


PROJETO BÁSICO AMBIENTAL UHE SÃO MANOEL

P.09 – Programa Ambiental de Monitoramento Hidrossedimentológico da UHE São Manoel

2º Relatório Semestral

EQUIPE TÉCNICA RESPONSÁVEL PELO DESENVOLVIMENTO DAS ATIVIDADES DO PROGRAMA			
INTEGRANTES	CONSELHO DE CLASSE	CTF IBAMA	ASSINATURA
Keila C. Fernandes de Oliveira	04.0.0000149150	6190874	<i>Keila C.F. Oliveira</i>
Luciana Cabral Nunes	50629926484	5287039	<i>Luciana Nunes</i>
Karen Caroline Paiva da Silva	5069188924	5808170	<i>Karen C.P. da Silva</i>
Tatiana Pilachevsky	5064021791	5531743	<i>Tatiana Pilachevsky</i>

Julho – 2015


Visto por:		Elaborado por:			Rev.: 001 17/08/2015 Página 1
Thiago Millani Coordenador	Juhei Muramoto Gestor	Keila C. de Oliveira Engenheira Hídrica	Karen C. P. da Silva Engenheira Hídrica		

ÍNDICE

1. INTRODUÇÃO	01
2. METODOLOGIA	01
2.1. Medições de vazão (descarga líquida)	01
2.1.1. Medições de vazão (descarga líquida) com molinete	03
2.1.2. Medições de vazão (descarga líquida) com o ADCP	06
2.2. Amostragem de sedimento em suspensão e de leito	09
2.3. Análises de laboratório	12
2.3.1 Tubo de retirada pela base	13
2.3.2 Análises de Concentração	13
2.3.3. Análise granulométrica do material de leito	14
2.4. Descarga sólida	14
2.4.1. Descarga sólida em suspensão	14
2.4.2 Cálculo da descarga sólida de arrasto pelo método de Yang (1973)	14
2.4.3 Descarga sólida total pelo método de Colby (1957)	15
2.4.4. Descarga sólida total pelo método modificado de Einstein	15
3. DESCRIÇÃO DAS ATIVIDADES	15
4. RESULTADOS	18
4.1. Instalação das Estações Telemétricas	18
4.2. Medições de vazão e descargas sólidas	19
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS	26
REFERÊNCIAS	27


ANEXOS

ANEXO 1. MEDIDAS DE DESCARGA LÍQUIDA DAS ESTAÇÕES HIDROMÉTRICAS	01
ANEXO 2. ANÁLISES GRANULOMÉTRICAS DE SEDIMENTOS	104

Visto por:		Elaborado por:			Rev.: 001
Thiago Millani Coordenador	Juhei Muramoto Gestor	Keila C. de Oliveira Engenheira Hídrica	Karen C. P. da Silva Engenheira Hídrica		17/08/2015 Página 2

LISTA DE SIGLAS

ADCP - Perfilador Acústico de correntes por Efeito *Doppler*
ANA – Agência Nacional de Águas
ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica
C - Concentração de sedimentos em suspensão
CESP - Companhia Energética de São Paulo
D-GPS - Sistema de Posicionamento Global Diferencial
IBAMA – Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis
IIL - Igual Incremento de Largura
IVT - Igual Velocidade de Trânsito
Mhz – Megahertz
PCM - Modulação por Código de Pulso
Q - Vazão ou descarga líquida
UHE – Usina Hidrelétrica
 v_m - Velocidade média
 v_t - Velocidade de trânsito

Visto por:		Elaborado por:			Rev.: 001 17/08/2015 Página 3
Thiago Millani Coordenador	Juhei Muramoto Gestor	Keila C. de Oliveira Engenheira Hídrica	Karen C. P. da Silva Engenheira Hídrica		

1. INTRODUÇÃO

O serviço “Programa Ambiental de Monitoramento Hidrossedimentológico para a UHE São Manoel” está sendo executado pela empresa **VERACRUZ Soluções Geofísicas e Geológicas Ltda.**

Este serviço atende a Resolução Conjunta ANEEL/ANA N°. 03 de 10 de Agosto de 2010 e as condicionantes propostas na Licença Prévia (LP N° 473/2013, IBAMA) emitida pelo IBAMA para a UHE São Manoel, tendo como objetivo monitorar as descargas líquidas e sólidas dos rios Teles Pires e Apiacás no entorno do local de interesse da UHE São Manoel, localizada na divisa entre os estados do Mato Grosso e Pará.


2. METODOLOGIA

2.1. Medições 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 apresentadas nos **Quadros 1 e 2.**

Visto por:		Elaborado por:			Rev.: 001 17/08/2015 Página 1
Thiago Millani Coordenador	Juhei Muramoto Gestor	Keila C. de Oliveira Engenheira Hídrica	Karen C. P. da Silva Engenheira Hídrica		


Quadro 1. Grandezas geométricas utilizadas na medição de descarga líquida (Fonte: ANA, 2009).

Grandeza	Símbolo	Unidade	Cálculo
Área	A	m ²	---
Perímetro molhado	X	m	---
Raio hidráulico	R	m	$R = A/X$
Largura superficial	L	m	---
Profundidade média	P_{med}	m	$P = A/L$
Profundidade máxima	P_{max}	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_i	m	---
Profundidade total numa vertical	P	m	---
Área entre duas verticais	a	---	---

Quadro 2. Grandezas de escoamento da seção de medição (Fonte: ANA, 2009).

Grandeza	Símbolo	Unidade	Cálculo
Velocidade média na seção	V_m	m/s	$V_m = Q/A$
Vazão total na seção	Q	m ³ /s	---
Vazão em um segmento da seção	q_i	m ³ /s	---
Velocidade em um ponto na vertical	V_i	m/s	---
Velocidade na superfície	V_s	m/s	---
Velocidade no fundo	V_f	m/s	---
Velocidade média na vertical	\bar{V}	m/s	---
Velocidade média superficial	V_{sup}	m/s	---
Vazão unitária	Q	m ² /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.

Visto por:		Elaborado por:			Rev.: 001 17/08/2015 Página 2
Thiago Millani Coordenador	Juhei Muramoto Gestor	Keila C. de Oliveira Engenheira Hídrica	Karen C. P. da Silva Engenheira Hídrica		

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

2.1.1. Medições de vazão (descarga líquida) com molinete

Para o emprego do método de medição convencional, é necessário 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


Visto por:		Elaborado por:			Rev.: 001 17/08/2015 Página 3
Thiago Millani Coordenador	Juhei Muramoto Gestor	Keila C. de Oliveira Engenheira Hídrica	Karen C. P. da Silva Engenheira Hídrica		

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 1**). 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.

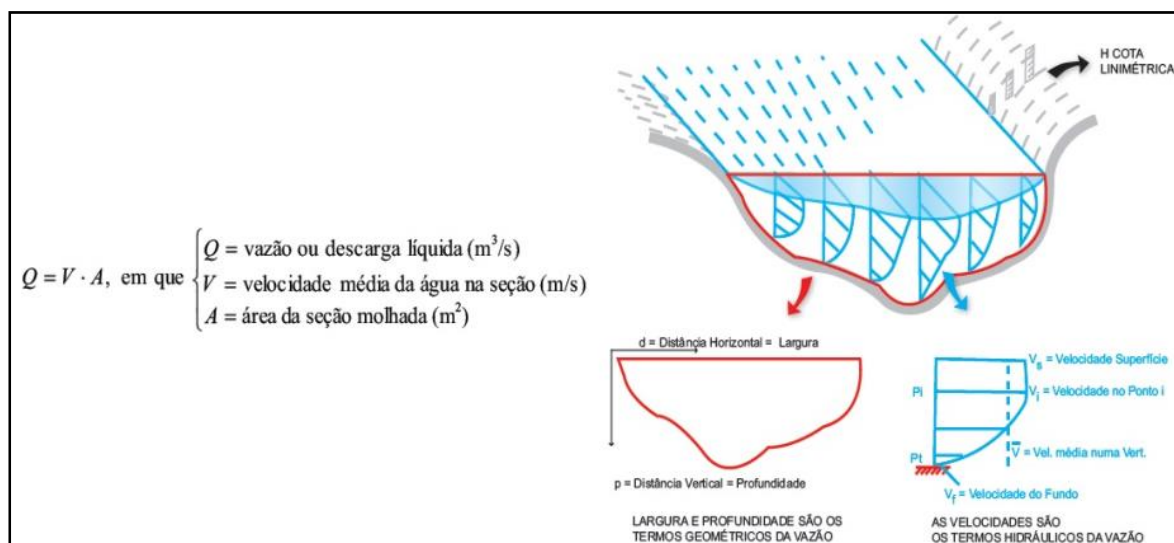



Figura 1. Grandezas necessárias para medição de descarga líquida (Fonte: ANA, 2009).

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**.

