

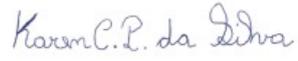
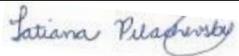
# P.45 - PLANO BÁSICO AMBIENTAL INDÍGENA UHE TELES PIRES

## Programa de Monitoramento Hidrossedimentológico Indígena

### Relatório Semestral

Fase de Operação da UHE Teles Pires

Janeiro a Junho de 2015

EQUIPE TÉCNICA RESPONSÁVEL PELO DESENVOLVIMENTO DAS ATIVIDADES DO PROGRAMA			
INTEGRANTES	CONSELHO DE CLASSE	CTF IBAMA	ASSINATURA
Karen Caroline Paiva da Silva Eng. Agrícola, M.Sc.	CREA- 5069188924	5808170	
Keila Cristina Fernandes de Oliveira Eng. Hídrica, M.Sc.	CREA- MG 04.0.0000149150	6190874	
Tatiana Pilachevsky Geógrafa, M.Sc.	CREA- 5064021791	5531743	
Luciana Cabral Nunes Geóloga, M.Sc.	CREA- 50629926484	5287039	
Afonso E. de Vasconcelos Lopes Geofísico, D.Sc.	-	5286995	

Julho – 2015

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	02
2. OPERAÇÃO DA REDE HIDROLÓGICA	02
3. METODOLOGIA	03
3.1 Medição de vazão (descarga líquida)	03
3.1.1 Medição de vazão (descarga líquida) com molinete	04
3.1.2 Medição de vazão (descarga líquida) com o ADCP	07
3.2 Amostragem de sedimento em suspensão e de leito	10
3.3 Análises de laboratório	12
3.3.1 Tubo de retirada pela base	13
3.3.2 Análises de concentração	13
3.3.3 Análise granulométrica do material de leito	13
3.4 Descarga sólida	14
3.4.1 Cálculo da descarga sólida em suspensão	14
3.4.2 Descarga sólida total pelo método de Colby (1957)	14
3.4.3 Descarga sólida total pelo método modificado de Einstein	14
4. RESULTADOS	14
4.1 Medições de vazão (descargas líquidas) e descargas sólidas	14
4.2 Determinação das curvas-chave de vazão	22
4.3 Determinação das curvas-chave de sedimento	24
4.4 Monitoramento das praias indígenas	26
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS	26
REFERÊNCIAS	27

## ANEXOS

ANEXO 1. MEDIDAS DE DESCARGA LÍQUIDA DAS ESTAÇÕES HIDROMÉTRICAS	1
ANEXO 2. ANÁLISES DE SEDIMENTOS EM SUSPENSÃO E DE LEITO	106
ANEXO 3. DADOS DE PRECIPITAÇÃO DAS ESTAÇÕES HIDROMÉTRICAS	132
ANEXO 4. DADOS DE NÍVEL E VAZÃO DAS ESTAÇÕES HIDROMÉTRICAS	141

### LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ADCP - Perfilador Acústico de correntes por Efeito *Doppler*

AMS-8 - Amostrador de sedimento saca

ANA - Agência Nacional de Águas

ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica

C - Concentração de sedimentos em suspensão

D-GPS - Sistema de Posicionamento Global Diferencial

IIL - Igual Incremento de Largura

IVT - Igual Velocidade de Trânsito

PCM - Modulação por Código de Pulso

Q - Vazão ou descarga líquida

Qs - Descarga sólida

Qss - Descarga sólida em suspensão

Qst - Descarga sólida total

## 1. INTRODUÇÃO

Este relatório integra o “Programa Básico Ambiental Indígena” e se refere ao “Programa de Monitoramento Hidrossedimentológico Indígena na área das terras indígenas” que atende as condicionantes apresentadas no Plano Básico Ambiental Indígena da UHE Teles Pires, assim como demais solicitações do IBAMA e FUNAI.

Este estudo está sendo executado pela empresa **VERACRUZ Soluções Geofísicas e Geológicas Ltda.** tendo como objetivo fornecer informações referentes às taxas de aporte e deposição sedimentar nas drenagens adjacentes às terras indígenas a jusante da barragem da UHE Teles Pires e identificar os principais pontos de deposição, viabilizando a elaboração de projetos que venham a preservar as áreas e as etnias indígenas.

Neste relatório são apresentadas as principais atividades realizadas entre janeiro e junho de 2015, período pós-enchimento do reservatório da UHE Teles Pires, as quais consistiram no monitoramento hidrológico e hidrossedimentológico de quatro estações hidrométricas.

## 2. OPERAÇÃO DA REDE HIDROLÓGICA

A operação da rede hidrológica durante o período em referência consistiu na realização de trabalhos de campo e no processamento dos dados hidrológicos das estações hidrométricas em operação, conforme o **Quadro 1** e a **Figura 1**.

**Quadro 1.** Estações hidrométricas indígenas da UHE Teles Pires.

Estação	Coord. UTM –WGS-84	Rio	Município	Tipo
Coelho	21 L 493204 8996621	Teles Pires	Jacareacanga	PFDS
Apiacás	21 L 492442 8983868	Apiacás	Apiacás	PFDS
São Benedito	21L 497085 8992401	São Benedito	Jacareacanga	PFDS
Santa Rosa	21 L 453884 9020632	Teles Pires	Apiacás	PFDS

Legenda do tipo de monitoramento: P – Pluviométrico, F – Fluviométrico (nível), D – medição de Descarga Líquida e S – medição de Descarga Sólida.

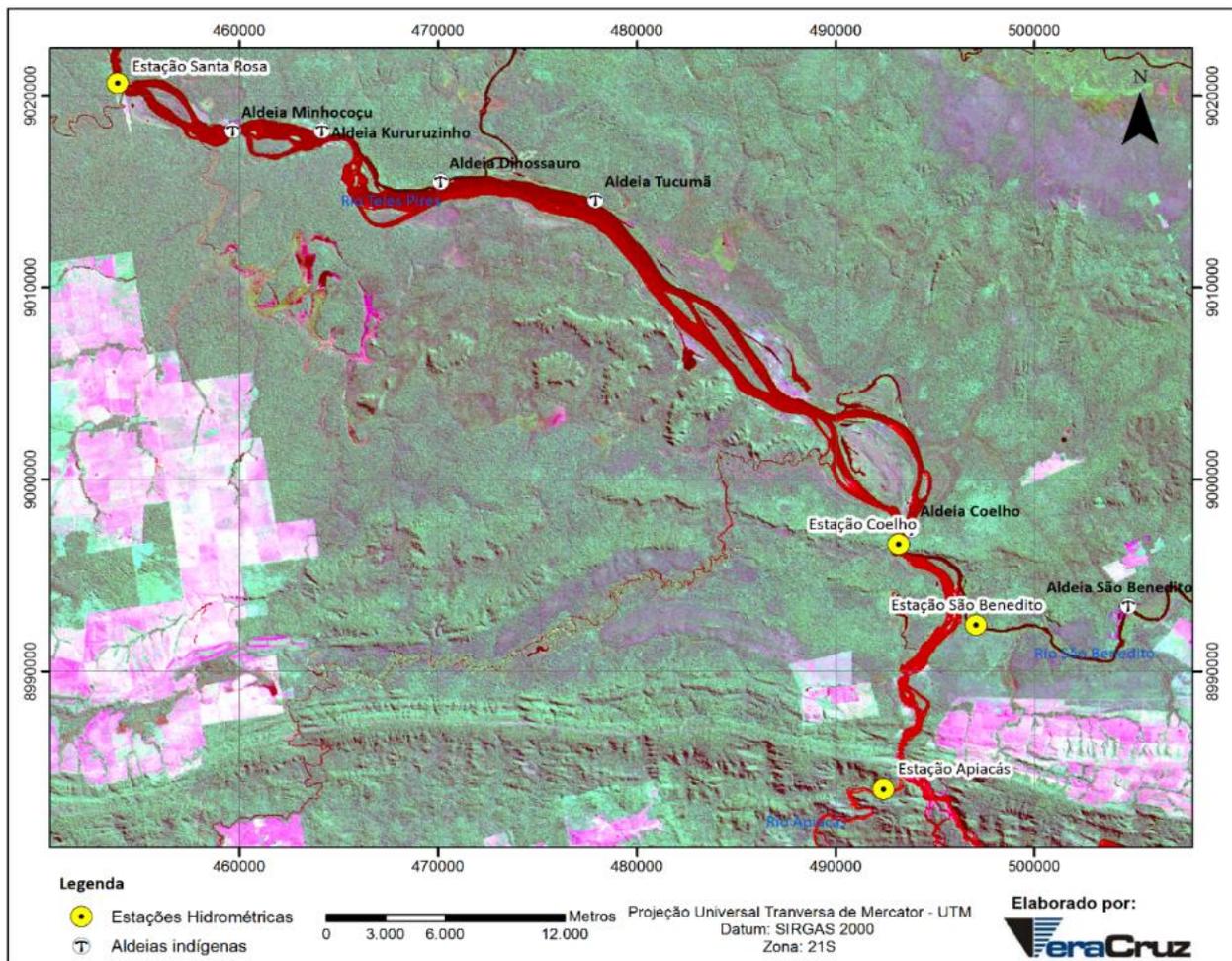


Figura 1. Localização das estações hidrométricas.

### 3. METODOLOGIA

#### 3.1 Medição de vazão (descarga líquida)

A medição da vazão de um rio envolve uma série de grandezas características do escoamento na seção, que podem ser agrupadas em duas grandes categorias:

- Grandezas geométricas da seção;
- Grandezas referentes ao escoamento (velocidade e vazão).

As principais grandezas de cada categoria, assim como os símbolos e as unidades mais utilizadas em publicações da área de recursos hídricos são apresentados nos **Quadros 2 e 3**.

**Quadro 2.** Grandezas geométricas utilizadas na medição de descarga líquida (Fonte: ANA, 2009).

Grandeza	Símbolo	Unidade	Cálculo
Área	A	m <sup>2</sup>	---
Perímetro molhado	X	m	---
Raio hidráulico	R	m	$R = A/X$
Largura superficial	L	m	---
Profundidade média	P <sub>med</sub>	m	$P = A/L$
Profundidade máxima	P <sub>max</sub>	m	---
Cota limnimétrica	h	cm	---
Ponto inicial da seção transversal	PI	---	---
Ponto final da seção transversal	PF	---	---
Distância entre PI e PF	D	m	---
Distância entre duas verticais	L	M	---
Distância da vertical ao PI	D	m	---
Profundidade de um ponto da vertical	p <sub>i</sub>	m	---
Profundidade total numa vertical	P	m	---
Área entre duas verticais	a	---	---

**Quadro 3.** Grandezas de escoamento da seção de medição (Fonte: ANA, 2009).

Grandeza	Símbolo	Unidade	Cálculo
Velocidade média na seção	V <sub>m</sub>	m/s	$V_m = Q/A$
Vazão total na seção	Q	m <sup>3</sup> /s	---
Vazão em um segmento da seção	q <sub>i</sub>	m <sup>3</sup> /s	---
Velocidade em um ponto na vertical	V <sub>i</sub>	m/s	---
Velocidade na superfície	V <sub>s</sub>	m/s	---
Velocidade no fundo	V <sub>f</sub>	m/s	---
Velocidade média na vertical	V	m/s	---
Velocidade média superficial	V <sub>sup</sub>	m/s	---
Vazão unitária	Q	m <sup>2</sup> /s	---

Tanto as grandezas geométricas quanto as referentes ao escoamento são definidas em função do nível d'água na seção analisada e, portanto, variam com ele. O plano de referência para a cota do nível da água, habitualmente escolhido, é o "zero" da régua limnimétrica.

As medições de vazão podem ser realizadas através do método de medição convencional, com o molinete, e por meio do ADCP.

### 3.1.1 Medição de vazão (descarga líquida) com molinete

Para o emprego do método de medição convencional, é necessária a determinação da velocidade em um número relativamente grande de pontos na seção transversal, utilizando a integração das velocidades, ou seja, define-se na seção uma série de verticais de acordo com a **Tabela 1** e mede-se as velocidades em vários pontos situados nessas verticais (**Tabela 2**).

O perfil de velocidade é utilizado para se calcular a velocidade média da vertical, que por sua vez, é usada para se calcular a vazão de cada segmento, multiplicando-se a velocidade média da vertical em cada abscissa pela área de influência de cada trecho. A somatória de todas as vazões parciais (q) fornece a vazão total (Q) da seção.

A medição convencional utilizando o molinete hidrométrico é universalmente bem aceita e utilizada para a determinação da vazão em cursos de água naturais e artificiais (canais), e consiste em determinar a área da seção e a velocidade do fluxo que passa na seção.

**Tabela 1.** Recomendações de distância entre verticais para a medição de velocidade da água (Fonte: **SANTOS et al., 2001**).

