmente aos equipamentos utilizados. Uma das possíveis causas está associada ao amostrador de sedimentos em suspensão utilizado. As coletas realizadas pela ANA foram realizadas com amostrador de sedimentos em suspensão tipo D-49, indicado para rios de até 4,5 metros de profundidade, enquanto que FURNAS/CNO utilizou um amostrador de saca (tipo AMS-8), indicado para rios com grandes profundidades, como é o caso do rio Madeira.

O equipamento adquirido pela PCE é do mesmo tipo, AMS-8 (amostrador de saca), e precisamente esta semelhança no equipamento justifica a utilização dos dados de FURNAS/CNO como referência para os estudos ora desenvolvidos nas estações de Porto Velho e Abunã.

Na estação de Humaitá unicamente existem dados medidos pela ANA, que servirão de referência para os estudos hidrossedimentológicos desenvolvidos nesta estação. As séries históricas de dados da ANA possuem somente informações de descarga líquida e concentração de sedimentos em suspensão (não contemplam a granulometria dos sedimentos em suspensão e do leito) permitindo somente o cálculo da descarga sólida em suspensão medida.

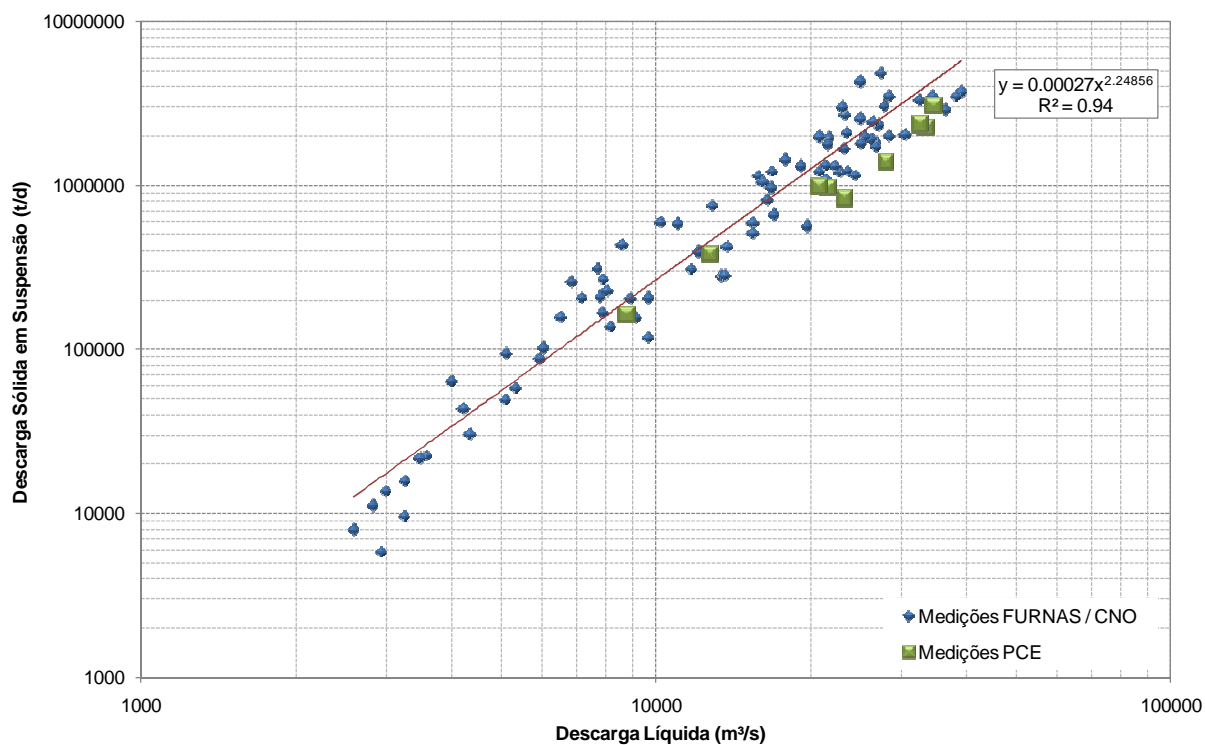
Os dados coletados pela PCE nas medições de março à julho de 2009 não compreendem o ano hidrológico completo, correspondendo apenas ao período de vazante do rio Madeira. Por este motivo não é possível determinar com acurácia as curvas-chave de descarga sólida nas estações que ainda não possuem séries históricas. As estações com curvas de descarga sólida já existentes não serão revistas pois o acréscimo de informações não é relevante.

#### 7.1.1. Abunã

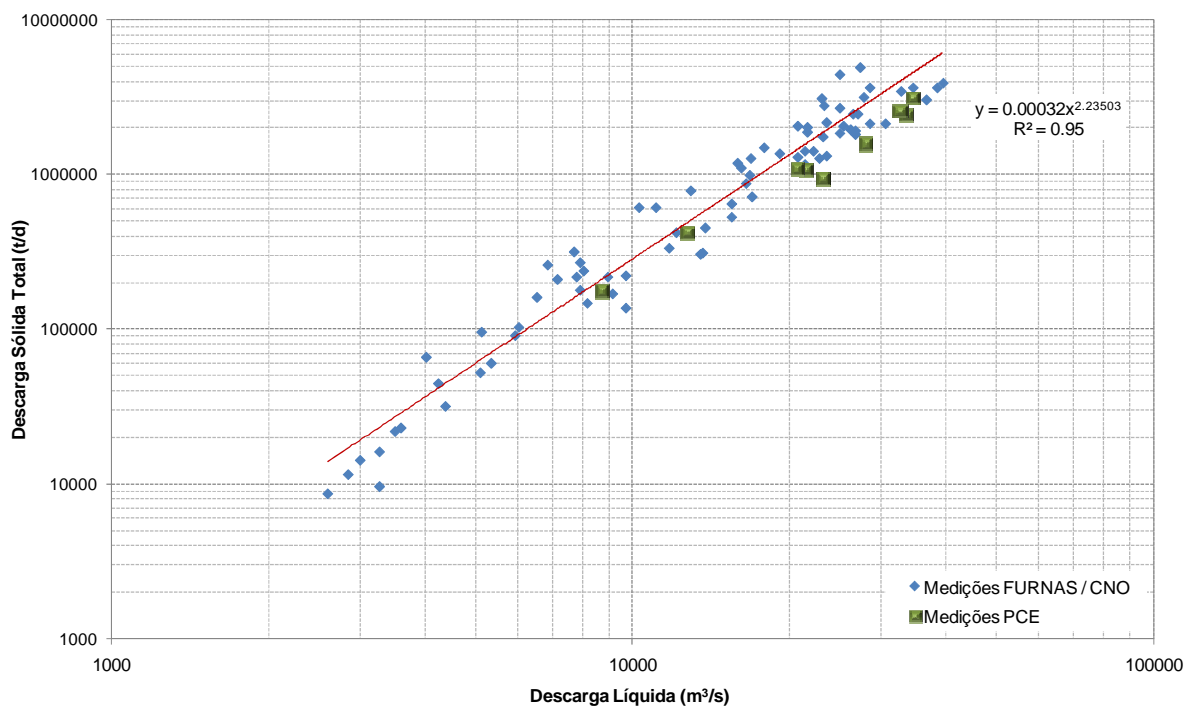
No período de novembro de 2003 à maio de 2006 o consorcio FURNAS/CNO realizou 86 medições de descarga líquida e sólida em Abunã. Estes dados foram consolidados e juntamente com as medições realizadas pela PCE no período de março de 2009 a julho de 2009 são apresentadas nas curvas de descarga sólida em suspensão e total desta estação (Figuras 7.2. e 7.3.).

Cabe destacar que na consolidação de dados realizada à série de FURNAS/CNO para a elaboração das curvas-chave foram eliminados os valores correspondentes aos dias 12/08/2004, 09/09/2004 e 22/09/2004 devido a inconsistências nas concentrações destas medições.

**Figura 7.2.**  
**Curva de Descarga Sólida em Suspensão em Abunã**

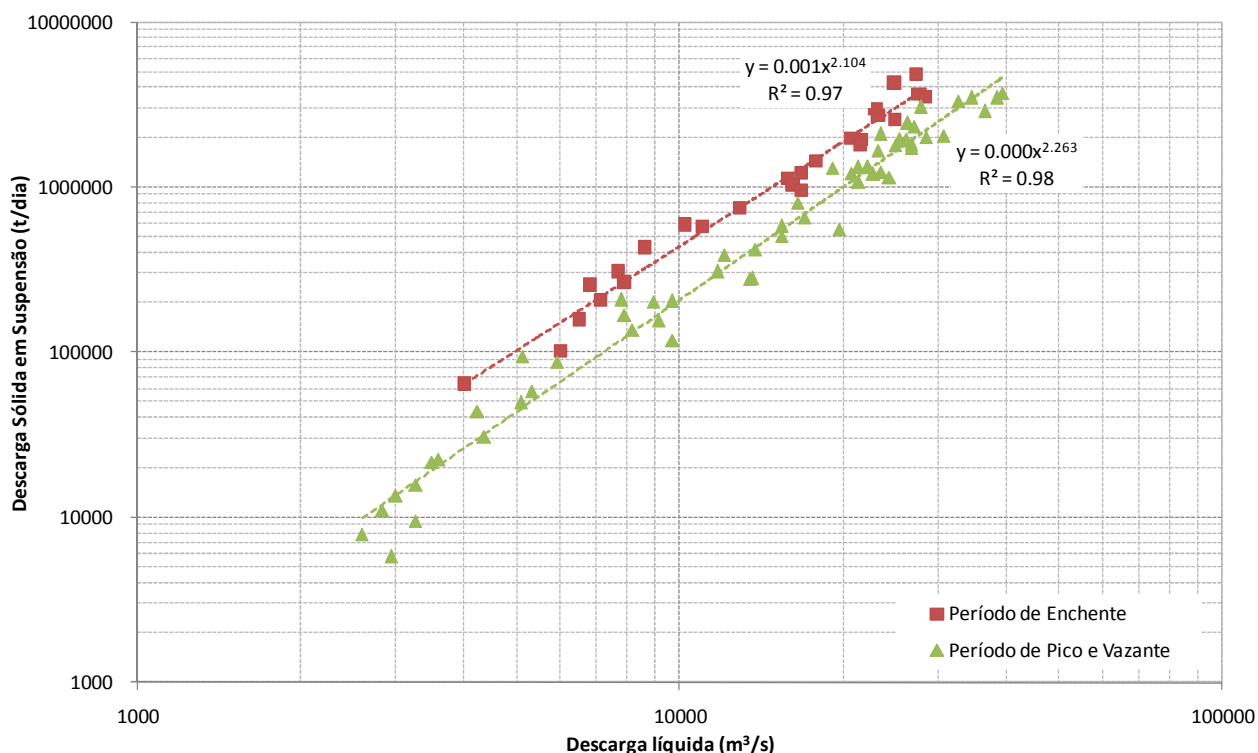


**Figura 7.3.**  
**Curva de Descarga Sólida Total em Abunã**



Ressalta-se que as medições realizadas no período do presente relatório ocorreram no período de vazante do rio Madeira, ou seja, no ramo descendente do hidrograma. Como demonstrado no relatório de consistência anterior (PJ0697-X-H41-GR-ED-102-0A), considera-se a possibilidade de haver diferenças na relação entre a descarga líquida e descarga sólida nas fases de enchente e vazante. Esta defasagem temporal nos picos de sedimentos e vazões líquidas caracterizaria uma curva de descarga com forma de laçada, conforme se observa no gráfico apresentado na Figura 7.4. Para a conclusão deste estudo são necessárias medições de vários ciclos completos do rio Madeira, abrangendo em todos os casos o ano hidrológico completo.

**Figura 7.4.**  
**Relação entre a Descarga Líquida e Sólida em Suspensão para os Períodos de Enchente e Vazante em Abunã**



Por hora, os dados obtidos nas últimas medições reforçam esta tendência já que as descargas sólidas medidas pela PCE no ramo descendente do hidrograma encontram-se abaixo da curva-chave média obtida com a totalidade das medições, independente do período do hidrograma ao que corresponda.

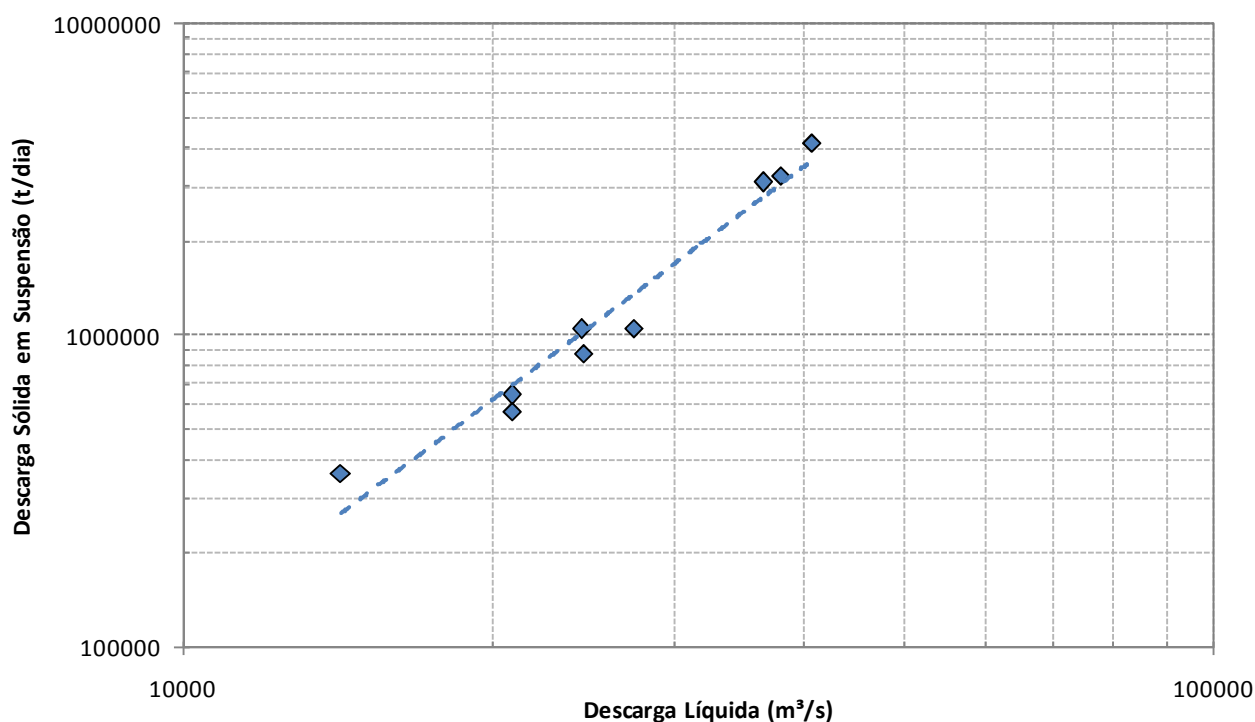
#### 7.1.2. Jusante Caldeirão do Inferno

Na estação Jusante do Caldeirão do Inferno foram executadas oito pares de medições de descarga líquida e sólida. Destaca-se que esta seção de medição, localizada a jusante do empreendimento de Jirau, foi instalada recentemente e por esse motivo não existe uma

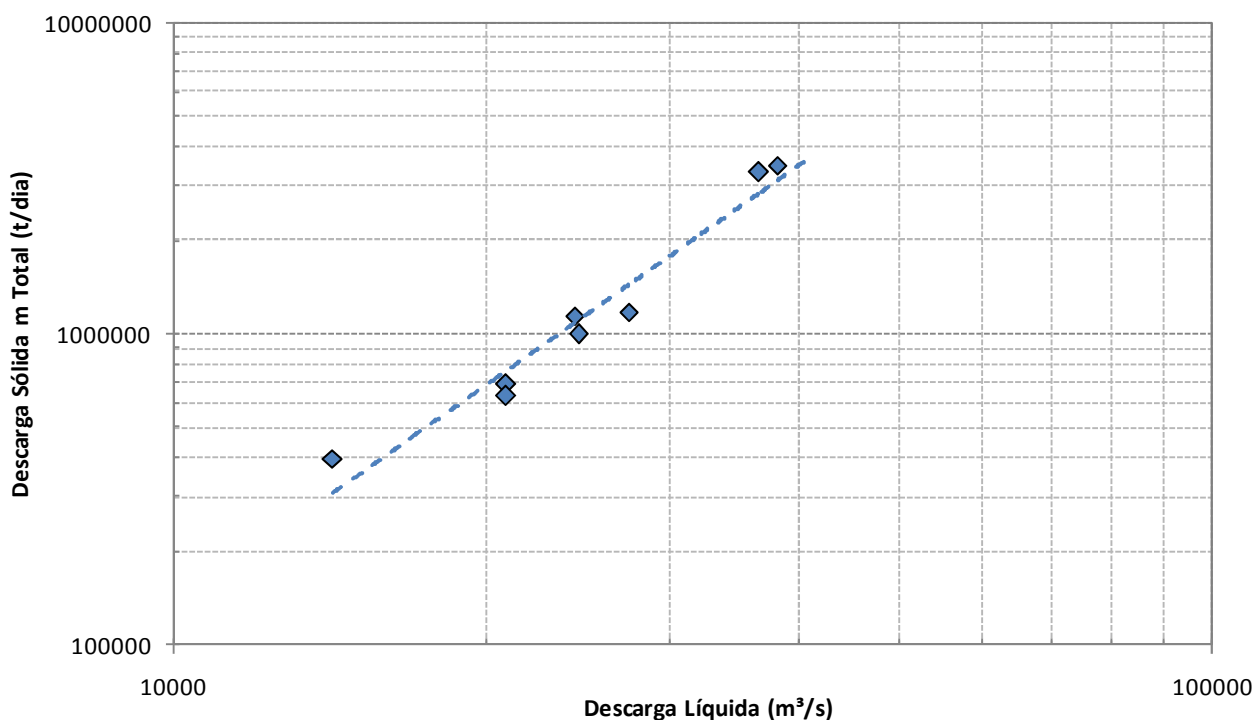
série consistente de dados. As curvas de descarga de sedimentos em suspensão e total são apresentadas nas Figura 7.5. e 7.6., respectivamente.