Visto por:		Elaborado por:			Rev.: 001 17/08/2015 Página 4
Thiago Millani Coordenador	Juhei Muramoto Gestor	Keila C. de Oliveira Engenheira Hídrica	Karen C. P. da Silva Engenheira Hídrica		

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


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

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 2a 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 2c**). 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 2d**).

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 às 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.

Visto por:		Elaborado por:			Rev.: 001 17/08/2015 Página 5
Thiago Millani Coordenador	Juhei Muramoto Gestor	Keila C. de Oliveira Engenheira Hídrica	Karen C. P. da Silva Engenheira Hídrica		

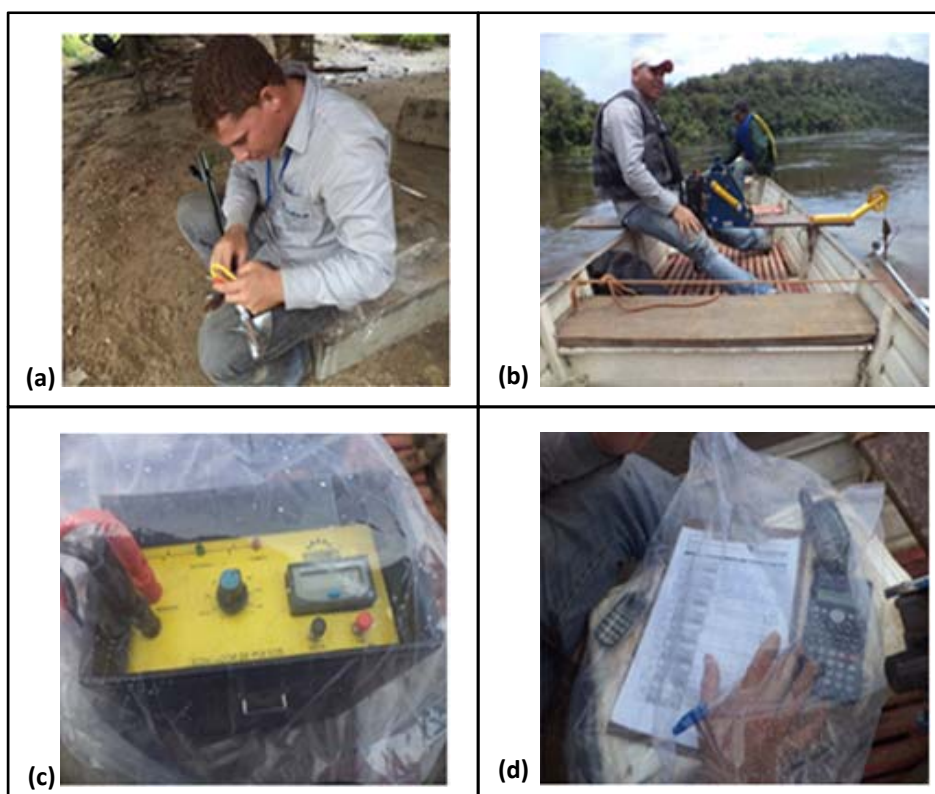



Figura 2. (a) Montagem e preparação do molinete hidrométrico; (b) molinete hidrométrico completo pronto para utilização; (c) contador de impulsos envolvido em plástico impermeável contra chuva; (d) planilhas de anotações hidrométricas com saco plástico contra chuva.

2.1.2. Medições 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 3**) 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

Visto por:		Elaborado por:			Rev.: 001 17/08/2015 Página 6
Thiago Millani Coordenador	Juhei Muramoto Gestor	Keila C. de Oliveira Engenheira Hídrica	Karen C. P. da Silva Engenheira Hídrica		

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.

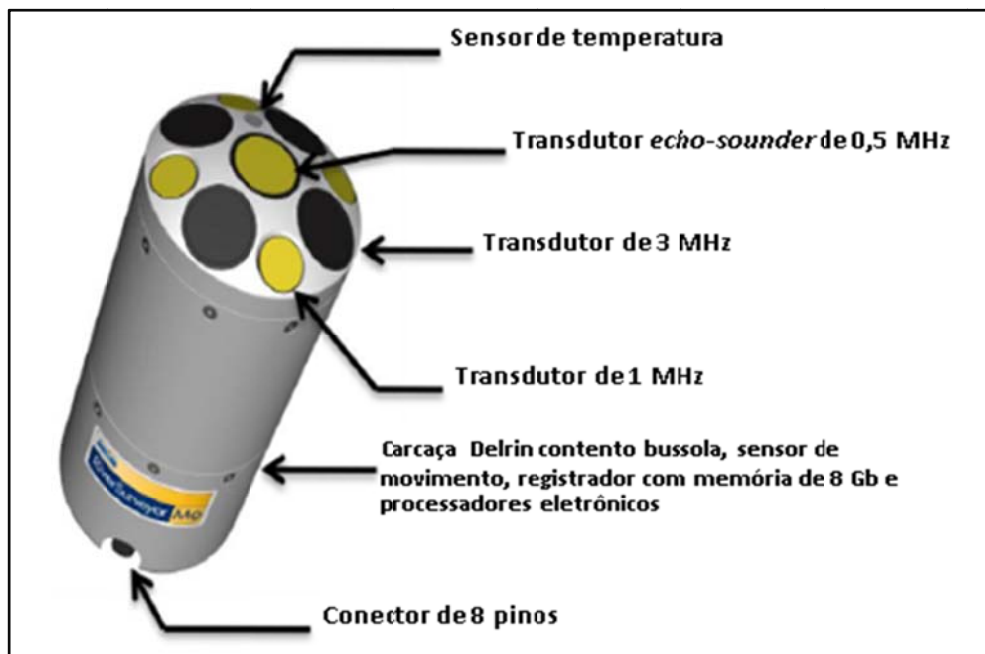



Figura 3. Características do ADCP M9.

O PCM (**Figura 4**) 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.

Visto por:		Elaborado por:			Rev.: 001 17/08/2015 Página 7
Thiago Millani Coordenador	Juhei Muramoto Gestor	Keila C. de Oliveira Engenheira Hídrica	Karen C. P. da Silva Engenheira Hídrica		

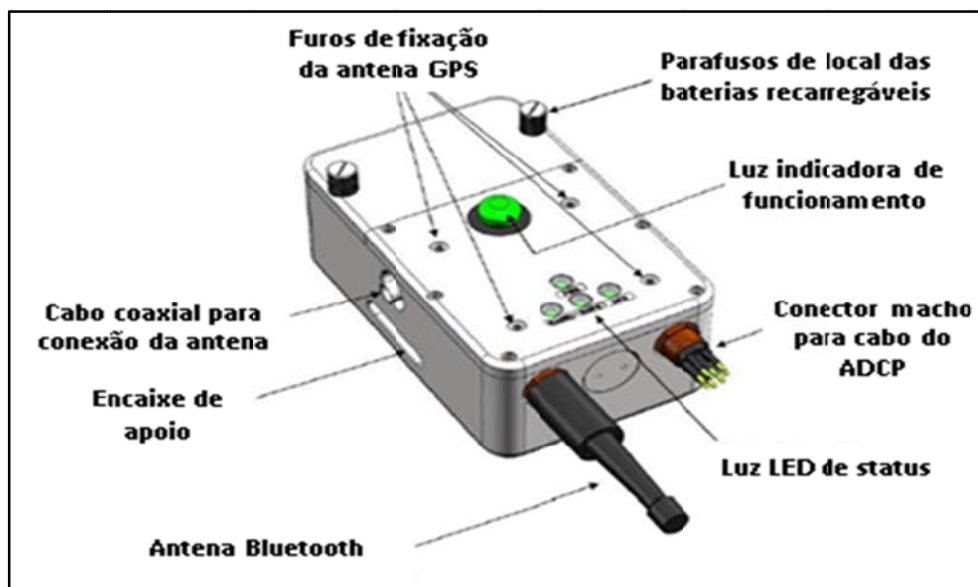


Figura 4. Módulo de alimentação e comunicação (PCM).

A **Figura 5** 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 realizadas nos meses novembro de 2012, agosto e novembro de 2013 foram efetuadas com a utilização do conjunto ADCP - sonda M9, módulo PCM, D-GPS (**Figura 6a**) e *notebook* (**Figura 6b**).



Figura 5. Hardware montado para a opção D-GPS com comunicações Bluetooth.



Visto por:		Elaborado por:			Rev.: 001 17/08/2015 Página 8
Thiago Millani Coordenador	Juhei Muramoto Gestor	Keila C. de Oliveira Engenheira Hídrica	Karen C. P. da Silva Engenheira Hídrica		



Figura 6. 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.

2.2. Amostragem de sedimento em suspensão e de leito

Para a coleta de sedimentos em suspensão é utilizado um amostrador do tipo saca (**Figura 7**). 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.

