

# USINA HIDRELÉTRICA JIRAU

## Relatório Semestral Programa de Monitoramento Hidrossedimentológico

EMPRESA: **CNEC ENGENHARIA S.A.**

PERÍODO DAS ATIVIDADES: **03/06/2009 a 30/11/2009**

RESPONSÁVEL DA CONTRATADA: **RONI CLEBER BONI**

RESPONSÁVEL DA ESBR: **JAIRO GUERRERO**

## Sumário

1	Objetivo .....	3
2	Introdução .....	3
3	Proposições de Trabalho .....	3
4	Aspectos Metodológicos .....	6
4.1	Modelagem Matemática .....	6
4.2	Modelagem Física .....	7
4.3	Monitoramento de Encostas e Taludes Marginais .....	8
4.4	Levantamento de Seções Transversais e Serviços de Hidrometria e Sedimentometria .....	9
5	Atividades Desenvolvidas .....	11
5.1	Modelagem Matemática .....	11
5.2	Levantamento de Seções Batimétricas ao Longo do rio Madeira .....	23
5.3	Medições de Vazões Líquidas e Sólidas no rio Madeira .....	24
5.4	Vistorias de Campo .....	26
5.5	Atividades de Escritório com Análise Inicial dos Dados Existentes Coletados nas Campanhas de Campo .....	26
5.6	Desenvolvimento do Banco de Dados Hidrossedimentométrico .....	31
5.7	Leituras de Nível d'Água nas Estações Linimétricas .....	34
6	Visita de Campo .....	43
7	Relatório Fotográfico .....	44
8	Equipe Técnica de Trabalho .....	47
9	Anexo .....	48

## 1 Objetivo

O presente relatório semestral tem por objetivo descrever o andamento das atividades desenvolvidas no âmbito do Programa de Monitoramento Hidrossedimentológico (item 4.6 do Projeto Básico Ambiental) do AHE Jirau, no período de junho a novembro de 2009.

Neste Programa, a empresa CNEC Engenharia S.A. atua como gerenciadora das diversas partes envolvidas no mesmo, representadas pela Fundação Centro Tecnológico de Hidráulica (FCTH/USP), COPPE/UFRJ, Instituto Sogreah e demais empresas contratadas pela Energia Sustentável do Brasil S.A. (ESBR), responsáveis pelos levantamentos sedimentométricos, conforme descrito ao longo deste relatório.

## 2 Introdução

O Programa de Monitoramento Hidrossedimentológico foi proposto no Estudo de Impacto Ambiental (EIA) dos Aproveitamentos Hidrelétricos Santo Antônio e Jirau, tendo sido referendado pela Licença Prévia (LP) nº 251/2007, concedida pelo IBAMA em 09/07/2007.

Posteriormente, o programa foi apresentado no item 4.6 do Projeto Básico Ambiental (PBA) do AHE Jirau, contemplando o atendimento às condicionantes 2.1, 2.3 e 2.32 da LP nº 251/2007 e às demais exigências feitas pelo órgão ambiental ao longo do processo de licenciamento ambiental do empreendimento, incluindo as conclusões dos Estudos Complementares realizados e apresentados pela ESBR, em resposta aos questionamentos feitos pelo IBAMA através do Ofício nº 837/2008 - DILIC/IBAMA, cujo objetivo era subsidiar a avaliação ambiental da modificação do eixo do AHE Jirau.

Em 03/06/2009, com a publicação da Licença de Instalação (LI) nº 621/2009 pelo IBAMA e, posteriormente, do Ofício nº 577/2009 – DILIC/IBAMA, datado de 04/06/2009, foram apresentadas novas condicionantes ambientais e exigências complementares à Licença de Instalação para diversos programas ambientais relacionados ao aproveitamento em questão.

## 3 Proposições de Trabalho

O Programa de Monitoramento Hidrossedimentológico contempla no seu âmbito atividades que incluem modelagens numérica e física, estudos de monitoramento hidrossedimentológico, análises integradas, prognósticos de assoreamento, análise da vida útil do reservatório, campanhas de campo, entre outras.

Em função da interdependência das inúmeras atividades envolvidas neste Programa é necessário garantir a sincronia e a integração de dados e resultados, promovendo a interface e a gestão de todas as atividades previstas.

Neste contexto, a ESBR selecionou em meados de junho de 2009 a empresa CNEC Engenharia para dar apoio técnico no gerenciamento das empresas contratadas para executar as atividades relacionadas ao Programa em questão.

De início, como atendimento à condicionante 2.12 da LI nº 621/2009 foi formalizado ao IBAMA, através da correspondência AJ/TS 712-2009, protocolada em 03/07/2009, o escopo detalhado do trabalho de cada uma das partes (ESBR, CNEC, FCTH/USP e Instituto Sogreah) relacionadas às atividades do modelo reduzido tridimensional do AHE Jirau.

As considerações formalizadas a respeito do escopo de cada uma das partes designavam inicialmente às instituições envolvidas as seguintes atribuições:

- Instituto Sogreah: prestação de assessoria técnica à FCTH/USP para o desenvolvimento do modelo físico tridimensional. No escopo desta parceria constava a realização de um curso avançado sobre sedimentos e modelo reduzido com duração de uma semana, o qual já foi ministrado e contou com a participação de diversas instituições como ANEEL, IBAMA, COPPE/UFRJ, entre outras. Como parte desta consultoria, incluía também o assessoramento na construção do modelo físico de fundo móvel e na definição do tipo de material representativo do sedimento a ser utilizado, além de assistência técnica nos trabalhos de calibração e realização dos ensaios sedimentométricos.
- FCTH/USP: tinha como atribuição a construção do modelo reduzido tridimensional, com a finalidade de verificar os aspectos gerais de funcionamento hidráulico das estruturas, e o desenvolvimento de modelagem física em fundo móvel, através da construção de um modelo físico tridimensional específico para simular os processos sedimentológicos. Nos entendimentos mantidos entre ESBR, FCTH/USP e Instituto Sogreah previu-se a construção de um modelo físico na escala 1:100 V e 1:1.000 H. O trecho a ser representado neste modelo corresponde a uma extensão de 30 km do rio Madeira, sendo 20 km a montante do barramento e 10 km a jusante. Este modelo estaria sendo desenvolvido em paralelo ao modelo hidráulico, em atual fase de implantação, na escala 1:100.

Neste modelo físico específico seriam realizados os ensaios discriminados na condicionante 2.12 da LI nº 621/2009, sob a assessoria técnica do Instituto, no acompanhamento da construção do mesmo, na calibragem do modelo, na representação do fundo móvel, tendo como referência as informações obtidas durante os levantamentos de campo previstos no Programa de Monitoramento Hidrossedimentológico.

Nesse escopo incluíam também o acompanhamento pelo Instituto Sogreah dos ensaios necessários à definição das regras operativas, visando otimizar a passagem de sedimentos pelas estruturas principais (turbinas e vertedouros) e a deriva de ovos, larvas e juvenis. Esta modelagem física contemplaria também simulações com troncos e fragmentos flutuantes e submersos, considerando uma vazão de cheia como a máxima observada em Porto Velho, tendo como premissa à não interferência na retenção de sedimentos.

No que diz respeito à responsabilidade de cada instituição envolvida, decorreram algumas alterações no escopo original, conforme apresentadas a seguir e informadas ao IBAMA através da correspondência AJ/TS 1391-2009, protocolada em 09/11/2009.

- No tocante ao Instituto Sogreah, este ficou responsável pela construção do modelo físico nas dependências do seu laboratório de hidráulica na França, na definição do tipo de material representativo do sedimento a ser utilizado como indicativo do leito e margens, nas fases de calibração e validação e na realização de todos os ensaios necessários.



Entre os dias 15 a 19 de setembro de 2009, representantes da ESBR visitaram o Instituto Sogreah para fechar os detalhes sobre a construção do modelo reduzido, que terá como objetivo analisar o transporte de sedimentos, materiais flutuante e submersos e a deriva de ovos, larvas e juvenis. Na ocasião, foi firmado o contrato para a construção do mesmo no laboratório do Instituto.

Conforme mencionado anteriormente, o modelo será construído na escala 1:100 na vertical e 1:1000 na horizontal e terá dimensões de 40 m x 5 m. O mesmo representará um trecho de 30 km do rio Madeira, sendo 20 km a montante do barramento e 10 km a jusante.

As atividades construtivas foram iniciadas em outubro de 2009, com conclusão prevista para o primeiro trimestre de 2010, quando serão iniciados os ensaios e testes. O modelo simulará tanto as condições naturais do rio Madeira como as condições após a implantação do empreendimento.

Para a análise da deriva de ovos, larvas e juvenis, a ESBR enviará ao Instituto informações sobre a densidade/tamanho/diâmetro dos ovos e larvas. A ESBR está em entendimentos com empresa especializada para determinar, através de metodologia específica, a densidade de ovos e larvas (peso específico) de espécies nativas do rio Madeira.

Para a avaliação do transporte de troncos e detritos flutuantes e submersos, serão enviados ao Instituto os resultados do Programa de Gestão de Troncos e Detritos Flutuantes e Submersos, o qual inclui a contagem de troncos em 02 (duas) seções do rio Madeira e campanhas de caracterização do material (diâmetro, densidade, comprimento, dentre outros), para que seja possível estimar a quantidade de material transportada de forma submersa.

Nesta visita foi apresentado o atual projeto do AHE Jirau e discutidas as possibilidades de otimização de forma a melhorar a passagem de sedimentos e a deriva de ovos, larvas e juvenis, principalmente na casa de força localizada na margem esquerda do rio.

- A FCTH, por sua vez, ficará responsável pelos ensaios hidráulicos em modelo reduzido, já implantado nas dependências do laboratório de hidráulica, na escala 1:100, assim como no refinamento do projeto executivo, de forma a otimizar a vazão de sedimentos pelas turbinas e vertedouros e a deriva de ovos e larvas. Eventuais alterações no projeto executivo, realizadas em virtude de resultados observados de ensaios realizados no modelo físico da FCTH, serão representadas no modelo hidráulico em escala menor, a ser construído e ensaiado pelo Instituto Sogreah e vice-versa, de modo a se ter representatividade dos fenômenos estudados em ambos os modelos hidráulicos.

Com relação à condicionante 2.11 da LI nº 621/2009, fora encaminhada ao IBAMA, em 03/07/2009, a correspondência AJ/TS 722-2009, apresentando a integralidade do escopo que envolve os trabalhos de modelagem matemática bidimensional, contemplando as diretrizes dispostas no Parecer Técnico nº 039/2009 - COHID/CGENE/DILIC/IBAMA.

Com relação ao escopo da modelagem numérica, o mesmo continua válido na sua íntegra, não tendo sofrido qualquer alteração, encontrando-se atualmente em desenvolvimento pela equipe da COPPE/UFRJ, com a utilização do modelo matemático bidimensional denominado SisBaHiA, conforme será melhor detalhado ao longo deste relatório.

Por fim, em atendimento à condicionante 2.53 da referida LI, que dispõe das exigências exaradas no Ofício nº 577/2009 – DILIC/IBAMA, para a implantação conjunta do Programa de Monitoramento Hidrossedimentológico dos AHE Santo Antônio e Jirau, foi apresentado ao órgão ambiental em 03/07/2009, através da correspondência AJ/TS 724-2009, documento onde são explicitadas as responsabilidades acordadas por cada uma das partes envolvidas, ou seja, Santo Antônio Energia S.A. e ESBR, com indicação das ações a serem implementadas por cada empreendedor no cumprimento das etapas estabelecidas no Programa de Monitoramento Hidrossedimentológico.

Vale ressaltar que os levantamentos de campo a cargo da ESBR terão início em janeiro de 2010, os quais contemplarão, dentre outras atividades, campanhas de medição de vazão líquida e de descarga sólida (sedimento em suspensão e fundo) junto à rede fluviométrica básica composta de 07 (sete) estações, sendo destas 04 (quatro) com telemetria. Para tanto já fora selecionada a empresa INTERNAVE Engenharia Ltda., a qual executará os trabalhos ao longo de 36 meses consecutivos.

## 4 Aspectos Metodológicos

Apresenta-se neste item, resumo dos aspectos metodológicos aplicados na modelagem matemática, na modelagem física e nos trabalhos de campo programados, no âmbito das atividades previstas no Programa de Monitoramento Hidrossedimentológico.

### 4.1. Modelagem Matemática

A modelagem numérica está sendo desenvolvida pela COPPE/UFRJ, por uma equipe técnica coordenada pelo Prof. Dr. Paulo César Colonna Rosman, separadamente, para os trechos de montante e jusante do barramento. O modelo de jusante será alimentado pelo modelo de montante da barragem, de acordo com as condições e os diferentes cenários de operação do empreendimento. Para a modelagem, estão sendo considerados 02 (dois) domínios de interesse:

- A área do reservatório do AHE Jirau, partindo do alinhamento do barramento na Ilha do Padre e estendendo-se para montante até próximo da fronteira do Brasil com a Bolívia;
- A área a jusante da barragem, estendendo-se em um trecho de cerca de 20 km do rio Madeira, partindo do alinhamento da barragem até proximidades da estação linimétrica de Jaci-Paraná (coordenadas 9°15'33" latitude S e 64°23'9" longitude W).

Na modelagem matemática, as avaliações do fundo móvel e a evolução morfodinâmica do futuro reservatório são realizadas pelos estudos hidrodinâmico e sedimentológico. Com o modelo numérico serão analisados diferentes cenários hidrológicos, o que permite a realização de prognóstico do comportamento sedimentológico do futuro reservatório e das alterações morfológicas do rio Madeira, no trecho de interesse do projeto.

A quantificação dos sedimentos transportados no rio Madeira é realizada a partir das medições hidrométricas (vazão líquida e descarga sólida) existentes em estudos anteriores, como o EIA e o Estudo de Viabilidade (EVTE), e das novas medições, obtidas de campanhas de campo já iniciadas. Dos resultados obtidos, são estimadas as quantidades de sedimentos que ingressam no sistema e com a simulação hidrodinâmica dentro do futuro reservatório são identificados os

locais de deposição do material. A quantidade de sedimentos depositados é definida pelo modelo morfodinâmico, após cálculo da vazão sólida para cada ponto de domínio, através de um balanço de massa de sedimentos.

De modo a considerar diferentes as áreas alagadas em épocas de cheia e estiagem, devido à regra operacional do reservatório do AHE Jirau (entre as cotas 82,5 m e 90,0 m), três estratégias de modelagem estão em avaliação, em ordem preferencial:

- i. uso de apenas uma malha para cada domínio até os limites de margens em nível altos (90,0 m), com processo de alagamento e secamento dinâmico via método de porosidade e permeabilidade. Esta estratégia será preferencialmente adotada caso se mostre suficientemente rápida e estável nos testes em andamento para a amplitude de condições operacionais a serem definidas;
- ii. uso de apenas uma malha para cada domínio até os limites de margens em níveis baixos (82,5 m), considerando efeitos de alagamento marginal em condições de cheia através de técnicas de contornos laterais com alagamento e secamento virtual dinâmico;
- iii. uso de até três malhas distintas para cada domínio, uma retratando níveis baixos (82,5 m), outra níveis usuais e a terceira níveis de cheia (90,0 m).

A modelagem digital do terreno realizada através do SisBaHiA emprega as estratégias de discretização espacial otimizadas para corpos d'água naturais, pois permitem detalhamentos de contornos recortados e batimetrias complexas.