Na medição do dia 29/06/2009 foi realizado o procedimento de re-amostragem dos sedimentos em suspensão, portanto para esta dada existem dois valores de descarga sólida associados. Na medição de 01/04/2009 não existiu amostragem dos sedimentos do leito devido a problemas associados ao amostrador, e em consequência não foi possível calcular a descarga sólida total.

**Figura 7.5.**  
**Curva de Descarga Sólida em Suspensão em Jusante Caldeirão do Inferno**



**Figura 7.6.**  
**Curva de Descarga Sólida Total em Jusante do Caldeirão do Inferno**



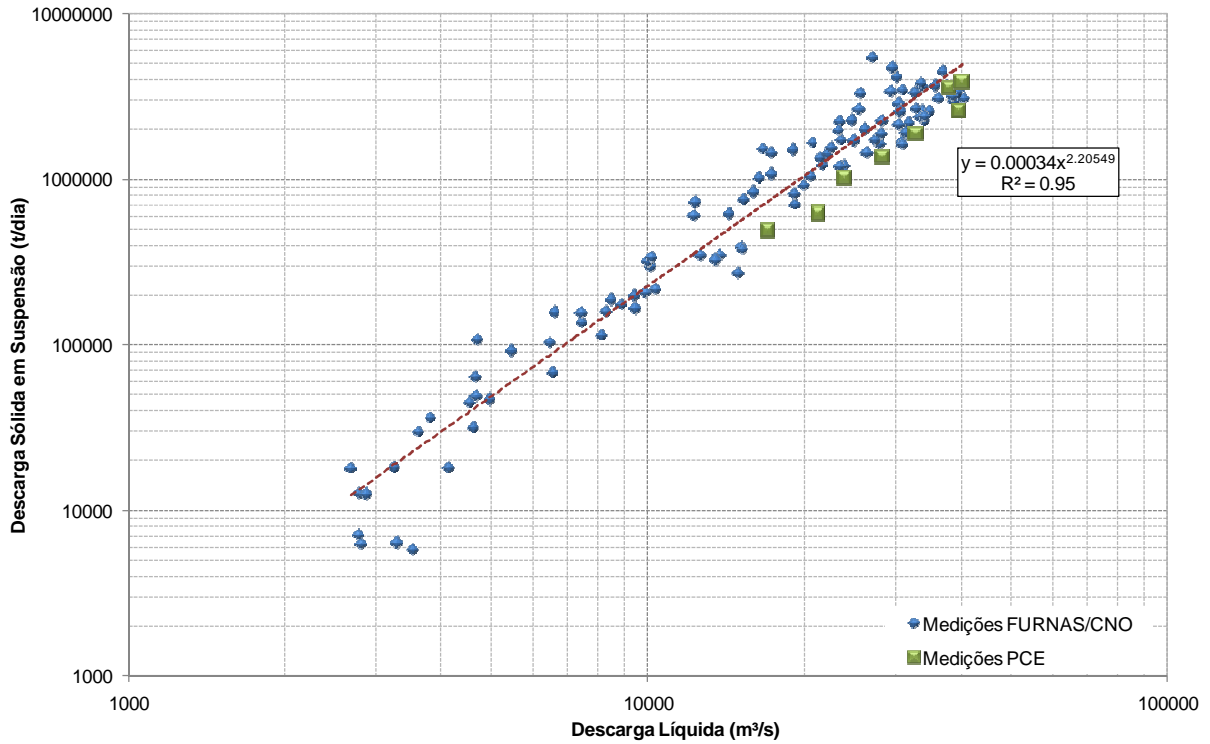
### 7.1.3. Porto Velho

Na estação fluviométrica de Porto Velho foram realizadas oito medições convencionais completas, com re-amostragem dos sedimentos em suspensão na medição do dia 26/06/2009. Por outro lado, as medições realizadas por FURNAS/CNO entre 2003 e 2006 totalizaram 108 jogos de dados, que permitiram elaborar as curvas-chave de descarga sólida utilizadas no Projeto Básico.

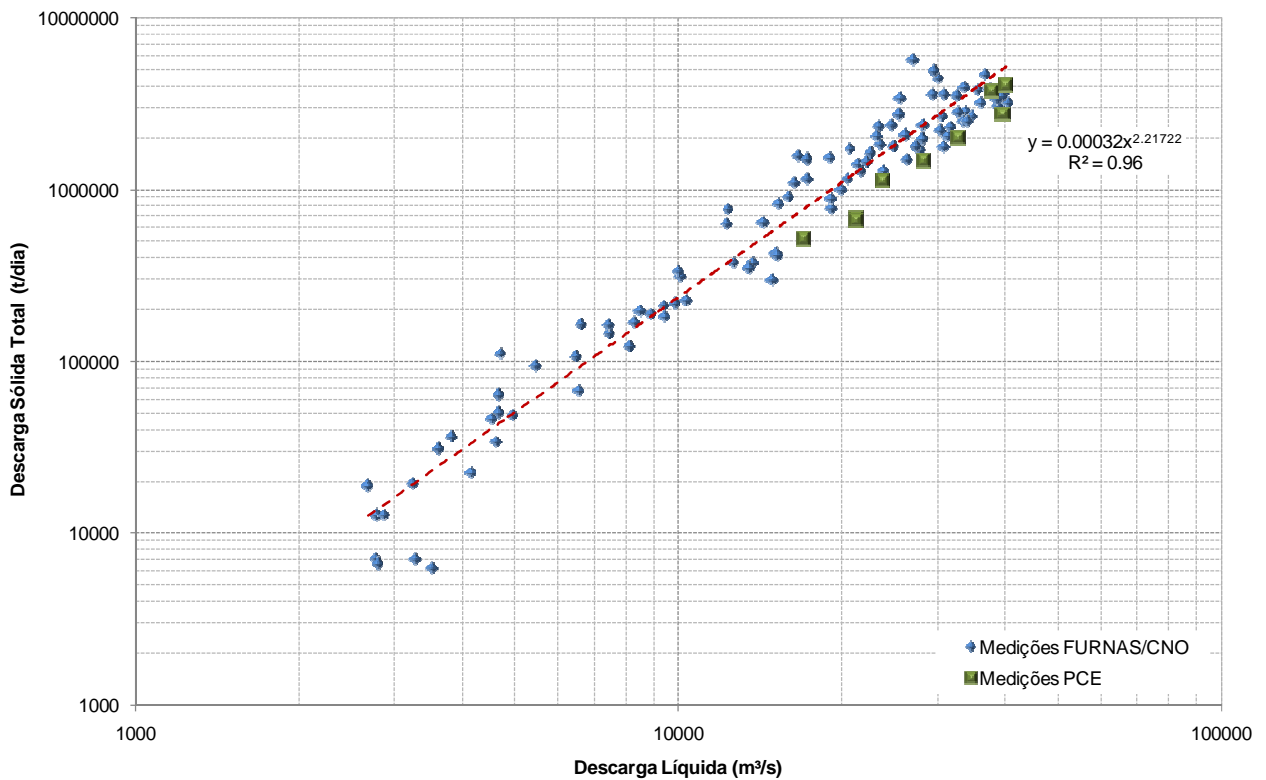
As curvas de descarga de sedimentos em suspensão e total para a estação Porto Velho são apresentadas nas Figuras 7.7. e 7.8., levando em consideração os dados de FURNAS/CNO e com destaque para as medições da PCE.



**Figura 7.7.**  
**Curva de Descarga Sólida em Suspensão em Porto Velho**

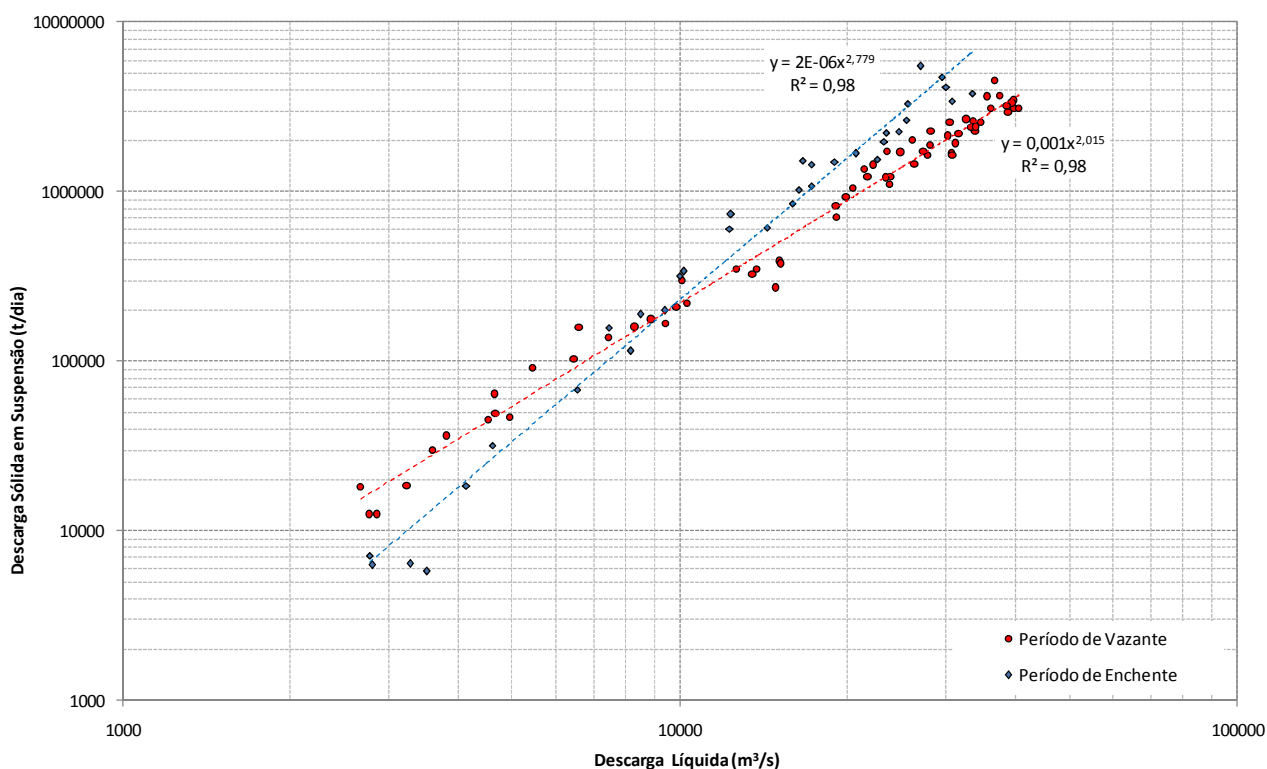


**Figura 7.8.**  
**Curva de Descarga Sólida Total em Porto Velho**



Assim como já foi descrito para a estação de Abunã, as medições realizadas pela PCE em Porto Velho ocorreram no período de vazante do rio Madeira (ver item Resultados das Medições de Descarga Líquida). Nota-se que os pontos referentes às medições da PCE se localizam, em média, por debaixo da curva de descarga sólida do posto. Isto se deve à existência de uma relação díspar entre a descarga líquida e a descarga sólida para os períodos de enchente e vazante do rio Madeira. Esta relação, que já foi discutida em um relatório anterior (PJ0697-X-H41-GR-ED-102-0A), é apresentada na Figura 7.9. Para determinar com maior acurácia este efeito sobre o transporte de sedimentos é necessária uma série de dados mais longa que compreenda sucessivos anos hidrológicos do rio Madeira.

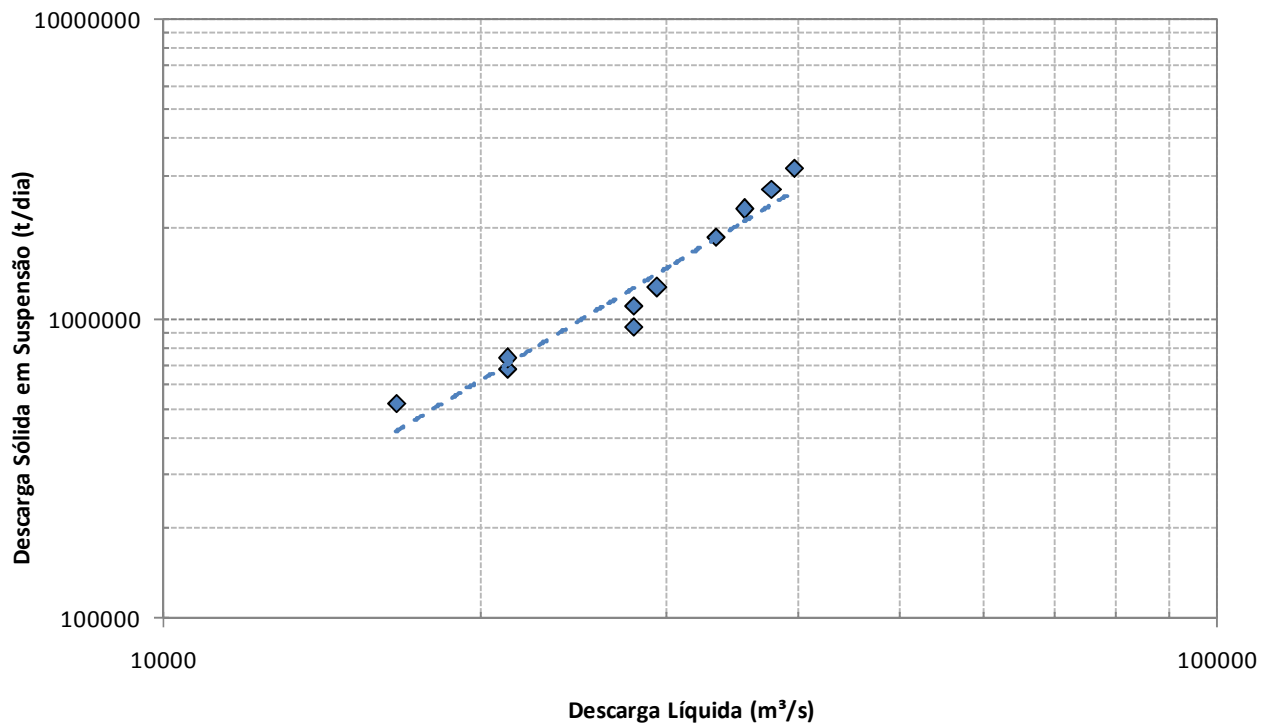
**Figura 7.9.**  
**Relação Entre a Descarga Líquida e Sólida em Suspensão para os Períodos de Enchente e Vazante em Porto Velho**



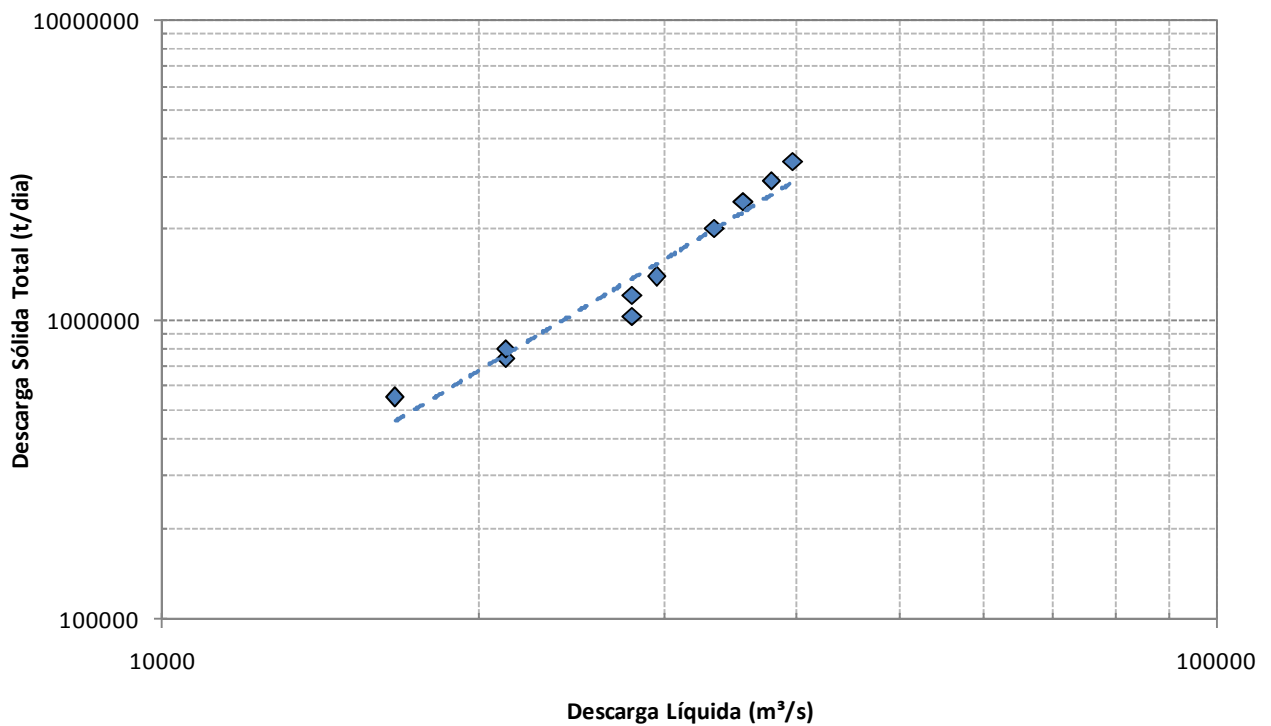
#### 7.1.4. São Carlos

No período avaliado foram realizadas oito medições de descarga sólida na estação de São Carlos, sendo que duas delas caracterizaram a re-amostragem de sedimentos em suspensão (a primeira no dia 04/06/2009 e a segunda em 24/06/2009). As relações preliminares obtidas para a descarga líquida e a descarga sólida em suspensão e total são apresentadas nas Figuras 7.10 e 7.11.