Visto por:		Elaborado por:			Rev.: 001 17/08/2015 Página 9
Thiago Millani Coordenador	Juhei Muramoto Gestor	Keila C. de Oliveira Engenheira Hídrica	Karen C. P. da Silva Engenheira Hídrica		

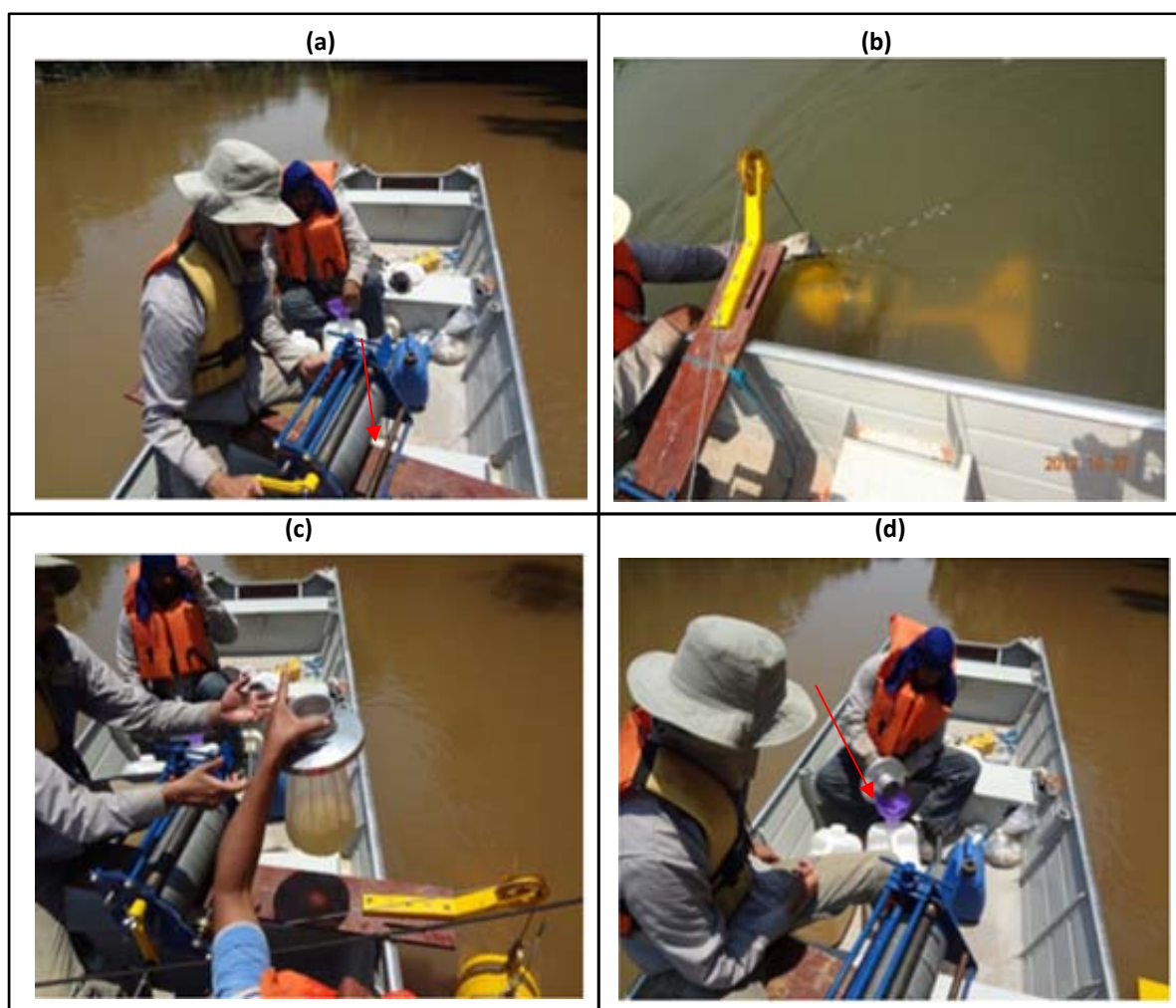



Figura 7. Amostragem da mistura água-sedimento utilizando um amostrador do tipo saca (MAS-8). (a) guincho fluviométrico; (b) amostrador de saca submerso; (c) coleta da amostra água-sedimento dentro da saca; e (d) armazenamento da mistura água-sedimento em galões de 20 litros.

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 8**).

Visto por:		Elaborado por:			Rev.: 001 17/08/2015 Página 10
Thiago Millani Coordenador	Juhei Muramoto Gestor	Keila C. de Oliveira Engenheira Hídrica	Karen C. P. da Silva Engenheira Hídrica		

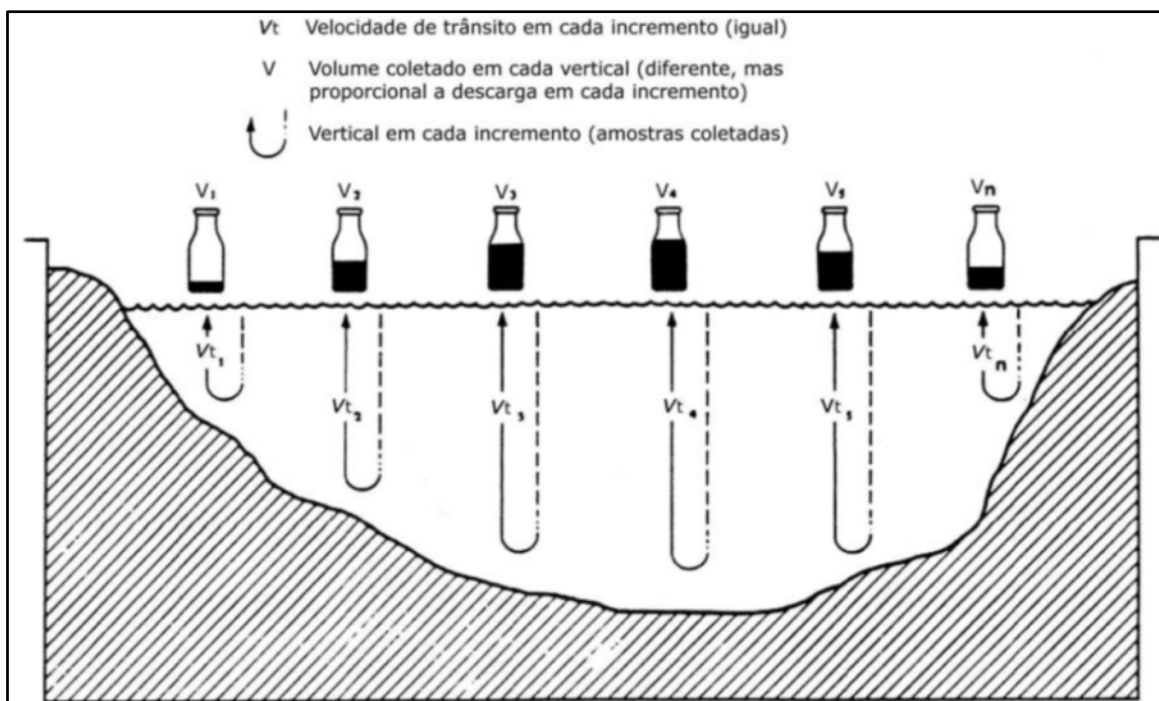



Figura 8. Exemplo de amostragem pelo método de Igual Incremento de Largura (Carvalho et al., 2000).

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 transito – v_t) do amostrador. Para o bico de $\frac{1}{4}$ " utilizado o tempo mínimo é definido pela **Equação 3**:

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

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.

Visto por:		Elaborado por:			Rev.: 001 17/08/2015 Página 11
Thiago Millani Coordenador	Juhei Muramoto Gestor	Keila C. de Oliveira Engenheira Hídrica	Karen C. P. da Silva Engenheira Hídrica		

Já na amostragem do material de leito é utilizada a Draga Petersen (**Figura 9**), 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.