Largura do rio (m)	Distância entre verticais (m)
≤ 3	0,3
3 – 6	0,5
6 – 15	1
15 – 30	2
30 – 50	3
50– 80	4
80 – 150	6
150 – 250	8
250 – 500	12
>500	15

**Tabela 2.** Fórmulas para o cálculo da velocidade média na vertical (Fonte: **ANA, 2009**).

Nº de pontos	Posição na vertical em relação a profundidade (p)	Cálculo da velocidade média (Vm) na vertical	Profundidade (m)
1	0,6 p	$V_m = V_{0,6}$	$p \leq 0,6$
2	0,2 e 0,8 p	$V_m = (V_{0,2} + V_{0,8}) / 2$	$0,6 < p \leq 1,2$
3	0,2; 0,6 e 0,8 p	$V_m = (V_{0,2} + 2V_{0,6} + V_{0,8}) / 4$	$1,2 < p \leq 2,0$
4	0,2; 0,4; 0,6; 0,8 p	$V_m = [V_{0,2} + 2(V_{0,4} + V_{0,6}) + V_{0,8}] / 6$	$2,0 < p \leq 4,0$
6	Sup.; 0,2; 0,4; 0,6; 0,8 e fundo	$V_m = [V_s + 2(V_{0,2} + V_{0,4} + V_{0,6} + V_{0,8}) + V_f] / 10$	$P > 4,0$

A determinação da área da seção é realizada a partir da medição da abscissa e da profundidade do rio em um número significativo de pontos ao longo da seção (**Figura 2**). Estes pontos definem as verticais que ligam a superfície livre ao fundo do rio, sendo que nessas mesmas verticais são realizadas as medições de velocidade com o molinete hidrométrico em certo número de pontos (variando em função da profundidade). A velocidade média na vertical é determinada por meio do método analítico.

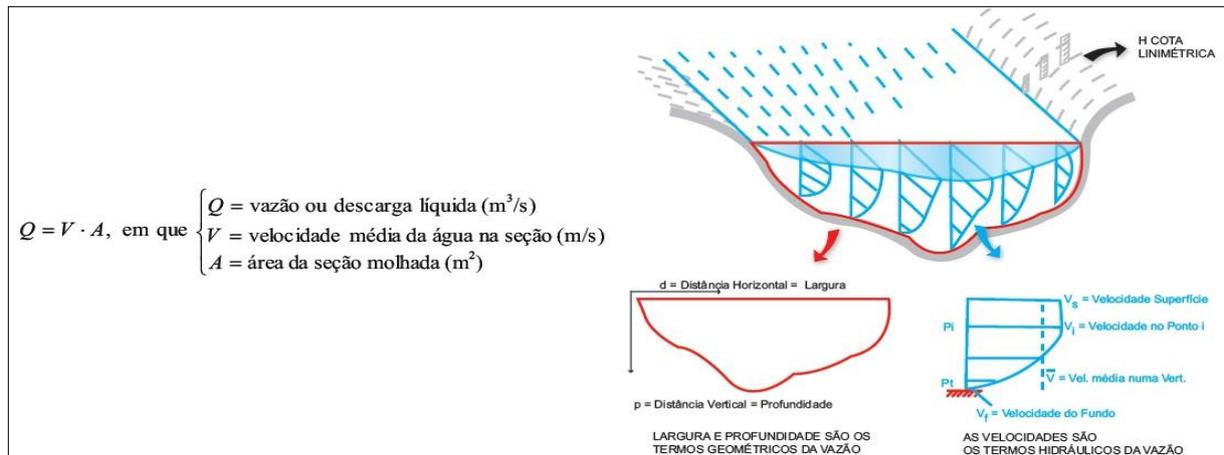


Figura 2. Grandezas necessárias para medição de descarga líquida (Fonte: ANA, 2009).

O molinete usado nas medições possui certificado de calibração contendo a equação a ser utilizada no cálculo das velocidades a partir do número de rotações por segundo. Para exemplo, são apresentadas a seguir as **Equações 1 e 2**, a partir da contagem do número de rotações da hélice por segundo (N).

$$V \text{ (m/s)} = -0,00217717 + 0,28265740 * N, \quad \text{Válida para } N \leq 0,8054 \quad (1)$$

$$V \text{ (m/s)} = -0,02298625 + 0,30849593 * N, \quad \text{Válida para } N > 0,8054 \quad (2)$$

A velocidade do fluxo da água é linearmente proporcional ao número de rotações da hélice por segundo (N). O número de rotações é determinado em intervalos de tempo de 50 e 60 segundos, sendo que o número de contagens é dividido por esses tempos para se determinar o valor de N. Desta forma, além do molinete, o contador de rotações é um equipamento indispensável nas medições de vazão. Atualmente, utiliza-se o contador digital de tempo pré-programado com parada automática em 60 segundos e aviso de pré-parada em 50 segundos.

As rotações do molinete (**Figura 3a e b**) são registradas pelo contador de impulso, o qual é ajustado para emitir um impulso elétrico a cada rotação completa da hélice. Esses impulsos acionam o contador, que é acoplado a um cronômetro de contagem regressiva (**Figura 3c**). Ajusta-se o tempo desejado para a medição, posiciona-se o molinete (profundidade a ser medida a velocidade) e, ao apertar um botão, o contador de impulsos e o cronômetro é acionado simultaneamente. Após o tempo pré-programado, o cronômetro regressivo atinge o zero e o contador para, indicando o total de rotações do molinete no período. O número de rotações é então anotado em planilha apropriada (**Figura 3d**).

As medições com o molinete são feitas com o barco completamente parado para não haver falseamento na medida de velocidade da corrente, e isso pode ser feito com o barco fixado com cabo de aço junto as margens ou com o barco ancorado no fundo do rio.

No caso da utilização do barco ancorado, a ancoragem é realizada de forma sucessiva para cada uma das verticais, dividindo a seção transversal em trechos, dentro do alinhamento PI - PF (Ponto Inicial e Final). Trata-se do método mais trabalhoso e demorado, visto que para cada

vertical deve se alinhar o barco com o auxílio de uma âncora fixada que deve ser descida e subida em cada uma das verticais.



**Figura 3.** (a) Montagem e preparação do molinete hidrométrico; (b) molinete hidrométrico completo pronto para utilização; (c) contador de impulsos envolvido em plástico impermeável contra chuva; (d) planilhas de anotações hidrométricas com saco plástico contra chuva.

### 3.1.2 Medição de vazão (descarga líquida) com o ADCP

O sistema *SonTek RiverSurveyor* é um sistema Perfilador Acústico *Doppler* (ADCP) robusto e bastante preciso, projetado para medir vazões fluviais, fluxos de água tridimensionais, profundidades e batimetria em embarcações paradas (medidas estacionárias) ou em movimento. O sistema *RiverSurveyor* oferece uma combinação dupla: um perfilador de velocidade acústica *Doppler*, aliado a um conjunto de *softwares* compatíveis com o *Windows* que pode ser usado no computador ou celular. O ADCP portátil (**Figura 4**) é constituído de nove sensores que emitem feixes de ondas acústicas com diferentes frequências, permitindo obter imagens precisas tanto de locais rasos como profundos (até 60 metros de profundidade). Além desses sensores, o M9 tem uma carcaça de *Delrin* de 13 cm de diâmetro, e é composto de dois conjuntos de transdutores para medição de velocidade, ambos em configuração *Janus*: quatro transdutores de 3,0 MHz e quatro de 1,0 MHz. O feixe acústico vertical (sonda *echo sounder*) de 0,5 MHz fornece dados de profundidade.

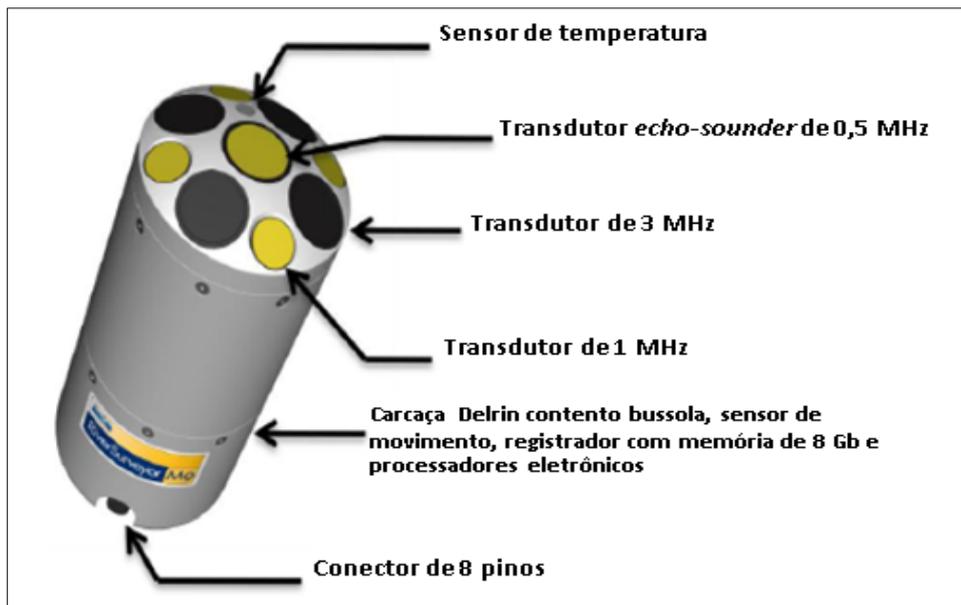


Figura 4. Características do ADCP M9.

O PCM (Figura 5) se conecta diretamente ao M9 por meio de um cabo de um metro de comprimento. A sua função é fornecer alimentação ao ADCP usando um conjunto de baterias recarregáveis, a fim de permitir comunicações remotas com o computador ou aparelho celular por *bluetooth*. Existem ainda locais para fixação da haste do D-GPS e o interruptor geral que liga e desliga todo o sistema. O D-GPS pode ser fixado tanto à unidade M9 quanto à unidade PCM.

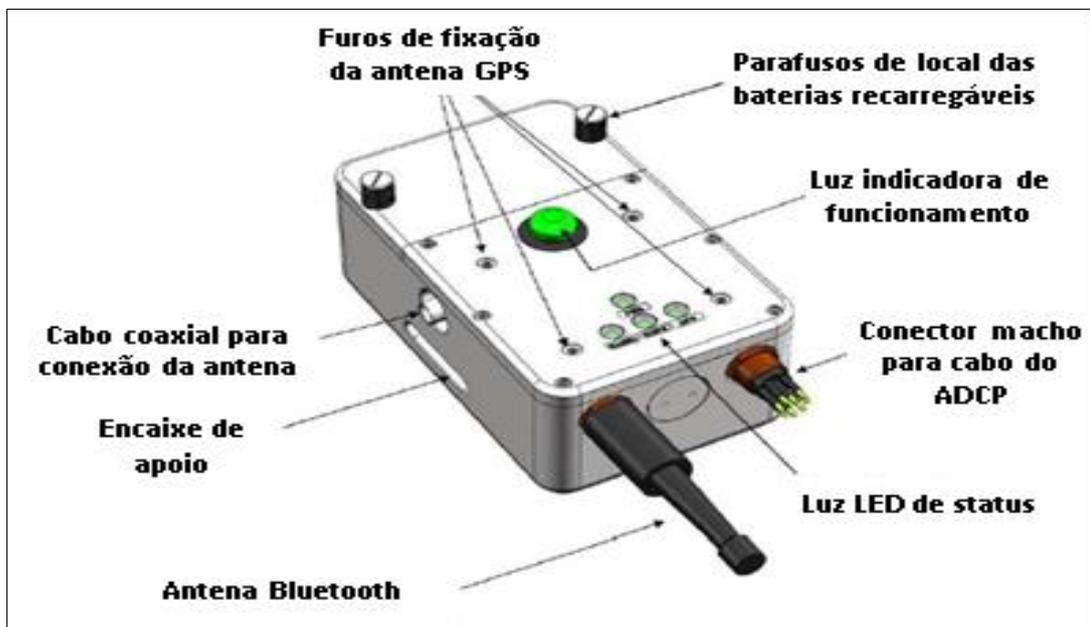
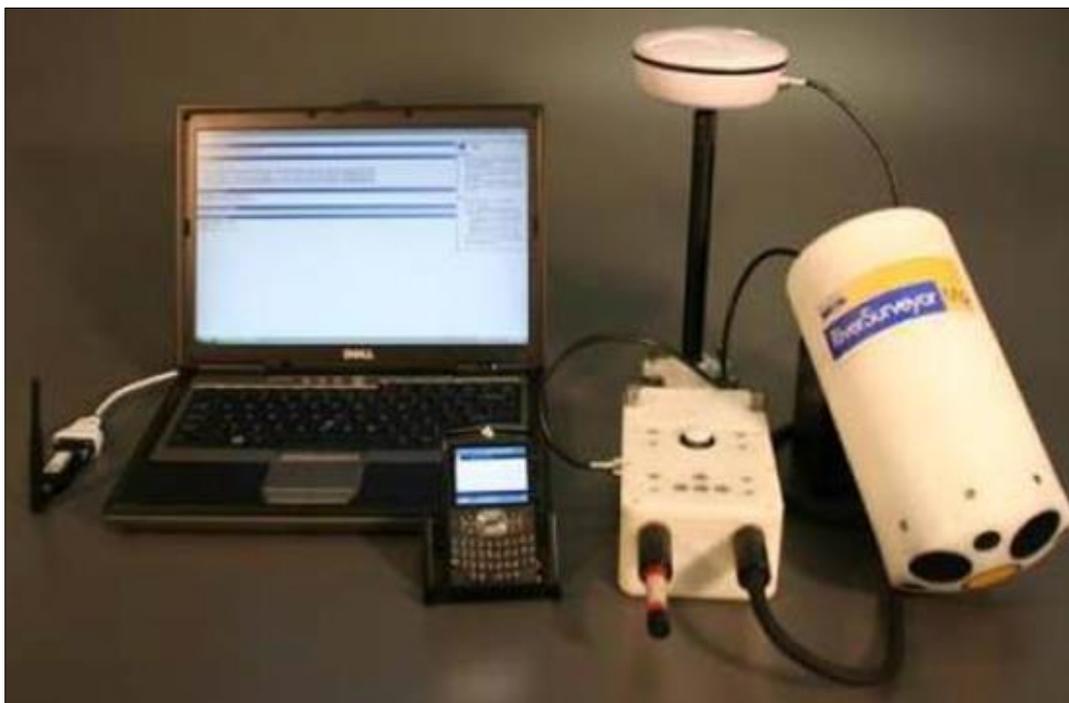


Figura 5. Módulo de alimentação e comunicação (PCM).