**Figura 7.10.**  
**Curva de Descarga Sólida em Suspensão em São Carlos**



**Figura 7.11.**  
**Curva de Descarga Sólida Total em São Carlos**



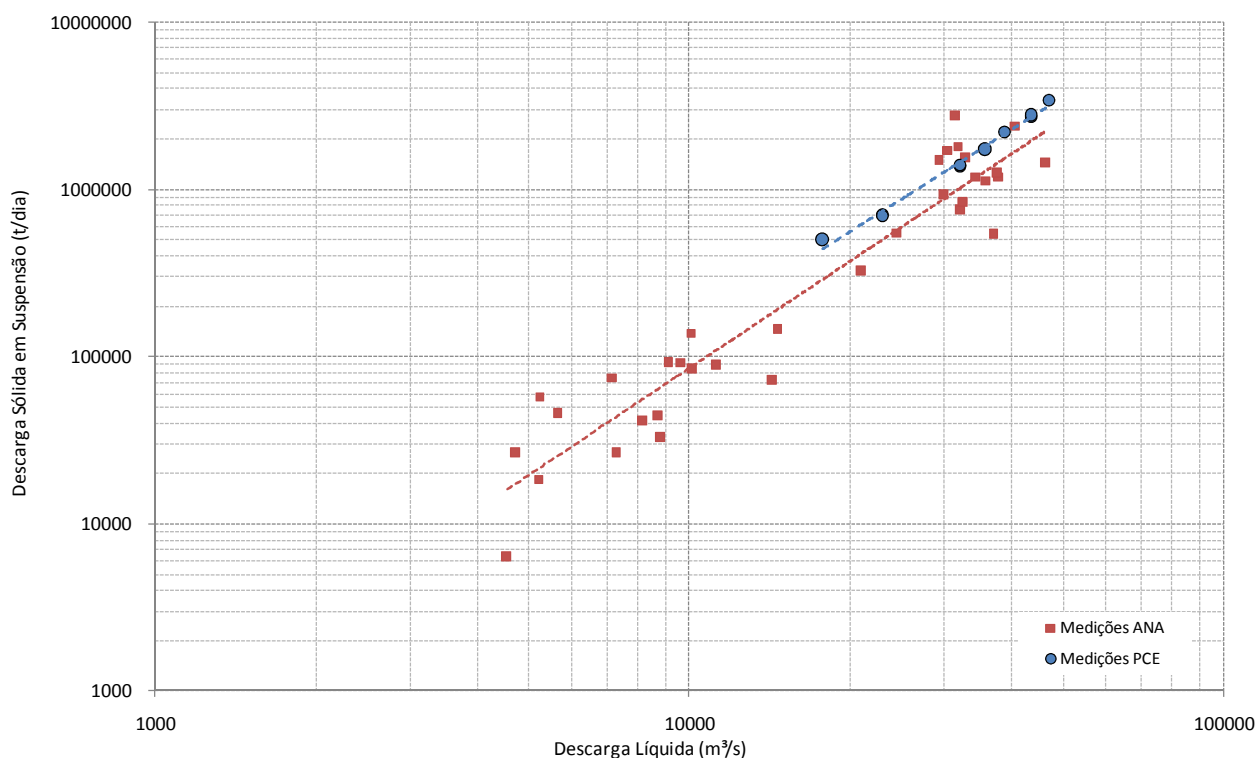
### 7.1.5. Humaitá

Na estação fluviométrica de Humaitá foram realizadas oito medições convencionais na estação de Humaitá, sendo que em duas delas houve coleta para re-amostragem de sedimentos em suspensão, nos dias 06/06/2009 e 26/06/2009. No dia 27/03/2009 não houve coleta de sedimentos do leito por um problema no equipamento de coleta, e em consequência, nesta data, não foi possível estimar a descarga sólida total.

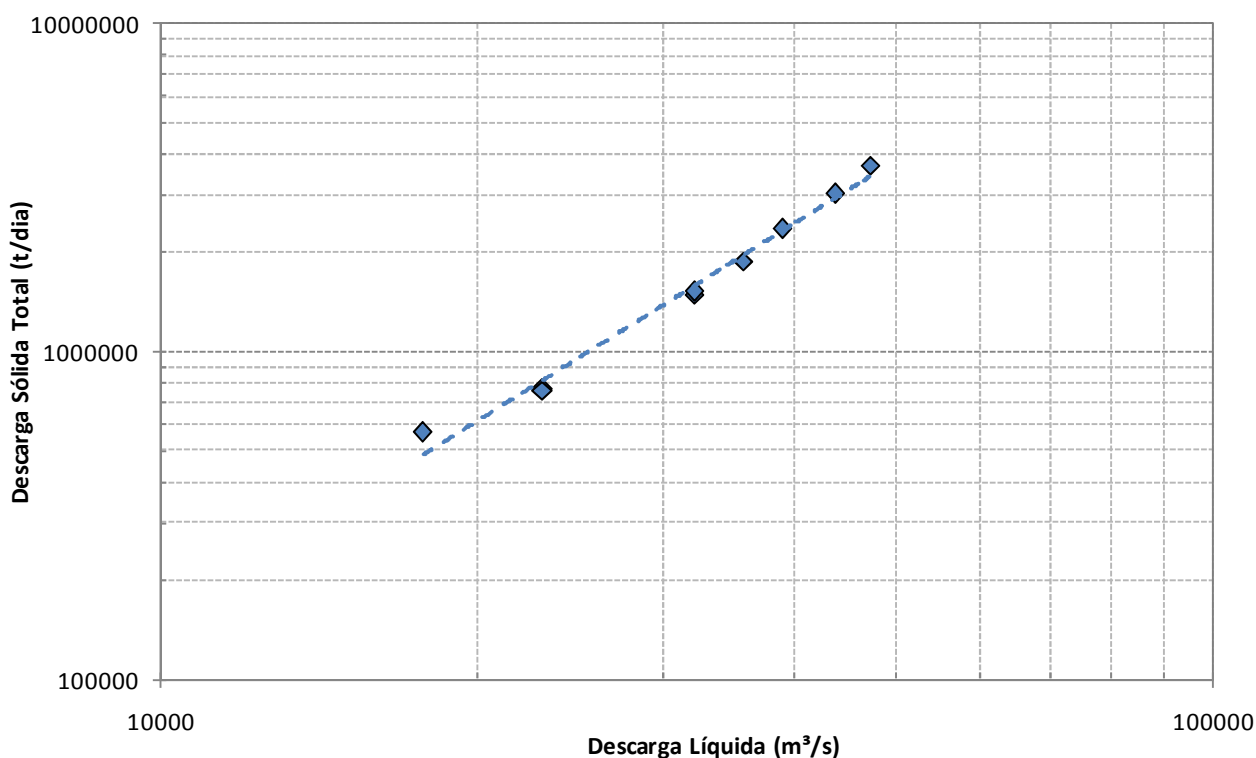
Adicionalmente, esta estação possui registros históricos de medições da ANA, ocorridas entre 1998 e 2007. Nesse período houve 34 medições de descarga líquida e coleta de sedimentos em suspensão, com análise de concentração.

A curva de descarga sólida em suspensão, considerando os dados da ANA e da PCE, se observa na Figura 7.12. Nesta figura é possível notar que as medições da PCE ficaram acima da linha de tendência das medições da ANA, sendo esta diferença associada ao tipo de amostrador de sedimentos em suspensão utilizado. Como visto anteriormente, esta diferença também existe entre as medições de FURNAS/CNO e da ANA. A relação entre a descarga líquida e a descarga sólida total (unicamente com dados da PCE) está apresentada na Figura 7.13.

**Figura 7.12.**  
**Curva de Descarga Sólida em Suspensão em Humaitá**



**Figura 7.13.**  
**Curva de Descarga Sólida Total em Humaitá**

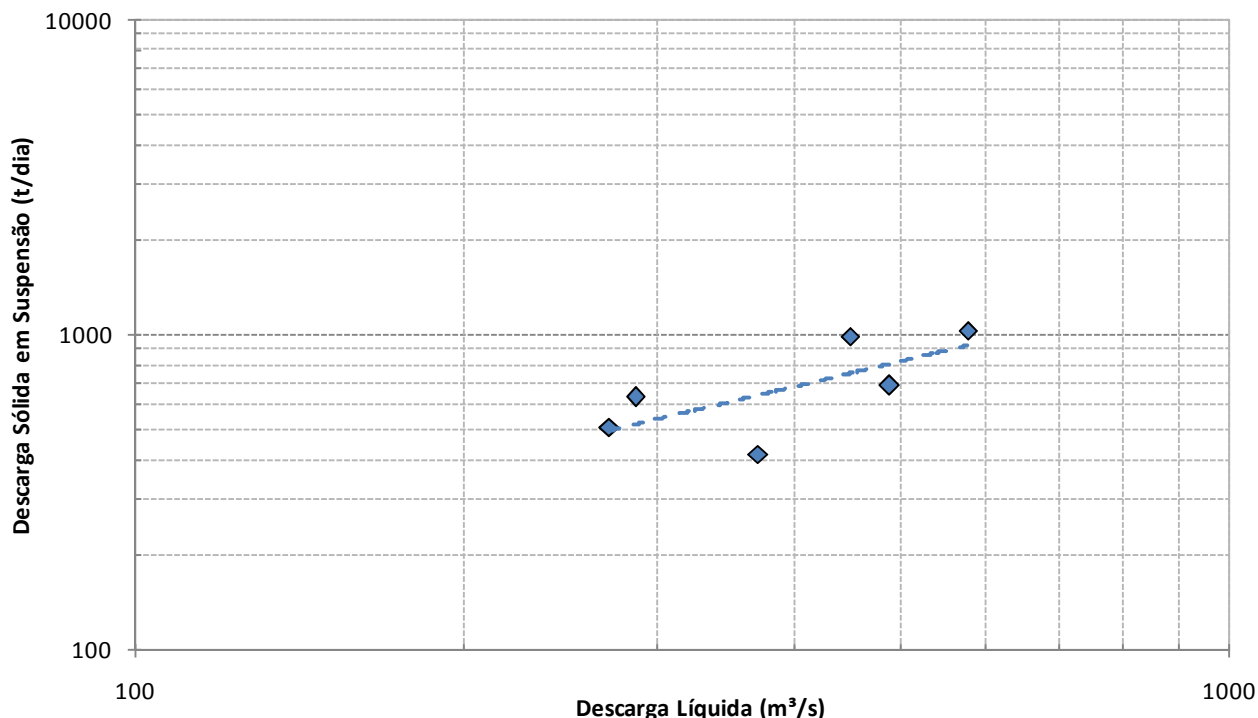


#### 7.1.6. Jaciparaná

A campanha de medições na estação Jaciparaná foi composta por um total de seis jogos de dados. Na medição do dia 30/03/2009 não foi possível coletar amostra de sedimentos do leito devido a problemas no amostrador US BM-54, enquanto que nas medições realizadas em 30/03/2009, 10/04/2009, 17/04/2009 e 22/07/2009 não foi possível realizar o cálculo da descarga sólida total pois as baixas concentrações encontradas não viabilizaram a análise da granulometria dos sedimentos em suspensão.

A curva de descarga sólida em suspensão da estação Jaciparaná apresenta uma elevada dispersão nos resultados obtidos (Figura 7.14.), possivelmente influenciada pelo efeito de remanso do rio Madeira que afeta significativamente a dinâmica do escoamento e dos sedimentos em suspensão nos locais de medição. A curva de descarga sólida total não será apresentada pois a escassez de dados (dois jogos) não permite nenhuma análise.

**Figura 7.14.**  
**Curva de Descarga Sólida em Suspensão em Jaciparaná**



## 7.2. SÉRIES DE DESCARGAS SÓLIDAS

A partir das curvas de descarga sólida obtidas com os dados das medições de FURNAS/CNO foram geradas as séries de descargas sólidas para os postos de Porto Velho e Abunã. As equações das curvas-chave de descarga sólida (em suspensão e total) foram aplicadas nas descargas líquidas diárias, e a partir das descargas sólidas diárias foram determinadas as médias mensais.

As séries de descarga sólidas para as restantes estações fluviométricas serão geradas no próximo relatório de consolidação, quando será possível dispor de um conjunto de informações hidrossedimentológicas que compreendam todos os períodos de um ano hidrológico.

Em Porto Velho foi determinada a série de descarga sólida em suspensão e descarga sólida total para o período compreendido entre 1968 e 2008 (as medições de descarga líquida começaram durante o ano 1967), levando-se em consideração as equações exibidas nas Figuras 7.8. e 7.8.

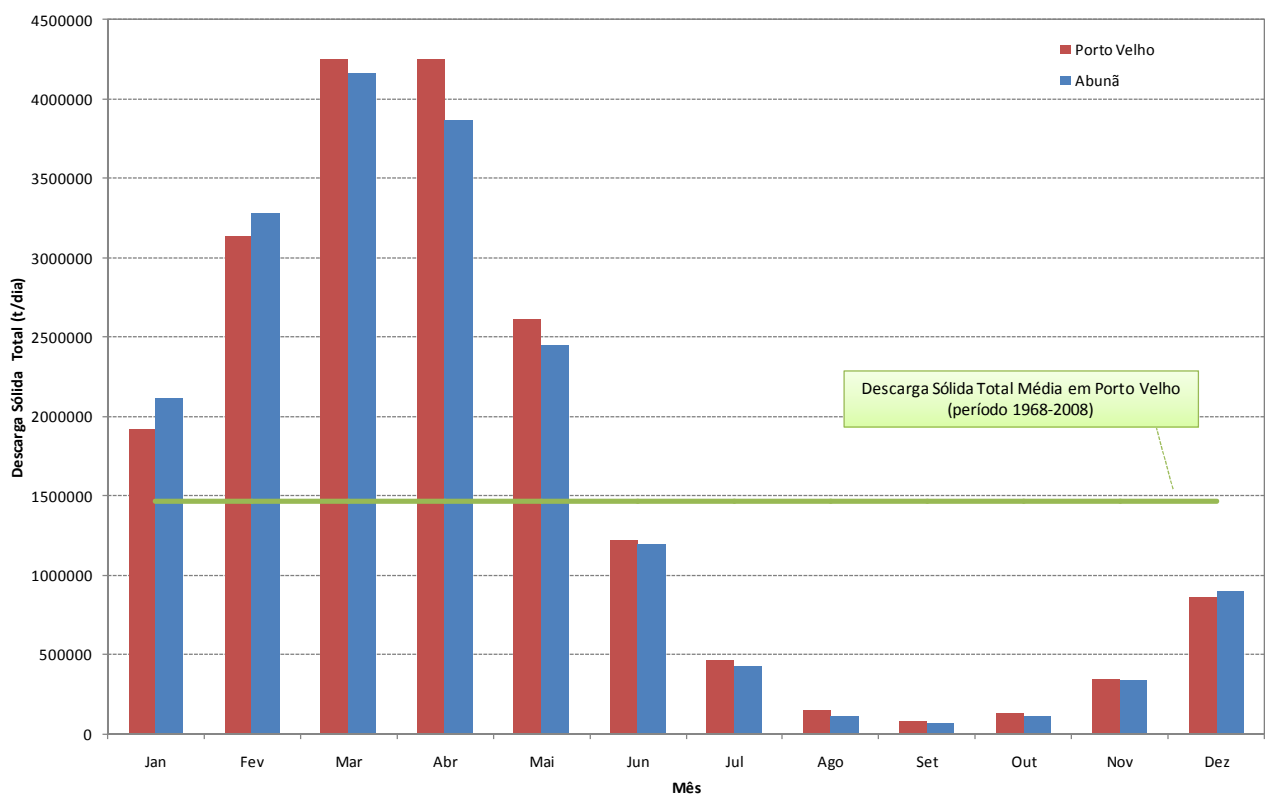
Em Abunã as séries de descargas sólidas em suspensão e total foram geradas a partir das equações mostradas nas Figuras 7.2. e 7.3., para o período de 1976 à 2008, com falhas nos anos de 1976, 1998, 1999, 2000, 2001, 2003 e 2004 devido à interrupção da leitura da régua em alguns meses destes anos.

Em termos quantitativos se observa que o valor médio da descarga sólida total em Porto Velho, no período 1968 a 2008, totalizou 1.617.752 t/dia. Em relação as médias mensais, a mínima descarga sólida total foi de 13.966 t/dia (setembro de 2005) e a máxima descarga sólida total aconteceu em abril de 1984 com 7.344.490 t/dia.