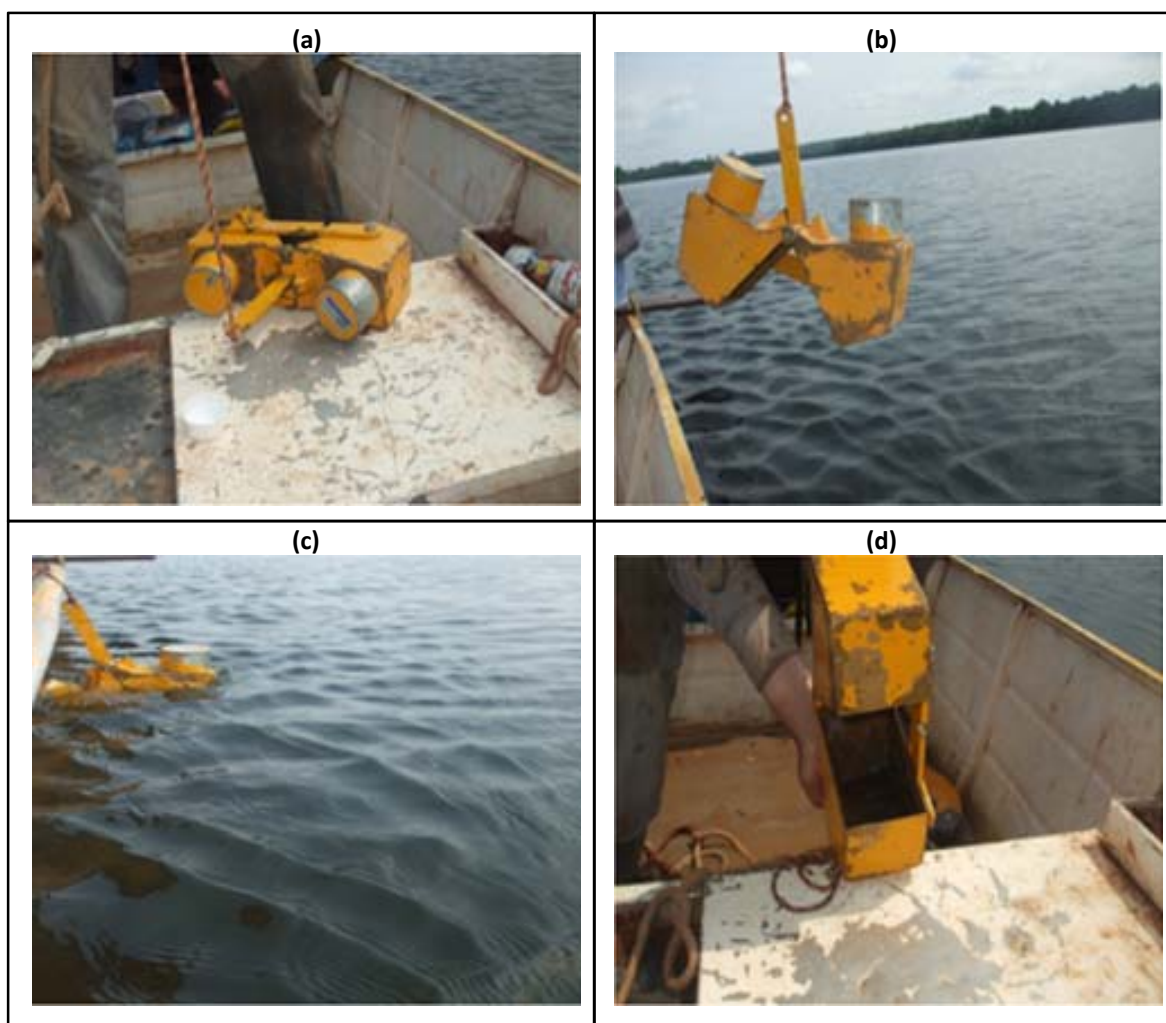



Figura 9. Amostragem do sedimento de leito utilizando a Draga de Petersen.

2.3. 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 à dificuldade

Visto por:		Elaborado por:			Rev.: 001 17/08/2015 Página 12
Thiago Millani Coordenador	Juhei Muramoto Gestor	Keila C. de Oliveira Engenheira Hídrica	Karen C. P. da Silva Engenheira Hídrica		

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, perdidas em análises fracionadas.

2.3.1. 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 são: 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.

2.3.2. 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.

Visto por:		Elaborado por:			Rev.: 001 17/08/2015 Página 13
Thiago Millani Coordenador	Juhei Muramoto Gestor	Keila C. de Oliveira Engenheira Hídrica	Karen C. P. da Silva Engenheira Hídrica		

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

2.3.3. 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 é 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.

2.4. Descarga sólida

2.4.1. 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 .

2.4.2. Cálculo da descarga sólida de arrasto pelo método de Yang (1973)

O material do leito se movimenta como carga de arrasto e como carga soltante, incorporando-se também ao material em suspensão, sendo considerado normalmente partículas maiores que argila e silte ($D > 0,0625$ mm). A descarga sólida de material do leito corresponde então a um valor que inclui a descarga de arrasto e uma parcela da descarga em suspensão, cuja composição é de material do leito. A descarga sólida de arrasto representa somente a menor parte da descarga sólida total.

Visto por:		Elaborado por:			Rev.: 001 17/08/2015 Página 14
Thiago Millani Coordenador	Juhei Muramoto Gestor	Keila C. de Oliveira Engenheira Hídrica	Karen C. P. da Silva Engenheira Hídrica		

Para o cálculo da descarga sólida de arrasto das estações hidrométricas da UHE Santo Antônio do Jari, utilizou-se do método desenvolvido por **Yang (1973)**, método indicado para rios com leito composto por areia.

2.4.3. 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**).

2.4.4. 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.

3. DESCRIÇÃO DAS ATIVIDADES

Neste relatório são descritas as atividades do Programa de Monitoramento Hidrossedimentológico realizadas na UHE São Manoel entre os meses de dezembro de 2014 a maio de 2015.

Destaca-se que foram realizadas duas campanhas de medições de descargas líquidas e sólidas, em fevereiro e maio de 2015 e a instalação dos equipamentos que compõe as estações telemétricas UHE São Manoel e Apiacás São Manoel.


Visto por:		Elaborado por:			Rev.: 001 17/08/2015 Página 15
Thiago Millani Coordenador	Juhei Muramoto Gestor	Keila C. de Oliveira Engenheira Hídrica	Karen C. P. da Silva Engenheira Hídrica		

No **Quadro 3** é identificada e caracterizada a rede hidrométrica da UHE São Manoel, implantada de acordo com o Projeto de Instalação aprovado pela ANA e na **Figura 10** é apresentado o mapa com as estações.

Quadro 3. Estações hidrométricas propostas para a UHE São Manoel. A estação UHE São Manoel Montante existe apenas para medições de descargas líquidas e sólidas, pois está localizada na mesma seção da estação telemétrica UHE Teles Pires, cujos dados de nível d'água e pluviometria serão compartilhados para o presente estudo. A Estação UHE São Manoel Barramento será instalada até 30 dias antes do enchimento do reservatório.

Nome	Latitude	Longitude	Rio	Município	Tipo	Situação
UHE SÃO MANOEL JUSANTE	09°10'12"	-57°03'32"	Teles Pires	Jacareacanga/PA	PFDST	Operação
APIACÁS SÃO MANOEL	09°11'32"	-57°04'07"	Apiacás	Jacareacanga/PA	PFDST	Operação
JABUTI	08°56'18"	-57°10'44"	Teles Pires	Jacareacanga/PA	PFDT	Aguarda ASV
UHE SÃO MANOEL BARRAMENTO	09°11'25"	-57°03'08"	Teles Pires	Jacareacanga/PA	L	Não instalada
TP06	09°11' 15"	-57°02'34"	Teles Pires	Jacareacanga/PA	Q	Operação
UHE SÃO MANOEL MONTANTE	09°20' 36.7"	-56° 46' 33.6"	Teles Pires	Jacareacanga/PA	PFDST	Operação

Legenda do Tipo de Estação: L – Limnimétrica; P – Pluviométrica; F – Fluviométrica (Nível); D – Medição de Descarga Líquida; S – Medição de Descarga Sólida; Q – Qualidade de Água, T – Estação com Transmissão Remota de Dados (Telemetria).

Visto por:		Elaborado por:			Rev.: 001 17/08/2015 Página 16
Thiago Millani Coordenador	Juhei Muramoto Gestor	Keila C. de Oliveira Engenheira Hídrica	Karen C. P. da Silva Engenheira Hídrica		