A **Figura 6** ilustra as unidades necessárias para a medição de vazão, como a sonda M9, o módulo PCM, a antena D-GPS e o uso facultativo do *notebook* ou celular *smartphone*. As medições de descarga líquida nos quatro postos fluviométricos foram efetuadas com a utilização do conjunto ADCP - sonda M9, módulo PCM, D-GPS (**Figura 7a**) e *notebook* (**Figura 7b**).



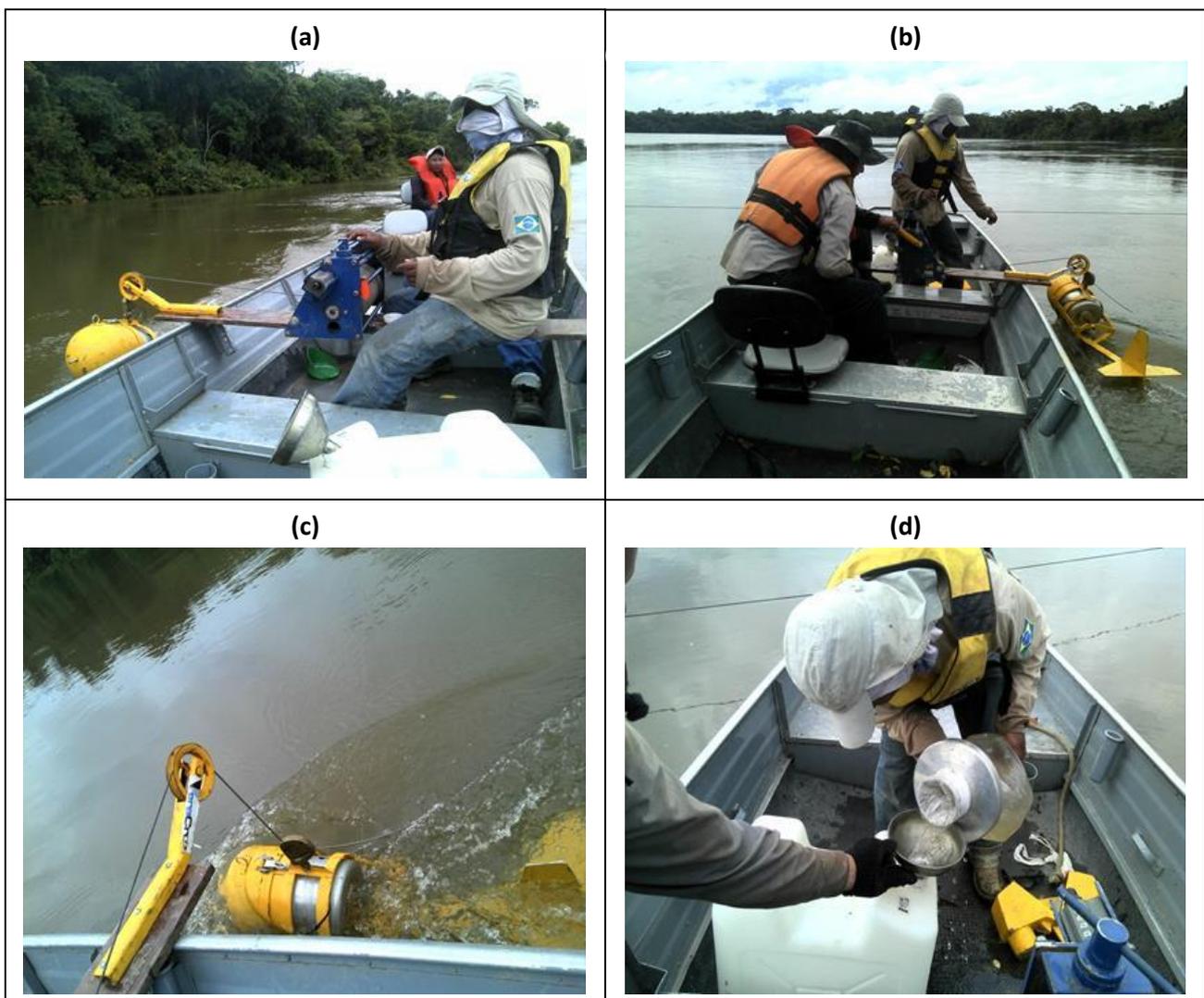
**Figura 6.** Hardware montado para a opção D-GPS com comunicações *Bluetooth*.



**Figura 7.** Medição de vazão com utilização do ADCP. **(a)** ADCP parcialmente submerso coletando dados; **(b)** *notebook* usado na visualização dos dados gerados e na orientação da velocidade de trânsito do barco durante a medição.

### 3.2 Amostragem de sedimento em suspensão e de leito

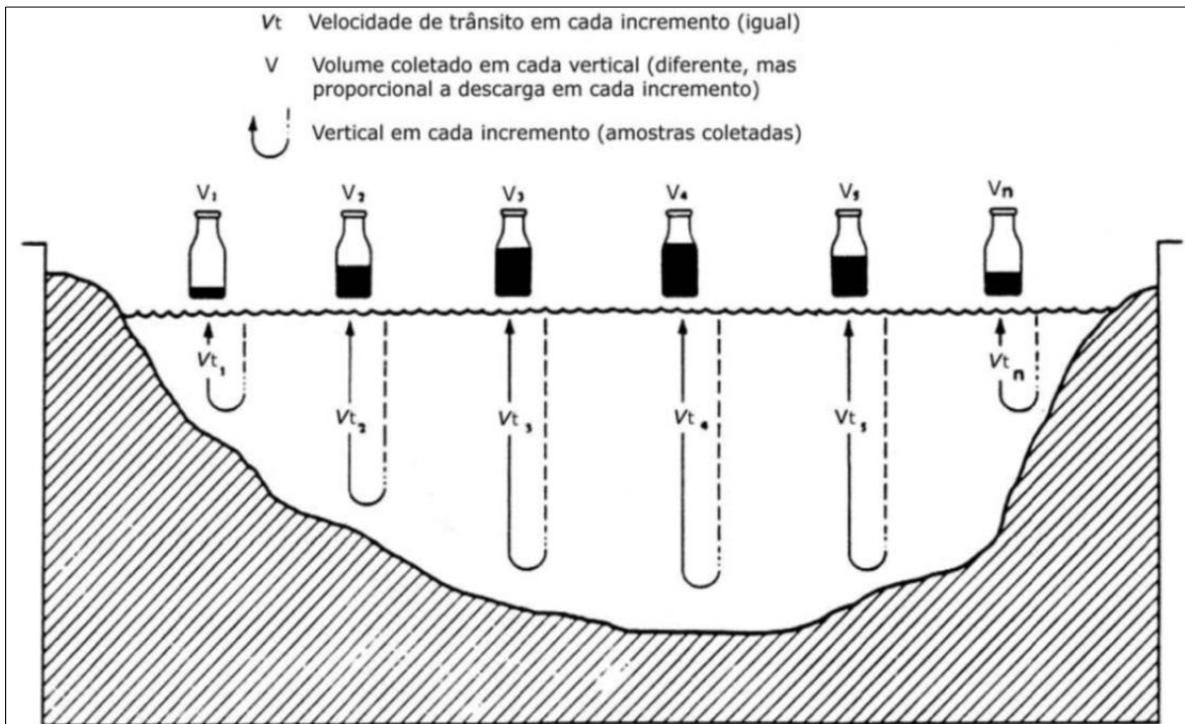
Para a coleta de sedimentos em suspensão é utilizado um amostrador do tipo saca (**Figura 8**). A amostragem é efetuada por integração na vertical em dois sentidos, descida e subida, em que a mistura água-sedimento é acumulada continuamente no recipiente e o amostrador se move verticalmente em uma velocidade de trânsito ( $v_t$ ) constante entre a superfície e um ponto a poucos centímetros acima do leito, entrando a mistura numa velocidade quase igual à velocidade instantânea da corrente em cada ponto na vertical. Esse procedimento é conhecido como Igual Velocidade de Trânsito (IVT). Devido ao bico do amostrador ficar um pouco acima do fundo, há uma zona não amostrada de poucos centímetros de profundidade logo acima do leito do rio.



**Figura 8.** Amostragem da mistura água-sedimento utilizando o amostrador Saca AMS-8 (a, b, c e d).

O método mais utilizado para amostragem de sedimento em suspensão é o Igual Incremento de Largura (IIL), devido a sua simplicidade. No método IIL a área da seção

transversal é dividida numa série de verticais igualmente espaçadas, sendo que em cada uma das verticais se utiliza a amostragem por integração vertical (**Figura 9**).



**Figura 9.** Exemplo de amostragem pelo método de Igual Incremento de Largura (Carvalho et al., 2000).

No método IIL precisa-se de 10 a 20 sub-amostras, logo faz-se a medida da vazão com o dobro da quantidade de sub-amostras desejadas, uma vez que essa vazão tem normalmente um mínimo de 20 verticais. Em seguida, programam-se as verticais escolhidas para amostragem e procura-se entre elas a vertical que apresente o maior produto entre a velocidade média ( $V_m$ ) e a profundidade ( $p$ ) na vertical de controle. Nessa vertical obtém-se a primeira amostra, adotando os procedimentos com o cálculo do tempo mínimo de amostragem ( $t_{min}$ ), o qual será usado para definir a velocidade de descida e subida (velocidade de trânsito –  $v_t$ ) do amostrador. Para o bico de  $\frac{1}{4}$ " utilizado, o tempo mínimo é definido pela **Equação 3**:

$$t_{min} = 2p/vt = 2p/0,4vm \quad (3)$$

As outras sub-amostras são obtidas com tempos proporcionais a partir de uma regra de três entre o tempo padrão e as profundidades, mantendo a mesma velocidade de trânsito utilizada na vertical de controle. As sub-amostras obtidas são combinadas em uma só amostra composta para a determinação da concentração média e da granulometria média, permitindo análises com precisão desejável.

Já na amostragem do material de leito é utilizada a Draga Petersen (**Figura 10**), através da metodologia de Igual Incremento de Largura, porém em verticais alternadas em relação a amostragem em suspensão, permitindo uma boa representatividade estatística, que quando analisadas em laboratório podem representar a média.

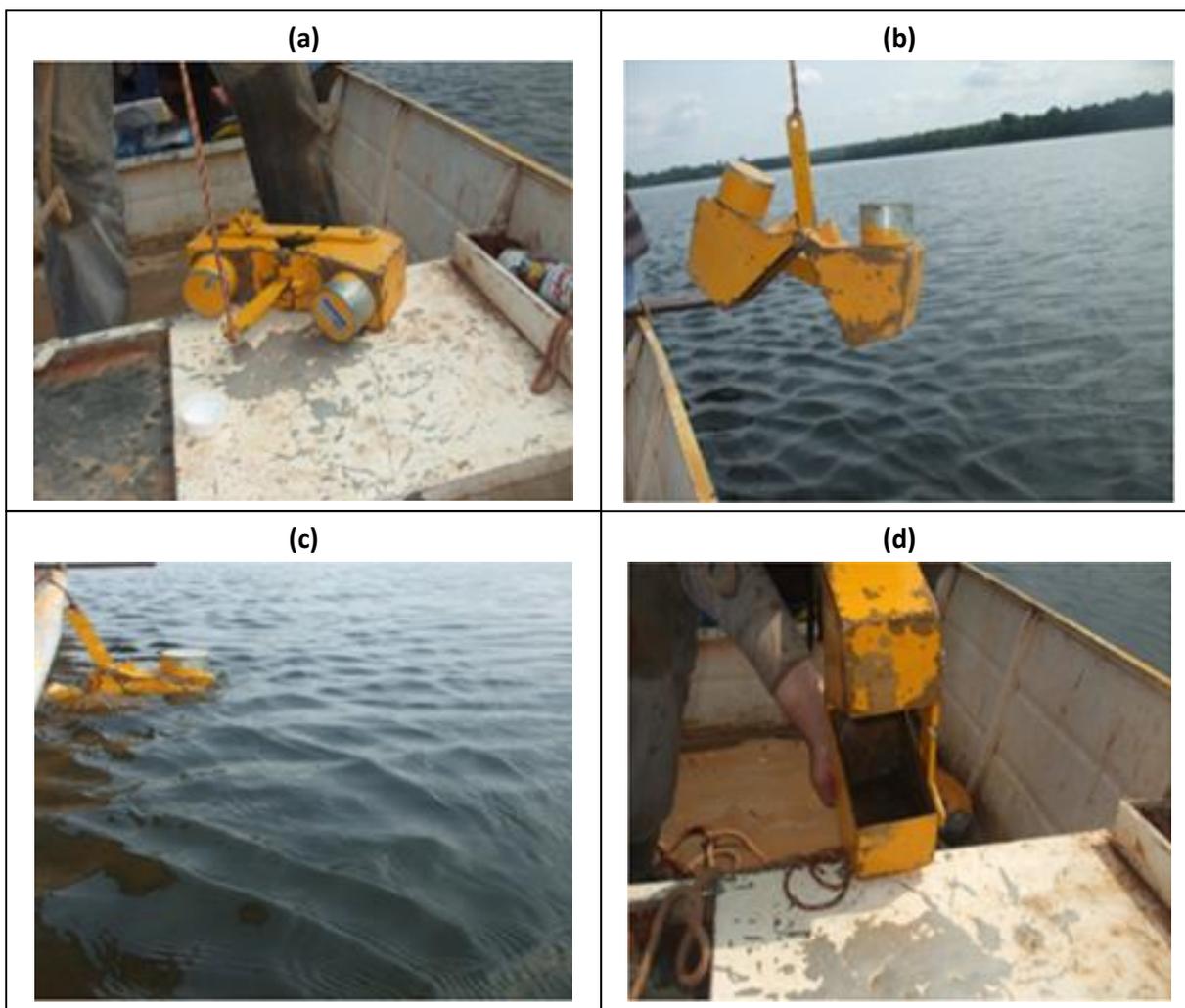


Figura 10. Amostragem do sedimento de leito utilizando a Draga de Petersen (a, b, c e d).