Quanto à modelagem hidrodinâmica e sedimentológica, estão sendo considerados dois modos de modelagem:

- Modelagem com fundo fixo para estudos de qualidade de água, deriva de ovos, larvas e juvenis e transporte de sedimentos e detritos flutuantes e submersos. Como os tempos de residência nos trechos modelados são em média inferiores a 30 dias, não há razão para se adotar modelo com fundo móvel para estes estudos;
- Modelagem com fundo móvel para estudos de transporte de sedimentos com evolução morfodinâmica da topohidrografia.

Uma descrição detalhada da modelagem numérica encontra-se no documento encaminhado ao IBAMA no dia 03/07/2009, através da correspondência AJ/TS 722-2009, em atendimento à condicionante 2.11 da LI nº 621/2009.

#### **4.2. Modelagem Física**

Conforme mencionado anteriormente, a construção do modelo físico tridimensional específico para simular os processos sedimentológicos e os impactos da operação da futura usina assim como para avaliar o comportamento de ovos, larvas e juvenis e o transporte de troncos e detritos flutuantes e submersos está a cargo do laboratório de hidráulica do Instituto Sogreah, na França.

Para tanto, está sendo construído um modelo em escala vertical 1:100 e escala horizontal 1:1.000. A escala distorcida permite a reprodução de um longo trecho do rio. O segmento

estudado neste modelo físico específico corresponde a uma extensão de 30 km do rio Madeira, sendo 20 km a montante do barramento e 10 km a jusante.

Para escoamentos livres, como é o caso deste projeto, o adimensional mais importante é o número de Froude, pois as forças que governam o escoamento são as forças gravitacionais e as de inércia. Adotando-se que o número de Froude seja o adimensional que rege o fenômeno hidráulico, tem-se a semelhança de Froude.

De acordo com a escala sugerida e considerando-se o efeito de semelhança de Froude, tem-se como representatividade no modelo hidráulico uma máxima descarga da ordem de 80 l/s, que equivale à vazão em protótipo da ordem de 80.000 m<sup>3</sup>/s.

### **4.3. Monitoramento de Encostas e Taludes Marginais**

A instabilização de encostas marginais está, em grande parte, intimamente ligada a fenômenos erosivos. A formação do reservatório do AHE Jirau e as variações do nível d'água durante a operação do aproveitamento hidrelétrico poderão reativar e/ou induzir processos erosivos nas encostas. Este fenômeno poderá ser ampliado pela operação do reservatório e também pela elevação do nível freático, o qual pode provocar o aparecimento de surgências d'água que, por sua vez, contribuem para a aceleração do processo erosivo.

Em função da possibilidade de ocorrência desse fenômeno e em atendimento à condicionante 2.15 da LI nº 621/2009, a ESBR selecionou a empresa GEOANALISES Sondagens e Monitoramentos para elaborar e implantar o Programa de Monitoramento de Pontos Propensos a Instabilização de Encostas e Taludes Marginais, como apoio ao Programa de Monitoramento Hidrossedimentológico.

Com aumento do processo erosivo, a erosão pode se propagar para montante a partir das bordas do futuro reservatório podendo originar ravinamentos e voçorocamento. O embate de ondas provocadas pelos ventos é responsável pela ação erosiva, sobretudo, no domínio dos terraços aluvionares e das coberturas coluviais arenosas fofas.

A submersão parcial das encostas, a elevação do nível freático e suas oscilações e o embate de ondas favorecem o processo de instabilização de encostas ou a reativação de outros já atuantes, podendo resultar a ocorrência de deslizamentos devido à redução da resistência dos componentes das unidades geológico-geotécnicas mais susceptíveis a escorregamentos.

Em função destes fenômenos, um estudo sistemático das encostas e margens do futuro reservatório está sendo elaborado, buscando soluções para mitigação destes possíveis impactos, com adoção de ações preventivas e corretivas, buscando a caracterização dos locais mais suscetíveis a instabilizações e erosões, orientando e efetivando o seu monitoramento e a aplicação de medidas de controle, caso necessário, em caráter sistemático e permanente.

A fim de estabelecer um plano de trabalho, que permita a caracterização esperada, foram definidas etapas de trabalho que abrangem a identificação de áreas críticas, o seu monitoramento, a estabilização e o controle da erosão, a contratação de investigação de campo e instrumentação, a fotointerpretação, o mapeamento geológico geotécnico, além do



acompanhamento e da realização de análises de estabilidade de taludes na área de influência do empreendimento.

Complementarmente, serão estudadas medidas de proteção contra erosão superficial laminar, erosão profunda e embate de ondas nas margens do futuro reservatório, além de ser procedido o acompanhamento das condições de estabilidade e erosão das margens em resposta ao enchimento do mesmo.

#### **4.4. Levantamento de Seções Transversais e Serviços de Hidrometria e Sedimentometria**

O levantamento das seções batimétricas ao longo do rio Madeira, a montante e a jusante do AHE Jirau, e a implantação de marcos geodésicos foram realizados pela empresa PETCON Planejamento em Transporte e Consultoria Ltda., selecionada pela ESBR para executar tais serviços.

A metodologia e os critérios aplicados pela PETCON consistem inicialmente, como base de partida para os levantamentos planialtimétricos, a reocupação do marco oficial do IBGE SAT 91245 / RN 768 B, localizado a 35 metros do eixo da BR-364, cerca de 25 km de Jaci-Paraná.

O marco escolhido como referência para o trabalho fica em local preservado e sem obstruções à recepção dos sinais dos satélites GNSS. As coordenadas deste marco foram fixadas para a determinação das coordenadas planialtimétricas dos marcos implantados ao longo do rio Madeira.

Para referenciamento dos marcos, foi utilizado o levantamento estático, em que 02 (dois) receptores de dupla frequência, simultaneamente, rastreiam satélites visíveis por um período que varia conforme a distância da base de referência e a precisão requerida para o levantamento.

Os marcos implantados foram levantados com bastões de alumínio de altura equivalente a 2 (dois) metros, evitando erros de anotação das alturas das antenas dos equipamentos, comum em levantamentos com grande quantidade de rastreios. Os marcos foram rastreados da seguinte forma: um equipamento sempre ficou coletando dados nos marcos oficiais do IBGE: SAT 61245 / RN 768 B e SAT 91283 / RN 772 E.

Dado que nas seções próximas ao distrito de Mutum-Paraná não foi encontrado nenhum marco oficial do IBGE, foi utilizado como base de apoio o marco PA4 implantado pela TOPOCART Topografia Engenharia e Aerolevantamentos, selecionada pela ESBR para realizar o levantamento aerofotogramétrico da área de influência do AHE Jirau.

Este marco foi instalado no terreno da Companhia da Polícia Militar local em setembro de 2008, e apresenta as coordenadas 09°37'16,98419" latitude S e 64°56'23,48250" longitude W.

Os marcos SAT 91282 e PA4 utilizados como base de apoio foram referenciados ao marco SAT 91245, por meio de rastreamento simultâneo entre eles durante mais de 04 (quatro) horas. Nas seções mais distantes dos marcos base foi utilizada 01 (um) dos 03 (três) equipamentos receptores, que ficou posicionado em um marco implantado entre o marco base e marco mais distante, diminuindo assim o tempo e a possibilidade de falha no rastreamento, e ainda aumentando a precisão dos dados obtidos.



Por fim, o levantamento das seções batimétricas fora realizada com uso de ecobatímetro e do DGPS interligados, no auxílio ao posicionamento da embarcação. Para obtenção das profundidades um transdutor de alta frequência foi instalado na lateral da embarcação e submerso em relação à superfície da água.

No tocante as medições de vazões líquidas e descargas sólidas, no rio Madeira, os trabalhos de campo foram iniciados em maio de 2009 pela empresa INTERNAVE Engenharia Ltda, contratada da ESBR para executar estas atividades inicialmente em três seções de medição (Abunã, Palmeiral e Porto).

Cada seção de medição foi materializada no campo por 02 (dois) marcos de concreto intitulados PI (ponto de início) na margem direita do rio e PF (ponto de fim) na margem oposta.

As seções transversais foram são levantadas, em sua parte submersa, com auxílio de um ecobatímetro digital e de um DGPS sub-métrico acoplados a um laptop que utiliza o programa Hypack específico para levantamentos batimétricos. O ecobatímetro digital envia diretamente as profundidades lidas para o programa e o DGPS as posições correspondentes. O software de gerenciamento coleta uma vez a cada segundo os 03 (três) dados, gerando um arquivo XYZ (coordenadas e profundidades).

Inicialmente, com o DGPS, são tomadas as coordenadas dos pontos PI e PF da seção transversal. A partir destes 02 (dois) pontos são planejadas 05 (cinco) linhas batimétricas nas proximidades da seção, 01 (uma) pelo eixo central e 02 (duas) de cada lado, distantes 10 metros uma da outra. Tal procedimento é adotado para cursos d'água com as características do rio Madeira, dado a dificuldade da embarcação andar perfeitamente alinhada na seção transversal. A seção transversal é então obtida construindo-se o modelo digital do terreno (MDT) da faixa seccionada pelo ponto PI/PF.

A parte emersa das seções é levantada por nivelamento trigonométrico, com auxílio de uma estação total, a qual é estacionada sobre o ponto PI, cuja cota é estabelecida por nivelamento geométrico aos marcos das réguas, e a partir deste levantamento, os pontos da seção no alinhamento do PF.

A amarração altimétrica da seção é feita por nivelamento geométrico, com auxílio de um nível topográfico, controlando-se os resultados por contranivelamentos.

Para as medições de vazão líquida, o método utilizado levou em conta as condições locais identificadas. Em função das velocidades do fluxo observadas em campo (2,3 m/s e em alguns locais cerca de 2,9 m/s), as quais acarretam problemas de ancoragem da embarcação nas verticais previstas forte arraste do molinete, foi tomado como premissa metodológica o método do barco não ancorado.

Este método de medição é baseado no princípio de efetuar as medições de velocidade com o barco mantido na posição somente pela força de seu motor. Durante o trabalho, o barco é posicionado no ponto desejado, a profundidade é medida com auxílio do ecobatímetro, são calculadas as profundidades de medição (normalmente 0,8 e 0,2 da profundidade), o molinete é baixado na profundidade calculada e é efetuada a medida pontual da velocidade.

A posição do barco é acompanhada em tempo real por registro de DGPS com correção digital satelital, durante o período de medição (cerca de 40 segundos), registrando-se assim o seu deslocamento.

Posteriormente, em escritório, é calculado o deslocamento da embarcação, medindo-se sua velocidade em relação à direção da corrente, descontando-se esta velocidade da velocidade medida pelo molinete.

Este método é bastante utilizado em medições que vem sendo realizadas em vários rios de grande porte no mundo, sendo na Amazônia largamente utilizado pelo extinto DNAEE (atual ANEEL), inclusive no rio Madeira, na seção de medição de Abunã-Vila.

O método de medição com barco não ancorado pode ser hoje implementado melhorando-se o posicionamento com o emprego do sistema DGPS (GPS Diferencial) centimétrico. Pode-se assim controlar a posição da própria embarcação pelo computador de bordo e mesmo medir os deslocamentos da embarcação, uma vez por segundo, com precisão de centímetros durante a cronometragem do molinete.

Para a medição do sedimento em suspensão foi adotado o método de igual incremento de largura. Dado a grande profundidade das 03 (três) seções de medição no rio Madeira, utilizou-se para integração de cada vertical de amostragem um amostrador tipo Saca de maior volume e apropriado para profundidades superiores a 10 m. Em locais onde as profundidades são inferiores a 4,5 m, é comumente utilizado o amostrador do tipo USD-49, o qual não foi utilizado no trabalho em questão. Tais profundidades são identificadas apenas em alguns afluentes do rio Madeira, em épocas de estiagem.

O sedimento de fundo, por sua vez, foi amostrado com auxílio de uma draga de fundo, com coleta de material nas mesmas verticais de medição de sedimentos em suspensão.

## 5 Atividades Desenvolvidas

As atividades realizadas no período de junho a novembro de 2009 (1º semestre), relativas ao Programa de Monitoramento Hidrossedimentológico, correspondem às etapas iniciais programadas referentes ao desenvolvimento da modelagem matemática e das modelagens físicas, vistorias e visitas à área de influência do AHE Jirau, levantamento de seções batimétricas, medições de vazão líquida e descarga sólida e leituras de nível d'água nas estações limimétricas distribuídas ao longo do rio Madeira na área de interesse do projeto. A seguir são apresentadas as principais atividades desenvolvidas:

### 5.1. Modelagem Matemática

Para dar início ao desenvolvimento do trabalho de modelagem foi utilizada a digitalização do rio Madeira na área do estudo, desde o limite do remanso da barragem, na fronteira do Brasil com a Bolívia, até aproximadamente 20 km a jusante do eixo do AHE Jirau, identificando as margens e ilhas existentes no curso d'água neste trecho.

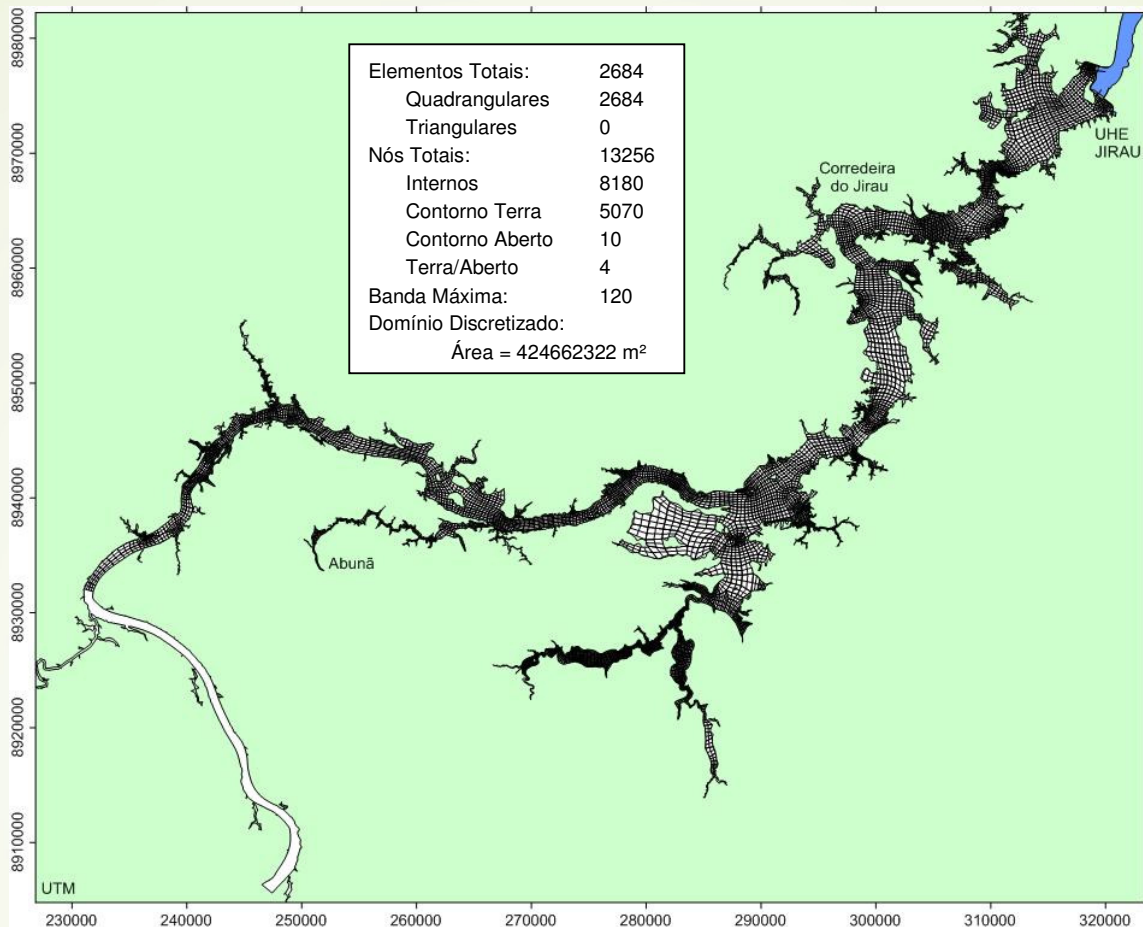
Previamente, foi realizada uma visita técnica ao local do empreendimento entre os dias 28 e 29/07/2009, onde foram percorridos trechos ao longo do rio Madeira a montante e a jusante do

eixo do aproveitamento no intuito de vistoriar as instalações linimétricas existentes. Esta visita permitiu também avaliar in loco as principais características morfológicas de vários trechos de interesse e identificar preliminarmente os tipos de material que compõe a calha fluvial do rio Madeira e características principais de suas margens.