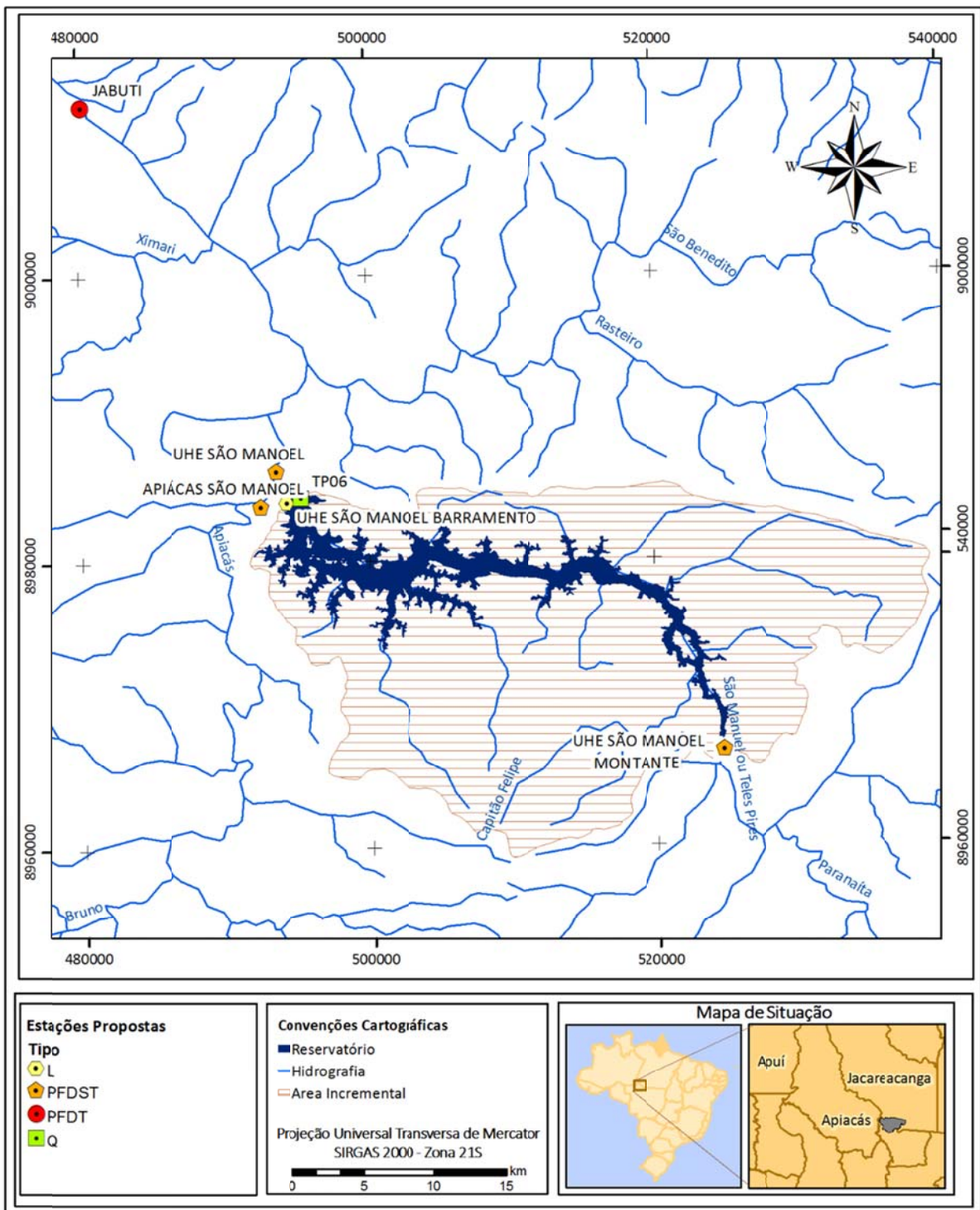



Figura 10. Representação da localização das estações propostas para a UHE São Manoel em atendimento à Resolução Conjunta ANA/ANEEL nº 03/2010. A estação UHE São Manoel Montante existe apenas para medições de descargas líquidas e sólidas, pois está localizada na mesma seção da estação telemétrica UHE Teles Pires, cujos dados de nível d'água e pluviometria serão compartilhados para o presente estudo.

Visto por:		Elaborado por:			Rev.: 001 17/08/2015 Página 17
Thiago Millani Coordenador	Juhei Muramoto Gestor	Keila C. de Oliveira Engenheira Hídrica	Karen C. P. da Silva Engenheira Hídrica		

4. RESULTADOS

4.1. Instalação das Estações Telemétricas

No dia 05 de maio de 2015 a equipe da **VERACRUZ** realizou a instalação das estações telemétricas UHE São Manoel Jusante e Apicás São Manoel (**Figuras 11 e 12**). A instalação da estação Jabuti ainda não foi realizada, pois depende da Autorização de Supressão da Vegetação (ASV) a qual já foi solicitada ao IBAMA. Por estar localizada na TI Kaiabi esta estação será instalada apenas após emissão da Autorização de Supressão da Vegetação pelo IBAMA. A FUNAI já autorizou a instalação em terras indígenas.

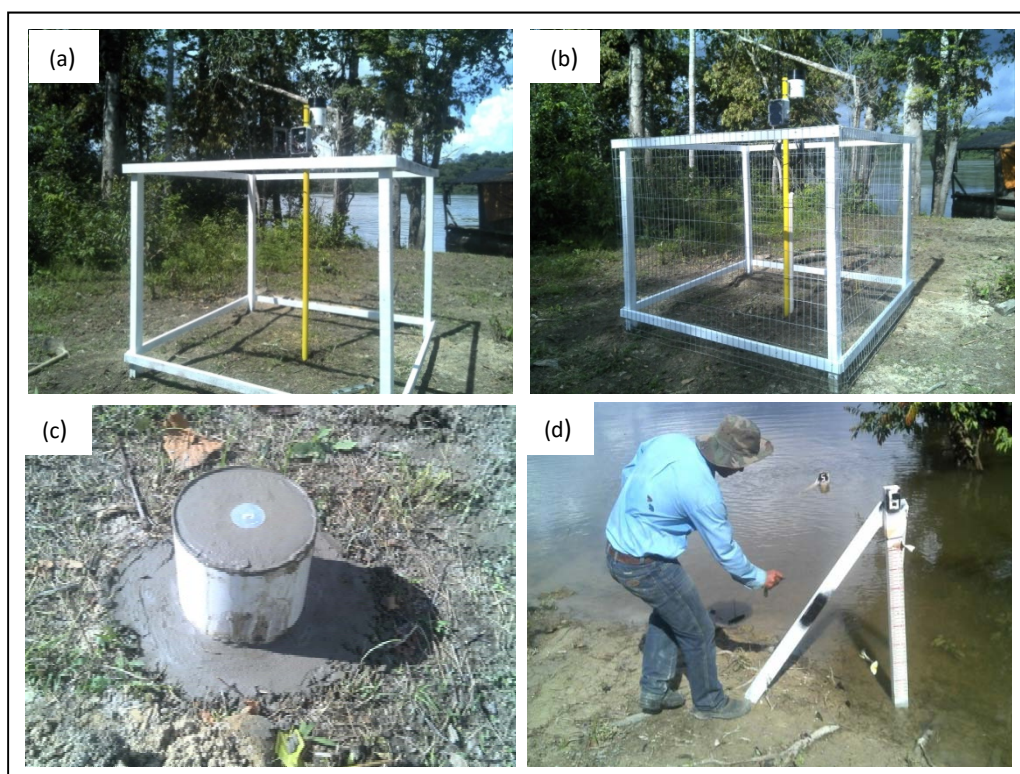



Figura 11. Instalação da estação UHE São Manoel Jusante, incluindo: (a) e (b) vista geral da estação com o cercado, (c) referência de nível (RN) e (d) lance de réguas.

Visto por:		Elaborado por:			Rev.: 001 17/08/2015 Página 18
Thiago Millani Coordenador	Juhei Muramoto Gestor	Keila C. de Oliveira Engenheira Hídrica	Karen C. P. da Silva Engenheira Hídrica		

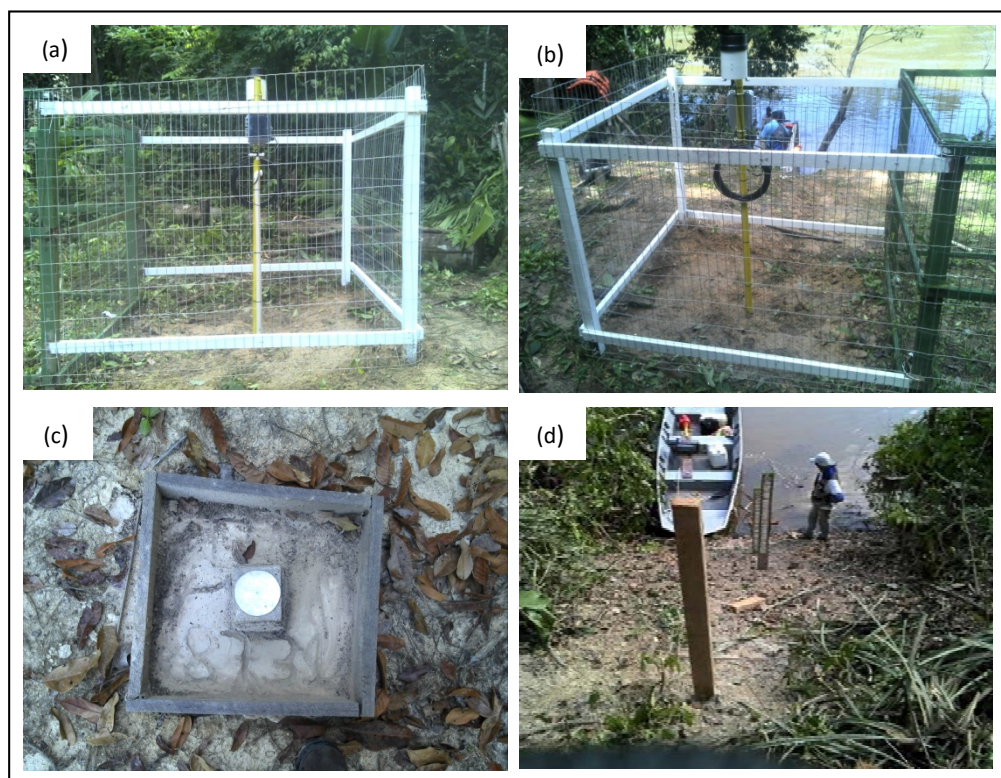


Figura 12. Instalação da estação Apicás São Manoel, incluindo: (a) e (b) vista geral da estação com o cercado, (c) referência de nível (RN) e (d) lance de réguas. O lance de réguas e RN's foram aproveitados da estação Apicás Teles Pires que se encontra em operação desde outubro de 2013.