### 3.3 Análises de laboratório

As amostras coletadas são recebidas, checadas e pesadas pela equipe do Laboratório de Águas, Solos e Rochas da **VERACRUZ** em São Paulo. Posteriormente, as amostras de material em suspensão seguem para a determinação da concentração e granulometria do material em suspensão e as amostras de material de leito seguem para análise granulométrica.

Todo o volume de cada uma das amostras em suspensão que chega ao laboratório é analisado, visto que não se deve fazer um fracionamento da amostra total devido a dificuldade de homogeneização da mistura água-sedimento. Uma suposta homogeneização da mistura não fica completa, porque as partículas pesadas vão logo se depositando no instante seguinte, sendo portanto, perdas em análises fracionadas.

### **3.3.1 Tubo de retirada pela base**

Inicialmente, determina-se a concentração de sais solúveis com a retirada de duas pipetagens de 50 ml da parte sobrenadante da amostra. O método do tubo de retirada pela base consiste em inserir a amostra em um tubo de graduação de 100 centímetros e aproximadamente uma polegada de diâmetro. Deve-se agitar durante cinco minutos para que a amostra fique homogênea. As amostras de água com os sedimentos em suspensão são retiradas a cada dez centímetros em intervalos de tempo pré-determinados de acordo com o diâmetro das partículas. Os tempos para a retirada de cada amostra foram: 30 segundos, 1 min., 2 min., 5 min., 13 min., 32 min., 80 min., 160 min., 450 min. e 451 minutos após o início do ensaio. Para cada retirada deve-se anotar a temperatura da água, pelo fato de que a viscosidade da água se altera de acordo com sua temperatura.

Essas amostras são levadas para a estufa a 105 °C durante 24 horas, e posteriormente ao dessecador. O peso da amostra é definido pela subtração do peso do béquer limpo do valor do peso total do béquer com a amostra seca.

### **3.3.2 Análises de concentração**

As análises de concentração são realizadas pelo método de evaporação, evitando-se a colmatação do filtro devido a grande quantidade de amostra, mesmo que em baixa concentração.

As amostras são submetidas ao processo de redução após 96 horas de repouso seguindo as instruções da **CESP (2009)**. A mistura água-sedimento reduzida é então colocada em um recipiente para evaporação e levada a estufa para secagem. Depois de algumas horas, quando o sedimento fica visualmente seco, deve-se deixá-lo por mais duas horas na estufa. Posteriormente, as amostras são levadas ao dessecador e depois para pesagem em balança analítica.

Determina-se a concentração de sais solúveis com a retirada de duas pipetagens de 50ml da parte sobrenadante da amostra.

### **3.3.3 Análise granulométrica do material de leito**

Utiliza-se uma série de peneiras de malhas padronizadas, nos seguintes diâmetros: 32 mm, 16 mm; 8 mm; 4 mm; 2 mm; 1 mm; 0,5 mm; 0,250 mm; 0,125 mm e 0,063 mm. Cada porção de material retido na peneira foi pesado, sendo a porcentagem de cada diâmetro de malha de peneira obtida com a divisão pelo peso total da amostra.

Sobrando resíduo fino maior que 5% após a peneiração com a malha de 0,063 mm, correspondente aos materiais finos silte + argila, procede-se uma análise pelo processo de pipetagem ou tubo de remoção pela base.

### 3.4 Descarga sólida

#### 3.4.1 Cálculo da descarga sólida em suspensão

As medições da descarga sólida em suspensão ( $Q_{ss}$ ), com amostragens pelo método de Igual Incremento de Largura, possuem uma única análise a partir de amostra composta. A concentração ( $C$ ) corresponde ao valor médio na seção, sendo a descarga sólida em suspensão calculada pela **Equação 4 (CARVALHO, 2008)**:

$$Q_{ss} = 0,0864 * Q * C \quad (4)$$

Em que,  $Q$  é a descarga líquida em  $m^3/s$ ,  $C$  é a concentração em  $mg/l$ , e o resultado de  $Q_{ss}$  é dado em  $ton/dia$ .

#### 3.4.2 Descarga sólida total pelo método de Colby (1957)

O método de **Colby (1957)** para o cálculo da descarga sólida total é um método robusto e simples, principalmente considerando o reduzido número de dados necessários para à sua aplicação. Além da concentração de sedimentos em suspensão, são necessários apenas dados de vazão, largura da superfície do canal, velocidade média do escoamento e a profundidade hidráulica (**PAIVA, 2001**).

#### 3.4.3 Descarga sólida total pelo método modificado de Einstein

O método modificado de Einstein é o resultado de vários anos de pesquisas no campo, conduzidas em conjunto pelo USBR e o USGS em rios aluvionais largos e rasos no estado de Nebraska nos Estados Unidos da América. Dos métodos atualmente disponíveis, é o que possui maior precisão para o cálculo do transporte de sedimentos obtido para diversas granulometrias (**CARVALHO, 2008**). Ele calcula a descarga sólida total de sedimentos a partir de medidas das descargas de sedimentos em suspensão na seção do rio até uma pequena distância do fundo e da extrapolação da carga em suspensão medida até o fundo do rio.

Para o cálculo do método modificado de Einstein é utilizado um programa desenvolvido por **Mendes (2001)** no Excel.

## 4. RESULTADOS

### 4.1 Medições de vazão (descargas líquidas) e descargas sólidas

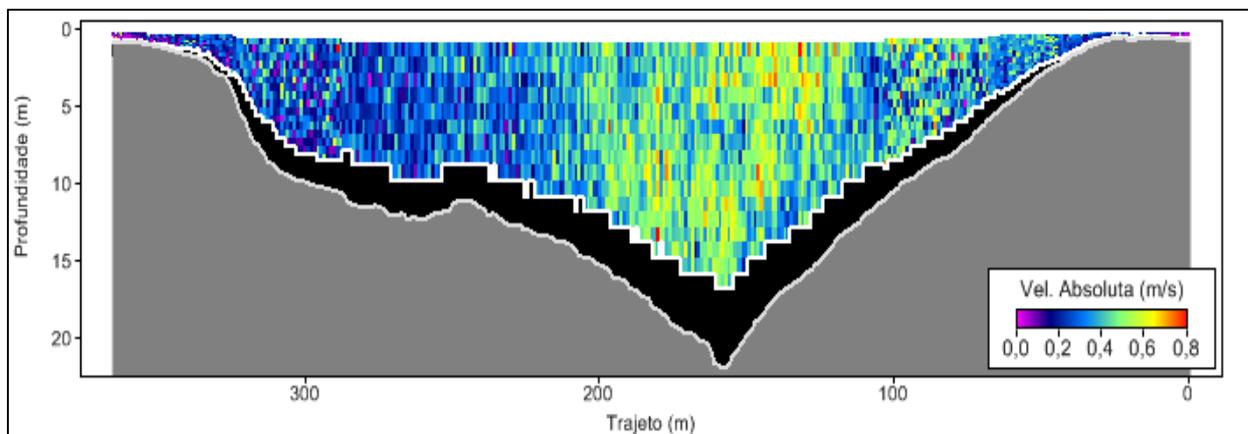
No primeiro semestre de 2015 foram realizadas duas medições de vazão e descargas sólidas, nos meses de fevereiro e junho de 2015. Primeiramente a equipe da **VERACRUZ** esteve em campo durante o mês de maio para realizar as medições de hidrometria nas estações indígenas, porém, devido a um problema técnico apresentado pelo equipamento de medição de vazão (ADCP) a campanha teve que ser adiada para o início do mês de junho.

Os principais resultados das medições de vazão realizadas em fevereiro e junho de 2015 são apresentados na **Tabela 3**. As **Figuras 11 a 18** apresentam as seções das medições de vazão que foram feitas utilizando o ADCP e são apresentadas em um esquema falsa cor, ilustrando a

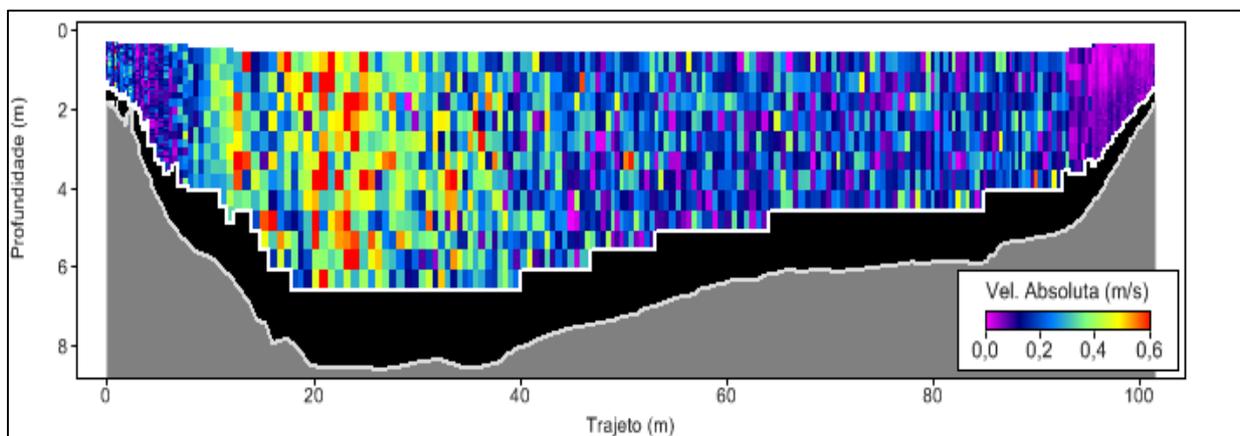
variação da velocidade da água em cada transecto. Os detalhes das medições de vazão são apresentados no **ANEXO 1**.

**Tabela 3.** Resumo das medições de hidrometria, com destaque a vazão calculada.

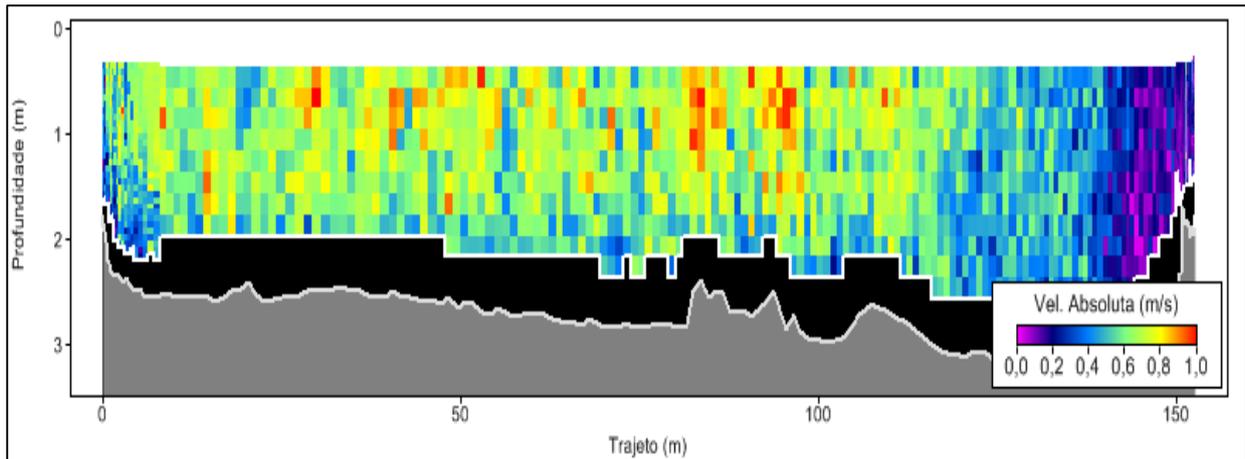
Estação	Data e Horário do Início da Medição	Vazão (m <sup>3</sup> /s)	Largura (m)	Velocidade Média (m/s)	Área da Seção (m <sup>2</sup> )
Coelho	18/02/2015 – 10:57h	5.247,142 ± 119,386	369,478 ± 1,360	1,111 ± 0,025	4.722,775 ± 76,259
Apicás	16/02/2015 – 10:54h	652,819 ± 3,860	103,253 ± 0,981	0,765 ± 0,008	853,984 ± 8,362
São Benedito	16/02/2015 – 15:18h	516,848 ± 5,385	163,354 ± 1,390	0,596 ± 0,008	867,849 ± 4,357
Santa Rosa	18/02/2015 – 13:19h	5.766,941 ± 69,922	392,369 ± 1,676	1,218 ± 0,033	4.737,805 ± 75,772
Coelho	02/06/2015 – 17:18h	2.962,540 ± 51,325	375,204 ± 1,140	0,687 ± 0,016	4.312,811 ± 35,442
Apicás	02/06/2015 – 12:07h	393,198 ± 9,607	108,372 ± 3,213	0,465 ± 0,011	845,774 ± 8,576
São Benedito	02/06/2015 – 15:30h	409,976 ± 54,714	159,153 ± 1,942	0,603 ± 5,597	680,333 ± 5,597
Santa Rosa	03/06/2015 – 11:27h	3.219,492 ± 26,806	385,183 ± 1,582	0,802 ± 0,016	4.016,215 ± 73,556