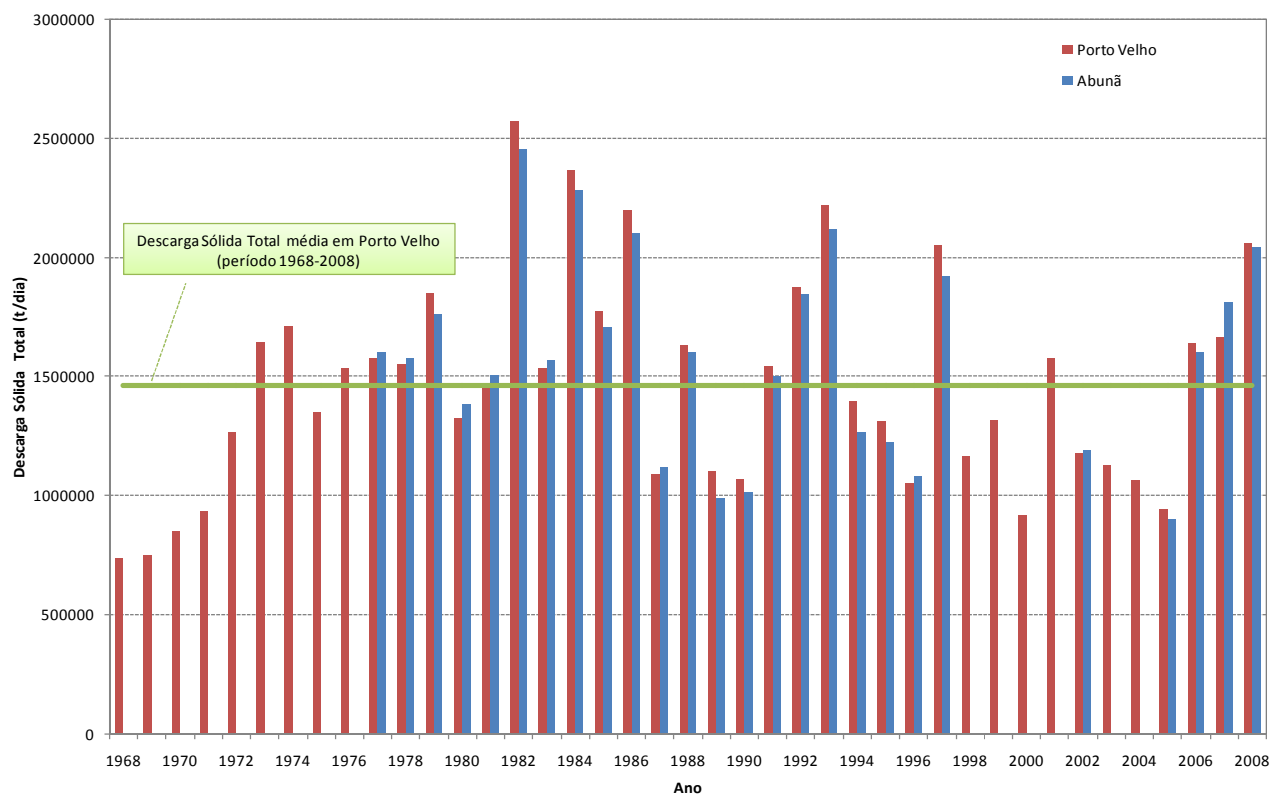
Para Abunã, no período de 1976 à 2008, o valor médio da descarga sólida total foi de 1.584.473 t/dia. Nas médias mensais, a descarga sólida total mínima ocorreu em setembro de 2006 correspondendo a 8.914 t/dia; e a máxima descarga sólida total ocorreu também em abril de 1984, num valor de 6.706.060 t/dia.

Quando avaliadas estas duas estações conjuntamente se visualiza que os picos de descarga sólida acontecem nos meses de março e abril, enquanto que no período de agosto a outubro praticamente não evidencia transporte de sedimentos (Figura 7.15.). A avaliação da descarga sólida total, considerando os valores anuais, se apresenta na Figura 7.16., onde é possível identificar a alternância de anos úmidos e secos e o seu impacto na descarga sólida. Nas duas figuras anteriormente comentadas se visualiza que a descarga sólida total é levemente superior na estação de Porto Velho, indicando que no trecho em questão existe uma ligeira tendência erosiva.

**Figura 7.15.**  
**Variação Mensal da Descarga Sólida Total em Porto Velho e Abunã**



**Figura 7.16.**  
**Variação Anual da Descarga Sólida Total em Porto Velho e Abunã**





**Programa de Levantamentos e Monitoramento Hidrossedimentológico  
do Rio Madeira e do Futuro Reservatório da UHE Santo Antônio**

**Tabela 7.1.  
Série de Descarga Sólida em Suspensão em Porto Velho (t/dia)**

Ano	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Média
1968	468.051	1.627.675	3.090.883	1.865.281	494.738	107.006	46.379	25.943	49.572	49.415	118.635	378.924	693.542
1969	1.377.572	1.795.503	1.795.889	1.667.241	628.082	350.728	138.923	25.943	49.572	49.415	103.219	478.335	705.035
1970	709.920	1.377.566	2.252.875	2.237.690	1.522.636	766.612	233.909	64.333	47.697	47.028	84.415	290.335	802.918
1971	922.375	2.439.044	3.089.487	1.970.760	819.798	247.998	139.475	45.147	36.529	95.454	186.333	571.983	880.365
1972	1.058.830	2.122.954	3.465.755	3.438.980	1.457.467	690.937	187.195	132.549	229.744	255.603	250.852	1.050.758	1.195.135
1973	1.629.368	3.212.557	4.208.373	3.916.726	2.163.545	1.134.208	428.469	176.341	98.026	104.089	408.823	1.119.399	1.549.994
1974	2.446.145	3.557.019	5.086.885	3.638.604	2.288.085	966.239	346.566	125.894	59.686	80.279	264.409	462.647	1.610.205
1975	1.252.226	2.704.089	3.891.508	3.354.698	1.671.144	741.609	407.863	103.612	48.884	129.010	175.168	815.471	1.274.607
1976	2.022.241	3.634.107	4.394.011	3.600.363	1.965.223	865.890	217.148	57.383	40.674	46.434	155.450	410.631	1.450.796
1977	1.708.012	2.371.520	4.637.207	3.726.392	2.338.214	968.772	358.865	125.437	70.652	124.495	451.749	989.007	1.489.193
1978	1.996.707	3.098.270	4.662.809	3.315.912	1.743.835	837.158	391.746	79.378	26.831	42.200	148.497	1.177.895	1.460.103
1979	2.518.250	3.691.354	4.195.553	4.971.883	3.261.448	1.271.557	335.423	89.272	56.011	56.899	112.060	308.619	1.739.027
1980	1.107.842	1.888.514	3.395.079	3.593.305	2.172.833	1.392.967	470.608	148.258	118.110	160.280	188.165	370.162	1.250.510
1981	938.329	2.312.180	3.715.007	3.712.158	2.364.586	1.540.530	373.447	79.175	42.410	126.236	393.731	1.057.434	1.387.935
1982	2.613.128	3.982.849	5.415.506	6.422.492	4.377.853	2.109.225	1.005.521	285.157	101.015	377.352	899.999	1.396.083	2.415.515
1983	1.786.309	2.701.210	3.532.899	2.742.504	2.600.774	1.620.090	1.183.093	446.896	96.659	66.910	173.244	428.197	1.448.232
1984	1.819.203	3.345.658	5.116.394	6.878.197	4.757.982	2.021.814	708.189	149.538	61.147	72.410	628.931	1.196.357	2.229.652
1985	2.457.416	3.364.439	3.538.677	3.682.810	3.267.309	1.549.854	550.680	264.351	121.626	171.288	404.752	699.091	1.672.691
1986	1.802.402	3.668.451	5.346.249	5.948.192	3.468.803	2.017.870	798.539	298.711	192.403	243.841	180.392	819.127	2.065.415
1987	1.960.548	2.853.916	2.266.936	1.572.873	1.348.054	501.214	164.516	71.719	34.414	68.047	274.634	1.196.384	1.026.105
1988	1.868.152	3.025.721	3.612.524	4.840.963	2.862.144	1.341.524	429.406	85.631	28.364	33.959	69.549	236.202	1.536.178
1989	1.268.022	2.322.775	2.980.290	2.803.452	1.643.176	608.504	274.996	80.367	74.688	53.939	90.353	275.847	1.039.701

**Programa de Levantamentos e Monitoramento Hidrossedimentológico  
do Rio Madeira e do Futuro Reservatório da UHE Santo Antônio**

**Tabela 7.1. (continuação)  
Série de Descarga Sólida em Suspensão em Porto Velho (t/dia)**

Ano	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Média
1990	1.224.337	2.230.250	2.386.406	1.674.914	1.367.911	923.707	416.956	99.468	59.150	101.553	596.425	1.007.368	1.007.370
1991	2.147.617	3.393.607	3.848.343	3.435.176	1.872.462	1.042.012	371.005	139.623	76.172	111.613	303.716	663.012	1.450.363
1992	1.775.551	2.022.640	4.314.757	3.952.462	3.045.837	1.649.566	1.103.492	266.776	392.593	594.022	715.310	1.410.228	1.770.270
1993	2.708.994	4.616.157	5.556.736	5.799.219	3.192.274	1.126.822	303.280	128.382	106.559	100.927	400.072	1.010.597	2.087.502
1994	1.732.466	3.079.024	3.333.754	3.350.438	1.881.326	595.034	186.226	76.172	24.636	62.906	460.596	1.010.597	1.316.098
1995	1.865.142	2.380.939	3.905.866	3.577.482	1.645.775	576.709	176.783	111.891	26.633	26.518	66.187	466.712	1.235.553
1996	988.983	2.262.067	2.502.129	2.857.739	1.171.401	511.785	168.924	43.275	44.279	81.155	486.134	769.392	990.605
1997	1.690.959	3.124.037	5.685.060	5.994.279	3.396.886	1.480.213	510.312	144.994	50.310	106.324	216.015	791.526	1.932.576
1998	1.253.811	1.602.376	3.260.591	3.431.948	1.289.724	367.331	118.849	43.068	37.742	89.935	482.023	1.195.399	1.097.733
1999	1.993.613	3.369.614	3.426.604	3.221.424	1.384.774	529.807	252.770	60.768	27.473	35.912	77.338	502.338	1.240.203
2000	991.663	1.806.357	2.779.557	2.139.868	975.357	475.852	177.097	65.242	86.118	40.242	227.948	646.905	867.684
2001	1.660.942	3.117.646	5.066.226	3.761.815	1.828.479	857.942	261.515	95.221	38.864	64.464	321.846	746.155	1.485.093
2002	1.438.865	2.240.890	3.745.799	2.558.206	1.465.028	736.578	192.702	68.522	43.118	74.887	173.394	613.281	1.112.606
2003	1.326.232	2.387.402	3.098.841	3.144.667	1.313.082	583.583	159.907	51.445	28.809	79.714	106.079	477.796	1.063.130
2004	2.071.572	2.519.329	2.182.329	2.277.116	1.372.877	526.204	180.514	72.508	28.397	45.520	185.272	580.697	1.003.528
2005	1.434.113	1.954.804	2.781.529	2.181.195	794.550	448.819	130.348	28.431	13.520	43.072	206.946	696.679	892.834
2006	2.199.804	4.229.868	4.349.897	4.188.477	1.507.705	485.620	174.627	50.726	22.437	78.233	351.402	844.992	1.540.316
2007	1.641.916	2.286.628	4.074.549	4.650.151	2.902.592	1.108.422	261.821	100.491	25.181	67.636	422.954	1.276.899	1.568.270
2008	2.480.373	4.345.564	4.963.055	5.410.786	3.421.105	1.414.078	369.780	137.594	67.641	95.009	213.304	345.179	1.938.622
Média	1.667.268	2.782.111	3.779.337	3.597.776	2.074.314	953.473	358.728	115.747	70.350	106.201	287.227	750.845	1.378.615
Maximo	2.708.994	4.616.157	5.685.060	6.878.197	4.757.982	2.109.225	1.183.093	446.896	392.593	594.022	899.999	1.410.228	2.415.515
Mínimo	468.051	1.377.566	1.795.889	1.572.873	494.738	107.006	46.379	25.943	13.520	26.518	66.187	236.202	693.542

**Programa de Levantamentos e Monitoramento Hidrossedimentológico  
do Rio Madeira e do Futuro Reservatório da UHE Santo Antônio**

**Tabela 7.2.  
Série de Descarga Sólida Total em Porto Velho (t/dia)**

<b>Ano</b>	<b>Jan</b>	<b>Fev</b>	<b>Mar</b>	<b>Abr</b>	<b>Mai</b>	<b>Jun</b>	<b>Jul</b>	<b>Ago</b>	<b>Set</b>	<b>Out</b>	<b>Nov</b>	<b>Dez</b>	<b>Média</b>
1968	492.932	1.725.090	3.286.420	1.978.362	521.324	111.776	48.227	26.894	51.579	51.422	124.021	398.970	734.752
1969	1.458.559	1.903.671	1.904.036	1.767.108	662.493	368.651	145.385	26.894	51.579	51.422	107.917	503.869	745.965
1970	749.048	1.458.760	2.391.584	2.375.264	1.612.944	809.210	245.494	67.036	49.614	48.910	88.111	305.669	850.137
1971	974.501	2.590.451	3.284.940	2.090.551	866.032	260.258	145.948	46.946	37.945	99.687	195.199	603.002	932.955
1972	1.119.686	2.209.990	3.687.259	3.658.796	1.543.863	728.881	196.199	138.663	241.016	268.249	263.621	1.111.182	1.263.950
1973	1.726.807	3.416.586	4.481.931	4.169.849	2.296.276	1.199.604	450.929	184.676	102.358	108.748	430.224	1.183.926	1.645.993
1974	2.597.846	3.785.016	5.423.068	3.872.166	2.429.538	1.021.223	364.340	131.622	62.156	83.784	277.528	487.176	1.711.289
1975	1.325.320	2.873.220	4.142.737	3.568.792	1.771.222	782.762	429.070	108.247	50.852	134.893	183.581	860.979	1.352.640
1976	2.145.763	3.836.572	4.680.740	3.831.478	2.084.594	914.829	227.776	59.736	42.269	48.283	162.755	432.216	1.538.918
1977	1.810.568	2.518.226	4.941.318	3.966.554	2.482.859	1.023.851	377.310	131.137	73.631	130.153	475.985	1.045.310	1.581.409
1978	2.118.210	3.294.322	4.968.679	3.527.422	1.848.780	884.211	412.057	82.832	27.818	43.868	155.372	1.246.798	1.550.864
1979	2.674.665	3.928.644	4.468.549	5.299.880	3.469.140	1.346.075	352.550	93.175	58.321	59.230	117.189	324.390	1.849.317
1980	1.171.696	1.976.945	3.611.760	3.823.873	2.306.010	1.474.886	495.642	155.118	123.472	167.860	197.125	389.205	1.324.466
1981	992.303	2.454.986	3.953.889	3.950.883	2.510.659	1.632.142	392.913	82.567	44.079	132.160	414.120	1.118.278	1.473.248
1982	2.776.598	4.240.562	5.775.452	6.855.361	4.663.905	2.238.386	1.062.879	299.481	105.500	396.978	950.988	1.478.209	2.570.358
1983	1.893.858	2.870.162	3.759.100	2.914.150	2.762.776	1.716.759	1.251.583	470.661	100.903	69.718	181.492	450.596	1.536.813
1984	1.929.652	3.522.048	5.454.715	7.344.490	5.071.544	2.145.325	747.409	156.502	63.691	75.542	663.622	1.265.682	2.370.018
1985	2.610.239	3.578.897	3.765.265	3.919.457	3.475.362	1.642.222	580.366	277.505	127.132	179.348	426.046	737.639	1.776.623
1986	1.911.216	3.904.231	5.701.303	6.346.790	3.690.689	2.141.268	843.209	313.752	201.587	255.803	188.950	865.068	2.196.989
1987	2.079.959	3.033.361	2.406.595	1.666.422	1.427.102	527.868	172.278	74.759	35.731	71.053	288.338	1.265.966	1.087.453
1988	1.981.152	3.197.935	3.844.506	5.159.476	3.042.596	1.420.567	451.941	89.369	29.417	35.252	72.485	247.794	1.631.041
1989	1.341.966	2.465.970	3.168.219	2.979.263	1.741.688	641.485	288.767	83.829	77.906	56.140	94.303	289.884	1.102.451

**Programa de Levantamentos e Monitoramento Hidrossedimentológico  
do Rio Madeira e do Futuro Reservatório da UHE Santo Antônio**

**Tabela 7.2. (continuação)  
Série de Descarga Sólida Total em Porto Velho (t/dia)**

<b>Ano</b>	<b>Jan</b>	<b>Fev</b>	<b>Mar</b>	<b>Abr</b>	<b>Mai</b>	<b>Jun</b>	<b>Jul</b>	<b>Ago</b>	<b>Set</b>	<b>Out</b>	<b>Nov</b>	<b>Dez</b>	<b>Média</b>
1990	1.295.749	2.367.365	2.534.038	1.775.091	1.448.181	975.896	438.890	103.895	61.585	106.106	628.945	1.064.759	1.066.708
1991	2.279.653	3.610.094	4.096.669	3.654.914	1.985.724	1.101.677	390.230	146.040	79.414	116.622	319.226	699.343	1.539.967
1992	1.882.541	2.104.807	4.595.984	4.208.170	3.238.651	1.748.160	1.167.155	280.180	413.040	626.126	754.770	1.493.273	1.876.072
1993	2.878.554	4.918.761	5.926.723	6.186.725	3.395.566	1.192.185	318.574	134.224	111.300	105.382	421.049	1.068.556	2.221.467
1994	1.836.416	3.273.909	3.546.350	3.563.994	1.995.571	627.395	195.148	79.435	25.531	65.535	484.954	1.068.556	1.396.900
1995	1.978.009	2.528.332	4.158.130	3.807.075	1.744.153	607.984	185.149	116.945	27.616	27.492	69.025	491.347	1.311.771
1996	1.045.691	2.397.459	2.657.440	3.037.325	1.239.407	539.180	176.901	44.989	46.040	84.670	511.987	812.178	1.049.439
1997	1.792.344	3.322.529	6.064.335	6.396.020	3.614.278	1.567.913	537.662	151.715	52.348	111.146	226.475	835.974	2.056.062
1998	1.326.769	1.697.911	3.468.099	3.651.435	1.365.465	386.328	124.256	44.769	39.208	93.972	507.583	1.264.696	1.164.208
1999	2.115.171	3.584.698	3.645.415	3.426.389	1.466.224	558.236	265.301	63.322	28.506	37.302	80.697	529.487	1.316.729
2000	1.048.180	1.921.546	2.954.132	2.271.096	1.031.051	501.038	185.501	67.976	89.873	41.814	239.155	682.376	919.478
2001	1.761.187	3.315.111	5.400.977	4.004.685	1.939.009	906.203	274.475	99.434	40.378	67.180	338.248	787.596	1.577.874
2002	1.523.800	2.379.259	3.986.828	2.717.597	1.552.019	777.306	201.934	71.421	44.819	78.118	181.638	646.866	1.180.134
2003	1.404.371	2.534.960	3.295.157	3.344.059	1.390.154	615.067	167.491	53.525	29.880	83.258	110.833	503.600	1.127.696
2004	2.198.549	2.656.289	2.316.345	2.417.306	1.453.785	554.452	189.121	75.625	29.461	47.376	194.183	612.070	1.062.047
2005	1.518.806	2.073.741	2.955.840	2.315.380	838.996	472.373	136.380	29.496	13.967	44.834	216.961	734.952	945.977
2006	2.335.876	4.505.169	4.633.762	4.460.758	1.597.748	511.344	182.965	52.796	23.241	81.723	369.487	892.610	1.637.290
2007	1.739.970	2.427.655	4.338.802	4.955.237	3.085.594	1.172.635	274.904	105.050	26.101	70.616	445.162	1.351.760	1.666.124
2008	2.634.538	4.628.955	5.290.324	5.770.352	3.640.062	1.497.709	388.895	143.908	70.480	99.200	223.635	363.088	2.062.595
Média	1.767.774	2.952.054	4.023.595	3.830.000	2.202.513	1.008.422	377.639	121.126	73.447	111.146	302.024	793.046	1.463.565
Maximo	2.878.554	4.918.761	6.064.335	7.344.490	5.071.544	2.238.386	1.251.583	470.661	413.040	626.126	950.988	1.493.273	2.570.358
Mínimo	492.932	1.458.760	1.904.036	1.666.422	521.324	111.776	48.227	26.894	13.967	27.492	69.025	247.794	734.752