Como domínios de modelagem, estão sendo desenvolvidos modelos digitais de terreno, através de discretização com malhas de elementos finitos biquadráticos, para os seguintes domínios de modelagem:

- Malha de Jusante com Níveis Usuais (MJNU): para modelagem do trecho de aproximadamente 20 km a jusante da barragem com limites marginais em níveis usuais, incluindo leito do rio Madeira e principais afluentes até seção a montante das confluências, de modo a possibilitar a prescrição de condições de contorno de forma adequada. Tal domínio também servirá para simular eventos de cheias através de metodologias de alagamento virtual.
- Malha de Jusante com Níveis de Estiagem (MJNE): para modelagem do trecho de aproximadamente 20 km a jusante da barragem com limites marginais em níveis de estiagem, incluindo leito do rio Madeira e principais afluentes até seção a montante das confluências, de modo a possibilitar a prescrição de condições de contorno de forma adequada.
- Malha do Reservatório com Níveis Usuais (MRNU): para modelagem do reservatório, com limites marginais em níveis usuais, incluindo leito do rio Madeira e principais afluentes até seção a montante das confluências, de modo a possibilitar a prescrição de condições de contorno de forma adequada. Tal domínio também servirá para simular eventos de cheias, através de metodologias de alagamento virtual.
- Malha do Reservatório com Níveis de Estiagem (MRNE): para modelagem do reservatório, com limites marginais em níveis de estiagem, incluindo leito do rio Madeira e principais afluentes até seção a montante das confluências, de modo a possibilitar a prescrição de condições de contorno de forma adequada.

Dado que o rio Madeira apresenta uma morfologia fluvial bastante diversificada, com taludes íngremes nas margens, optou-se por desenvolver modelos digitais de terreno através de malhas de elementos finitos biquadráticos para representar os níveis de estiagem e de níveis usuais, como exemplifica a **Figura 5.1** a seguir.



**Figura 5.1 - Malha do Reservatório com Níveis Usuais (MRNU) na área de influência do AHE Jirau**

Os modelos utilizados no desenvolvimento dos serviços fazem parte do SisBaHiA - Sistema Base de Hidrodinâmica Ambiental.

O SisBaHiA é continuamente ampliado e aperfeiçoado na COPPE/UFRJ, desde 1987, através de várias teses de mestrado e doutorado, além de projetos de pesquisa. Modelos do SisBaHiA têm sido adotados em dezenas de estudos e projetos envolvendo modelagem de corpos d'água naturais.

As atividades pertinentes ao desenvolvimento de sistema de modelagem computacional de hidrodinâmica ambiental para apoio à programa de monitoramento e análises ambientais em rios conexos ao AHE Jirau são resumidas a seguir.

- Concepção de Modelagem e Requisitos Desejáveis:

O desenvolvimento e a calibração de modelos de hidrodinâmica ambiental é um processo em níveis, que deve obedecer à seguinte hierarquia:

Nível 1 - Modelagem e calibração geométrica: desenvolvimento de modelo digital do terreno do domínio de modelagem, feito através da malha de discretização. Para calibração, faz-se



ajustes para que mapas de isolinhas de cotas de fundo e contornos produzidos pelo modelo representem adequadamente os contornos e a batimetria da região de interesse.

O grau de aferição e calibração depende da qualidade dos dados topo-hidrográficos disponíveis.

Nível 2 - Modelagem e calibração hidrodinâmica: desenvolvimento de modelos hidrodinâmicos capazes de reproduzir adequadamente a variação de níveis d'água e correntes na região de interesse, sob diferentes condições de vazões e ventos.

A calibração é feita mediante comparação de resultados obtidos com dados medidos no campo. Para isso é necessário que, além da boa modelagem digital do terreno, haja informações corretas sobre os forçantes da circulação hidrodinâmica, tais como níveis de controle, vazões afluentes e ventos.

A qualidade da calibração e aferição depende da qualidade dos dados disponíveis.

Nível 3 - Modelagem e calibração de transporte de escalares (sedimentos e parâmetros de qualidade de água): desenvolvimento de modelos de transporte de escalares, usando as correntes e níveis dos modelos hidrodinâmicos, que sejam capazes de representar adequadamente taxas de transporte de sedimentos e concentrações de parâmetros de qualidade de água ao longo do tempo.

Para isso, é necessário que, além das correntes e níveis, haja informações corretas sobre vazões sólidas afluentes. Para modelagem de processos sedimentológicos é necessário dispor-se de caracterização sedimentológica do leito dos rios envolvidos, cargas sólidas afluentes a montante dos limites de modelagem, dentre outras informações.

Não é razoável querer obter bons resultados em Nível 3, sem previamente obter bons resultados em Nível 2, que por sua vez depende da calibração no Nível 1. A calibração em Nível 3 é a mais complexa.

Aspectos detalhados sobre efetiva calibração de modelos serão apresentados no decorrer do desenvolvimento dos trabalhos, na medida que sejam disponibilizados dados que permitam seguir os passos indicados.

Deve ficar claro que a modelagem é um processo evolutivo e que todos os modelos têm um viés qualitativo, apesar do forte viés quantitativo inerente a modelos matemáticos, numéricos e computacionais. Isto é, podem-se desenvolver modelos com dados parciais com viés qualitativo mais pronunciado.

A medida que dados mais detalhados são obtidos, os modelos evoluem com calibrações mais refinadas, diminuindo o viés qualitativo e aumentando a confiabilidade quantitativa em diagnósticos e prognósticos.

- Coleta de Dados Secundários e Primários:

As informações existentes em estudos anteriores, ou seja, os dados obtidos no desenvolvimento do Estudo de Viabilidade (EVTE) do AHE Jirau, no processo de licenciamento ambiental e na elaboração do Projeto Básico do empreendimento estão sendo disponibilizados e aplicados à modelagem.



Segundo informações prestadas e dados já recebidos, verifica-se que tais estudos contêm principalmente as seguintes informações:

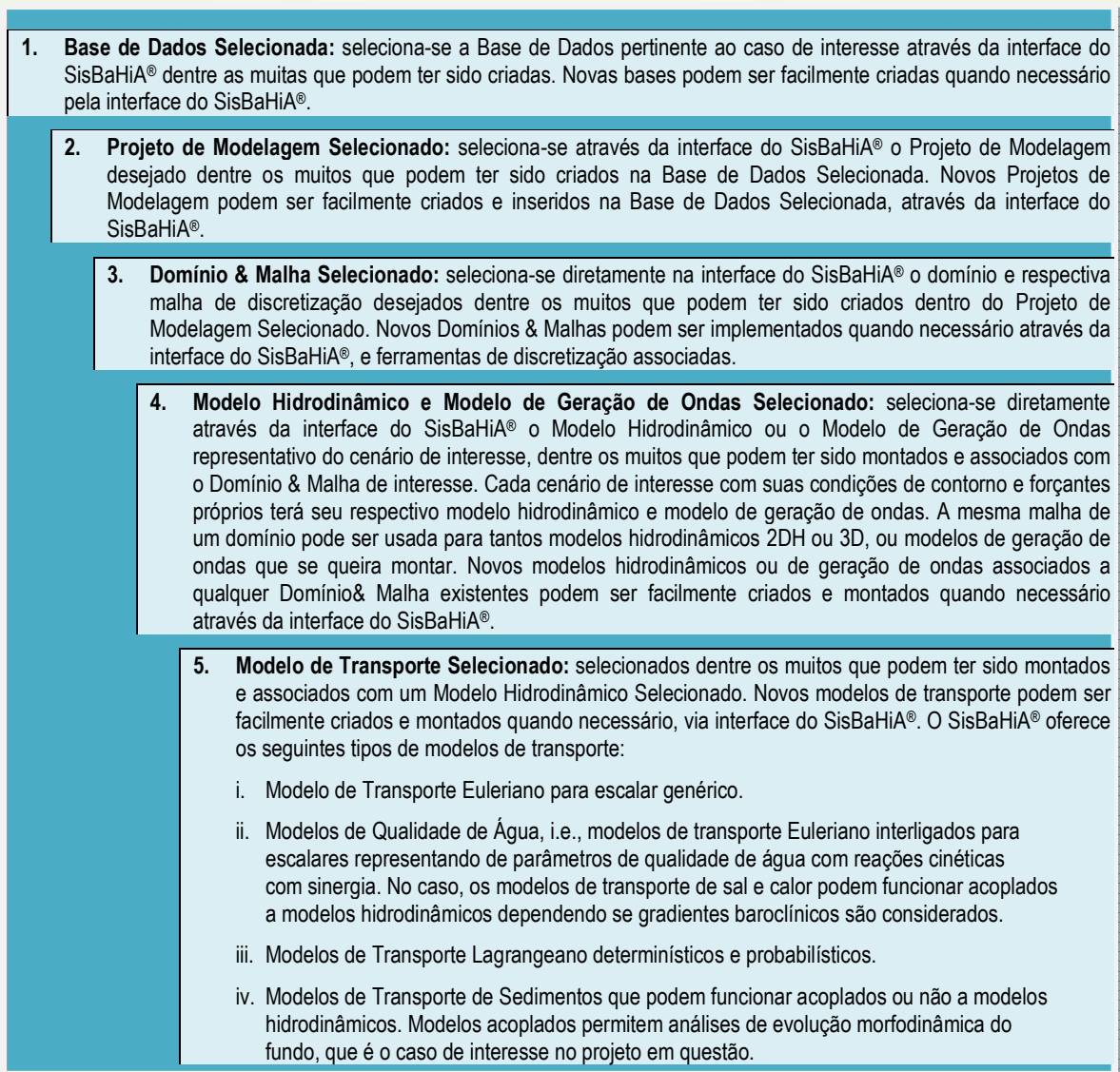
- Estudos hidrológicos e hidráulicos na área do futuro reservatório;
- Modelagem da qualidade da água na área do futuro reservatório, incluindo estimativas preliminares de fitomassa a ser alagada;
- Levantamento de seções topobatimétricas ao longo do rio Madeira, na área do futuro reservatório com níveis do rio para diferentes tempos de retorno;
- Dados de nível da água no rio a montante do empreendimento e a 40 km a jusante da barragem obtidos em réguas da Eletronorte e réguas instaladas pela ESBR;

Além disso, as seguintes atividades estão sendo executadas por empresas especializadas selecionadas pela ESBR:

- Serviços para determinação da fitomassa a ser alagada;
- Serviços de hidrometria e sedimentometria.
- Implantação de Base de Dados Dedicada ao Projeto:

Nesta etapa dos trabalhos já está implementada a base de dados dedicada ao estudo em questão. O mapa de malhas apresentado anteriormente (Figura 5.1) exemplifica o andamento dos trabalhos. No desenvolvimento dos mesmos, a base será continuamente atualizada com os novos dados fornecidos.

A estratégia geral do SisBaHiA é fundamentada em base de dados e objetiva dar confiabilidade e facilidade de manipulação de dados e resultados aos usuários. O SisBaHiA adota o sistema hierárquico de vinculação de dados e modelos apresentado no diagrama a seguir, conforme ilustrado na **Figura 5.2**.



**Figura 5.2 - Diagrama de Vinculação Hierárquica do Modelo SisBaHiA**

O diagrama acima destaca apenas aos módulos centrais do SisBaHiA. Outros módulos vinculados a um projeto como o de Modelos de Propagação de Ondas, Módulo de Análise e Previsão de Marés, Modelos de Campo Próximo para Plumadas de Emissário e Fontes Pontuais, dentre outros, também fazem parte da base de dados.

- Calibração dos Modelos:

Calibrações preliminares serão feitas com os dados inicialmente disponibilizados. Se for necessário, a depender dos resultados obtidos, poder-se-á especificar campanhas de coleta de dados especificamente para esta fase. A título de informação preliminar, o processo de calibração de um modelo passa pelas seguintes etapas:

- Em função dos dados disponíveis, é feita uma seleção de cenário hidrodinâmico para fins de calibração. Os dados de entrada no modelo então são cuidadosamente checados e resultados primários são obtidos.

- Com os resultados obtidos, a primeira verificação será de níveis em diferentes pontos do domínio.

- Se os resultados do item anterior estiverem insatisfatórios, verificações serão feitas. Em primeiro lugar na batimetria e nos contornos da malha, que serão cuidadosamente checados. Se forem feitos ajustes, roda-se o modelo com os novos ajustes e obtém-se novos resultados e nova comparação.

Se os resultados após os ajustes geométricos (batimetria e contornos) ainda estiverem insatisfatórios e se não houver mais ajustes geométricos a serem feitos, passa-se aos ajustes de rugosidade equivalente do fundo. Os níveis serão então calibrados da melhor maneira possível. Tipicamente os erros de níveis com o SisBaHiA são inferiores a 5%, se os dados de entrada estiverem corretos.

- Após calibração do modelo poder-se-á passar à verificação de velocidades. Ajustes podem ser feitos nos parâmetros de turbulência do modelo hidrodinâmico do SisBaHiA para buscar o melhor ajuste no campo de velocidades.

- Se as velocidades estiverem calibradas, há segurança de que o transporte advectivo de escalares dissolvidos terá acurácia adequada. Pode-se então fazer um ajuste mais fino através de calibração das magnitudes das difusividades turbulentas.

- Simulações Iniciais e Exemplos de Resultados Preliminares:

Usando as siglas dos diferentes domínios de modelagem (MJNU, MJNE, MRNU e MRNE), descritas anteriormente, antevêm-se as simulações de projeto descritas abaixo. Destaca-se que na fase atual, versões preliminares dos modelos hidrodinâmicos descritos já foram desenvolvidas e testadas.

a) Para o domínio MJNU ao longo de aproximadamente 20 km a jusante da barragem do AHE Jirau, envolvendo o rio Madeira e principais afluentes no trecho em níveis usuais:

- Modelagem de circulação hidrodinâmica 2DH (MHJNU), obtendo em cada ponto da malha correntes médias na coluna d'água e nível de água. O modelo será rodado por tempo suficiente para gerar padrões de circulação hidrodinâmica adequados para as simulações de transporte de sedimentos.