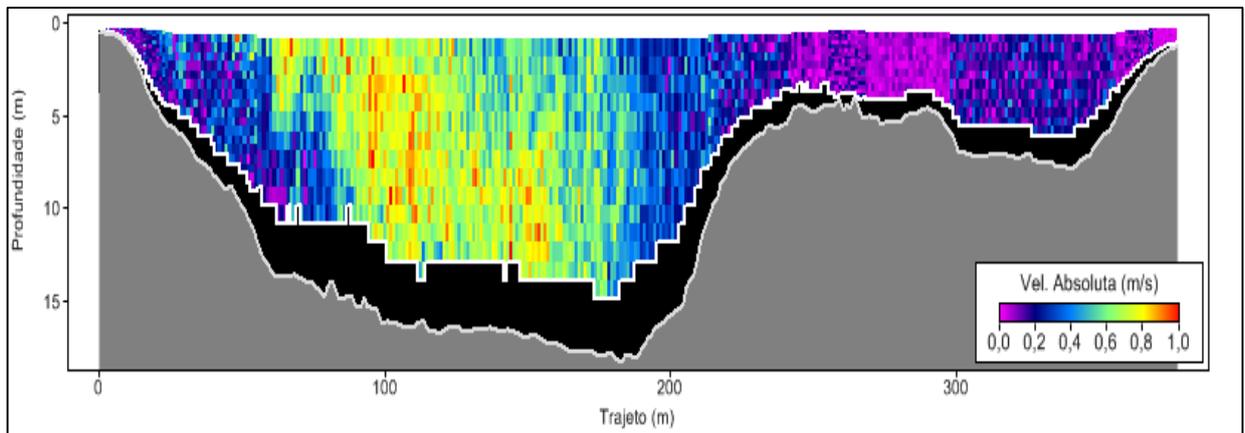
**Figura 11.** Resultado da medida de velocidade da água e vazão realizada com o ADCP na estação Coelho no dia 18 de fevereiro de 2015. Cores quentes (tons de vermelho e amarelo) indicam velocidades maiores, enquanto que cores frias (tons de azul) indicam velocidades de correntes menores para a velocidade da água (veja legenda junto à figura). A parte preta indica um descarte da medição de velocidade da água próximo ao leito devido às incertezas referentes à alta reflexão do sinal *doppler* pela matéria orgânica, vegetação e transporte de sedimentos de arrasto; nesta área a velocidade da água é interpolada exponencialmente conferindo um melhor resultado. O limite branco junto à área cinza indica o leito do rio.



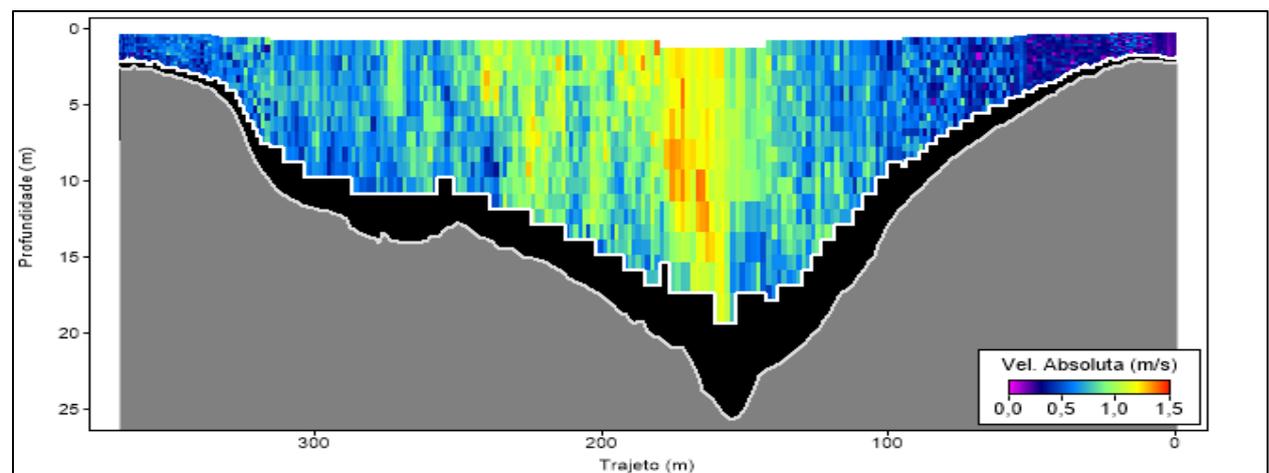
**Figura 12.** Resultado da medida de velocidade da água e vazão realizada com o ADCP na estação Apicás no dia 16 de fevereiro de 2015. Veja detalhes sobre esta imagem na legenda da Figura 11.



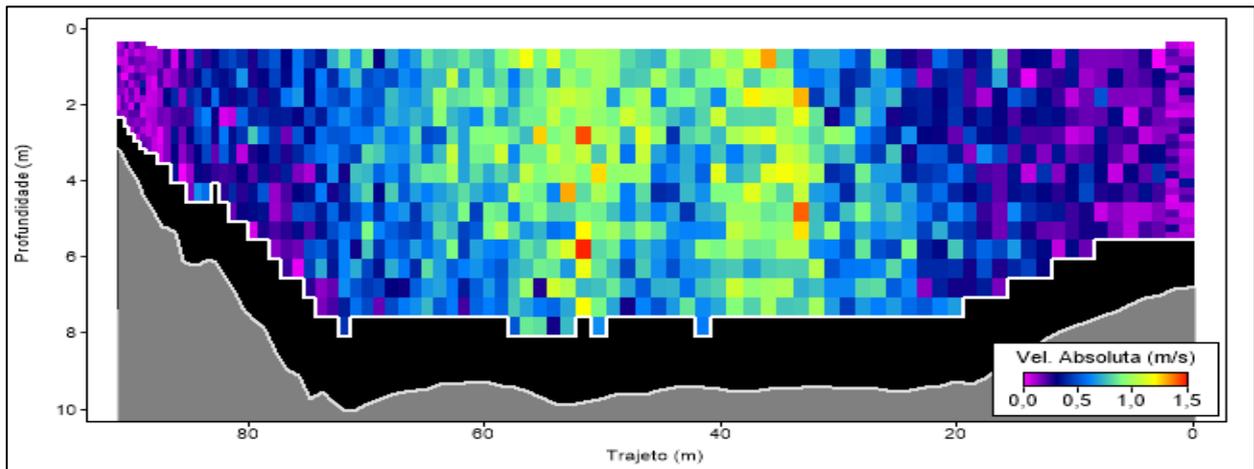
**Figura 13.** Resultado da medida de velocidade da água e vazão realizada com o ADCP na estação São Benedito no dia 16 de fevereiro de 2015. Veja detalhes sobre esta imagem na legenda da **Figura 11**.



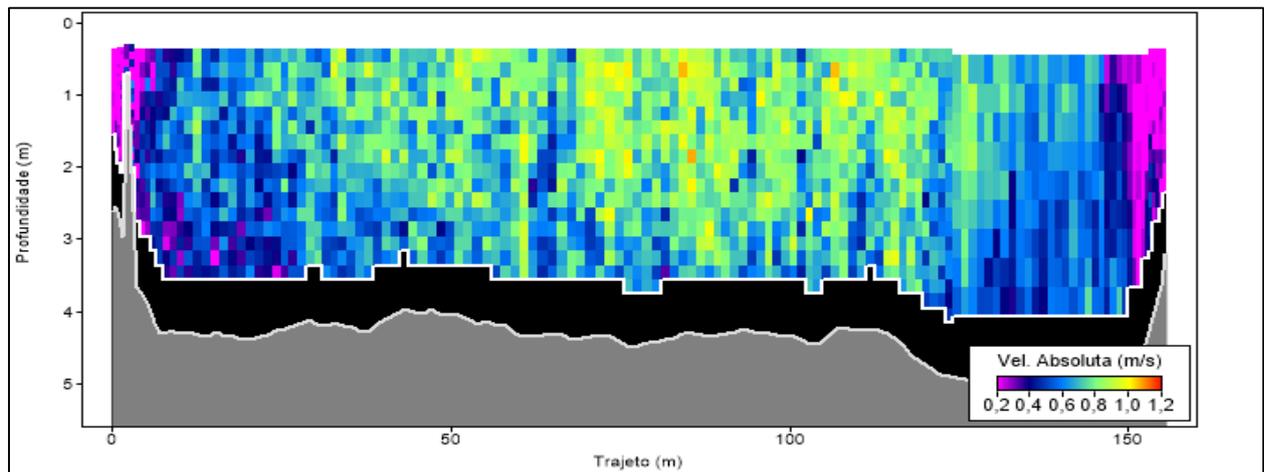
**Figura 14.** Resultado da medida de velocidade da água e vazão realizada com o ADCP na estação Santa Rosa no dia 18 de fevereiro de 2014. Veja detalhes sobre esta imagem na legenda da **Figura 11**.



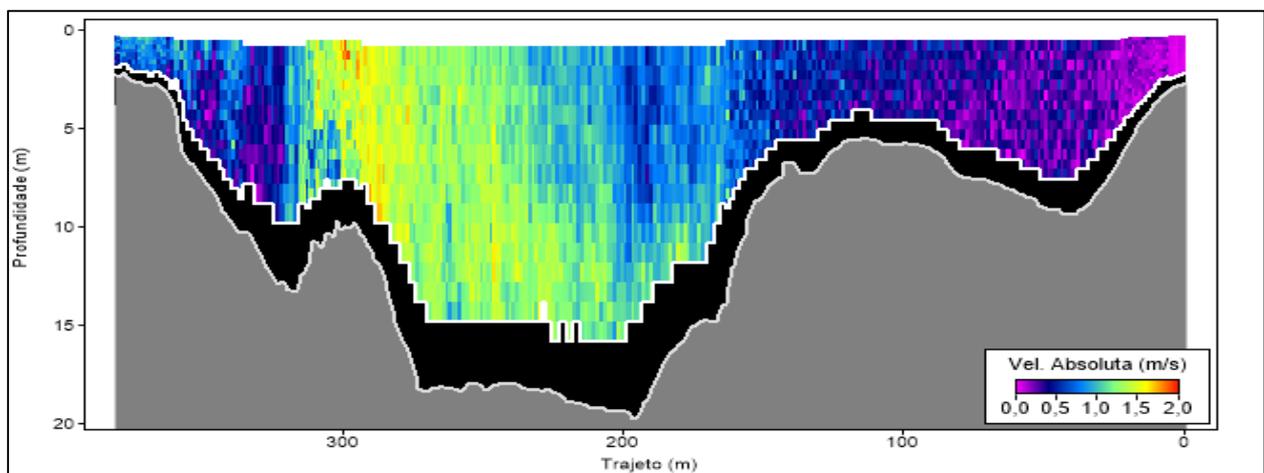
**Figura 15.** Resultado da medida de velocidade da água e vazão realizada com o ADCP na estação Coelho no dia 02 de junho de 2015. Veja detalhes sobre esta imagem na legenda da **Figura 11**.



**Figura 16.** Resultado da medida de velocidade da água e vazão realizada com o ADCP na estação Apicás no dia 02 de junho de 2015. Veja detalhes sobre esta imagem na legenda da Figura 11.



**Figura 17.** Resultado da medida de velocidade da água e vazão realizada com o ADCP na estação São Benedito no dia 02 de junho de 2015. Veja detalhes sobre esta imagem na legenda da Figura 11.



**Figura 18.** Resultado da medida de velocidade da água e vazão realizada com o ADCP na estação Santa Rosa no dia 03 de junho de 2015. Veja detalhes sobre esta imagem na legenda da Figura 11.

Juntamente com as medições de vazão também foram coletadas as amostras de sedimentos em suspensão e de leito. Nas **Tabelas 4 e 5** são apresentadas as concentrações dos materiais em suspensão e as granulometrias dos materiais de suspensão e leito referentes às amostras coletadas em fevereiro e junho de 2015. Os detalhes das análises de sedimentos são apresentados no **ANEXO 2**. A **Tabela 6** e as **Figuras 19 a 22** apresentam um resumo com os valores de descargas líquidas e descargas sólidas em suspensão e totais de todas as coletas realizadas no monitoramento das estações hidrométricas indígenas da UHE Teles Pires.

**Tabela 4.** Distribuição granulométrica do material de leito e de suspensão da campanha realizada em fevereiro de 2015 nas estações indígenas UHE Teles Pires. Na última linha são mostradas as concentrações dos sedimentos em suspensão.