**Programa de Levantamentos e Monitoramento Hidrossedimentológico  
do Rio Madeira e do Futuro Reservatório da UHE Santo Antônio**

**Tabela 7.3.  
Série de Descarga Sólida em Suspensão em Abunã (t/dia)**

Ano	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Média
1976			4.135.917	3.156.528	2.037.045	889.457	195.293	48.986	34.830	43.663	164.062	479.788	
1977	1.946.546	2.773.724	4.798.786	3.504.465	2.364.651	988.316	340.896	115.484	69.722	132.090	482.650	1.093.749	1.550.923
1978	2.390.463	3.616.905	4.889.481	2.998.498	1.646.162	816.133	366.851	65.193	19.864	37.520	156.737	1.372.394	1.531.350
1979	2.944.338	3.890.070	4.123.540	4.550.682	2.935.172	1.158.886	308.794	74.546	48.500	52.738	102.515	301.178	1.707.580
1980	1.238.566	2.218.333	3.691.286	3.577.578	2.359.492	1.549.743	466.948	137.628	107.884	163.939	172.983	380.195	1.338.715
1981	1.028.056	2.719.846	3.922.295	3.577.596	2.493.691	1.660.548	341.047	68.831	37.330	140.062	396.582	1.111.914	1.458.150
1982	3.095.577	4.363.149	5.440.764	6.021.889	3.575.334	1.888.105	988.765	290.489	106.678	355.072	954.850	1.486.290	2.380.580
1983	1.799.899	2.737.896	3.439.822	3.118.043	2.984.841	1.766.072	1.293.904	367.770	66.908	62.905	182.862	437.740	1.521.555
1984	2.072.046	3.855.983	5.353.692	6.533.798	4.050.804	1.905.744	602.788	87.542	25.084	58.149	684.330	1.357.106	2.215.589
1985	2.896.380	3.703.523	3.548.009	3.538.290	3.018.321	1.535.170	404.974	205.788	93.451	126.817	354.913	459.614	1.657.104
1986	2.025.975	3.998.115	5.404.677	5.306.884	3.288.093	2.033.051	797.953	224.259	123.815	209.119	150.606	905.943	2.039.041
1987	2.293.991	3.185.045	2.289.241	1.492.891	1.392.091	432.522	120.328	53.977	28.148	66.836	266.965	1.368.789	1.082.569
1988	2.234.780	3.290.392	3.630.386	4.594.350	2.722.693	1.379.843	389.517	70.577	17.235	27.430	64.263	230.222	1.554.307
1989	1.391.290	2.234.078	2.688.196	2.673.228	1.270.661	545.349	195.854	70.663	42.381	39.200	72.035	242.526	955.455
1990	904.902	2.161.383	2.274.264	1.670.895	1.466.917	1.003.372	372.500	91.040	41.823	62.807	587.437	1.126.693	980.336
1991	2.371.458	3.631.928	3.893.507	3.188.652	2.032.994	929.000	288.003	135.256	66.501	79.532	243.180	563.057	1.451.922
1992	1.737.558	2.039.715	4.766.149	3.682.162	2.939.741	1.873.632	1.196.733	219.956	368.958	511.354	769.843	1.379.867	1.790.472
1993	3.223.447	5.027.687	5.778.008	4.538.739	2.919.192	1.076.894	293.637	110.871	80.786	89.819	379.919	1.164.416	2.056.951

**Programa de Levantamentos e Monitoramento Hidrossedimentológico  
do Rio Madeira e do Futuro Reservatório da UHE Santo Antônio**

**Tabela 7.3. (continuação)  
Série de Descarga Sólida em Suspensão em Abunã (t/dia)**

Ano	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Média
1994	1.856.913	2.624.517	2.814.938	3.199.723	1.819.222	539.284	163.774	58.866	14.631	55.822	407.023	1.156.373	1.225.924
1995	2.147.184	2.409.348	3.607.756	3.341.031	1.539.092	381.996	151.099	48.255	16.068	24.005	67.284	491.474	1.185.383
1996	1.028.521	2.638.927	2.842.852	2.761.890	1.264.799	525.763	152.741	26.930	33.232	78.055	422.999	806.896	1.048.634
1997	1.946.405	3.304.303	5.270.980	5.164.514	3.349.676	1.548.527	433.785	112.373	41.073	101.048	193.345	909.728	1.864.646
1998	1.445.374	1.513.581	3.625.220	3.416.550	1.307.878	286.384	95.043	34.953	24.386				
1999													
2000													
2001									29.148	62.765	198.526	819.739	
2002	1.571.738	2.564.161	3.817.205	2.438.117	1.491.762	760.626	161.041	58.720	41.634	72.568	173.572	684.772	1.152.993
2003	1.576.926	2.586.955	3.133.236	2.839.785	1.250.151	554.583	127.540	46.162	21.054	81.084	119.285		
2004	2.478.399			2.151.338	1.356.195	452.933	177.319	80.770	31.951	50.939	208.750	646.523	
2005	1.670.866	2.078.280	2.493.836	1.941.151	718.778	414.055	102.588	24.225	14.252	45.653	219.663	744.210	872.296
2006	2.612.375	4.325.680	4.254.965	4.003.919	1.527.386	511.525	161.598	23.110	8.345	54.528	302.781	862.557	1.554.064
2007	1.637.452	2.535.666	4.951.327	5.058.381	3.289.555	1.306.271	256.136	78.097	20.717	69.098	482.139	1.447.387	1.761.019
2008	3.046.661	4.922.080	5.134.355	5.248.346	3.173.025	1.367.428	265.902	81.392	35.906	64.909	163.792	311.152	1.984.579
Média	2.042.822	3.186.567	4.043.089	3.758.681	2.370.544	1.149.917	408.391	111.609	60.420	106.964	325.203	861.394	1.535.467
Maximo	3.223.447	5.027.687	5.778.008	6.533.798	4.050.804	2.033.051	1.293.904	367.770	368.958	511.354	954.850	1.486.290	2.380.580
Mínimo	904.902	1.513.581	2.274.264	1.492.891	718.778	286.384	95.043	23.110	8.345	24.005	64.263	230.222	872.296

**Programa de Levantamentos e Monitoramento Hidrossedimentológico  
do Rio Madeira e do Futuro Reservatório da UHE Santo Antônio**

**Tabela 7.4.  
Série de Descarga Sólida Total em Abunã (t/dia)**

Ano	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Média
1976			4.256.614	3.253.717	2.105.425	923.389	204.553	51.777	36.881	46.181	172.068	499.842	
1977	2.012.135	2.861.176	4.934.366	3.609.879	2.441.418	1.025.811	356.053	121.421	73.535	138.769	502.487	1.134.586	1.600.970
1978	2.468.201	3.725.466	5.027.145	3.091.609	1.703.436	847.843	382.931	68.740	21.109	39.701	164.501	1.420.822	1.580.125
1979	3.036.463	4.005.087	4.243.539	4.680.765	3.026.619	1.201.628	322.665	78.575	51.225	55.714	107.765	314.662	1.760.392
1980	1.283.705	2.291.554	3.801.596	3.684.888	2.436.552	1.604.326	486.564	144.570	113.396	171.895	181.457	396.924	1.383.119
1981	1.065.557	2.805.965	4.038.080	3.685.158	2.574.249	1.718.061	355.975	72.598	39.521	146.828	413.910	1.152.931	1.505.736
1982	3.190.716	4.489.059	5.590.192	6.183.679	3.682.053	1.952.379	1.026.289	303.672	112.194	370.708	990.895	1.538.977	2.452.568
1983	1.861.606	2.824.697	3.544.140	3.214.522	3.077.964	1.826.853	1.340.902	383.716	70.587	66.375	191.629	456.535	1.571.627
1984	2.140.457	3.969.922	5.501.405	6.706.060	4.168.733	1.970.119	627.146	92.156	26.616	61.342	711.245	1.406.068	2.281.772
1985	2.986.636	3.814.175	3.654.919	3.644.969	3.112.012	1.589.067	422.428	215.479	98.380	133.279	370.454	479.121	1.710.077
1986	2.093.433	4.115.623	5.553.278	5.453.286	3.388.635	2.100.838	829.068	234.793	130.131	219.103	158.034	940.602	2.101.402
1987	2.368.771	3.282.877	2.364.085	1.545.834	1.442.022	451.129	126.446	57.001	29.841	70.287	279.240	1.417.798	1.119.611
1988	2.308.293	3.391.059	3.738.841	4.725.500	2.808.806	1.428.805	406.449	74.390	18.329	29.094	67.797	240.982	1.603.195
1989	1.441.222	2.307.757	2.773.661	2.758.472	1.316.662	568.113	205.211	74.496	44.828	41.482	75.954	253.461	988.443
1990	939.764	2.232.895	2.348.871	1.729.058	1.519.157	1.041.409	388.798	95.807	44.248	66.148	611.353	1.168.664	1.015.514
1991	2.448.228	3.740.842	4.008.494	3.286.639	2.101.020	964.611	301.116	142.094	70.159	83.815	254.461	586.263	1.498.978
1992	1.797.430	2.107.455	4.901.056	3.792.245	3.031.281	1.937.414	1.240.503	230.191	385.153	532.934	800.208	1.429.449	1.848.777
1993	3.322.209	5.168.378	5.934.665	4.668.585	3.010.176	1.116.671	306.989	116.614	85.133	94.582	396.516	1.207.006	2.118.960

**Programa de Levantamentos e Monitoramento Hidrossedimentológico  
do Rio Madeira e do Futuro Reservatório da UHE Santo Antônio**

**Tabela 7.4. (continuação)  
Série de Descarga Sólida Total em Abunã (t/dia)**

<b>Ano</b>	<b>Jan</b>	<b>Fev</b>	<b>Mar</b>	<b>Abr</b>	<b>Mai</b>	<b>Jun</b>	<b>Jul</b>	<b>Ago</b>	<b>Set</b>	<b>Out</b>	<b>Nov</b>	<b>Dez</b>	<b>Média</b>
1994	1.920.305	2.708.539	2.903.841	3.298.125	1.881.049	561.625	171.812	62.131	15.573	58.931	424.543	1.199.261	1.267.145
1995	2.218.310	2.487.667	3.716.042	3.442.693	1.593.178	398.644	158.617	50.949	17.091	25.481	70.894	512.275	1.224.320
1996	1.066.577	2.723.308	2.932.461	2.849.267	1.310.704	547.638	160.277	28.544	35.167	82.238	441.252	838.507	1.084.662
1997	2.012.016	3.405.034	5.416.871	5.307.679	3.451.639	1.602.819	452.174	118.155	43.435	106.253	202.651	944.323	1.921.921
1998	1.496.939	1.567.160	3.733.803	3.519.992	1.354.732	299.434	99.995	37.012	25.876				
1999													
2000													
2001									30.888	66.192	207.847	851.590	
2002	1.626.813	2.645.834	3.930.508	2.517.012	1.544.120	790.661	168.978	61.973	44.048	76.469	181.983	712.035	1.191.703
2003	1.631.443	2.669.968	3.229.892	2.929.105	1.295.618	577.642	133.934	48.807	22.365	85.272	125.368		
2004	2.558.064			2.222.746	1.404.852	472.178	185.933	85.067	33.846	53.771	218.553	672.536	
2005	1.728.844	2.147.494	2.574.413	2.006.441	747.328	432.029	107.873	25.708	15.176	48.219	230.005	773.854	903.115
2006	2.694.590	4.450.503	4.378.118	4.121.444	1.580.766	533.018	169.450	24.511	8.914	57.437	316.311	895.735	1.602.566
2007	1.694.615	2.616.571	5.090.272	5.199.447	3.389.977	1.353.033	267.895	82.194	22.011	72.721	502.441	1.498.423	1.815.800
2008	3.141.059	5.060.341	5.277.359	5.393.421	3.270.225	1.416.196	278.059	85.763	38.020	68.458	171.844	324.708	2.043.788
Média	2.110.306	3.283.818	4.160.701	3.869.103	2.446.530	1.191.567	425.410	117.163	63.609	112.241	339.224	893.999	1.584.473
Maximo	3.322.209	5.168.378	5.934.665	6.706.060	4.168.733	2.100.838	1.340.902	383.716	385.153	532.934	990.895	1.538.977	2.452.568
Mínimo	939.764	1.567.160	2.348.871	1.545.834	747.328	299.434	99.995	24.511	8.914	25.481	67.797	240.982	903.115



### 7.3. GRANULOMETRIA DOS SEDIMENTOS EM SUSPENSÃO E DO LEITO

Com base nas medições realizadas pela PCE entre março e julho de 2009 foi determinada a composição média dos sedimentos transportados em suspensão e no leito das estações fluviométricas com medições de descargas líquida e sólida. As frações granulométricas levadas em consideração nas análises foram: argila, silte, areia fina, areia média, areia grossa e pedregulho, como mostrado a seguir, nas Tabelas 7.5. e 7.6.

**Tabela 7.5.**  
**Granulometria Média dos Sedimentos em Suspensão**

Local	Material em Suspensão (%)				
	Argila	Silte	Areia Fina	Areia Média	Areia Grossa
Abunã	20,1	56,9	22,4	0,2	0,4
Jus. Cald. Inferno	17,2	56,3	25,8	0,5	0,2
Porto Velho	20,0	60,8	19,0	0,2	0,0
São Carlos	18,8	65,0	15,6	0,5	0,1
Humaitá	17,6	63,7	18,4	0,3	0,0
Jaciparaná	28,9	61,8	8,5	0,5	0,3

**Tabela 7.6.**  
**Granulometria Média dos Sedimentos do Leito**

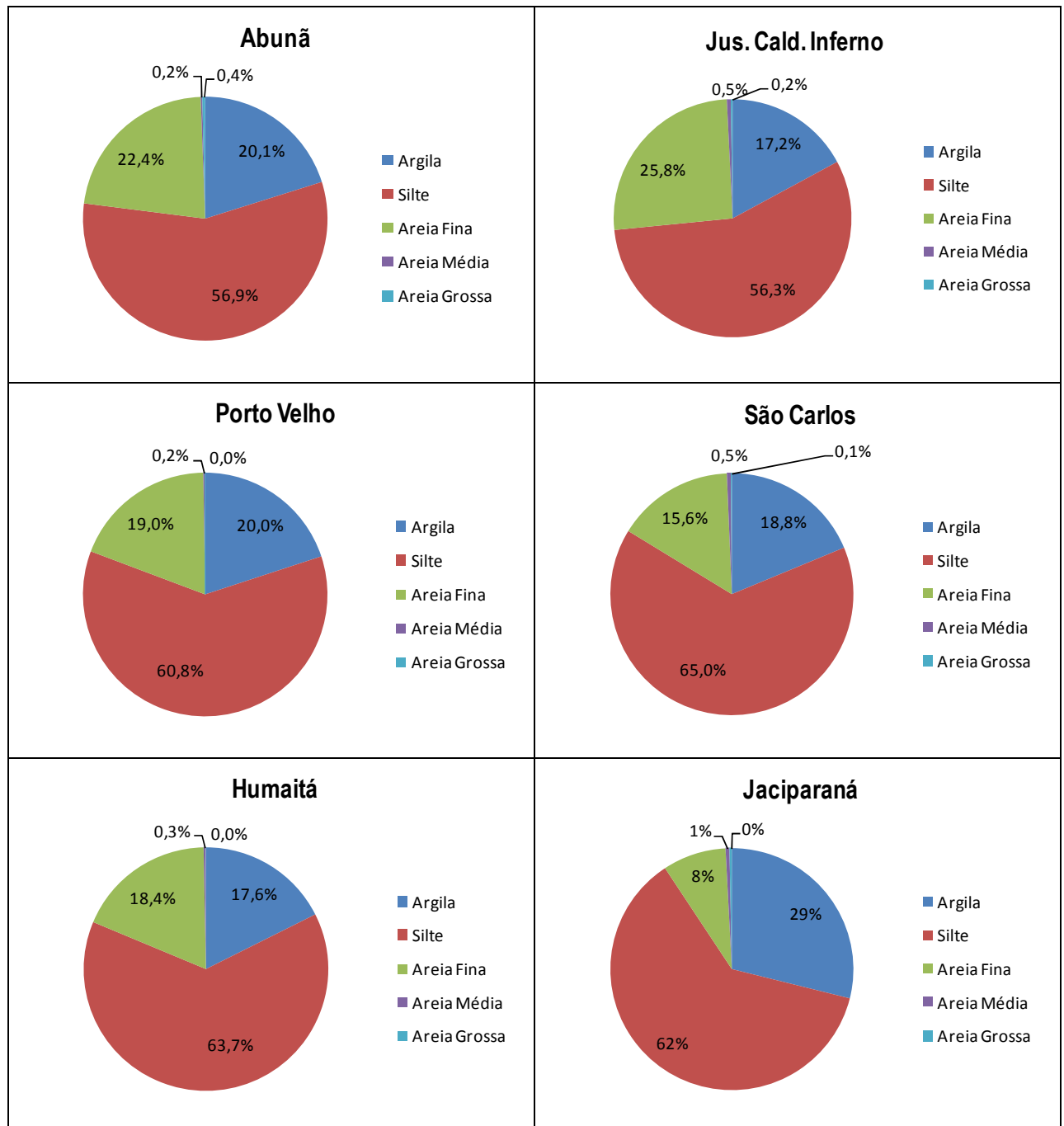
Local	Material do Leito (%)					
	Argila	Silte	Areia Fina	Areia Média	Areia Grossa	Pedregulho
Abunã	0,1	1,6	68,7	25,2	4,2	0,2
Jus. Cald. Inferno	0,2	1,6	43,0	45,2	7,1	2,9
Porto Velho	0,5	2,8	54,5	34,4	7,0	0,8
São Carlos	0,3	2,9	38,7	39,3	15,8	3,0
Humaitá	0,3	2,0	33,5	46,7	15,2	2,3
Jaciparaná	0,0	1,5	30,7	20,5	31,3	16,0

Verificou-se que existe uma predominância de sedimentos finos (argila e silte) no material em suspensão do rio Madeira, com valores médios superiores a 70%, com porcentagens de silte acima de 55%. Em Jaciparaná, a porcentagem de materiais finos no sedimento do leito chegou a 90%.