4.2. Medições de vazão e descargas sólidas

Entre os meses de dezembro de 2014 e maio de 2015 foram realizadas duas campanhas trimestrais de medições de vazão e coleta de sedimentos, em fevereiro e maio de 2015 (**Figura 13**). Os detalhes das medições realizadas em fevereiro de 2015 e maio de 2015 e os resultados das análises de sedimentos são apresentados nos **ANEXOS 1 e 2**.



Visto por:		Elaborado por:			Rev.: 001 17/08/2015 Página 19
Thiago Millani Coordenador	Juhei Muramoto Gestor	Keila C. de Oliveira Engenheira Hídrica	Karen C. P. da Silva Engenheira Hídrica		



Figura 13. Campanhas de campo realizadas nas estações hidrométricas da UHE São Manoel. (a) estação telemétrica; (b) coleta de sedimento de suspensão com o amostrador de saca; (c) réguas e (d) medição de vazão com o ADCP.

Na **Tabela 3** são apresentados os principais resultados das medições de vazão realizadas durante a campanha de campo de fevereiro de 2015 onde foram realizadas as medições iniciais de vazão com o ADCP e coletas de sedimento nas estações UHE São Manoel Jusante, Apiacás São Manoel e UHE São Manoel Montante. Esta última está localizada na seção onde se encontra a estação UHE Teles Pires, de responsabilidade da Usina Hidrelétrica Teles Pires (coordenadas 21 L 524.510/8.968.533), cujos dados de fluviometria e pluviosidade serão compartilhados com a UHE São Manoel. Na estação Jabuti não foi possível realizar as medições

Visto por:		Elaborado por:			Rev.: 001 17/08/2015 Página 20
Thiago Millani Coordenador	Juhei Muramoto Gestor	Keila C. de Oliveira Engenheira Hídrica	Karen C. P. da Silva Engenheira Hídrica		

de vazão, visto que ainda não havia sido obtida a autorização de entrada à reserva Indígena Kayabi. As seções com perfis de velocidade da água obtidas com o ADCP para cada uma das estações são mostradas nas **Figuras 14 a 16**.

Tabela 3. Resumo das medições vazão, com destaque a vazão, largura da superfície do canal, velocidade média da água e área molhada.

Local	Data e horário do início da medição	Vazão (m ³ /s)	Largura (m)	Vel. Média (m/s)	Área (m ²)
UHE São Manoel Montante	27/02/2015 – 12:05h	4.631,939 ± 51,399	261,13 ± 2,28	1,302 ± 0,060	3.564,3 ± 167,6
Apiacás São Manoel	24/02/2015 – 13:46h	1.089,027 ± 17,124	103,47 ± 0,80	1,098 ± 0,015	991,9 ± 9,6
UHE São Manoel Jusante	25/02/2014 – 08:23h	6.367,369 ± 65,332	281,770 ± 0,777	0,955 ± 0,013	6.669,227 ± 23,809

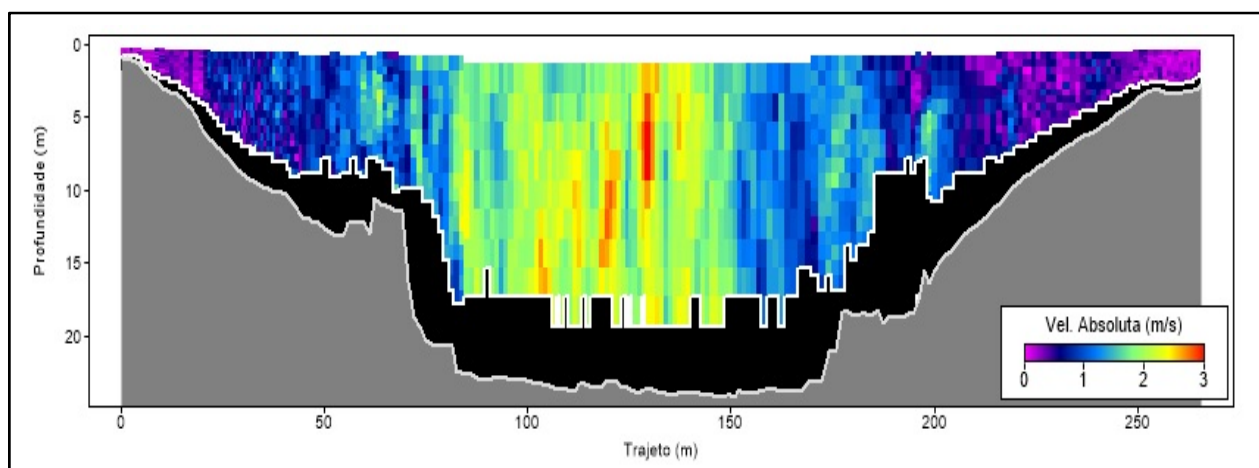
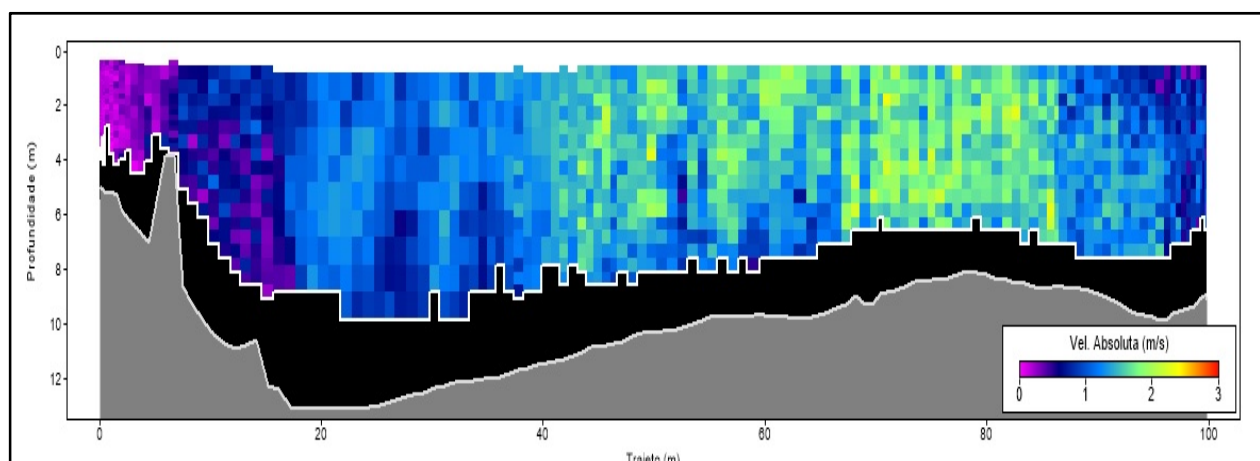


Figura 14. Resultado da medida de velocidade da água e vazão com o ADCP no rio Teles Pires na estação UHE São Manoel Montante em 27 de fevereiro de 2015. Cores quentes (tons de vermelho e amarelo) indicam velocidades maiores, enquanto que cores frias (tons de azul) indicam velocidades de corrente menores para a velocidade da água (veja legenda junto a figura). A parte preta indica um descarte da medição de velocidade da água próximo ao leito devido às incertezas referentes a alta reflexão do sinal *doppler* pela matéria orgânica, vegetação e transporte de sedimentos de arrasto; nesta região a velocidade da água é interpolada exponencialmente conferindo um melhor resultado. O limite branco junto a área cinza indica o leito do rio.




Visto por:		Elaborado por:			Rev.: 001 17/08/2015 Página 21
Thiago Millani Coordenador	Juhei Muramoto Gestor	Keila C. de Oliveira Engenheira Hídrica	Karen C. P. da Silva Engenheira Hídrica		

Figura 15. Resultado da medida de velocidade da água e vazão com o ADCP no rio Apiacás na estação Apiacás São Manoel em 24 de fevereiro de 2015. Veja detalhes sobre esta imagem na legenda da **Figura 14**.