- Modelagem de processos sedimentológicos (MPSNJU), com prognóstico de evolução morfológica. Provavelmente a simulação terá que se estender por vários anos para se tenham resultados efetivos de evolução morfológica.

b) Para o domínio MJNE ao longo de aproximadamente 20 km a jusante da barragem do AHE Jirau, envolvendo o rio Madeira e principais afluentes no trecho em níveis de estiagem:

- Modelagem de circulação hidrodinâmica 2DH (MHJNE), obtendo em cada ponto da malha correntes médias na coluna d'água e nível de água. O modelo será executado por tempo

suficiente para gerar padrões de circulação hidrodinâmica adequado para as simulações de transporte de sedimentos.

c) Para o domínio MRNU ao longo do futuro reservatório do AHE Jirau, envolvendo o rio Madeira e principais afluentes no trecho em níveis usuais:

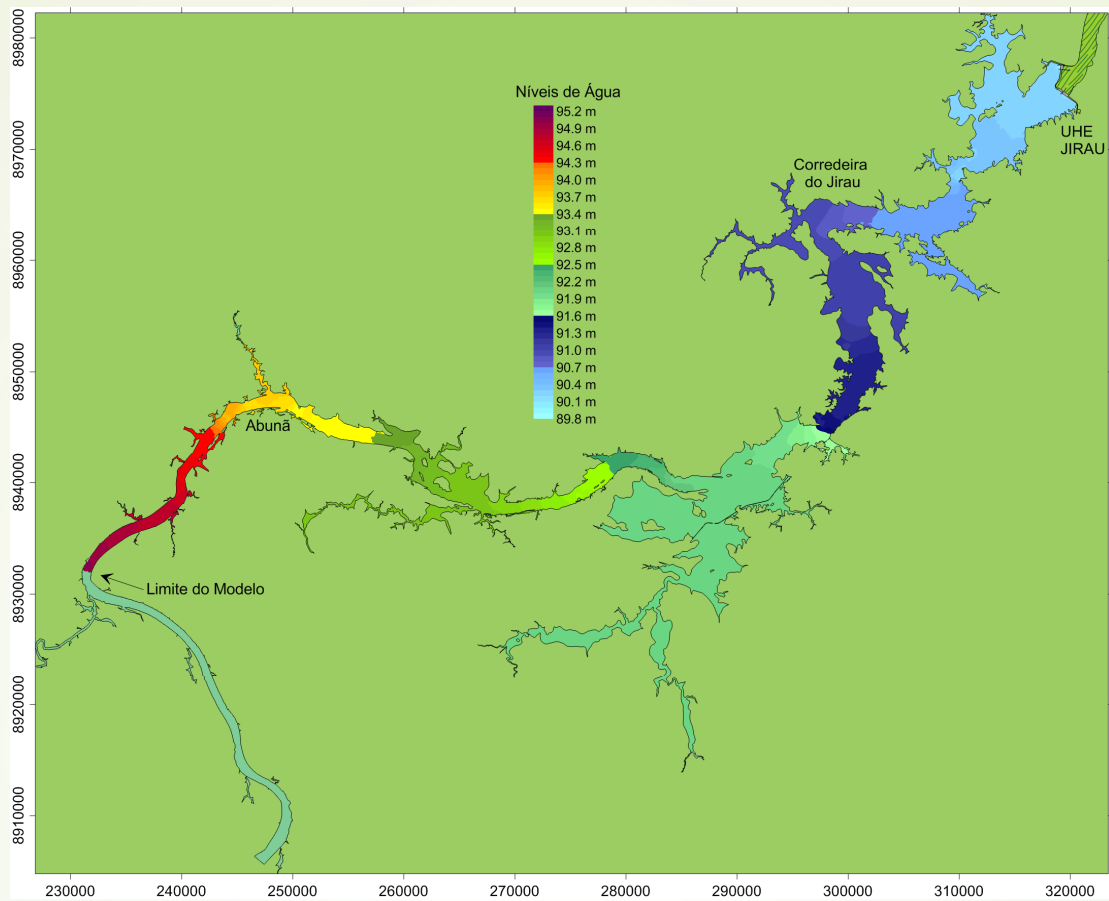
- Modelagem de circulação hidrodinâmica 2DH (ou 3D se julgado necessário) (MHRNU), obtendo em cada ponto da malha correntes médias (ou perfis verticais no caso de 3D) na coluna d'água e nível de água. O modelo será rodado por tempo suficiente para gerar padrões de circulação hidrodinâmica adequados para as simulações de transporte de sedimentos.

- Modelagem de processos sedimentológicos (MPSRNU), com prognóstico de evolução morfológica. Provavelmente a simulação terá que se estender por vários anos para se tenham resultados efetivos de evolução morfológica.

d) Para o domínio MRNE ao longo do futuro reservatório do AHE Jirau, envolvendo o rio Madeira e principais afluentes no trecho em níveis de estiagem:

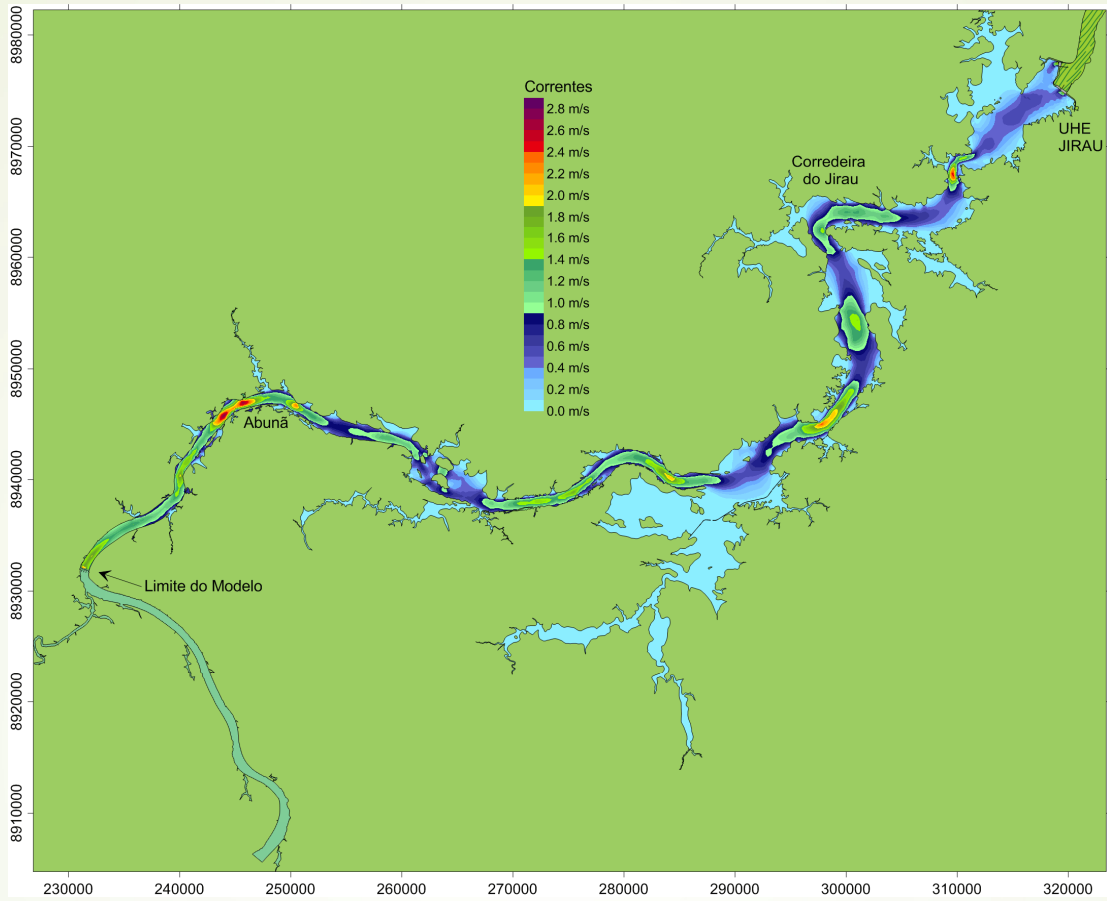
- Modelagem de circulação hidrodinâmica 2DH (ou 3D se julgado necessário) (MHRNE), obtendo em cada ponto da malha correntes médias (ou perfis verticais no caso de 3D) na coluna d'água e nível de água. O modelo será rodado por tempo suficiente para gerar padrões de circulação hidrodinâmica adequados para as simulações de transporte de sedimentos.

Os casos de simulação previstos serão definidos e ajustados ao longo do andamento dos trabalhos. São apresentados a seguir alguns exemplos de resultados preliminares obtidos com os modelos em desenvolvimento. As legendas das **Figuras 5.3 a 5.7** são explicativas e trazem análises pertinentes.

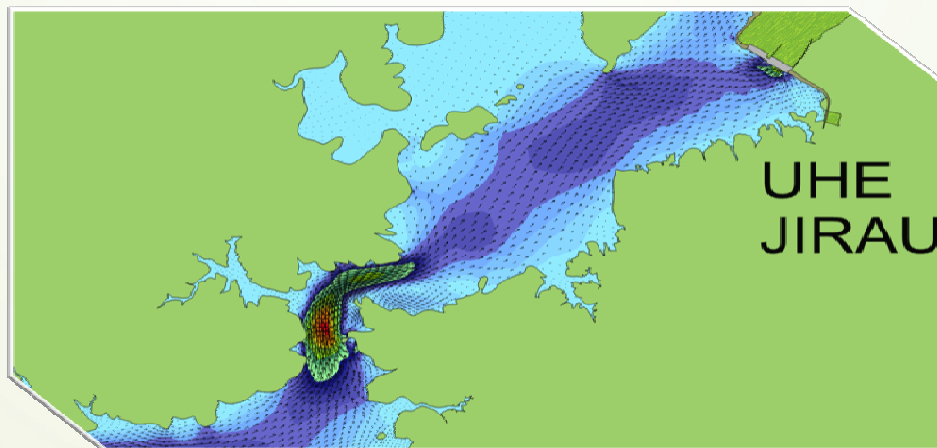
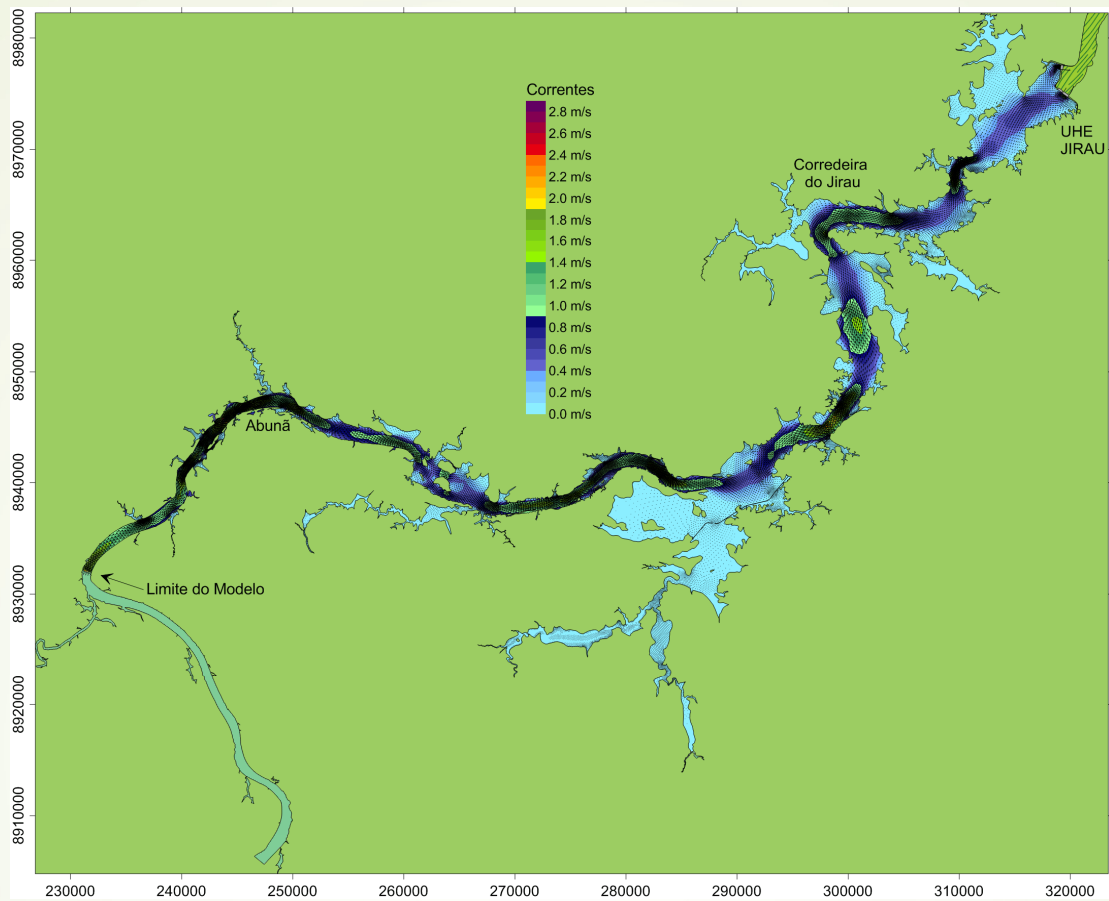


**Figura 5.3 - Isolinhas de níveis de água ao longo do futuro reservatório para vazão de 38.248 m<sup>3</sup>/s. Destaca-se que os níveis registrados pelo modelo na região do limite de montante, fora da zona de remanso, coincidem com valores de curvas chave do local.**