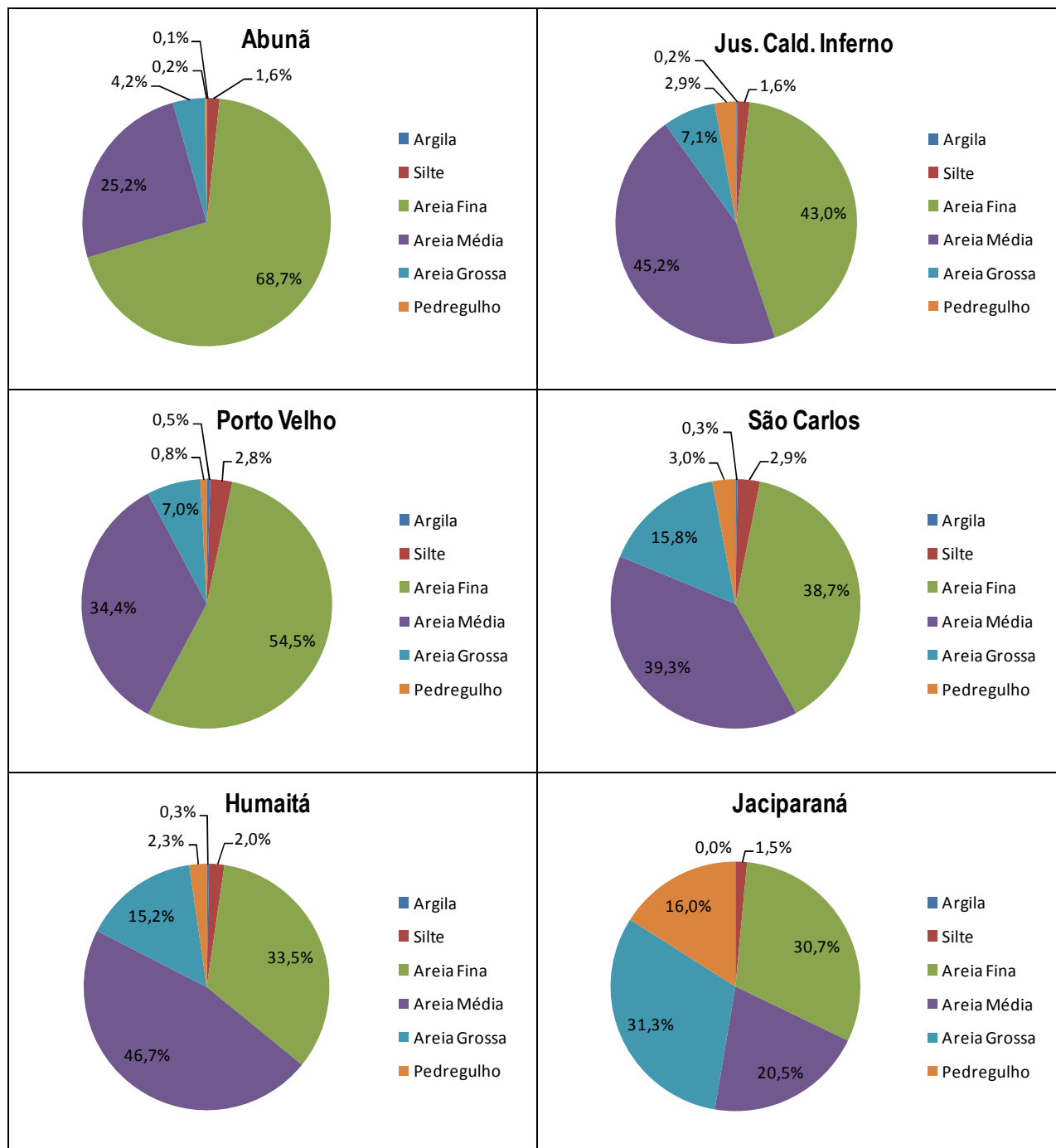
O material do leito no rio Madeira tem em sua composição média porcentagens acima de 90% de areia (fina, média e grossa), sendo predominantes as areias fina e média. Em Jaciparaná as areias atingem uma porcentagem de 82,5%, sendo predominante a areia grossa.

Estes resultados são visualizados com maior clareza nas Figuras 7.17. e 7.18.

**Figura 7.17.**  
**Granulometria Média dos Sedimentos em Suspensão**



**Figura 7.18.**  
**Granulometria Média dos Sedimentos do Leito**



Para caracterizar a granulometria dos sedimentos do leito de um rio normalmente se recorre à descrição de diâmetros característicos médios, entre os quais o  $d_{10}$ ,  $d_{35}$ ,  $d_{50}$ ,  $d_{65}$ ,  $d_{90}$ , como se visualiza na Tabela 7.7., para todas as estações estudadas. Em termos médios, o diâmetro médio no Madeira variou de 0,20 mm, em Abunã, até 0,30 mm em Humaitá. O rio Jaciparaná se caracteriza por apresentar areia grossa e pedregulho no leito, com o que o  $d_{50}$  teve um valor médio de 0,50 mm.

**Tabela 7.7.**  
**Diâmetro Característico Médio dos Sedimentos do Leito**

Local	Diâmetros Característicos Médio (mm)				
	D10	D35	D50	D65	D90
Abunã	0,105	0,172	0,204	0,243	0,383
Jus. Cald. Inferno	0,134	0,217	0,273	0,340	0,677
Porto Velho	0,095	0,171	0,222	0,291	0,546
São Carlos	0,128	0,218	0,287	0,362	1,022
Humaitá	0,142	0,245	0,309	0,386	0,839
Jaciparaná	0,135	0,324	0,497	0,831	3,103

#### 7.4. MORFOLOGIA DA SEÇÃO TRANSVERSAL DAS ESTAÇÕES FLUVIOMÉTRICAS

Com o intuito de avaliar a qualidade das batimetrias nas seções de monitoramento com medições de descarga líquida foi realizada a comparação das informações obtidas pela equipe de hidrometria através da sondagem com o guincho hidrométrico e a partir do processamento das medições de ADCP. Os levantamentos realizados com guincho foram realizados durante o período de águas baixas, o que assegura a qualidade dos dados coletados pois a velocidade do escoamento é relativamente pequena.

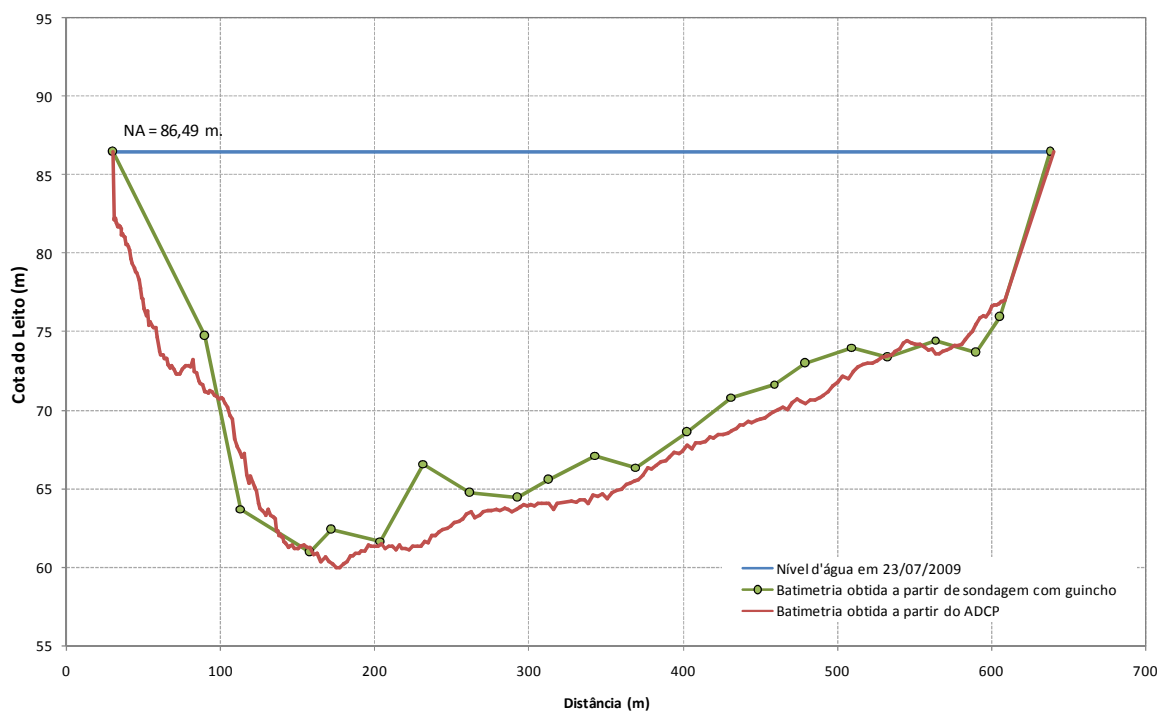
As batimetrias obtidas a partir destas duas metodologias são apresentadas a seguir, nas Figuras 7.19. a 7.24. Se observa nas figuras que as principais feições de cada local são adequadamente representadas, o que valida a metodologia empregada para a medição de descarga líquida a partir de 20 verticais. Destacamos este ponto em particular pois as medições com ADCP apresentam acima de 250 pontos batimétricos em cada seção.

Das seções avaliadas apenas as medições de Abunã apresentam algumas divergências nas profundidades (Figura 7.19.), que podem justificar-se pelas dificuldades encontradas no local durante as medições com guincho devido à presença de blocos de rocha na calha do rio que coloca em risco a segurança da equipe e dos equipamentos. Esta situação permite visualizar mais uma vantagem do uso de “equipamentos de medição não intrusivos”, como é o caso do ADCP.

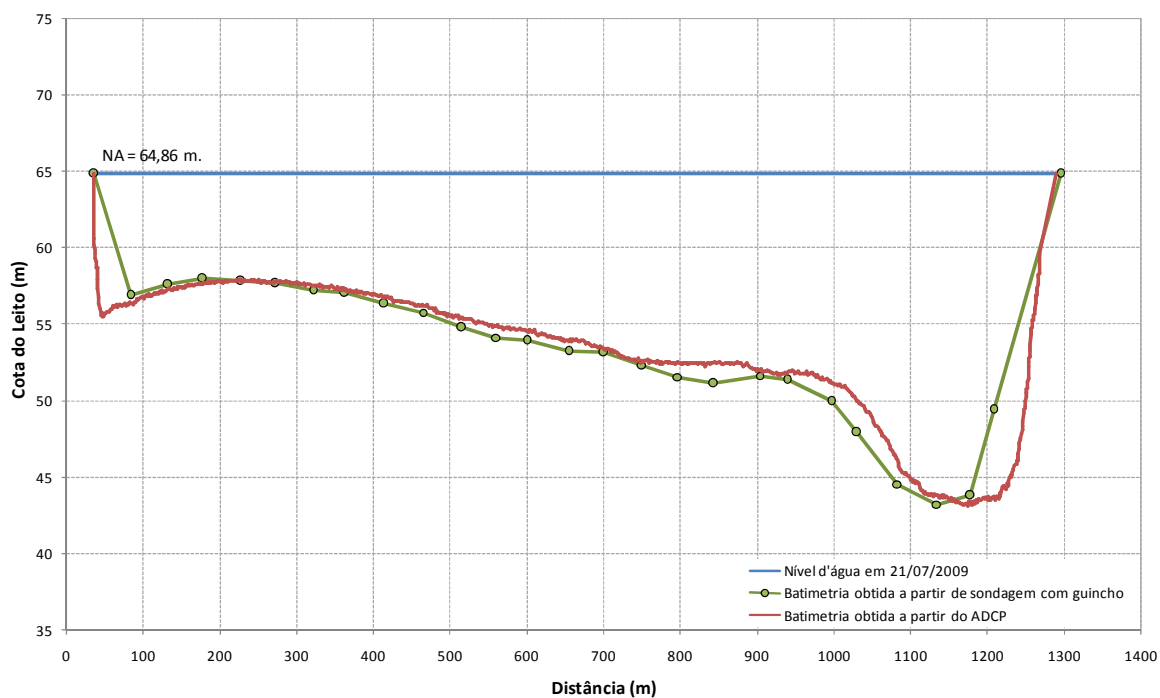
A seção de Jaciparaná (Figura 7.24.) apresenta somente a batimetria obtida a partir do guincho pois as baixas profundidades do local comprometem a qualidade das medições (o ADCP da PCE, com frequência de 600 kHz, recomenda-se para rios com maiores profundidades).

Cabe destacar que além dos levantamentos de rotina executados nas estações fluviométricas, no período de fevereiro até julho de 2009 foi realizado o levantamento de 40 seções topobatimétricas do rio Madeira (entre a UHE Jirau e Humaitá) e 19 seções nos rios afluentes (Jaciparaná, São Francisco, Branco e Caracol) com o objeto de subsidiar os estudos de modelagem hidrossedimentológica da UHE Santo Antônio. Estas informações batimétricas já foram consolidadas em um relatório específico (Relatório PJ 0697-X-H41-GR-ED-103-1A) emitido em outubro de 2009.