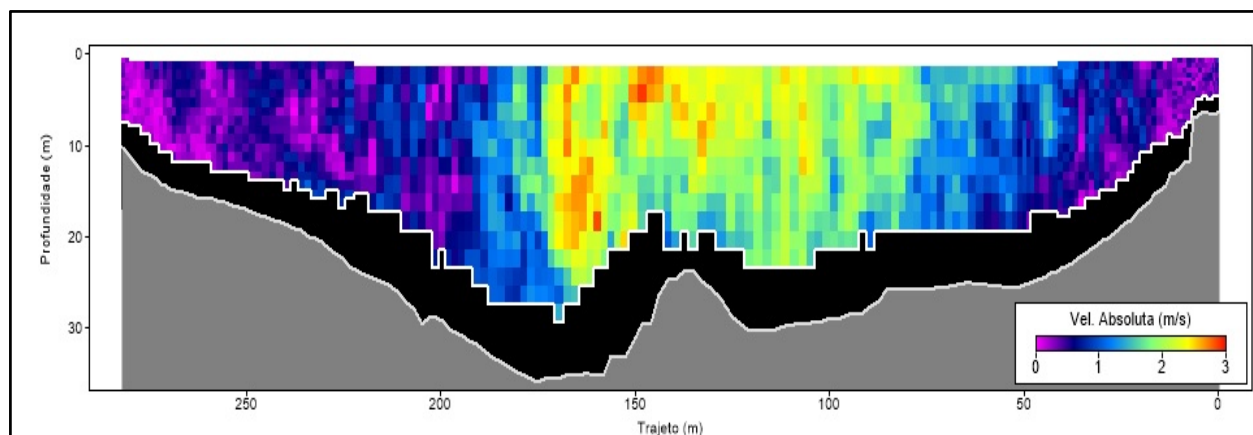


Figura 16. Resultado da medida de velocidade da água e vazão com o ADCP no rio da Teles Pires na estação UHE São Manoel Jusante em 25 de fevereiro de 2015. Veja detalhes sobre esta imagem na legenda da **Figura 14**.

Na **Tabela 4** são apresentados os principais resultados das medições de vazão realizadas durante a campanha de campo de maio de 2015. Nessa medição a entrada na Terra Indígena já estava autorizada pela FUNAI e as medições na estação Jabuti puderam ser realizadas normalmente. As seções com perfis de velocidade da água obtidas com o ADCP para cada uma das estações são mostradas nas **Figuras 17 a 20**.

Tabela 4. Resumo das medições vazão, com destaque a vazão, largura da superfície do canal, velocidade média da água e área molhada.

Local	Data e horário do início da medição	Vazão (m ³ /s)	Largura (m)	Vel. Média (m/s)	Área (m ²)
UHE São Manoel Montante	08/05/2015 – 11:35h	3.858,346 ± 127,490	251,294 ± 1,311	1,059 ± 0,055	3.647,941 ± 131,274
Apiacás São Manoel	06/05/2015 – 09:04h	990,954 ± 14,048	114,323 ± 0,829	1,363 ± 0,004	726,931 ± 12,311
UHE São Manoel Jusante	06/05/2015 – 14:20h	4.708,360 ± 101,726	314,694 ± 2,953	0,729 ± 0,018	6.457,588 ± 75,341
Jabuti	07/05/2015 – 09:31h	5.393,541 ± 29,297	976,001 ± 5,438	0,780 ± 0,006	6.911,361 ± 87,154

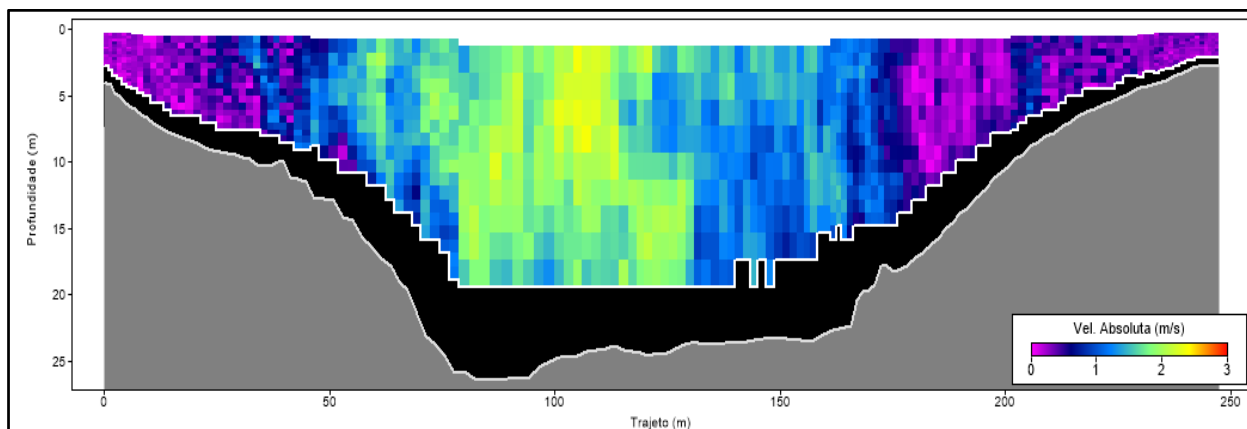


Figura 17. Resultado da medida de velocidade da água e vazão com o ADCP no rio Teles Pires na estação UHE São Manoel Montante em 08 de maio de 2015. Veja detalhes sobre esta imagem na legenda da **Figura 14**.

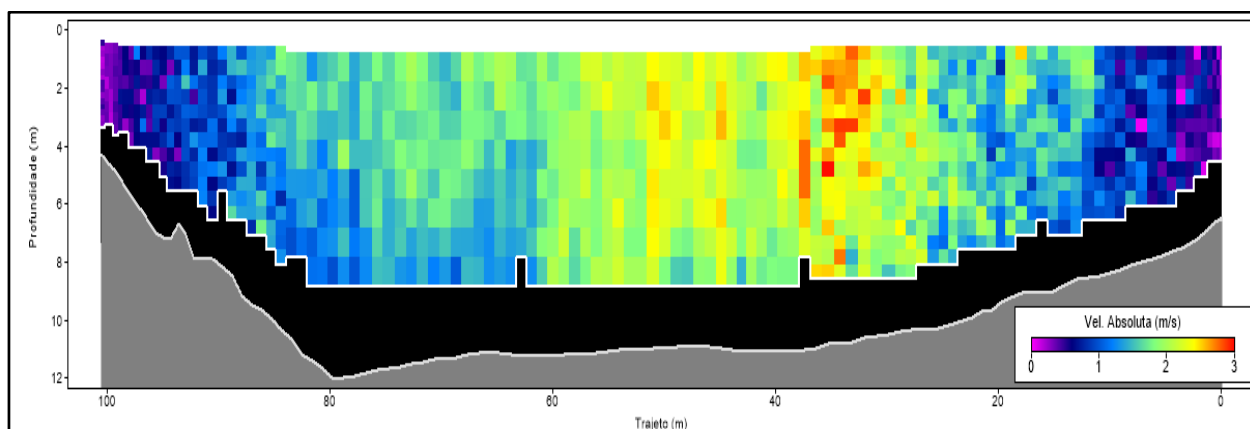


Figura 18. Resultado da medida de velocidade da água e vazão com o ADCP no rio Apicás na estação Apicás São Manoel em 06 de maio de 2015. Veja detalhes sobre esta imagem na legenda da **Figura 14**.

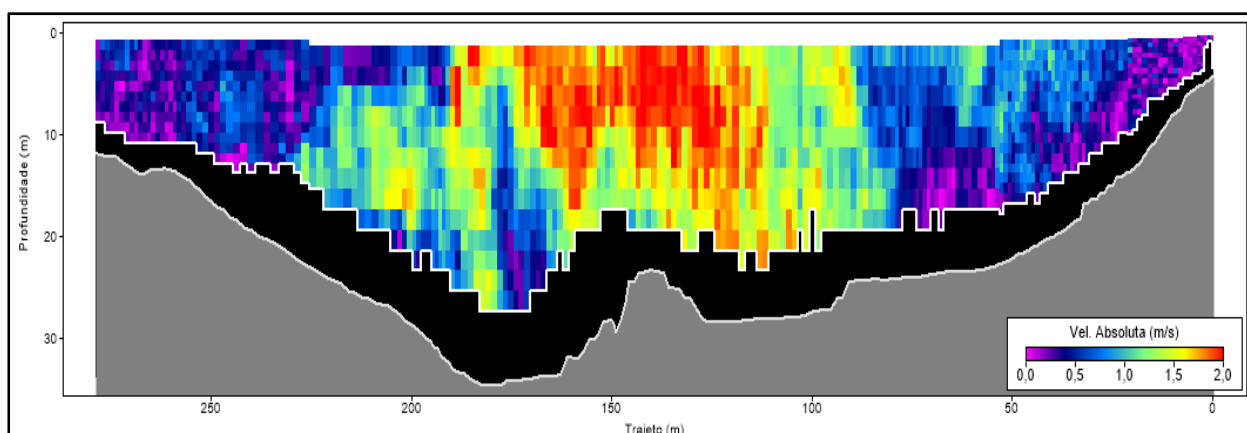



Figura 19. Resultado da medida de velocidade da água e vazão com o ADCP no rio da Teles Pires na estação UHE São Manoel Jusante em 06 de maio de 2015. Veja detalhes sobre esta imagem na legenda da **Figura 14**.