		Coelho	Apiacás	São Benedito	Santa Rosa
LEITO	D10 (mm)	0,137	0,084	0,068	0,129
	D30 (mm)	0,182	0,138	0,091	0,178
	D35 (mm)	0,193	0,148	0,096	0,191
	D50 (mm)	0,227	0,179	0,113	0,228
	D60 (mm)	0,251	0,200	0,124	0,257
	D65 (mm)	0,281	0,210	0,138	0,289
	D75 (mm)	0,344	0,231	0,171	0,352
	D90 (mm)	0,438	0,342	0,221	0,447
	Cascalho (%)	0,00	0,00	0,00	0,00
	Areia Grossa (%)	0,00	0,02	0,09	0,04
	Areia Média (%)	39,91	15,77	1,17	41,05
	Areia Fina (%)	59,80	81,37	94,12	58,67
	Silte + Argila (%)	0,29	2,84	4,62	0,24
SUSPENSÃO	Areia (%)	15,6	21,8	37,0	25,8
	Silte (%)	67,2	55,5	43,3	56,4
	Argila (%)	17,2	22,7	19,7	17,8
	Concentração (ppm)	31,76	13,22	18,31	31,80

**Tabela 5.** Distribuição granulométrica do material de leito e de suspensão da campanha realizada em junho de 2015.

		Coelho	Apiacás	São Benedito	Santa Rosa
<b>LEITO</b>	D10 (mm)	0,154	0,105	0,075	0,135
	D30 (mm)	0,219	0,163	0,108	0,192
	D35 (mm)	0,236	0,174	0,117	0,206
	D50 (mm)	0,294	0,209	0,146	0,250
	D60 (mm)	0,335	0,232	0,167	0,300
	D65 (mm)	0,356	0,243	0,178	0,326
	D75 (mm)	0,397	0,309	0,199	0,378
	D90 (mm)	0,459	0,432	0,231	0,456
	Cascalho (%)	0,00	0,00	0,00	0,00
	Areia Grossa (%)	0,00	0,85	0,53	0,07
Areia Média (%)	60,61	31,33	0,49	49,57	
Areia Fina (%)	39,30	65,60	96,34	49,69	
Silte + Argila (%)	0,09	2,22	2,64	0,67	
<b>SUSPENSÃO</b>	Areia (%)	21,3	30,2	42,4	13,8
	Silte (%)	58,1	52,8	52,1	60,9
	Argila (%)	20,6	17,0	5,5	25,3
	Concentração (ppm)	14,64	21,22	10,09	12,55

**Tabela 6.** Descargas líquidas e sólidas calculadas para as estações hidrométricas indígenas da UHE Teles Pires. As descargas sólidas totais apresentadas foram calculadas pelo método de Colby (1957).

		Estação	Coelho	Apiacás	São Benedito	Santa Rosa
<b>Dez/2013</b>	Q	(m <sup>3</sup> /s)	3.131,454 ± 41,796	329,965 ± 11,734	322,818 ± 1,830	3.497,398 ± 28,241
	Qss	(t/dia)	6.612	728	407	7.415
	Qst	(t/dia)	10.687	952	696	12.199
<b>Fev/2014</b>	Q	(m <sup>3</sup> /s)	6.928,139 ± 32,572	733,056 ± 0,392	516,6 ± 4,1	7.121,495 ± 35,61
	Qss	(t/dia)	12.510	1.987	599	13.764
	Qst	(t/dia)	24.498	3.063	942	27.732
<b>Mai/2014</b>	Q	(m <sup>3</sup> /s)	4.577,933 ± 34,100	880,473 ± 10,892	568,868 ± 1,546	5.209,773 ± 84,948
	Qss	(t/dia)	8.460	2.350	515	8.696
	Qst	(t/dia)	15.239	3.863	1.066	16.865
<b>Ago/2014</b>	Q	(m <sup>3</sup> /s)	1.191,498 ± 16,151	81,613 ± 1,163	218,596 ± 1,724	1.324,066 ± 8,842
	Qss	(t/dia)	1.569	101	196	1.147
	Qst	(t/dia)	2.060	113	463	1.638
<b>Nov/2014</b>	Q	(m <sup>3</sup> /s)	1.521,983 ± 35,185	129,781 ± 0,790	258,796 ± 3,711	1.784,447 ± 25,555
	Qss	(t/dia)	2.501	178	323	4.297
	Qst	(t/dia)	3.435	210	680,	5.769

Estação		Coelho	Apiacás	São Benedito	Santa Rosa
Fev/2015	Q (m <sup>3</sup> /s)	5.247,142 ± 119,386	652,819 ± 3,860	516,848 ± 5,385	5.766,941 ± 69,922
	Qss (t/dia)	14.398	746	818	15.845
	Qst (t/dia)	24.221	1.426	1.417	28.448
Jun/2015	Q (m <sup>3</sup> /s)	2.962,540 ± 51,325	393,198 ± 9,607	409,976 ± 54,714	3.219,492 ± 26,806
	Qss (t/dia)	3.747	720	357	3.491
	Qst (t/dia)	6.327	1.024	767	6.516

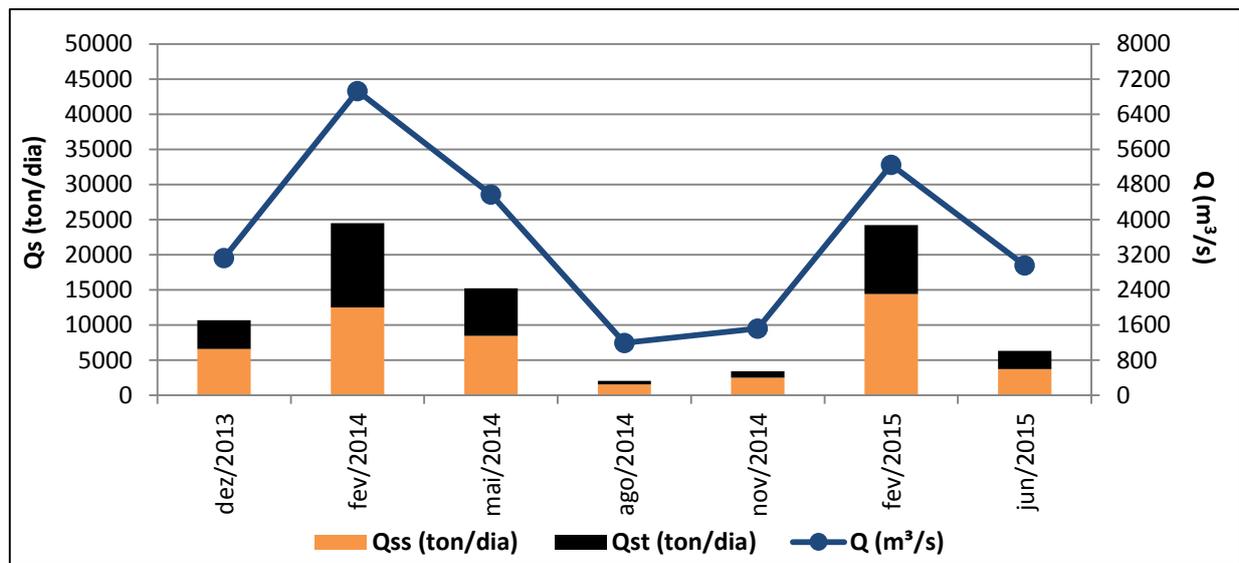


Figura 19. Descargas líquidas (Q), sólidas em suspensão (Qss) e sólidas totais (Qst) na estação Coelho nas campanhas realizadas entre dezembro de 2013 e junho de 2015.

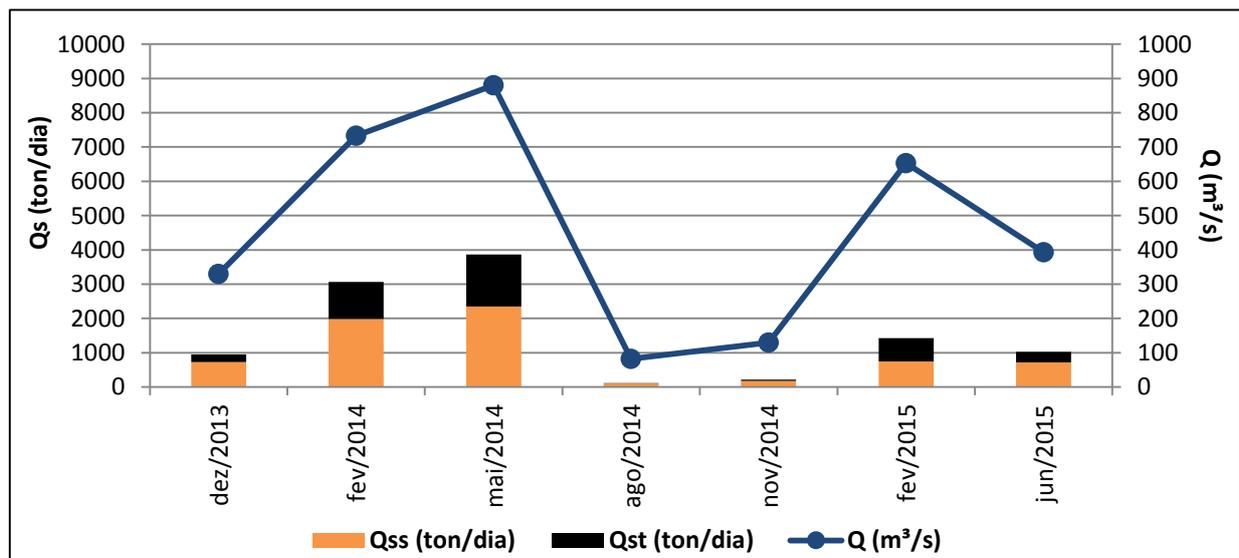
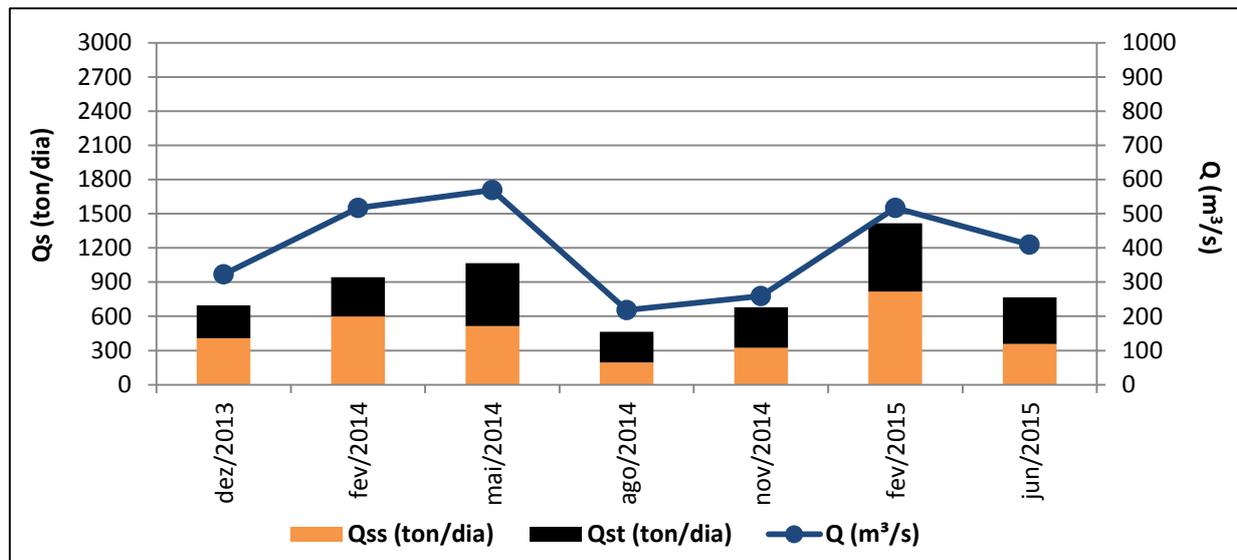
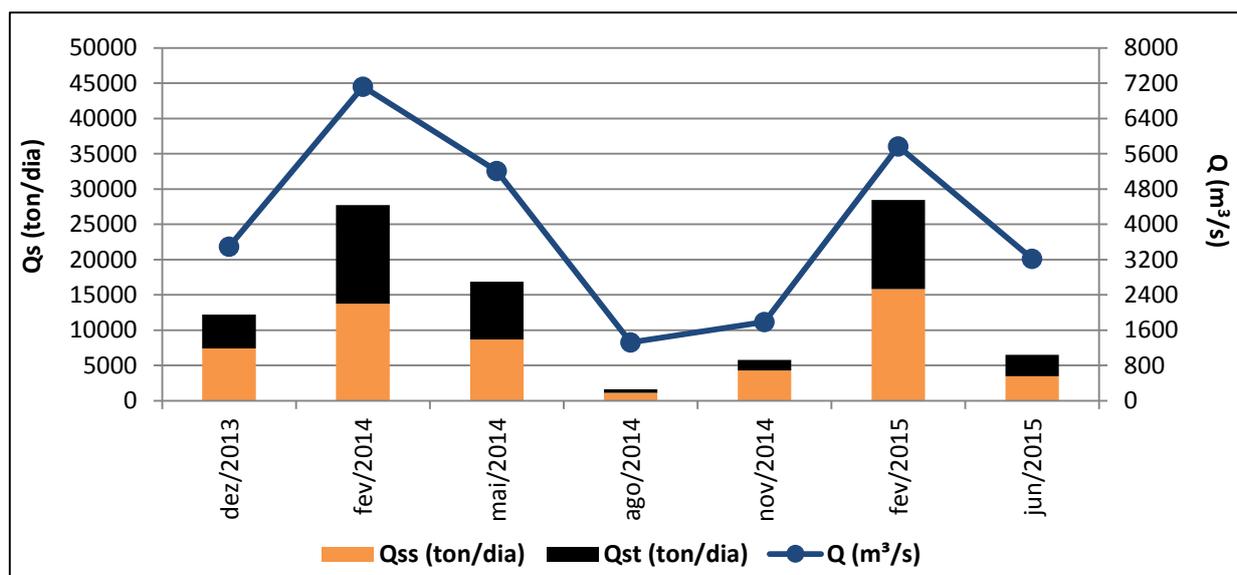


Figura 20. Descargas líquidas (Q), sólidas em suspensão (Qss) e sólidas totais (Qst) na estação Apiacás nas campanhas realizadas entre dezembro de 2013 e junho de 2015.