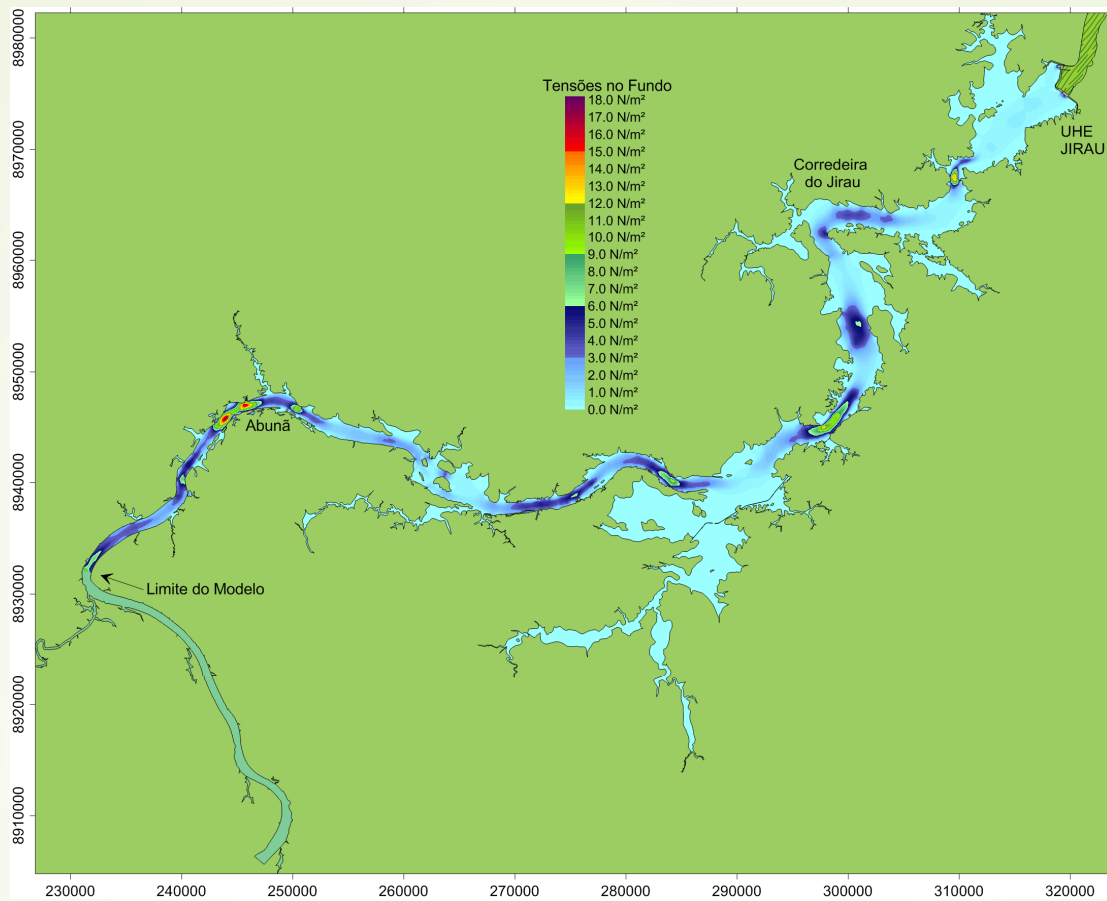




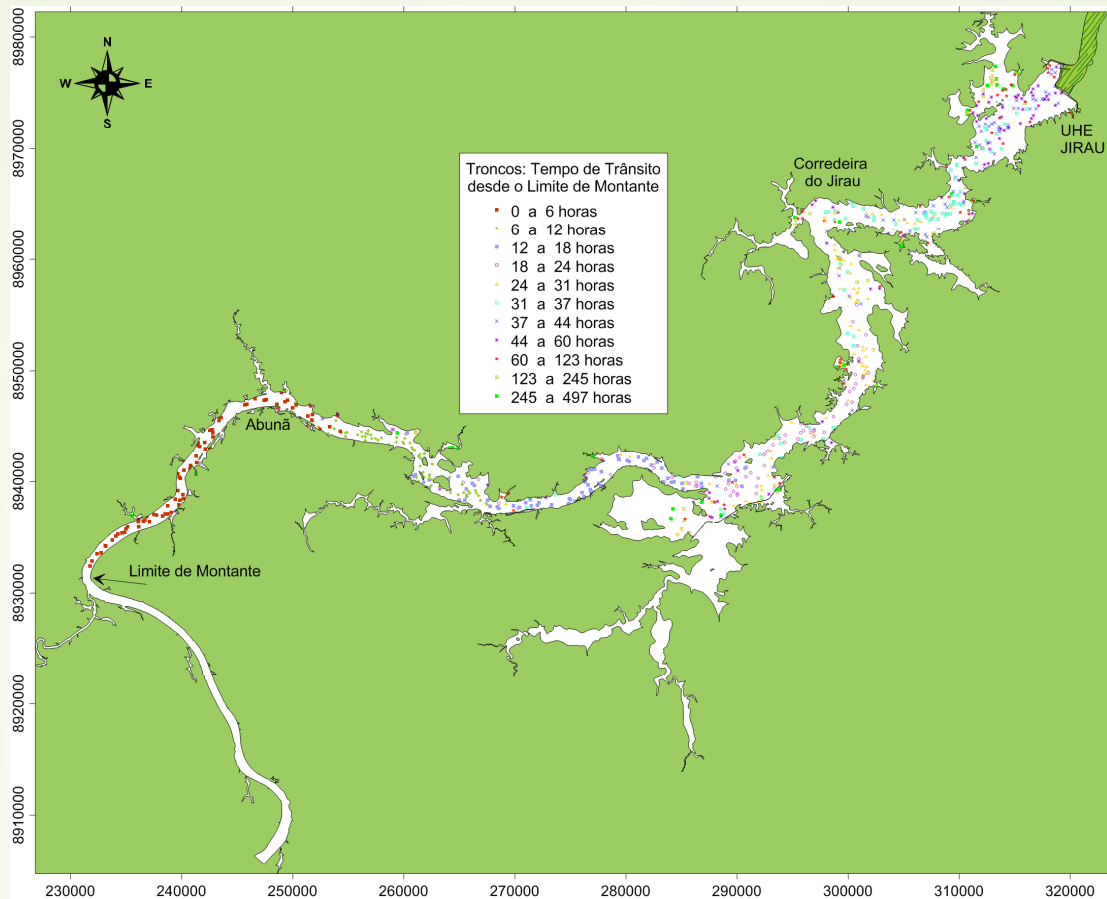
**Figura 5.4 - Isolinhas de magnitude de correntes para a mesma situação de mostrada na Figura 5.3. O campo de correntes e detalhes próximos à barragem são apresentados na Figura 5.5**



**Figura 5.5 - Mapa de campo de vetores de correntes sobreposto ao mapa de isolinhas de magnitude de velocidades, para vazão de  $38.248\text{m}^3/\text{s}$ . Detalhe expandido do campo de correntes nas proximidades da barragem**



**Figura 5.6 - Mapa de isolinhas de tensão no fundo para o campo de correntes mostrado na Figura 5.5. Nota-se claramente os locais com fortes tensões e tendências a serem erodidos e os locais de baixas tensões onde eventuais sedimentos sendo transportados tenderiam a se depositar**



**Figura 5.7 - Mapa mostrando tempos de trânsito de troncos no futuro reservatório partindo do limite de montante. Nota-se que os troncos que seguem pela calha central percorrem todo o reservatório em menos de 5 dias**

## 5.2. Levantamento de Seções Batimétricas ao Longo do Rio Madeira

Na região de interesse foram realizadas 02 (duas) campanhas de levantamento de seções batimétricas pela equipe da empresa PETCON Planejamento em Transporte e Consultoria Ltda. A PETCON fora contratada, inicialmente, para levantar seções batimétricas ao longo do rio Madeira, assim como para implantar marcos geodésicos nestas seções, os quais foram amarrados ao sistema planialtimétrico do IBGE.

No primeiro levantamento, realizado no período de 18/05/2009 a 05/06/2009, foram levantadas 37 seções batimétricas transversais ao longo do rio Madeira e 02 (duas) seções batimétricas transversais no rio Abunã, totalizando, nesta primeira etapa, 39 seções. Foram implantados 78 marcos, sendo todos eles determinados por rastreamento GPS de acordo com os critérios recomendados para o procedimento, ou seja, estarem sempre referenciados ao vértice planimétrico da Rede Fundamental do IBGE SAT 91245. As **Figuras 5.8 a 5.11**, apresentadas em Anexo, mostram em planta a localização destas seções batimétricas ao longo dos rios Madeira e Abunã.

No segundo levantamento, realizado no período de 11/08/2009 a 08/09/2009 foram levantadas 34 novas seções batimétricas, todas localizadas no rio Madeira, nas proximidades do eixo do AHE Jirau, assim como implantados marcos geodésicos, determinados por rastreamento GPS de acordo com os critérios apresentados. Outras 4 (quatro) seções batimétricas foram levantadas a montante de Abunã, intermediárias as anteriormente levantadas na primeira campanha de campo.

Os perfis batimétricos, neste caso, foram levantados a cada 1 (um) quilômetro, em um trecho aproximado de 20 km a montante do eixo da Usina e até 10 (dez) km a jusante da barragem do AHE Jirau. Complementarmente foram levantados perfis a cada 500 metros em um trecho de 3 (três) km a montante até 1 (um) km a jusante da barragem. A **Figura 5.12**, apresentada em Anexo, mostra a localização, em planta, das seções batimétricas levantadas no rio Madeira, junto ao trecho próximo do eixo do aproveitamento.

A cada seção batimétrica, do segundo levantamento, foram realizadas duas amostragens de sedimentos de fundo, para avaliação da granulometria. As coletas pontuais de sedimento foram realizadas com amostrador USBM-54 do tipo penetração vertical de escavação, operado com auxílio de guincho hidrométrico. Todas as amostras coletadas foram submetidas a peneiramento fino e grosso, utilizando-se um conjunto de peneiras graduadas de 5/16" a 200" de malha.

Tais levantamentos têm como objetivo prover informações em maior grau de detalhe, complementando aquelas existentes, para representação junto ao modelo reduzido em escala distorcida, em desenvolvimento no laboratório de hidráulica da Sogreah.

### **5.3. Medições de Vazões Líquidas e Sólidas no Rio Madeira**

Conforme mencionado anteriormente, os levantamentos hidrométricos e sedimentométricos no período contemplado neste relatório foram feitos pela empresa INTERNAVE Engenharia Ltda. As medições de vazão líquida e de descarga sólida (fundo e suspensão) foram priorizadas em 03 (três) estações fluviométricas de interesse, todas localizadas no rio Madeira: Abunã-Vila, Palmeiral e Porto. Os trabalhos de campo iniciaram em maio de 2009, com medições de vazão líquida mensais e de descarga sólida realizadas a cada dois meses.

A estação de Abunã-Vila, localizada nas coordenadas 09°42'11" latitude S e 65°21'53" longitude W, encontra-se implantada desde a década de 70, a qual é operada pela CPRM e pertencente à rede da ANA. O local da seção de medição encontra-se materializado no campo por duas estadas de madeira de lei, uma em cada margem.

Em Palmeiral, a seção de medição foi estabelecida nas proximidades da antiga estação fluviométrica da ANA (coordenadas 09°30'45" latitude S e 64°48'37" longitude W), desativada em 1986.

A seção denominada Porto (coordenadas 09°14'55,7" latitude S e 64°37'35,7" longitude W) encontra-se localizada imediatamente a jusante do eixo do AHE Jirau, no rio Madeira.

Apresenta-se a seguir o **Quadro 5.1** contendo um resumo das medições de vazão líquida e de descarga sólida realizadas nas 06 (seis) campanhas de campo realizadas no período em questão.



**Quadro 5.1 - Medições de Descarga Líquida e Sólida, no rio Madeira**

Estação: Abunã-Vila								
Nº	Data	Leitura Régua (m)		Vel. Méd. (m/s)	Área (m <sup>2</sup> )	Vazão (m <sup>3</sup> /s)	Conc. Méd (mg/l)	Sedimento (t/dia)
		Lida	Nivelada					
1	28/5/2009	16,26	16,26	1,74	13077	22784	376	740972
2	7/7/2009	12,51	12,51	1,32	10597	14022		
3	12/8/2009	10,34	10,34	0,98	9790	9547	343	283325
4	10/9/2009	6,79	7,79	0,65	8169	5290		
5	6/10/2009	9,25	9,25	0,85	8979	7650	624	412586
6	19/11/2009	11,14	11,14	1,08	9870	10679		

Estação: Palmeiral								
Nº	Data	Leitura Régua (m)		Vel. Méd. (m/s)	Área (m <sup>2</sup> )	Vazão (m <sup>3</sup> /s)	Conc. Méd (mg/l)	Sedimento (t/dia)
		Lida	Nivelada					
1	3/6/2009	9,70	9,70	1,40	18110	25293	402	879032
2	8/7/2009	6,63	6,52	0,97	15891	15428		
3	13/8/2009	4,87	4,71	0,64	14855	9581	383	316886
4	11/9/2009	2,98	2,07	0,53	12184	6415		
5	7/10/2009	3,43	3,43	0,62	13455	8372	507	366787
6	19/11/2009	5,34	5,35	0,83	15035	12406		

Estação: Porto								
Nº	Data	Leitura Régua (m)		Vel. Méd. (m/s)	Área (m <sup>2</sup> )	Vazão (m <sup>3</sup> /s)	Conc. Méd (mg/l)	Sedimento (t/dia)
		Lida	Nivelada					
1	31/5/2009	11,26	11,26	1,14	20604	23548	362	735871
2	9/7/2009	RC	8,41	0,9	17124	15432		
3	14/8/2009	6,69	6,69	0,8	15154	12140	319	334146
4	12/9/2009	RC	4,38	0,56	12671	7156		
5	8/10/2009	5,52	5,52	0,62	13879	8666	520	389205
6	20/11/2009	7,36	7,36	0,79	15917	12627		

Vale ressaltar que, este primeiro trabalho de campo executado pela empresa INTERNAVE teve como um dos objetivos principais fornecer informações para o estabelecimento da curva-chave do canal de fuga do empreendimento e para o modelo reduzido em construção no Instituto Sogreah, na França. No entanto, em função da importância de se ter uma gama de informações para o Programa de Monitoramento Hidrossedimentológico, as mesmas também estão sendo consideradas como fonte de informações do mesmo para avaliações e análises futuras.

Está programado para início de janeiro de 2010, um levantamento intensivo de campo, a ser executado pela empresa INTERNAVE, com duração inicial de 36 meses, onde serão realizados, além da implantação de novas estações de monitoramento, levantamentos diários, semanais e mensais, instalação de rede telemétrica, entre outras atividades, definidas e indicadas no documento formalizado ao IBAMA, em atendimento a condicionante 2.53 da LI nº 621/2009, atendendo assim à Resolução ANEEL nº 396/1998 da ANEEL, ao Art. 6º da Resolução ANA nº 269/2009 e ao PBA aprovado pelo IBAMA.

#### **5.4. Vistorias de Campo**

De forma resumida, são indicadas as atividades realizadas pela empresa GEOANALISES Sondagens e Monitoramentos, contratada pela ESBR para implementar o Programa de Monitoramento de Pontos Propensos a Instabilização de Encostas e Taludes Marginais, desenvolvidas neste primeiro semestre (junho a novembro de 2009):

- Inspeção de campo, onde foi percorrida a área a ser ocupada pelo futuro reservatório do AHE Jirau;
- Identificação em campo dos 50 pontos para locação futura dos SPT e de coleta de amostras indeformadas;
- Compilação, em escala regional, dos principais tipos pedológicos encontrados na área de influência do AHE Jirau, tomando por base as informações existentes do EIA;
- Elaboração da carta de uso e ocupação do solo.

#### **5.5. Atividades de Escritório com Análise Inicial dos Dados Existentes e Coletados nas Campanhas de Campo**

Nesta atividade, a equipe técnica da empresa CNEC Engenharia desenvolveu uma análise de consistência dos dados coletados nas campanhas de campo, onde foram consideradas as informações disponíveis dos estudos anteriores (Estudo de Viabilidade, EIA e Projeto Básico) referentes ao AHE Jirau.

Conforme descrito, as informações coletadas em campo constam das campanhas realizadas pela INTERNAVE, para os 03 (três) locais selecionados inicialmente: Abunã-Vila, Palmeiral e Porto, todos localizados no rio Madeira.