Visto por:		Elaborado por:			Rev.: 001 17/08/2015 Página 23
Thiago Millani Coordenador	Juhei Muramoto Gestor	Keila C. de Oliveira Engenheira Hídrica	Karen C. P. da Silva Engenheira Hídrica		

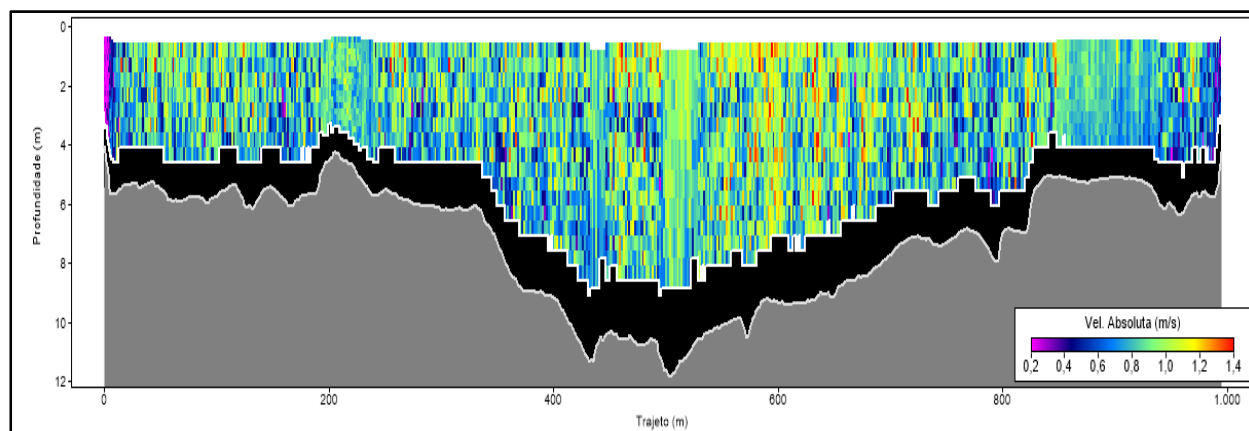



Figura 20. Resultado da medida de velocidade da água e vazão com o ADCP no rio da Teles Pires na estação Jabuti em 07 de maio de 2015. Veja detalhes sobre esta imagem na legenda da **Figura 14**.

Na **Tabela 5** é apresentada a concentração e granulometria dos materiais em suspensão e de leito referentes às amostras coletadas em fevereiro de 2015 e na **Tabela 6**, os resultados de descarga sólida referentes às amostras coletadas em maio de 2015.

Tabela 5. Distribuição granulométrica do material de leito e de suspensão da campanha realizada em fevereiro de 2015 nas estações hidrométricas da UHE São Manoel. Na última linha são mostradas as concentrações dos sedimentos em suspensão.

		UHE São Manoel Jusante	Apiacás São Manoel	UHE São Manoel Montante
LEITO	D10 (mm)	0,133	0,095	0,094
	D30 (mm)	0,175	0,144	0,152
	D35 (mm)	0,185	0,152	0,163
	D50 (mm)	0,216	0,176	0,195
	D60 (mm)	0,237	0,192	0,217
	D65 (mm)	0,248	0,200	0,227
	D75 (mm)	0,315	0,216	0,251
	D90 (mm)	0,427	0,240	0,401
	Cascalho (%)	0,00	0,00	0,00
	Areia Grossa (%)	0,00	0,00	0,13
	Areia Média (%)	33,78	3,73	24,26
	Areia Fina (%)	65,78	95,37	73,20
	Silte + Argila (%)	0,44	0,90	2,41
SUSPEN	Areia (%)	25,4	16,6	34,1
	Silte (%)	32,4	66,7	29,6
	Argila (%)	42,2	16,7	36,3

Visto por:		Elaborado por:			Rev.: 001 17/08/2015 Página 24
Thiago Millani Coordenador	Juhei Muramoto Gestor	Keila C. de Oliveira Engenheira Hídrica	Karen C. P. da Silva Engenheira Hídrica		

Concentração (ppm)	16,88	28,02	18,03
--------------------	-------	-------	-------

Tabela 6. Distribuição granulométrica do material de leito e de suspensão da campanha realizada em maio de 2015 nas estações hidrométricas da UHE São Manoel. Na última linha são mostradas as concentrações dos sedimentos em suspensão.

		UHE São Manoel Jusante	Apiacás São Manoel	UHE São Manoel Montante
LEITO	D10 (mm)	0,132	0,108	0,092
	D30 (mm)	0,179	0,156	0,152
	D35 (mm)	0,191	0,165	0,163
	D50 (mm)	0,227	0,193	0,196
	D60 (mm)	0,252	0,212	0,218
	D65 (mm)	0,282	0,221	0,229
	D75 (mm)	0,345	0,240	0,259
	D90 (mm)	0,439	0,373	0,437
	Cascalho (%)	0,00	0,00	2,00
	Areia Grossa (%)	0,00	0,01	0,14
	Areia Média (%)	40,16	19,58	22,54
	Areia Fina (%)	59,39	79,44	71,71
	Silte + Argila (%)	0,45	0,97	2,62
	SUSPENSÃO	Areia (%)	25,2	40,6
Silte (%)		45,0	44,6	84,6
Argila (%)		29,8	14,8	11,1
Concentração (ppm)		13,69	21,09	10,56

A **Tabela 7** apresenta um resumo com os valores das descargas líquidas e descargas sólidas das estações para a campanha de campo de fevereiro e maio de 2015.


Visto por:		Elaborado por:			Rev.: 001 17/08/2015 Página 25
Thiago Millani Coordenador	Juhei Muramoto Gestor	Keila C. de Oliveira Engenheira Hídrica	Karen C. P. da Silva Engenheira Hídrica		

Tabela 7. Resumo das descargas líquidas (Q) e descargas sólidas em suspensão (Qss) e totais (Qst) das campanhas realizadas em fevereiro e maio de 2015 na UHE São Manoel. As descargas sólidas totais apresentadas foram calculadas pelo método de **Colby (1957)** e as descargas de arrasto foram calculadas pelo método de **Yang (1973)**:

Mês	Medida	UHE São Manoel Jusante	Apiacás São Manoel	UHE São Manoel Montante
Jan/2015	Q (m ³ /s)	6.367,369 ± 65,332	1.089,027 ± 17,124	4.631,939 ± 51,399
	Qsa (t/dia)	24	2	16
	Qss (t/dia)	9.286	2.636	7.215
	Qst (t/dia)	17.037	4.936	15.256
Mai/2015	Q (m ³ /s)	4.708,360 ± 101,726	990,954 ± 14,048	3.858,346 ± 127,490
	Qsa (t/dia)	9	1	11
	Qss (t/dia)	5.569	1.806	3.520
	Qst (t/dia)	19.028	4.821	7.514


Juntamente com as campanhas trimestrais está ocorrendo a coleta e análise dos parâmetros de qualidade de água previstos na resolução ANA/ANEEL n° 03, cujos resultados são apresentados junto ao relatório de monitoramento limnológico referente ao ponto TP06.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste relatório foram descritas as principais atividades realizadas na UHE São Manoel entre os meses de dezembro de 2014 a maio de 2015, que consistiram: (i) no início da instalação das estações telemétricas da UHE São Manoel; (ii) realização de duas campanhas de medições de vazão e coletas de sedimentos em suspensão e de leito; (iii) determinação das granulometrias dos materiais de leito e suspensão; (iv) determinação das concentrações dos sedimentos em suspensão; (v) cálculo das descargas sólidas em suspensão e totais.


As próximas atividades consistirão no monitoramento contínuo e telemétrico dos níveis pluviométricos e fluviométricos dos rios Apiacás e Teles Pires e na realização de campanhas trimestrais de medições de descargas líquidas e sólidas, manutenções preventivas das estações e análises laboratoriais.

O “Programa de Monitoramento Hidrossedimentológico da UHE São Manoel” visa atender a Resolução Conjunta ANEEL/ANA N°. 03 de 10 de Agosto de 2010 e as condicionantes propostas na Licença Prévia (LP N°437/2013, IBAMA), emitidas pelo IBAMA.

Visto por:		Elaborado por:			Rev.: 001 17/08/2015 Página 26
Thiago Millani Coordenador	Juhei Muramoto Gestor	Keila C. de Oliveira Engenheira Hídrica	Karen C. P. da Silva Engenheira Hídrica		

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.
- 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.
- 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.
- 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.

Visto por:		Elaborado por:			Rev.: 001 17/08/2015 Página 27
Thiago Millani Coordenador	Juhei Muramoto Gestor	Keila C. de Oliveira Engenheira Hídrica	Karen C. P. da Silva Engenheira Hídrica		