**Figura 21.** Descargas líquidas (Q), sólidas em suspensão (Qss) e sólidas totais (Qst) na estação São Benedito nas campanhas realizadas entre dezembro de 2013 e junho de 2015.



**Figura 22.** Descargas líquidas (Q), sólidas em suspensão (Qss) e sólidas totais (Qst) na estação Santa Rosa nas campanhas realizadas entre dezembro de 2013 e junho de 2015.

Os rios Teles Pires, São Benedito e Apicás apresentaram, no geral, baixas concentrações de sedimentos em suspensão, sendo que nas campanhas de fevereiro e junho de 2015 a granulometria predominantemente nos rios foi de silte. Quanto à análise granulométrica do sedimento de fundo, os rios apresentaram leitos com predominância de areia fina. Ao longo do ano, os maiores valores de descarga sólida e líquida na região ocorrem entre os meses de janeiro a abril e os menores valores entre julho e outubro.

#### 4.2 Determinação das curvas-chave de vazão

Entre as funções estudadas para representar um curva-chave de vazão, as encontradas na literatura e que oferecem os melhores resultados são as do tipo potência e polinomial (Chevalier, 2004). Abaixo são mostradas as estruturas desses dois tipos de curva-chave:

##### a) Potência

$$Q = a \cdot (H - H_0)^b$$

Em que:

H- Nível da régua correspondente à vazão Q;

H<sub>0</sub> – Nível da régua para o qual a vazão é nula;

a e b – Constantes representativas da seção fluviométrica de interesse.

##### b) Polinomial

$$Q = a_0 + a_1 \cdot H + a_2 \cdot H^2 + \dots + a_n \cdot H^n$$

Em que:

a<sub>i</sub> – Constantes da função polinomial;

n – Grau do polinômio.

Os ajustes de funções polinomiais são considerados ajustes mais matemáticos do que físicos, ou seja, com pouca relação direta com as características do fenômeno. O ajuste da função do tipo potência é então o mais representativo da realidade física do fenômeno, e no presente estudo também foi o que ofereceu o melhor ajuste para os dados.

Para o traçado das curvas-chave preliminares de vazão das estações hidrométricas indígenas foi utilizada a função de otimização *solver* do *Excel*, pelo método GRG não linear, com o objetivo de minimizar a soma do quadrado dos desvios. As curvas-chave traçadas para as estações apresentaram em geral coeficientes de determinação satisfatórios (**Figuras 23 a 26**), porém, é necessário um maior número de medições para melhor ajuste das curvas e extrapolação do ramo alto e baixo.

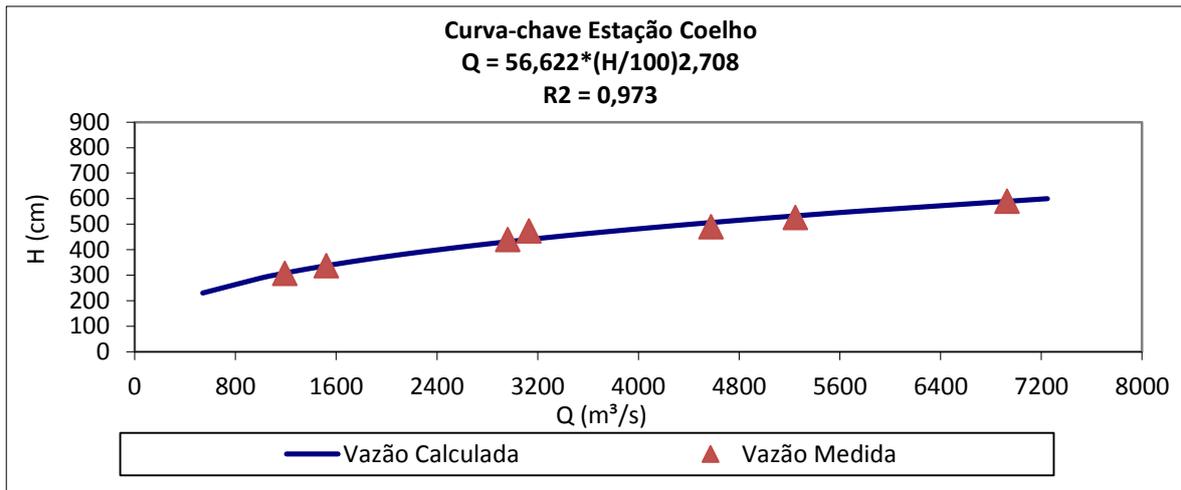


Figura 23. Curva-chave de vazão da estação hidrométrica Coelho.

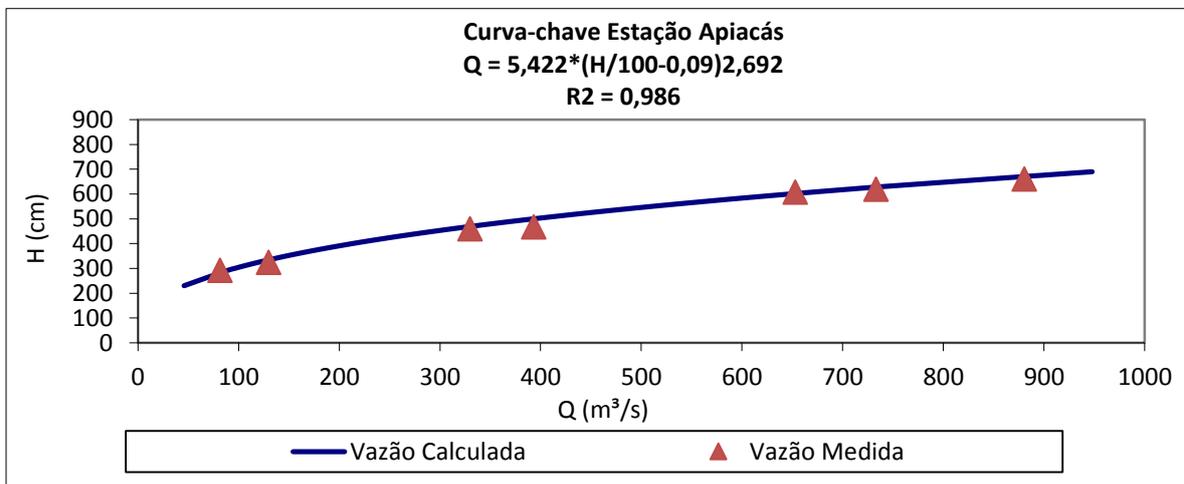


Figura 24. Curva-chave de vazão da estação hidrométrica Apiacás.

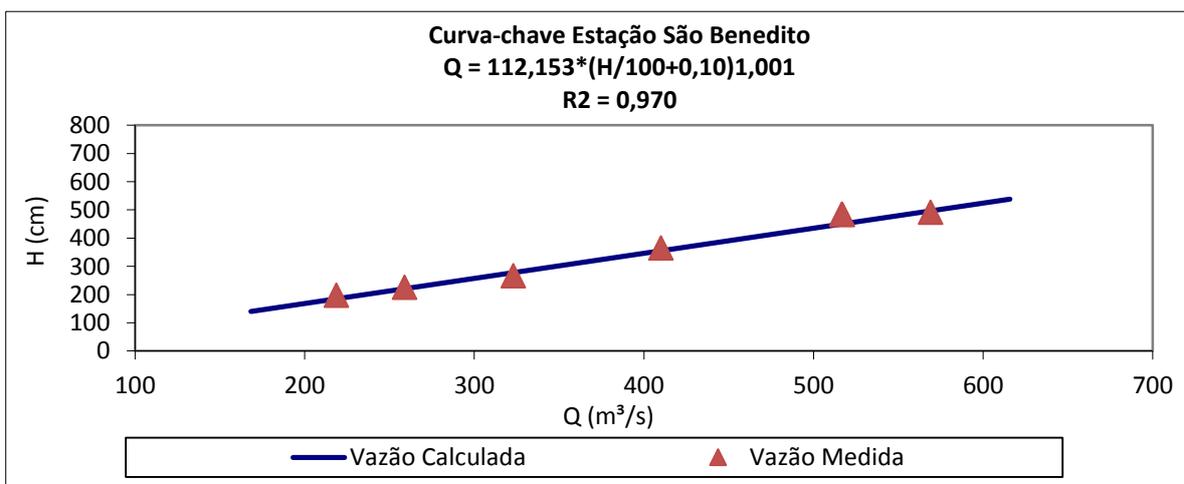


Figura 25. Curva-chave de vazão da estação hidrométrica São Benedito.

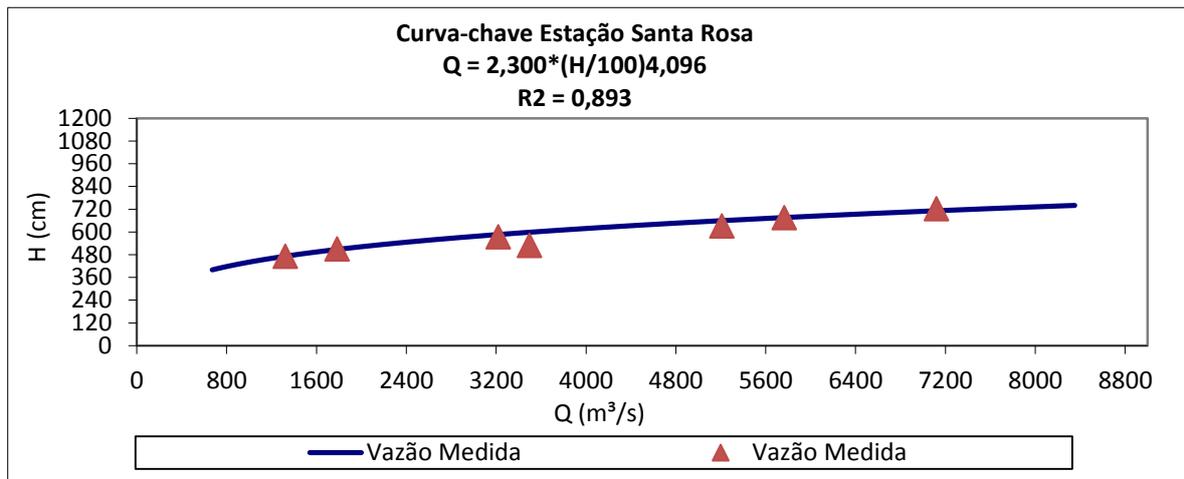


Figura 26. Curva-chave de vazão da estação hidrométrica Santa Rosa.

### 4.3 Determinação das curvas-chave de sedimento

A curva-chave de sedimento relaciona valores de descarga sólida e valores de vazão. A curva será tanto mais representativa quanto maior o número de pontos medidos e maior a variação de vazão alcançada entre os valores mínimos e máximos (CARVALHO, 1994; EINSTEIN, 1964 E LINSLEY ET AL., 1988).

Uma curva-chave de sedimento não é estacionária, devendo-se considerar, por exemplo, as alterações climáticas ao longo do ano e as alterações ocorridas nos usos do solo.

As curvas-chave preliminares traçadas para as estações hidrométricas Indígenas (Figuras 27 a 30) apresentaram de uma forma geral um bom ajuste, sendo que o índice de determinação mínimo obtido foi de 0,7698 na estação São Benedito e máximo de 0,9383 na estação Apiacás.