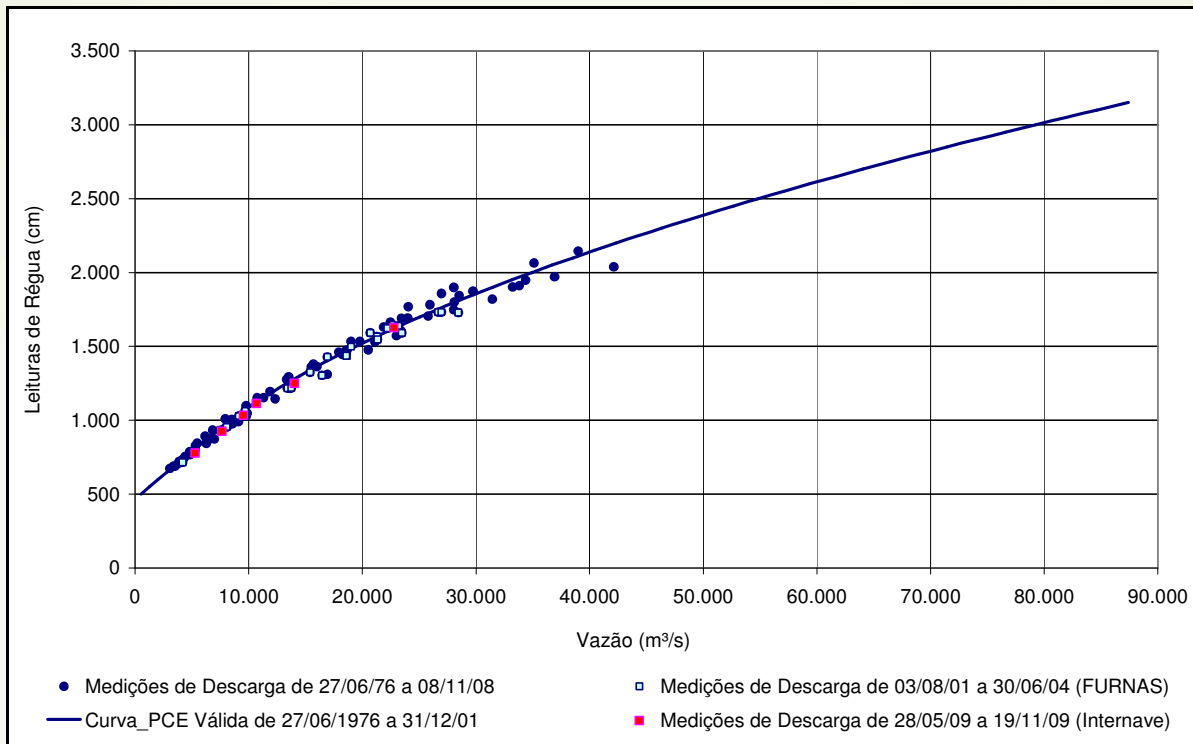
Inicialmente foram desenvolvidas análises de consistência das medições de vazão líquida, cujas informações foram comparadas com os dados existentes. Neste procedimento, os dados levantados pela INTERNAVE de medições de descarga líquida foram aferidos tendo por base curvas-chaves pré-definidas em estudos existentes.

Para a estação Abunã-Vila, foram consideradas as seguintes informações:

- Dados de 96 medições de descarga líquida, cobrindo o período de observação de 27/06/1976 à 08/11/2008, extraídos do Sistema de Informações Hidrológicas da ANA – hidroweb;
- Dados de 24 medições de descarga líquida, cobrindo o período histórico de 03/08/2001 a 30/06/2004, obtidas das campanhas coordenadas por Furnas (Estudo de Viabilidade);
- Dados de 06 (seis) medições de descarga líquida, que correspondem às campanhas desenvolvidas pela INTERNAVE entre 28/05/2009 a 19/11/2009 (levantamentos iniciais de campo).
- Dados de curva-chave da estação Abunã-Vila, apresentada no Estudo de Viabilidade, realizado por Furnas/PCE.

O **Gráfico 5.1** a seguir indica a boa aderência das medições recentes realizadas, quando os pontos são inseridos nas curvas pré-existentes.

**Gráfico 5.1 – Medições Existentes no rio Madeira em Abunã-Vila**



No que se refere à estação de Palmeiral, extinta em 1986, foram realizadas análises visando à recuperação destas informações já existentes. Os dados atuais, obtidos pela INTERNAVE foram comparados com aqueles existentes no período em que a estação esteve em operação.

Os dados de medições de descarga líquida analisados abrangem as seguintes campanhas:

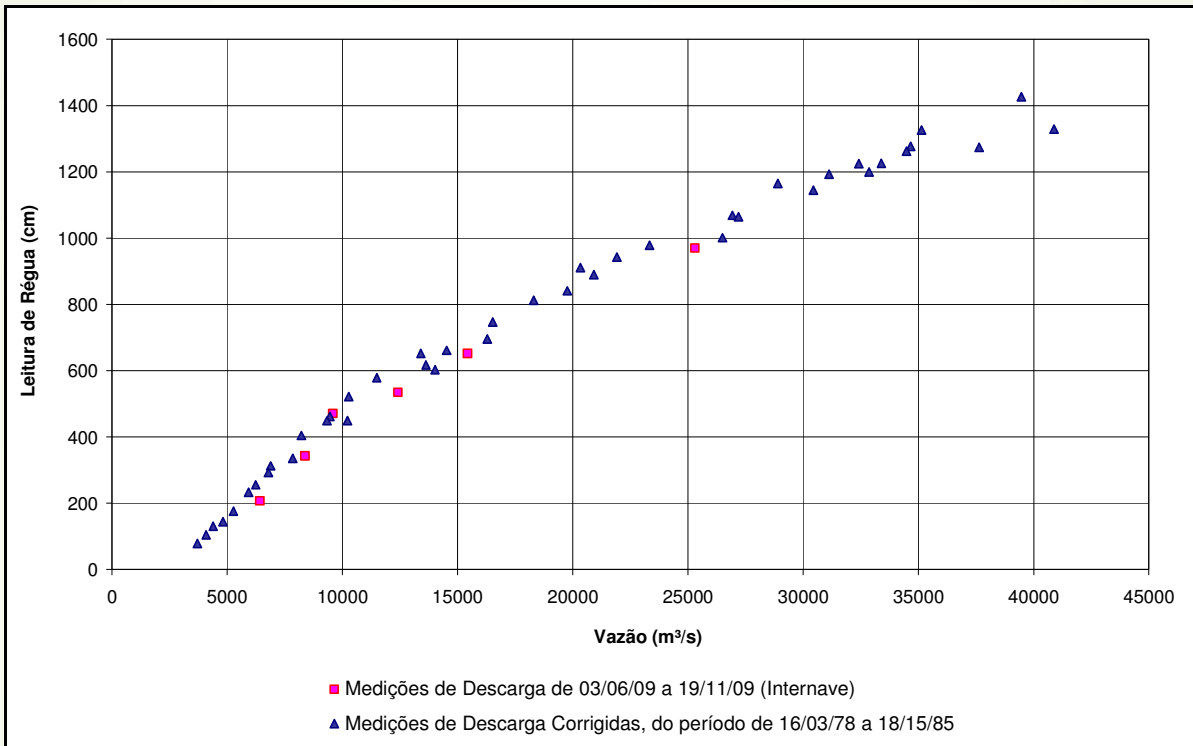
- Dados de 43 medições de descarga líquida, cobrindo o período de 16/03/1978 a 18/12/1985, disponíveis no banco de dados da ANA;
- Dados de 06 (seis) medições de descarga líquida, que correspondem às campanhas desenvolvidas pela INTERNAVE entre de 03/06/2009 a 19/11/2009 (levantamentos de campo iniciais).

Nestas análises verificou-se uma diferença sistemática entre as leituras, provavelmente em função da mudança da régua linimétrica, cuja discrepância foi objeto de análise, tendo por base o histórico da série histórica de dados e fichas descritivas de inspeção e manutenção da estação.

Com base em informações contidas na ficha descritiva fornecida pela ANA e de observadores locais, em visita ao local da antiga estação, foi possível identificar o marco de referência instalado e tomado como base para as leituras na antiga seção. Em função desta identificação foram corrigidas suas antigas leituras em 0,694 m.

O **Gráfico 5.2** a seguir apresentam as medições de descarga líquida disponíveis, considerando os levantamentos disponíveis no banco de dados da ANA e as levantadas em campanhas desenvolvidas recentemente.

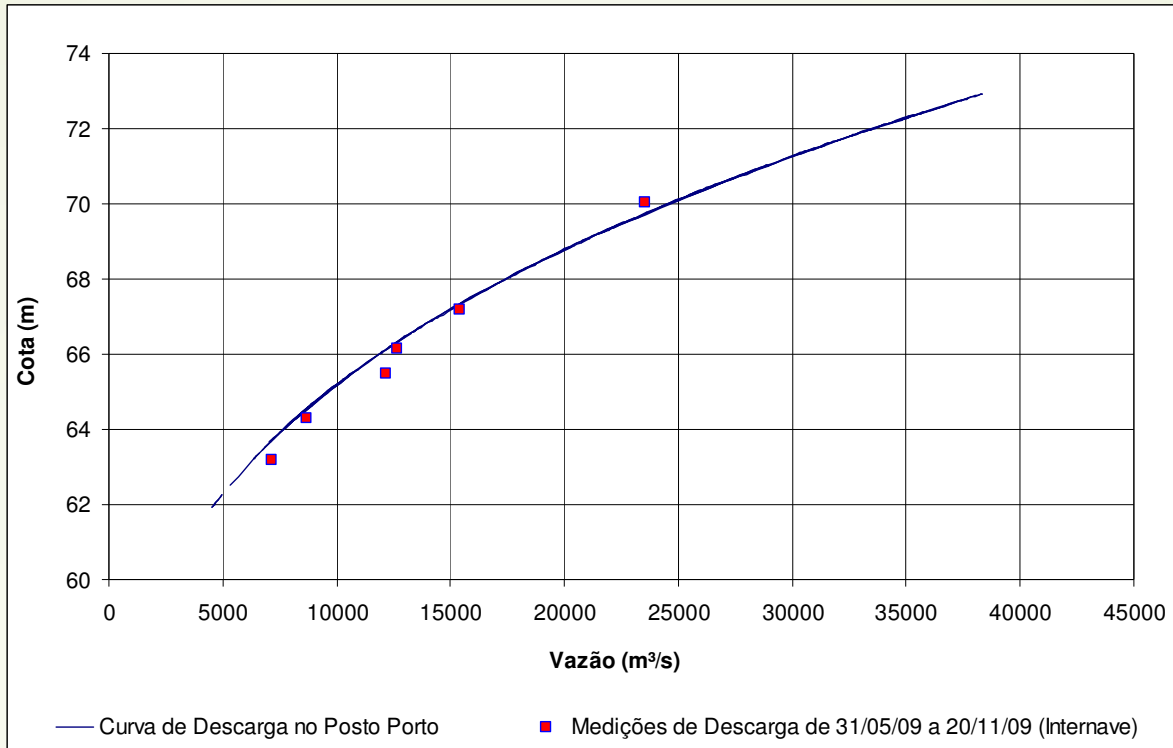
**Gráfico 5.2 – Medições no rio Madeira em Palmeiral**



No **Gráfico 5.3** a seguir são apresentadas as medições de descarga líquida obtidas na estação Porto, no rio Madeira, localizada a jusante do eixo do aproveitamento, cujos valores são comparados com a curva-chave elaborada pela Themag Engenharia, no âmbito do Projeto Executivo.

As medições de descarga líquida apresentadas referem-se as 06 (seis) campanhas efetuadas pela INTERNAVE.

**Gráfico 5.3 – Medições no rio Madeira em Porto**



Com relação às medições de descarga sólida, no período contemplado neste relatório, foram realizadas pela INTERNAVE 03 (três) campanhas com coleta de sedimentos nas mesmas seções de medições de descarga líquida: Abunã-Vila, Palmeiral e Porto.

Destas estações, apenas Abunã-Vila dispõem de dados de concentração de sólidos em suspensão, em número bastante reduzido:

- Na fase do Estudos de Inventário Hidrelétrico e do Estudo de Viabilidade, foram realizadas medições complementares, totalizando 31 medições, cobrindo o período de 16/05/2002 a 09/09/2004.
- No Banco de Dados Hidrológico da ANA, constam apenas 04 (quatro) medições, cobrindo o período de 16/08/1984 a 08/09/2007.
- As medições realizadas pela INTERNAVE compreendem 03 (três) campanhas bimestrais.

No **Quadro 5.2** a seguir são apresentadas as vazões sólidas em suspensão em Abunã-Vila obtidas nas diferentes campanhas realizadas.

O **Gráfico 5.4** inserido na seqüência ilustra as medições existentes, onde são correlacionadas a vazão líquida e a concentração do sedimento.



Quadro 5.2 – Medições Existentes na Estação Abunã-Vila

Data	Q <sub>Líquida</sub>	Concentração	Q <sub>Sólida Suspensão</sub>	Obs.
	(m <sup>3</sup> /s)		(ppm)	
16/5/2002	19.018	723,55	1.188.905	1
20/5/2002	18.644	582,04	937.574	
22/5/2002	18.605	460,99	741.029	
3/11/2003	8.052	588	409.350	2
<b>12/3/2004</b>	<b>20.706</b>	<b>2.155</b>	<b>3.855.068</b>	
16/3/2004	22.696	615	1.204.978	
24/3/2004	26.682	788	1.816.603	
29/3/2004	26.975	1.002	2.336.256	
7/4/2004	22.204	690	1.323.883	
13/4/2004	23.476	606	1.230.001	
22/4/2004	23.178	837	1.675.584	
28/4/2004	28.456	813	1.998.561	
5/5/2004	21.303	719	1.323.387	
12/5/2004	21.345	583	1.075.554	
19/5/2004	16.925	447	653.354	
27/5/2004	15.416	437	582.047	
4/6/2004	16.454	565	802.491	
9/6/2004	13.414	239	277.462	
18/6/2004	13.755	354	420.115	
25/6/2004	9.696	141	117.954	
30/6/2004	9.140	197	155.804	
7/7/2004	8.934	264	203.544	
15/7/2004	7.899	246	167.548	
21/7/2004	7.790	310	208.791	
29/7/2004	5.927	170	87.258	
4/8/2004	8.179	194	136.945	
12/8/2004	5.866	720	364.781	
19/8/2004	5.335	127	58.309	
26/8/2004	4.230	120	43.707	
2/9/2004	5.115	214	94.443	
9/9/2004	4.089	476	168.291	
28/5/2009	22784	376	740.972	3
12/8/2009	9547	343	283.325	
6/10/2009	7650	624	412.586	
16/8/1984	6581	56,7	32.217	4
20/10/1984	3843	46,4	15.393	
6/12/1984	20528	644,9	1.143.860	
8/9/2007	2938	44,2	11.212	

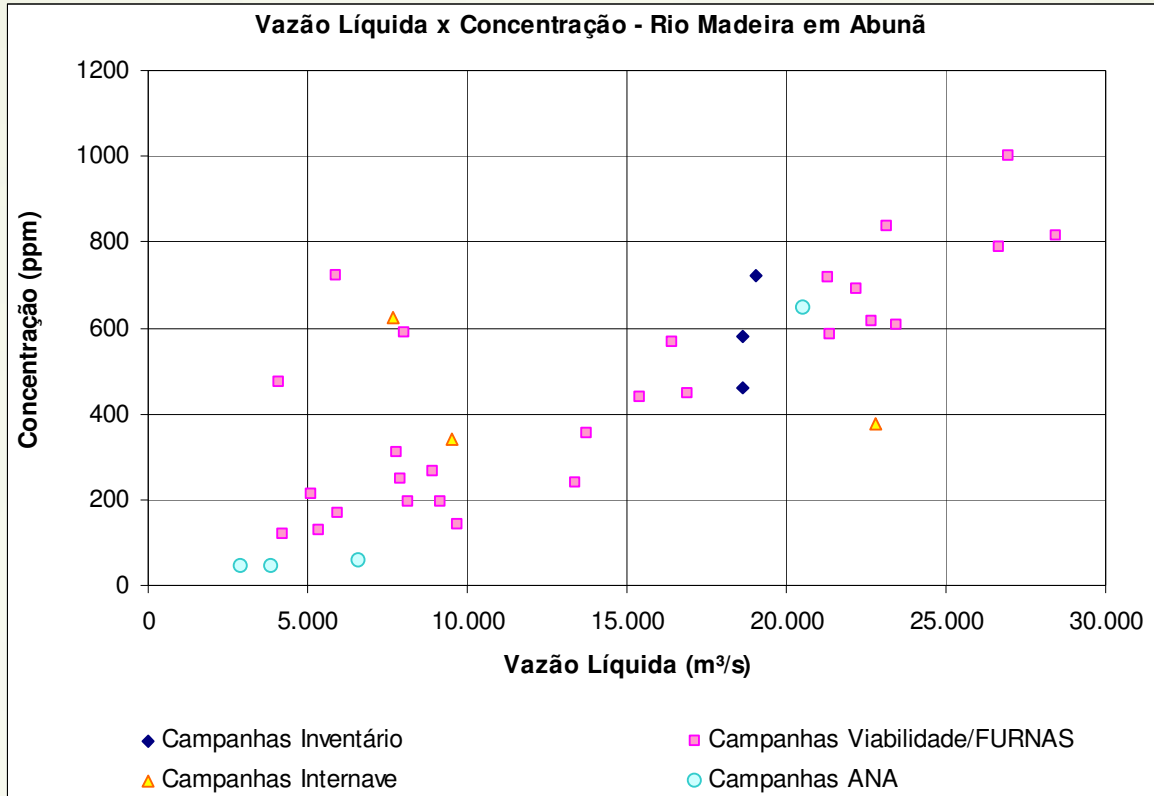
<sup>(1)</sup> Campanhas realizadas na Fase do Estudo de Inventário Hidrelétrico.