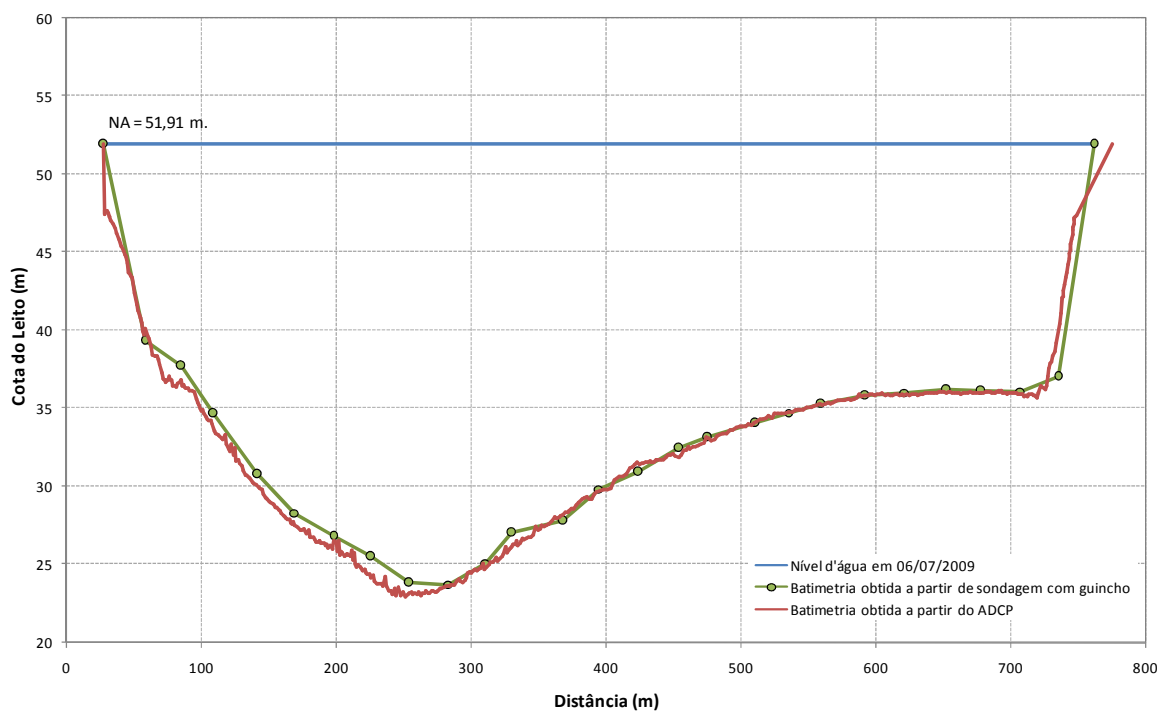
**Figura 7.19.**  
**Seção Transversal do Rio Madeira em Abunã**



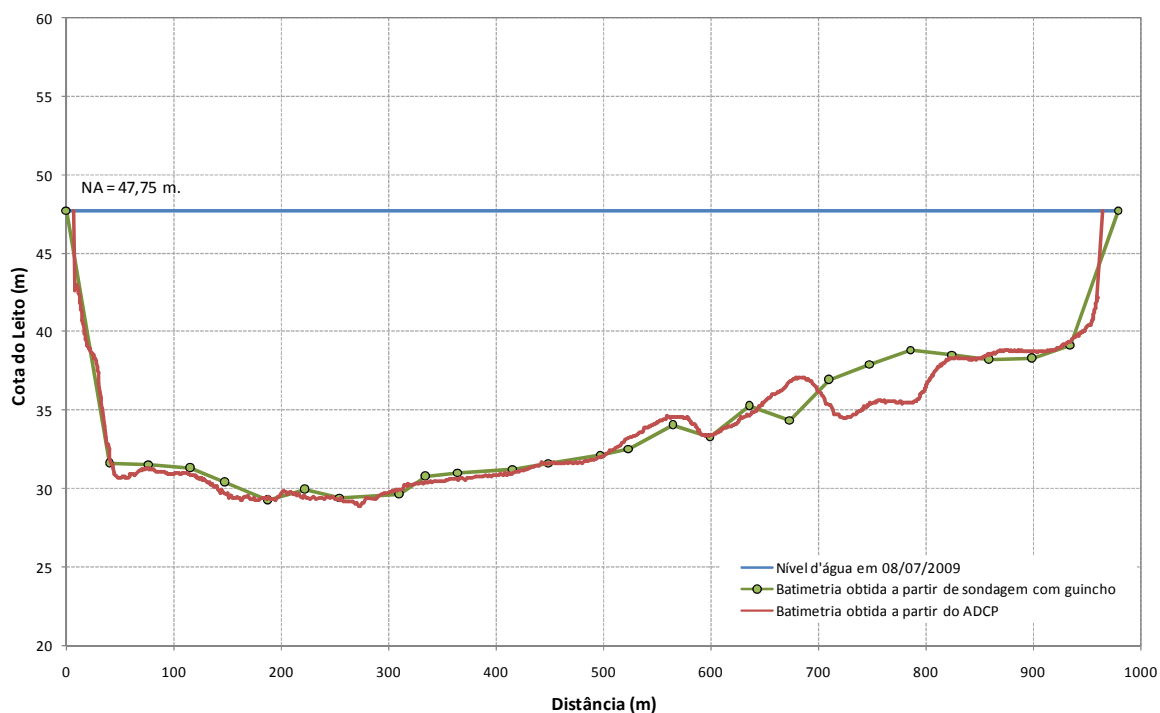
**Figura 7.20.**  
**Seção Transversal do Rio Madeira em Jusante Caldeirão do Inferno**



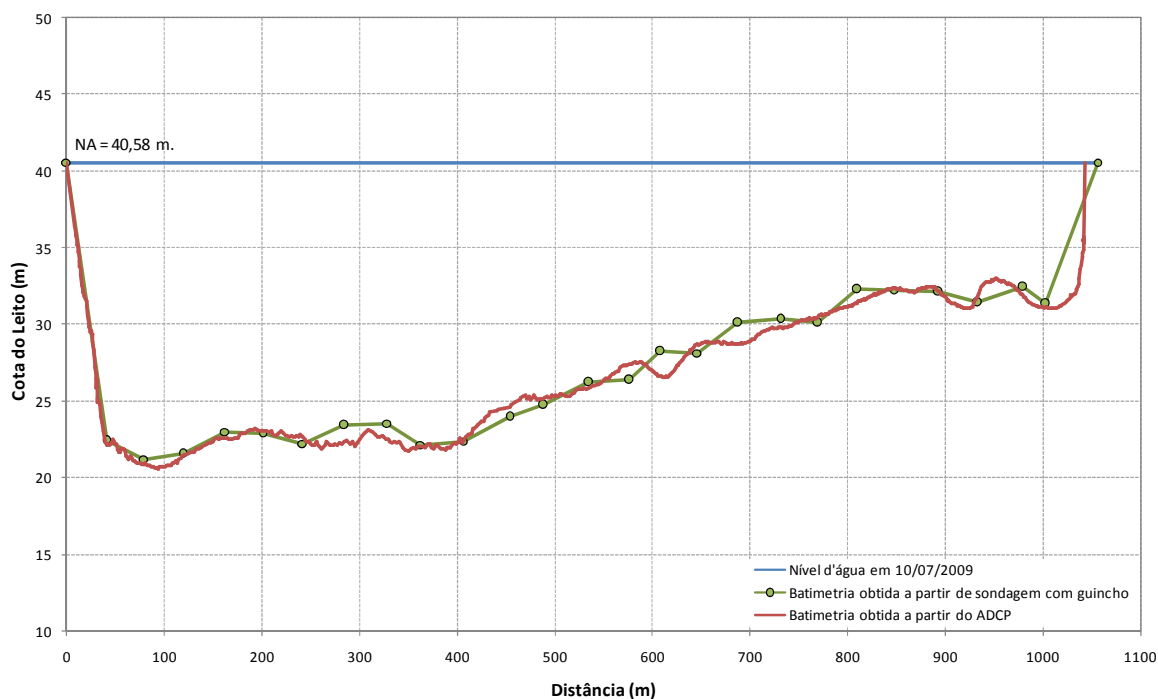
**Figura 7.21.**  
**Seção Transversal do Rio Madeira em Porto Velho**



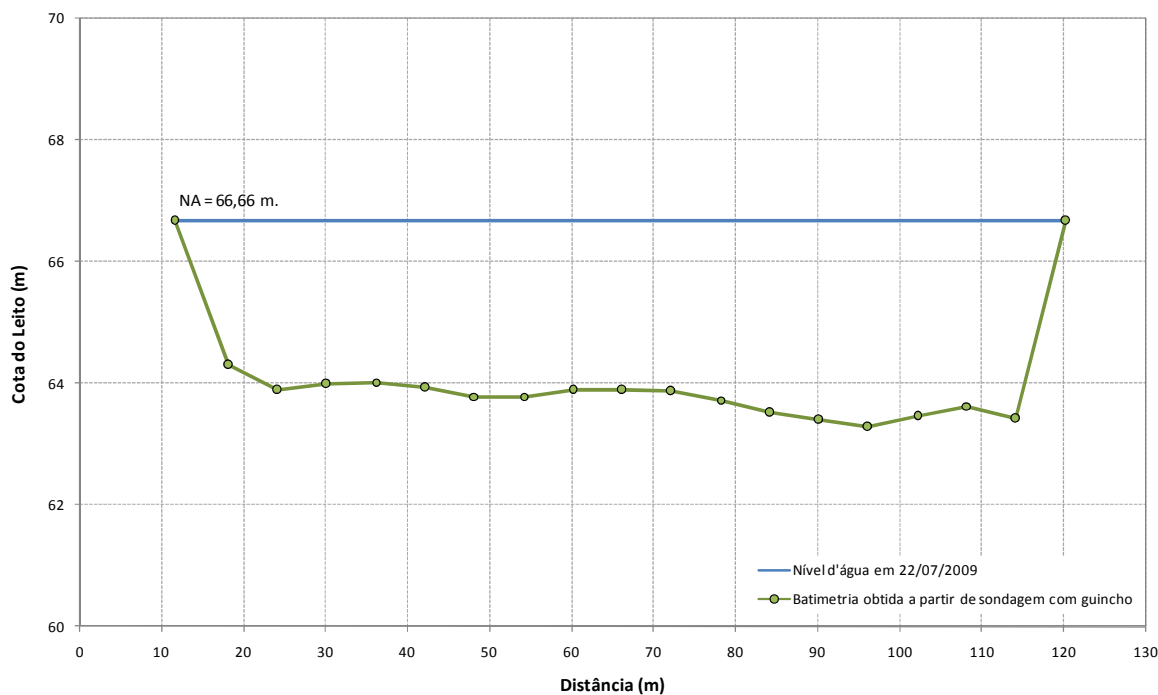
**Figura 7.22.**  
**Seção Transversal do Rio Madeira em São Carlos**



**Figura 7.23.**  
**Seção Transversal do Rio Madeira em Humaitá**



**Figura 7.24.**  
**Seção Transversal do Rio Jaciparaná na seção S-2**



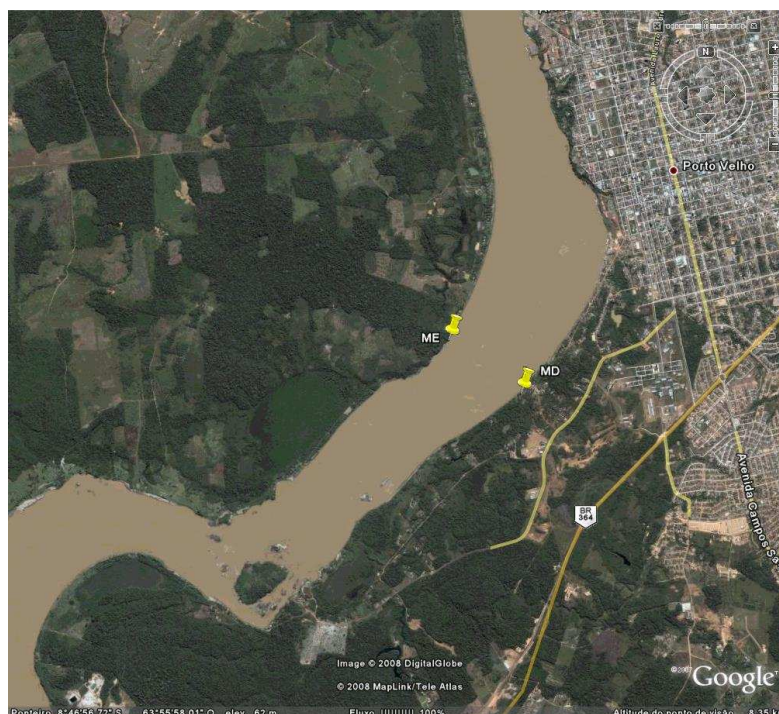
## **8. AVALIAÇÃO DA PASSAGEM DE TRONCOS NO RIO MADEIRA EM PORTO VELHO**



Considerando a necessidade de detalhamento das estruturas e procedimentos relativos ao transporte de troncos do rio Madeira no Projeto Básico, como indicado no Anexo II ao Edital de Leilão no 05/2007-ANEEL – Características Técnicas, foram realizados trabalhos de campo visando à quantificação dos troncos transportados em superfície pelo Rio Madeira.

A seção de controle utilizada nestas campanhas, com largura aproximada de 1250 metros, está localizada entre Porto Velho e a UHE Santo Antônio (Figura 8.1.), num local livre dos efeitos da cachoeira, sendo definida mais precisamente nas seguintes coordenadas UTM: margem direita ⇒ 9028550N / 398662E; margem esquerda ⇒ 9029345N / 398009E.

**Figura 8.1.**  
**Localização da Seção de Controle de Troncos em Porto Velho**



As campanhas tiveram duração de 5 (cinco) dias, durante 5 (cinco) horas por dia, em horários que variaram entre 7:00 e 14:00 horas. A primeira campanha foi realizada com dois observadores, um em cada margem, mas sem nenhum equipamento que auxilie a observação. A partir da segunda campanha, foram utilizados quatro observadores (dois em cada margem) munidos de binóculos (Figura 8.2.).

Com o objetivo de uniformizar as observações foi estabelecido um critério de classificação quanto ao comprimento dos troncos, nas seguintes classes:

- Troncos pequenos - até 2 metros;
- Troncos médios - de 2 a 4 metros;
- Troncos grandes - maiores que 4 metros.

**Figura 8.2.**  
**Observação de Troncos em Porto Velho**

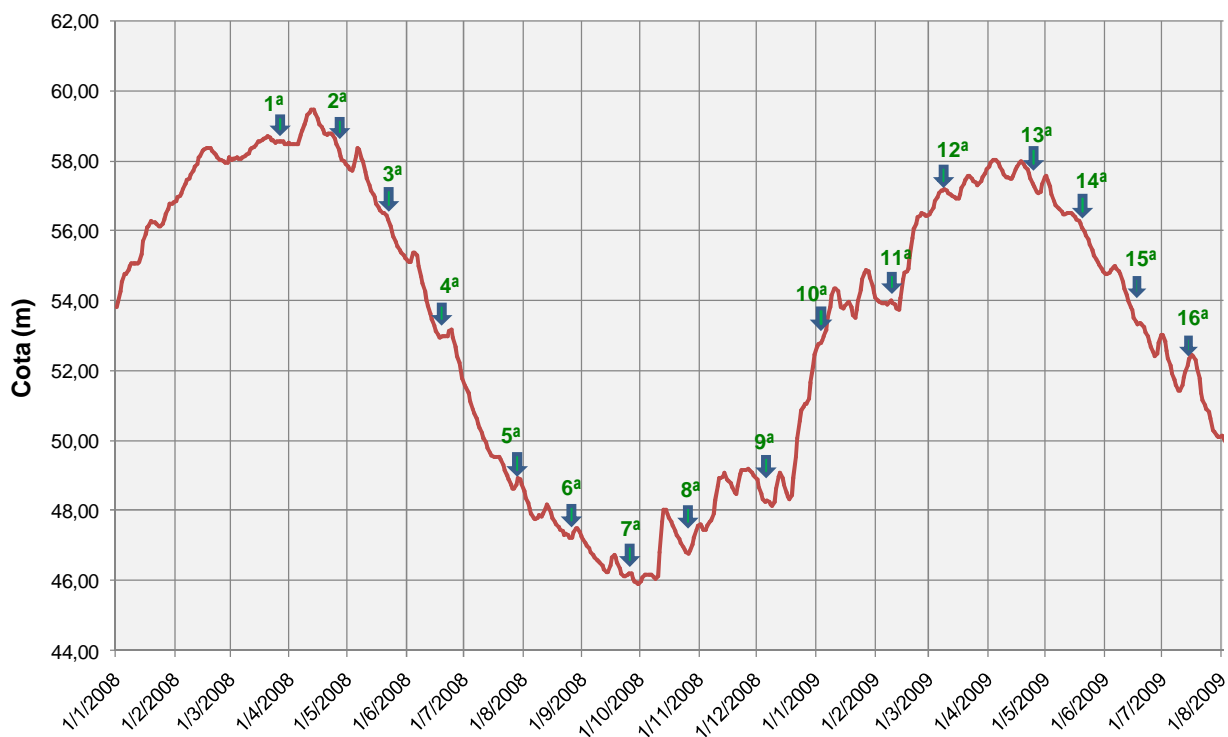


Os trabalhos foram iniciados em março de 2008, tendo sido realizadas dezesseis campanhas até o mês de julho de 2009, nos períodos descritos na Tabela 8.1. Em termos médios, as campanhas foram realizadas mensalmente, com o intuito de captar as variações no transporte de troncos nos diferentes períodos do ciclo hidrológico do rio Madeira (Figura 8.3.). Desta forma as campanhas foram realizadas para diversas vazões, sendo que a maior vazão aconteceu na primeira campanha, com aproximadamente 40.400 m<sup>3</sup>/s, e a menor vazão foi na sétima campanha quando a vazão média foi aproximadamente 4.700 m<sup>3</sup>/s. As variações do nível da água e das vazões médias durante as campanhas são apresentados também na Tabela 8.1.

**Tabela 8.1.**  
**Variação do Nível d'água e Vazão Média durante as Campanhas de Observação de Troncos**

Campanha	Período	Cota ao Início (m)	Cota ao Fim (m)	Vazão Média (m <sup>3</sup> /s)
1 <sup>a</sup>	24 a 28/3/2008	58,52	58,55	40.400
2 <sup>a</sup>	22 a 26/4/2008	58,78	58,33	40.300
3 <sup>a</sup>	19 a 23/5/2008	56,52	56,12	30.000
4 <sup>a</sup>	23 a 27/6/2008	53,14	52,40	18.400
5 <sup>a</sup>	28/7 a 1/8/2008	48,76	48,56	9.000
6 <sup>a</sup>	25 a 29/8/2008	47,25	47,49	6.750
7 <sup>a</sup>	26 a 29/9/2008	46,22	45,96	4.700
8 <sup>a</sup>	27 a 31/10/2008	46,87	47,59	6.550
9 <sup>a</sup>	8 a 12/12/2008	48,18	49,00	8.900
10 <sup>a</sup>	5 a 9/1/2009	52,95	54,19	22.415
11 <sup>a</sup>	9 a 13/2/2009	54,02	53,72	23.311
12 <sup>a</sup>	2 a 6/3/2009	56,55	57,10	33.964
13 <sup>a</sup>	22 a 26/4/2009	57,66	57,11	36.264
14 <sup>a</sup>	11 a 15/05/2009	56,48	56,49	32.620
15 <sup>a</sup>	15 a 19/06/2009	53,73	53,37	22.169
16 <sup>a</sup>	13 a 17/07/2009	51,94	52,48	18.398

**Figura 8.3.**  
**Distribuição Temporal das Campanhas de Observação de Troncos**



A quantidade de troncos passando na superfície da seção de medição foi determinada, de forma conservadora, como sendo o maior dos valores informados pelos observadores em cada margem (Tabela 8.2.).