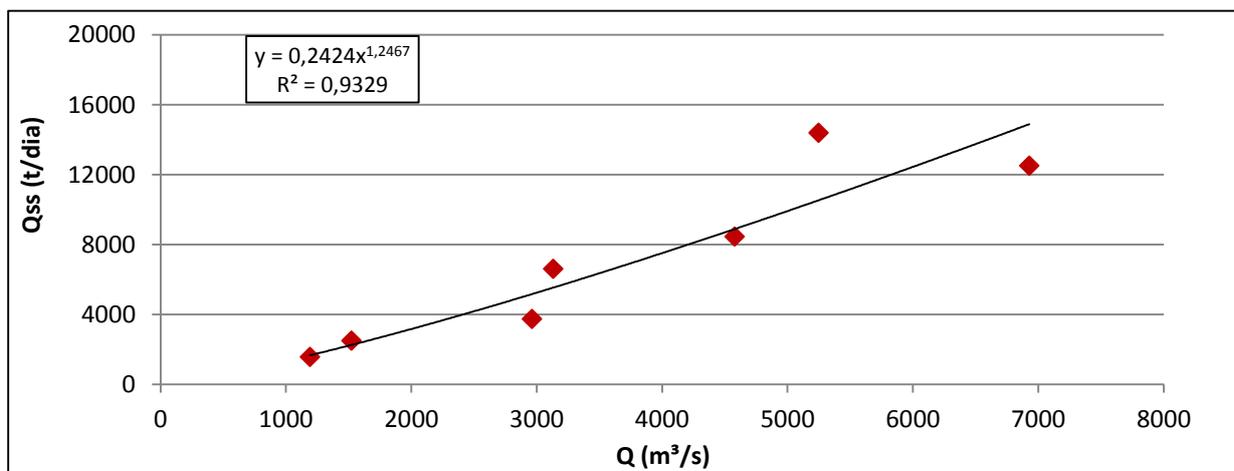
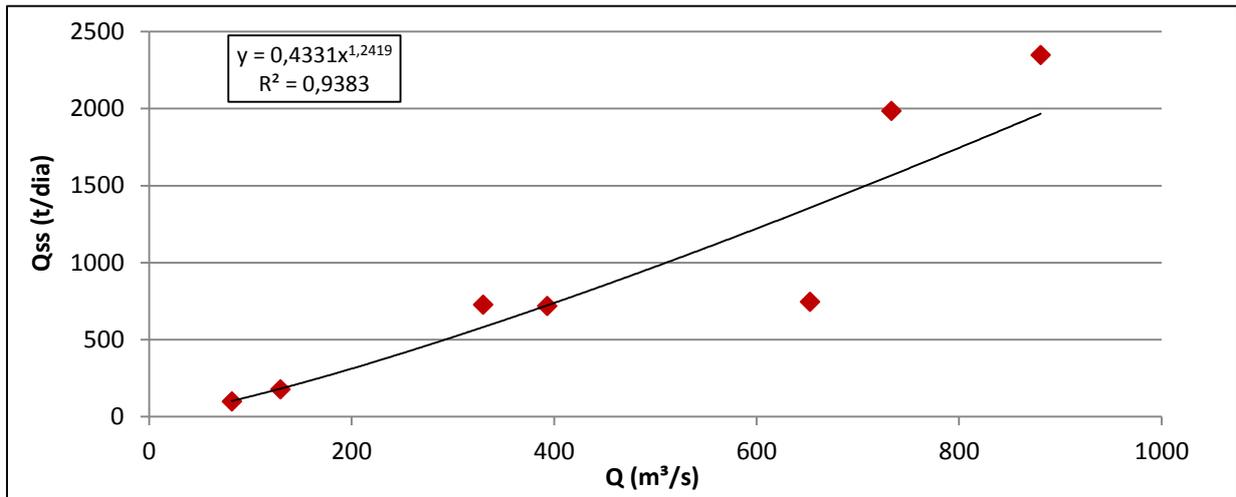
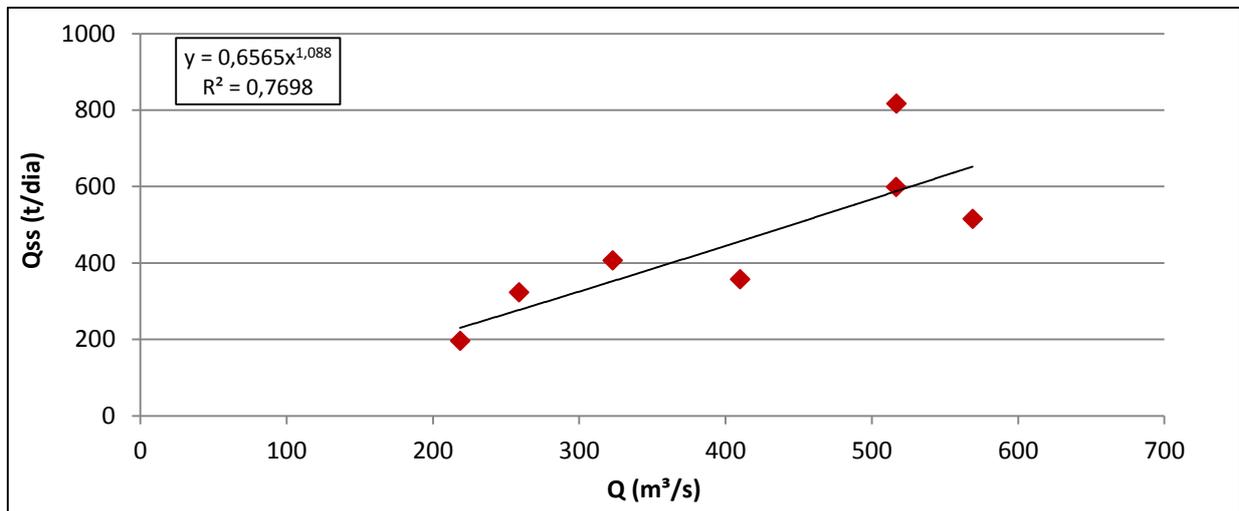


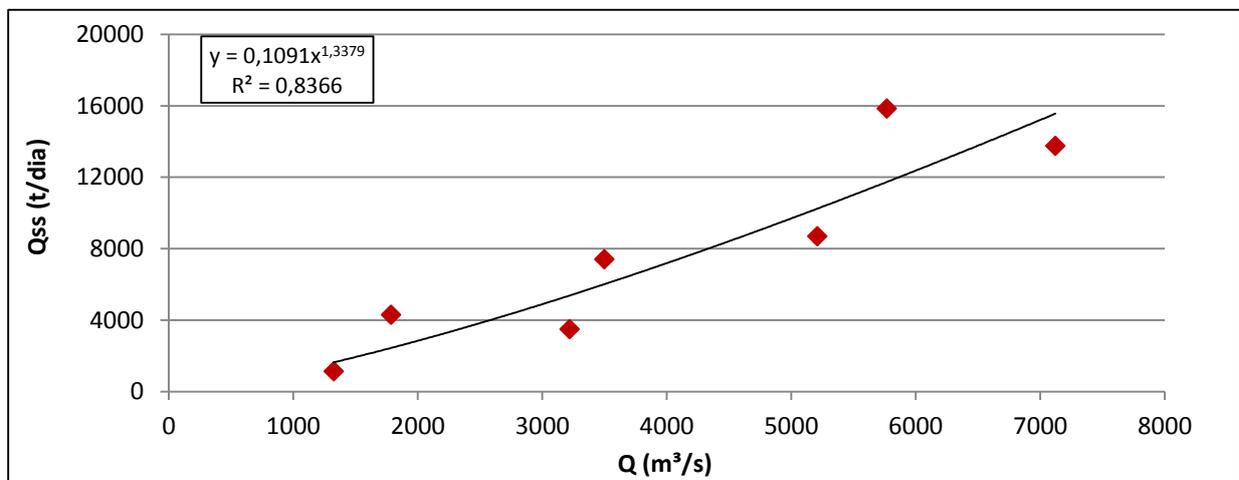
Figura 27. Curva-chave de sedimento da estação hidrométrica Coelho. (Q) vazão, (Qss) descarga sólida em suspensão.



**Figura 28.** Curva-chave de sedimento da estação hidrométrica Apiacás. (Q) vazão, (Qss) descarga sólida em suspensão.



**Figura 29.** Curva-chave de sedimento da estação hidrométrica São Benedito. (Q) vazão, (Qss) descarga sólida em suspensão.

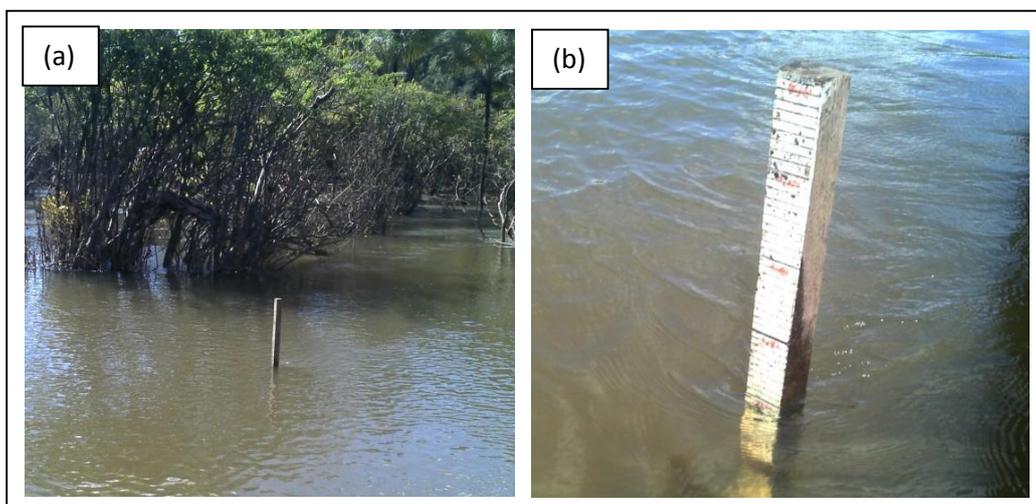


**Figura 30.** Curva-chave de sedimento da estação hidrométrica Santa Rosa. (Q) vazão, (Qss) descarga sólida em suspensão.

#### 4.4 Monitoramento das praias indígenas

Durante o período de janeiro a junho de 2015 foram feitas as vistorias nas praias indígenas, onde foram instaladas réguas graduadas que permitem monitorar as variações topográficas e a intensidade de processos de sedimentação e erosão. No período em análise a base das réguas instaladas nas praias encontravam-se cobertas pelo rio. A **Figura 31** exemplifica a situação das réguas durante a última campanha de campo.

Na próxima campanha de campo, prevista para o mês de agosto de 2015, será possível realizar as leituras de todas as réguas graduadas e analisar se houve processos de sedimentação ou erosão desde o período de instalação, que ocorreu em agosto de 2014.



**Figura 31.** Vistorias das praias indígenas em junho de 2015.

#### 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

No presente relatório foram descritas as principais atividades realizadas durante o período de janeiro a junho de 2015, que consistiram: (i) no monitoramento das estações hidrométricas; (ii) medições de vazão e coletas de sedimentos em suspensão e de leito; (iii) determinação das granulometrias dos materiais de leito e de suspensão; (iv) concentrações dos sedimentos em suspensão; (v) cálculo das descargas sólidas em suspensão e totais; e (vi) vistorias das praias indígenas.

Foram apresentadas as curvas-chaves de vazão elaboradas para as estações hidrométricas indígenas da UHE Teles Pires, visando à transformação de uma série histórica de nível em uma série de vazão. Além disso, também foram apresentadas as curvas de sedimentos em suspensão das estações em análise. Os dados de precipitação e nível registrados pelas estações hidrométricas são apresentados nos **ANEXOS 3 e 4**.

As atividades do monitoramento hidrossedimentológico atendem as condicionantes propostas na licença de Operação (LO N° 1272/2014, IBAMA) emitida pelo IBAMA para a UHE Teles Pires, assim como demais exigências da FUNAI.

## REFERÊNCIAS

- ANA - Agência Nacional de Águas (Brasil). **Medição de descarga líquida em grandes rios:** manual técnico. Brasília: ANA; SGH, 2009.
- CARVALHO, N.O.; FILIZOLA JÚNIOR, N.P.; SANTOS, P.M.C.; LIMA, J.E.F.W. **Guia de práticas sedimentométricas.** Brasília: ANEEL. 2000. 154p.
- CARVALHO, N. O. **Hidrossedimentologia Prática.** 2ª edição. Rio de Janeiro: Interciência, 2008.
- CESP. Laboratório Cesp de Engenharia Civil. **Ensaio Sedimentométrico** – Companhia Energética de São Paulo, Ilha Solteira, São Paulo, 2009.
- CHEVALIER, P. Aquisição e processamento de dados, in. TUCCI C.E.M., **Hidrologia ciência e aplicação**, 3º. ed. Revisada, ABRH-Edusp, Porto Alegre, 2004, p.485- 525.
- COLBY, B. R.; HEMBRE, C. H. **Computation of Total Sediment Discharge**, Niobrara River near Cody, Nebraska. U. S. Geol. Survey. Water Supply. Paper 1357, 1955.
- COLBY,B.R. **Relationship of unmeasured sediment discharge to mean velocity.** Transactions, Amer. Geophy. Union. v. 38, n. 5, oct, p.708-719, 1957.
- LINSLEY, R., K. J., KOHLER, M.A., PAULHUS, J.L.K. (1988). **Hydrology for engineers.** Editora McGraw-Hill; Singapura, 492 p.
- MENDES, A. B. Einstein.xls, **Modelo matemático para cálculo da descarga sólida total pelo método modificado de Einstein.** Monografia de final de Curso de Engenharia Civil - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2001.
- PAIVA, J.B.D. **Métodos de Cálculo do Transporte de Sedimentos em Rios**, In: Paiva, J.B.D. *et al.* Hidrologia Aplicada a Gestão de Pequenas Bacias Hidrográficas, Porto Alegre, ABRH, 313-364, 2001.
- SANTOS, I.; FILL, H.D.; SUGAI, M.R.V.B.; BUBA, H.; KISHI, R.T.; MARONE, E.; LAUTERT, L. F. **Hidrometria aplicada.** Curitiba: Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento, LACTEC, 2001.