<sup>(2)</sup> Campanhas realizadas na Fase do Estudo de Viabilidade (FURNAS).

<sup>(3)</sup> Campanhas recentes realizadas pela INTERNAVE.

<sup>(4)</sup> Dados disponíveis na ANA - Agência Nacional de Águas (Hidroweb).

Gráfico 5.4 – Medições Existentes na Estação Abunã-Vila



**5.6. Desenvolvimento do Banco de Dados Hidrossedimentométrico**

No escopo do Programa de Monitoramento Hidrossedimentológico esta sendo desenvolvido um banco de dados, de modo a disponibilizar e tornar público as informações existentes e aquelas coletadas no âmbito do presente programa.

O banco de dados hidrossedimentométrico do AHE Jirau procura reunir em uma única base as informações de interesse obtidas na área de influência do aproveitamento.

O sistema em desenvolvimento será provido de um banco de dados relacional em formato ACCESS, dotado de uma interface usuário-sistema amigável estruturado através do aplicativo Visual Basic, que disponibilizará os recursos de consulta e atualização da base de informações.

O sistema está sendo concebido para operar em microcomputadores do tipo PC em ambiente operacional Windows onde deverá estar residente o Microsoft Access 2000 ou versão mais recente. Neste banco de dados irão residir as séries temporais de precipitação, de vazão, dados de levantamentos topobatimétricos de seções transversais e informações relacionadas à sedimentometria.

O acesso à base de dados será realizado através de um menu de tela, que permite ao usuário a realização de consultas, alterações ou atualização das informações residentes no sistema, disponibilizando relatórios padronizados e apropriados a cada tema.

O banco de dados ACCESS é composto de um conjunto de tabelas, onde deverão residir as informações relacionadas aos diversos temas. Algumas das telas principais são apresentadas a seguir (**Figuras 5.8 a 5.19**), a título ilustrativo, identificando interfaces de entrada, saída e telas principais de visualização do banco de dados.

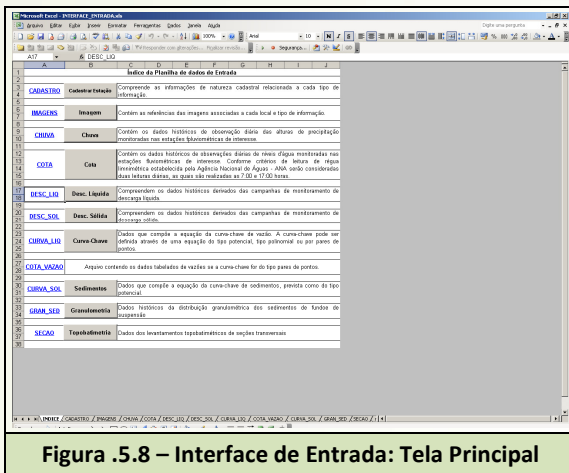


Figura .5.8 – Interface de Entrada: Tela Principal

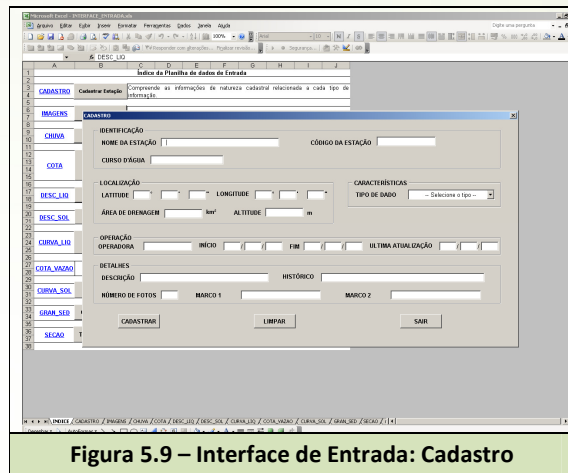


Figura 5.9 – Interface de Entrada: Cadastro

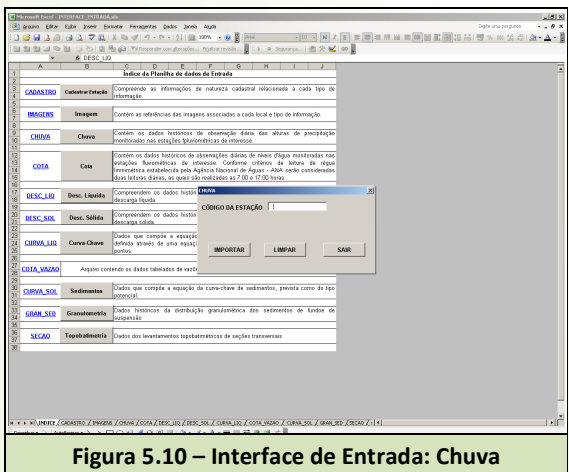


Figura 5.10 – Interface de Entrada: Chuva

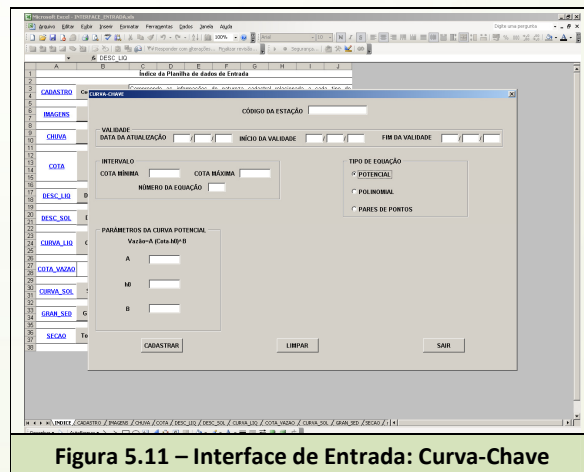
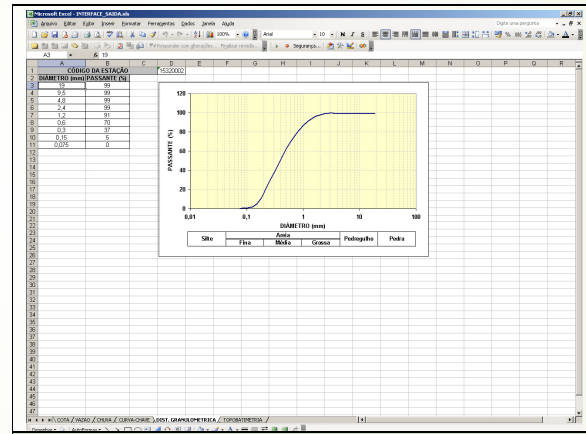


Figura 5.11 – Interface de Entrada: Curva-Chave

**Figura 5.12 – Interface de Entrada: Sedimentos**

**Figura 5.13 – Interface de Entrada: Granulometria**

**Figura 5.14 – Interface de Saída: Planilha**



**Figura 5.16 – Tela de Apresentação Inicial**

**Figura 5.17 – Tela de Seleção de Variáveis**

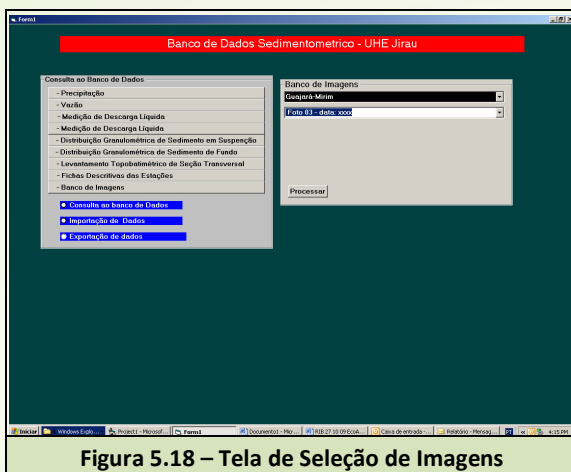


Figura 5.18 – Tela de Seleção de Imagens



Figura 5.19 – Tela de Visualização Fotográfica

### 5.7. Leituras de Nível d'Água nas Estações Linimétricas

No período em questão, foram realizadas leituras contínuas de réguas nas estações existentes ao longo do rio Madeira, na área de interesse do aproveitamento. O **Quadro 5.3** a seguir apresenta as informações principais de cada estação monitorada.

Quadro 5.3 – Estações Monitoradas no rio Madeira

Estação	Código ANA	Entidade Operadora	Curso d'água	Coordenadas <sup>(*)</sup>		Início de Operação
				Latitude	Longitude	
Guajará-Mirim <sup>(1)</sup>	15250000	CPRM	Mamoré	10°20'52"	65°20'52"	08/1970
Abunã <sup>(1)</sup>	15320002	CPRM	Madeira	09°42'16"	65°21'54"	02/1976
RJ6 Pederneira	-	Leme	Madeira	09°38'43"	65°26'50"	01/2009
RJ5 Tamborete	-	Leme	Madeira	09°31'37"	65°19'26"	12/2008
RJ4 Mutum	-	Leme	Madeira	09°35'25"	64°56'50"	12/2008
Palmeiral <sup>(2)</sup>	15340000	Leme	Madeira	09°30'60"	64°48'50"	02/1978 <sup>(2)</sup> 01/2009
Porto	-	Leme	Madeira	09°14'56"	64°37'36"	06/2008
RS1 Teotônio	-	Leme	Madeira	08°51'43"	64°03'48"	12/2008
RS2 Morrinhos	-	Leme	Madeira	09°01'53"	64°11'14"	12/2008
RS3 Lucas	-	Leme	Madeira	09°12'09"	64°36'27"	11/2008
R2 Ilha	-	Leme	Madeira	09°16'00"	64°39'25"	06/2008
R1 Montante	-	Leme	Madeira	09°17'10"	64°39'32"	06/2008
R3 Bananal	-	Leme	Madeira	09°16'59"	64°39'14"	06/2008
RJ1 Jirau	-	Leme	Madeira	09°19'30"	64°43'30"	01/2009
RJ2 Jirau	-	Leme	Madeira	09°21'03"	64°43'37"	01/2009

<sup>(1)</sup> As estações Guajará-Mirim e Abunã-Vila são de responsabilidade da Agência Nacional de Águas.

<sup>(2)</sup> Estação desativada em 08/1986 e seção de réguas reinstalada em 01/2009 pela Leme Engenharia, em local próximo à antiga seção.

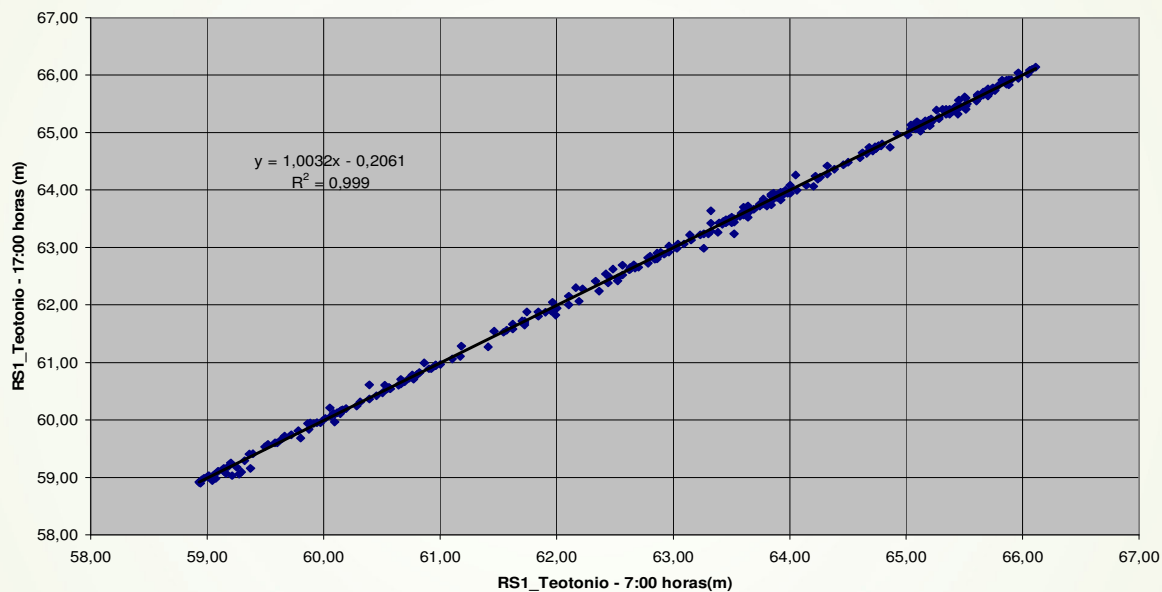
<sup>(\*)</sup> As coordenadas das estações linimétricas foram extraídas do documento fornecido pela Leme Engenharia, que é responsável pela operação atual das instalações.