**Tabela 8.2.**  
**Quantidade de Troncos Observados desde cada Margem do Rio Madeira**

Campanha	Data	Margem Direita				Margem Esquerda			
		Quantidade				Quantidade			
		Pequeno	Médio	Grande	Total	Pequeno	Médio	Grande	Total
1ª Campanha	24/mar	75	69	20	164	87	69	15	171
	25/mar	135	74	22	231	50	26	10	86
	26/mar	115	90	26	231	90	58	19	167
	27/mar	204	131	39	374				
	28/mar	120	52	19	191	151	105	30	286
	<b>Média</b>	<b>129,8</b>	<b>83,2</b>	<b>25,2</b>	<b>238,2</b>	<b>94,5</b>	<b>64,5</b>	<b>18,5</b>	<b>177,5</b>
2ª Campanha	22/abr	352	38	11	401	52	39	25	116
	23/abr	451	99	51	601	598	68	48	714
	24/abr	566	131	54	751	700	55	6	761
	25/abr	396	67	34	497	495	29	10	534
	26/abr	282	56	21	359	650	40	7	697
	<b>Média</b>	<b>409,4</b>	<b>78,2</b>	<b>34,2</b>	<b>521,8</b>	<b>499</b>	<b>46,2</b>	<b>19,2</b>	<b>564,4</b>
3ª Campanha	19/mai	116	12	3	131	100	3	1	104
	20/mai	173	6	3	182	165	13	2	180
	21/mai	191	14	1	206	190	17	1	208
	22/mai	182	7	3	192	168	8	1	177
	23/mai	252	16	3	271	235	11	1	247
	<b>Média</b>	<b>182,8</b>	<b>11</b>	<b>2,6</b>	<b>196,4</b>	<b>171,6</b>	<b>10,4</b>	<b>1,2</b>	<b>183,2</b>
4ª Campanha	23/jun	36	2	1	39	51	21	4	76
	24/jun	48	3	1	52	23	6	1	30
	25/jun	21	1	0	22	12	5	0	17
	26/jun	16	2	0	18	23	7	0	30
	27/jun	17	6	0	23	61	17	4	82
	<b>Média</b>	<b>27,6</b>	<b>2,8</b>	<b>0,4</b>	<b>30,8</b>	<b>34</b>	<b>11,2</b>	<b>1,8</b>	<b>47</b>
5ª Campanha	28/jul	42	2	0	44	20	0	0	20
	29/jul	43	3	0	46	15	0	0	15
	30/jul	18	0	0	18	15	0	0	15
	31/jul	16	0	0	16	13	0	0	13
	1/ago	29	2	0	31	13	0	0	13
	<b>Média</b>	<b>29,6</b>	<b>1,4</b>	<b>0</b>	<b>31</b>	<b>15,2</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>15,2</b>
6ª Campanha	25/ago	14	0	0	14	14	0	0	14
	26/ago	8	0	0	8	3	0	0	3
	27/ago	1	1	0	2	15	0	0	15
	28/ago	35	1	0	36	7	0	0	7
	29/ago	6	0	0	6	16	0	0	16
	<b>Média</b>	<b>12,8</b>	<b>0,4</b>	<b>0</b>	<b>13,2</b>	<b>11</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>11</b>
7ª Campanha	25/set	10	0	0	10	7	0	0	7
	26/set	2	0	0	2	2	0	0	2
	27/set	3	0	0	3	3	0	0	3
	28/set	10	0	0	10	3	0	0	3
	29/set	0	0	0	0	0	0	0	0
	<b>Média</b>	<b>5</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>5</b>	<b>3</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>3</b>
8ª Campanha	27/out	16	0	0	16	37	6	0	43
	28/out	45	1	0	46	52	3	2	57
	29/out	31	0	0	31	33	1	1	35
	30/out	170	4	1	175	146	27	4	177
	31/out	45	0	0	45	110	7	2	119
	<b>Média</b>	<b>61,4</b>	<b>1</b>	<b>0,2</b>	<b>62,6</b>	<b>75,6</b>	<b>8,8</b>	<b>1,8</b>	<b>86,2</b>

**Tabela 8.2. (continuação)**  
**Quantidade de Troncos Observados desde cada Margem do Rio Madeira**

Campanha	Data	Margem Direita				Margem Esquerda			
		Quantidade				Quantidade			
		Pequeno	Médio	Grande	Total	Pequeno	Médio	Grande	Total
9ª Campanha	8/dez	10	1	1	12	12	2	1	15
	9/dez	14	0	0	14	21	1	0	22
	10/dez	22	0	0	22	37	3	1	41
	11/dez	51	3	0	54	46	8	2	56
	12/dez	79	10	5	94	83	12	4	99
	<b>Média</b>	<b>35,2</b>	<b>2,8</b>	<b>1,2</b>	<b>39,2</b>	<b>39,8</b>	<b>5,2</b>	<b>1,6</b>	<b>46,6</b>
10ª Campanha	5/jan	535	295	37	867	282	50	27	359
	6/jan	925	285	45	1255	615	215	45	875
	7/jan	1020	380	55	1455	625	143	30	798
	8/jan	1050	465	70	1585	755	360	64	1179
	9/jan	1285	1073	130	2488	515	197	36	748
	<b>Média</b>	<b>963</b>	<b>499,6</b>	<b>67,4</b>	<b>1530</b>	<b>558,4</b>	<b>193</b>	<b>40,4</b>	<b>791,8</b>
11ª Campanha	9/fev	1250	80	31	1361	163	40	15	218
	10/fev	572	121	63	756	355	28	4	387
	11/fev	1285	78	53	1416	575	64	21	660
	12/fev	221	18	5	244	138	11	4	153
	13/fev	123	35	7	165	82	12	5	99
	<b>Média</b>	<b>690,2</b>	<b>66,4</b>	<b>31,8</b>	<b>788,4</b>	<b>262,6</b>	<b>31</b>	<b>9,8</b>	<b>303,4</b>
12ª Campanha	2/mar	518	52	27	597	230	127	35	392
	3/mar	898	463	96	1457	200	37	19	256
	4/mar	1122	528	140	1790	163	93	21	277
	5/mar	945	392	104	1441	485	265	154	904
	6/mar	1933	452	187	2572	245	140	82	467
	<b>Média</b>	<b>1083,2</b>	<b>377,4</b>	<b>110,8</b>	<b>1571,4</b>	<b>264,6</b>	<b>132,4</b>	<b>62,2</b>	<b>459,2</b>
13ª Campanha	22/abr	302	14	10	326	353	31	13	397
	23/abr	528	33	21	582	405	35	6	446
	24/abr	281	23	22	326	449	43	7	499
	25/abr	190	13	9	212	226	28	9	263
	26/abr	531	19	10	560	148	33	9	190
	<b>Média</b>	<b>366,4</b>	<b>20,4</b>	<b>14,4</b>	<b>401,2</b>	<b>316,2</b>	<b>34</b>	<b>8,8</b>	<b>359</b>
14ª Campanha	11/mai	68	15	9	92	175	17	64	256
	12/mai	85	14	11	110	221	10	8	239
	13/mai	242	18	14	274	388	29	26	443
	14/mai	85	5	2	92	75	16	0	91
	15/mai	257	23	13	293	462	30	27	519
	<b>Média</b>	<b>147,4</b>	<b>15</b>	<b>9,8</b>	<b>172,2</b>	<b>264,2</b>	<b>20,4</b>	<b>25</b>	<b>309,6</b>
15ª Campanha	15/jun	88	6	0	94	10	5	1	16
	16/jun	118	5	2	125	14	7	0	21
	17/jun	139	9	1	149	30	7	0	37
	18/jun	152	10	0	162	16	4	1	21
	19/jun	143	10	1	154	13	2	1	16
	<b>Média</b>	<b>128</b>	<b>8</b>	<b>0,8</b>	<b>136,8</b>	<b>16,6</b>	<b>5</b>	<b>0,6</b>	<b>22,2</b>
16ª Campanha	13/jul	102	7	3	112	60	0	0	60
	14/jul	40	0	0	40	167	13	0	180
	15/jul	120	5	1	126	120	5	2	127
	16/jul	192	9	2	203	216	9	10	235
	17/jul	220	25	0	245	461	26	23	510
	<b>Média</b>	<b>134,8</b>	<b>9,2</b>	<b>1,2</b>	<b>145,2</b>	<b>204,8</b>	<b>10,6</b>	<b>7</b>	<b>222,4</b>

Observação: no dia 27/03 os troncos não foram contados pela margem esquerda em razão do tempo chuvoso.

**Programa de Levantamentos e Monitoramento Hidrossedimentológico  
do Rio Madeira e do Futuro Reservatório da UHE Santo Antônio**

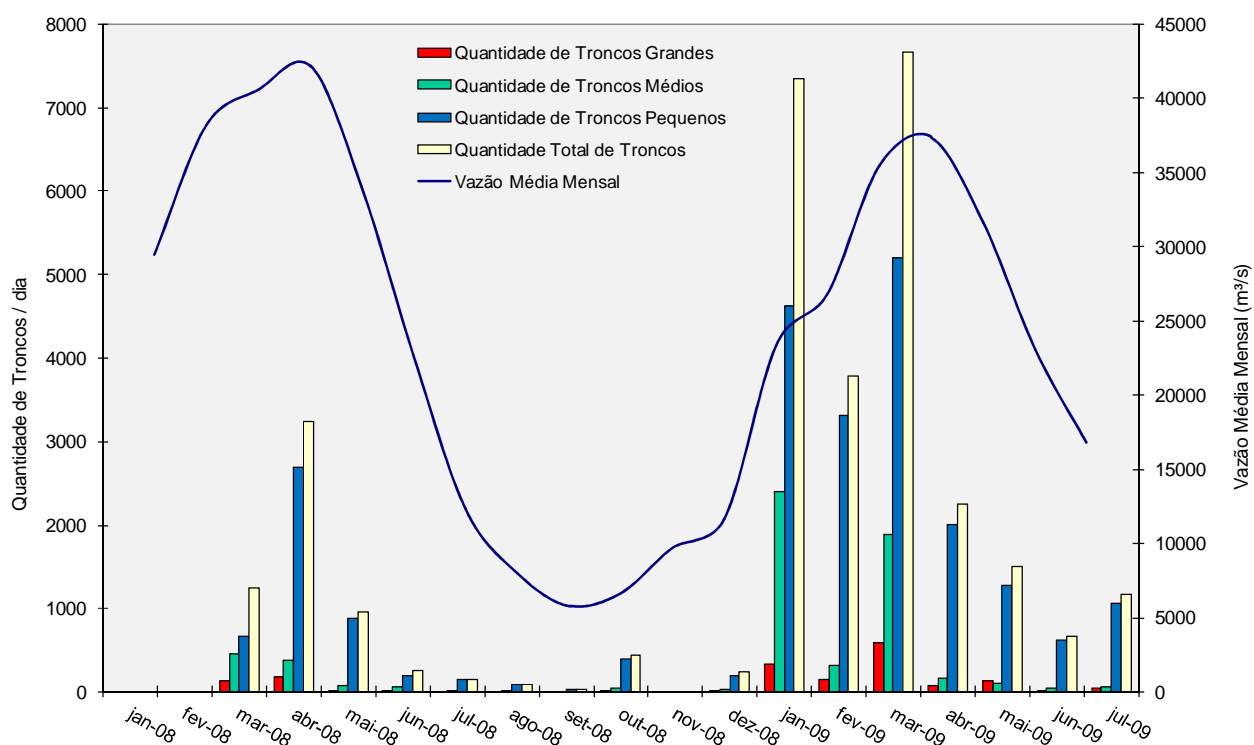
Com o valor máximo determinado para cada classe de tronco, entre a margem direita e a margem esquerda, foi calculada a média horária do número de troncos transportada na superfície (foi dividido o total de troncos observados pelo período de observação - cinco horas), sendo o total diário obtido da multiplicação da média horária pelas 24 horas de um dia.

A partir das porcentagens para cada classe de tronco e das quantidades diárias de troncos calculadas, obteve-se uma estimativa da quantidade diária de troncos que escoam na superfície do rio Madeira, para cada classe de tronco (Tabela 8.3.). De posse das informações descritas nesta tabela foi possível graficar a variação sazonal da quantidade média diária de troncos para cada campanha e ser associada à descarga líquida do Madeira (Figura 8.4.).

**Tabela 8.3.  
Quantidade Média Diária Estimada de Troncos**

Campanha		Quantidade Média Observada			Total Diário	Quantidade Média Diária Estimada		
		Pequeno	Médio	Grande		Pequeno	Médio	Grande
1ª Campanha	Média da Campanha	138,4	93,8	27,4	1246,08	664,32	450,24	131,52
	% da Campanha	53,31%	36,13%	10,55%				
2ª Campanha	Média da Campanha	559	78,4	37	3237,12	2683,2	376,32	177,6
	% da Campanha	82,89%	11,63%	5,49%				
3ª Campanha	Média da Campanha	182,8	13,2	2,6	953,28	877,44	63,36	12,48
	% da Campanha	92,04%	6,65%	1,31%				
4ª Campanha	Média da Campanha	40,8	11,2	1,8	258,24	195,84	53,76	8,64
	% da Campanha	75,84%	20,82%	3,35%				
5ª Campanha	Média da Campanha	29,6	1,4	0	148,8	142,08	6,72	0
	% da Campanha	95,48%	4,52%	0,00%				
6ª Campanha	Média da Campanha	17,6	0,4	0	86,4	84,48	1,92	0
	% da Campanha	97,78%	2,22%	0,00%				
7ª Campanha	Média da Campanha	5	0	0	24	24	0	0
	% da Campanha	100,00%	0,00%	0,00%				
8ª Campanha	Média da Campanha	80,4	8,8	1,8	436,8	385,92	42,24	8,64
	% da Campanha	88,35%	9,67%	1,98%				
9ª Campanha	Média da Campanha	40,8	5,2	1,8	229,44	195,84	24,96	8,64
	% da Campanha	85,36%	10,88%	3,77%				
10ª Campanha	Média da Campanha	963	499,6	67,4	7344	4622,4	2398,08	323,52
	% da Campanha	62,94%	32,65%	4,41%				
11ª Campanha	Média da Campanha	690,2	66,4	31,8	3784,32	3312,96	318,72	152,64
	% da Campanha	87,54%	8,42%	4,03%				
12ª Campanha	Média da Campanha	1083,2	392,4	122,4	7670,4	5199,36	1883,52	587,52
	% da Campanha	67,78%	24,56%	7,66%				
13ª Campanha	Média da Campanha	417,4	34	15	2238,72	2003,52	163,2	72
	% da Campanha	89,49%	7,29%	3,22%				
14ª Campanha	Média da Campanha	266,2	21,2	26	1504,32	1277,76	101,76	124,8
	% da Campanha	84,94%	6,76%	8,30%				
15ª Campanha	Média da Campanha	128	8,4	1,2	660,48	614,4	40,32	5,76
	% da Campanha	93,02%	6,10%	0,87%				
16ª Campanha	Média da Campanha	213,2	12	7,6	1117,44	1023,36	57,6	36,48
	% da Campanha	91,58%	5,15%	3,26%				

**Figura 8.4.**  
**Variação Sazonal da Quantidade de Troncos no Rio Madeira**



Embora as vazões médias das 1ª e 2ª campanhas tenham sido da mesma ordem de grandeza, na 1ª campanha o rio Madeira registrou um número menor de troncos do que a 2ª campanha. Este fato pode ter sido causado pelo uso de equipamentos específicos para o auxílio na observação (binóculos) e de dois observadores em cada margem na segunda campanha, o que parece ter aumentado significativamente a acuidade visual e a precisão da observação.

As campanhas realizadas nas fases de enchente e vazante apresentam diferenças significativas na quantidade total de troncos transportados para uma mesma vazão. A maior parte dos desbarrancamentos de margens acontecem durante o período de vazante do rio, incorporando mais troncos ao escoamento do rio, mas por outro lado, a diminuição dos níveis de água provoca a retenção destes nas mesmas margens e em ilhas e ilhotas do rio Madeira (Figuras 8.5. e 8.6.). Quando os níveis do rio voltam a subir, no período de enchente, estes troncos são incorporados novamente ao escoamento do rio. Esta situação está bem caracterizada nas informações contidas na Figura 8.4.



**Figura 8.5.**  
**Troncos Retidos em Rochas no Período de Vazante do Rio Madeira**



**Figura 8.6.**  
**Troncos Retidos na Margem no Período de Vazante do Rio Madeira**



## 9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

DNAEE - Departamento Nacional de Águas e Energia Elétrica, 1970. *Normas e Recomendações Hidrológicas*, Ministério de Minas e Energia, Brasília.

CARVALHO, N.O., FILIZOLA Jr., N.P., dos SANTOS, P.M.C. & LIMA, J.E.F.W., 2000. Guia de Práticas Sedimentométricas, Superintendência de Estudos e Informações Hidrológicas, Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL, Brasília.

COLBY, B.R. & HEMBREE, C.H., 1955. Computations of total sediment discharge, Niobrara River near Cody, Nebraska, *Water Supply Paper* 1357, United States Geological Survey, Washington D.C.

FILIZOLA, N.P. & GUYOT, J.L., 2004. The use of Doppler technology for suspended sediment discharge determination in the River Amazon, *Hydrological Sciences–Journal–des Sciences Hydrologiques*, v. 49 (1), pp. 143-153.

JULIEN, P.Y., 1995. *Erosion and sedimentation*, Cambridge University Press.

MENDES, A.B., 2001. Cálculo da Descarga Sólida Total pelo Método Modificado de Einstein, programa disponível no Anexo do livro Hidrossedimentologia Prática, de autoria N.O. Carvalho (2008).

RDI, 2003. RDInstruments, Acoustic Doppler Solutions, “Winriver - User’s guide” e “Principles of operation moving bottom” [on-line]. URL: <http://www.rdinstruments.com>. Arquivo capturado em 2002.

YUQIAN, L., 1983. Operational methods for measurement of sediment transport, World Meteorological Organization, Geneva.