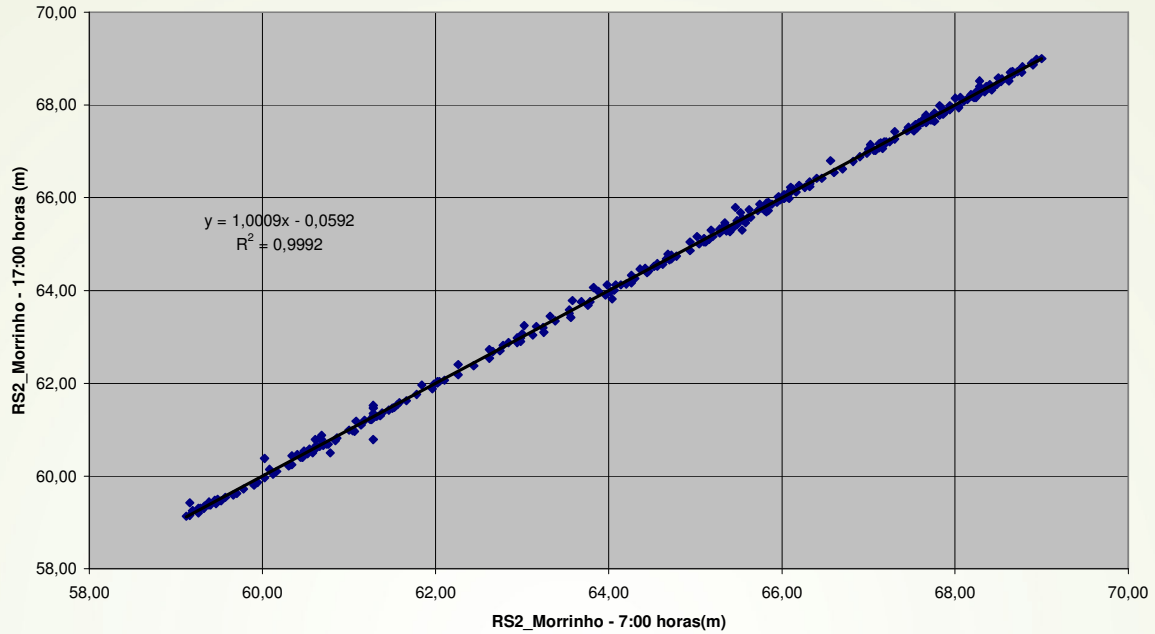
As **Figuras 5.13 e 5.14** apresentadas no Anexo indicam as posições das estações distribuídas no rio Madeira.

A totalidade dos dados coletados refere-se desde o início da operação da rede hidrométrica em 27/10/2008. A fim de se verificar a consistência destas leituras diárias, foram realizadas correlações entre cotas lidas diariamente às 7h 00min e às 17h 00min em cada um dos locais monitorados.

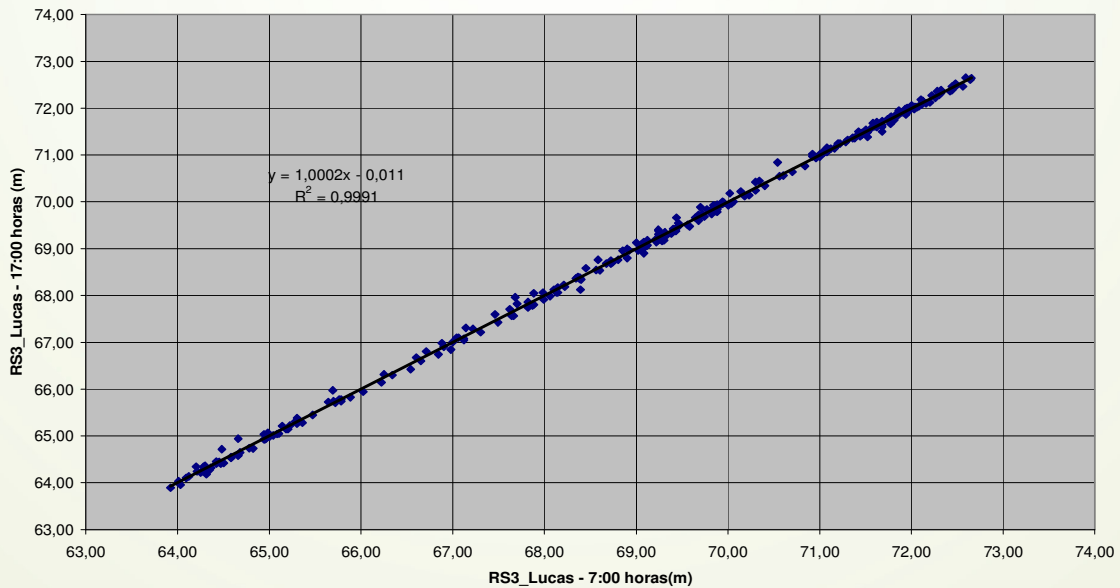
Tal análise é válida para bacias de grande porte, como é o caso da área de contribuição do rio Madeira, e permite identificar eventuais erros grosseiros nas leituras feitas diariamente. As **Figuras 5.20 a 5.33** apresentam as correlações realizadas para cada estação.



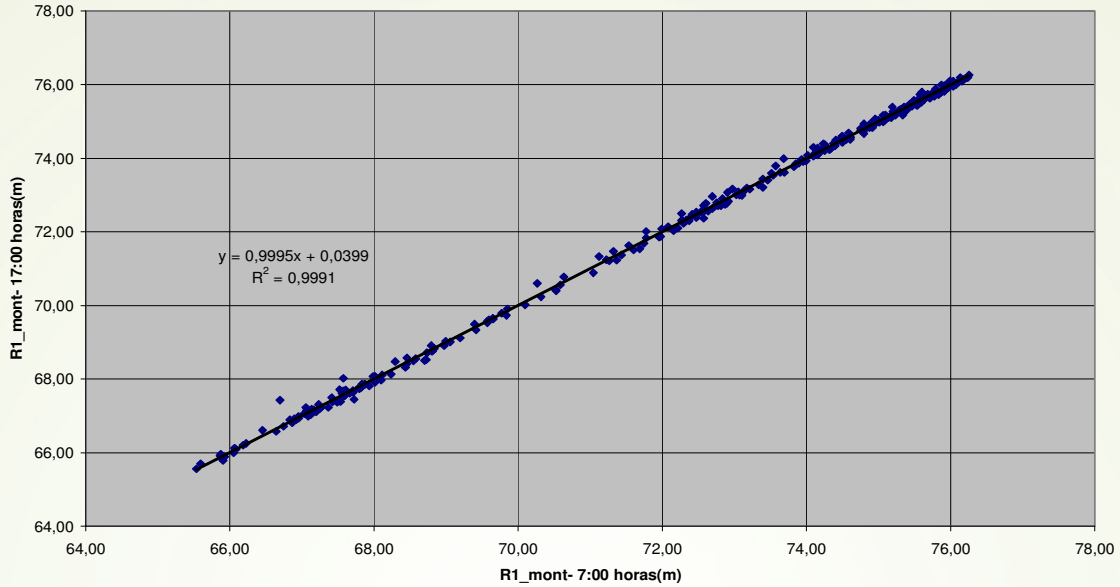
**Figura 5.20 – Rio Madeira em RS1 Teotônio – Correlação de Cotas Diárias**



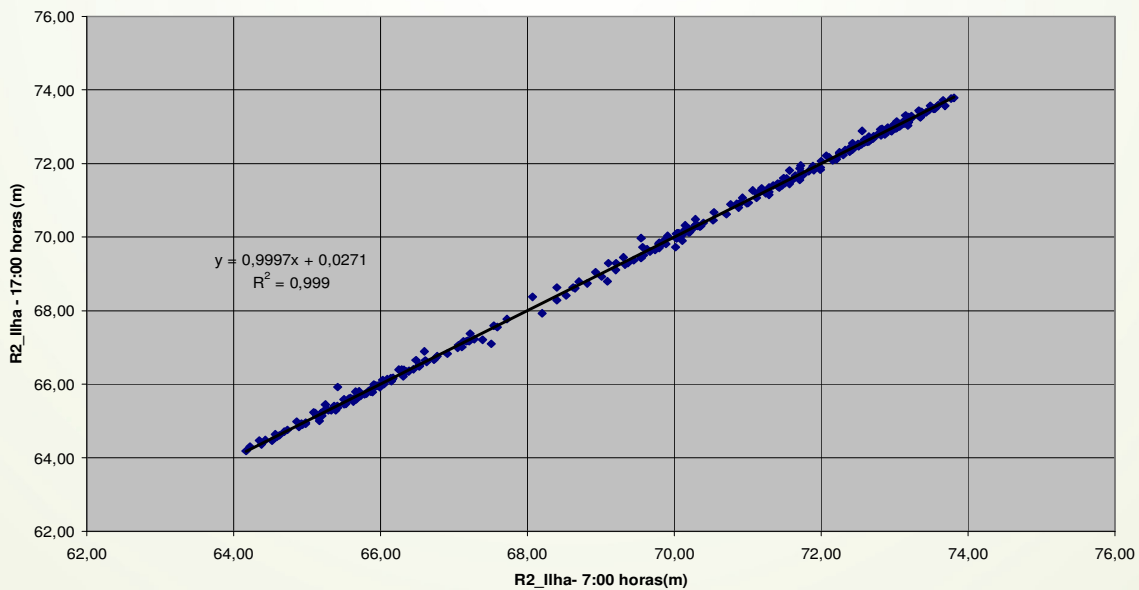
**Figura 5.21 – Rio Madeira em RS2 Morrinho – Correlação de Cotas Diárias**



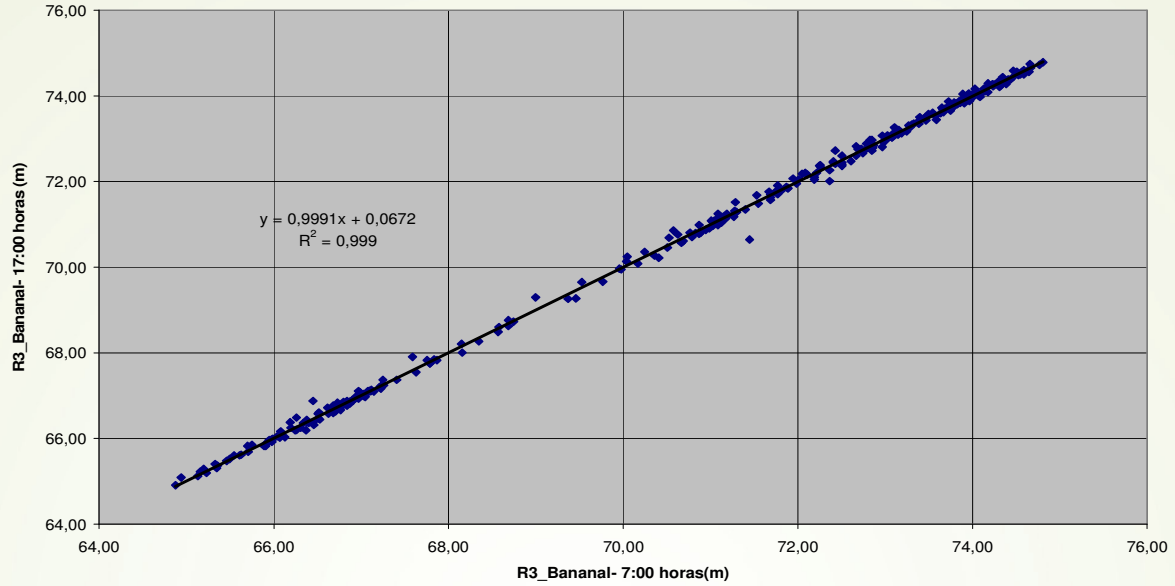
**Figura 5.22 – Rio Madeira em RS3 Lucas – Correlação de Cotas Diárias**



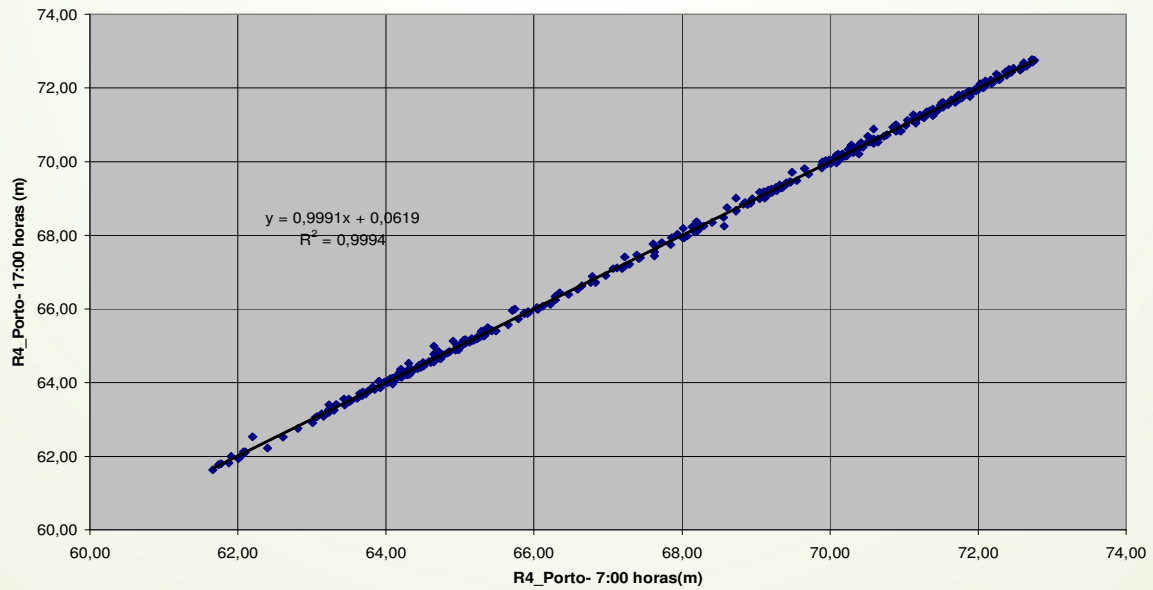
**Figura 5.23 – Rio Madeira em R1 Montante – Correlação de Cotas Diárias**



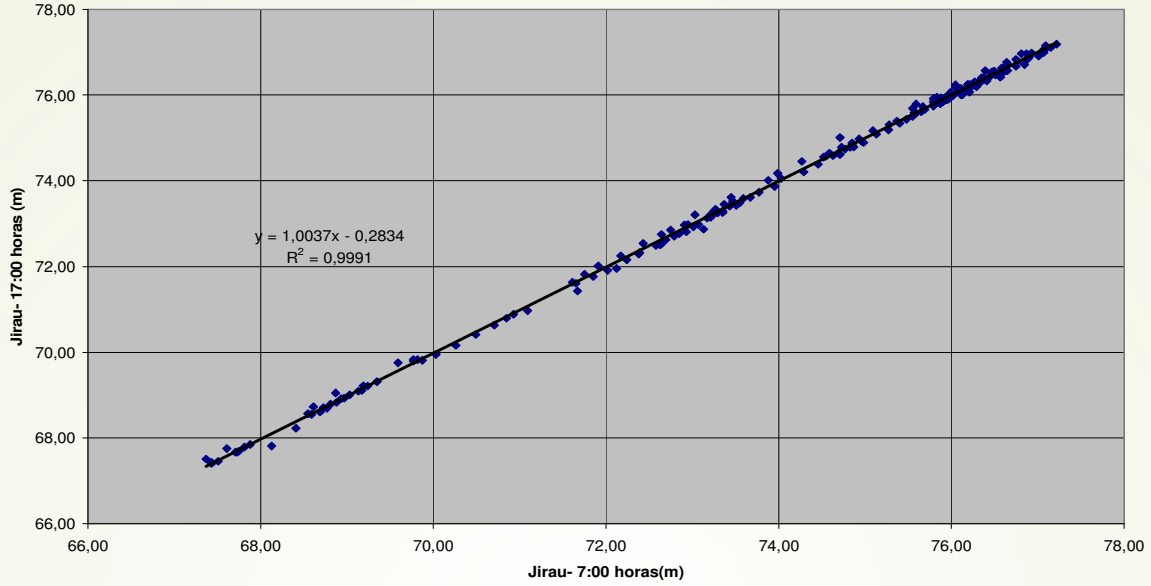
**Figura 5.24 – Rio Madeira em R2 Ilha – Correlação de Cotas Diárias**



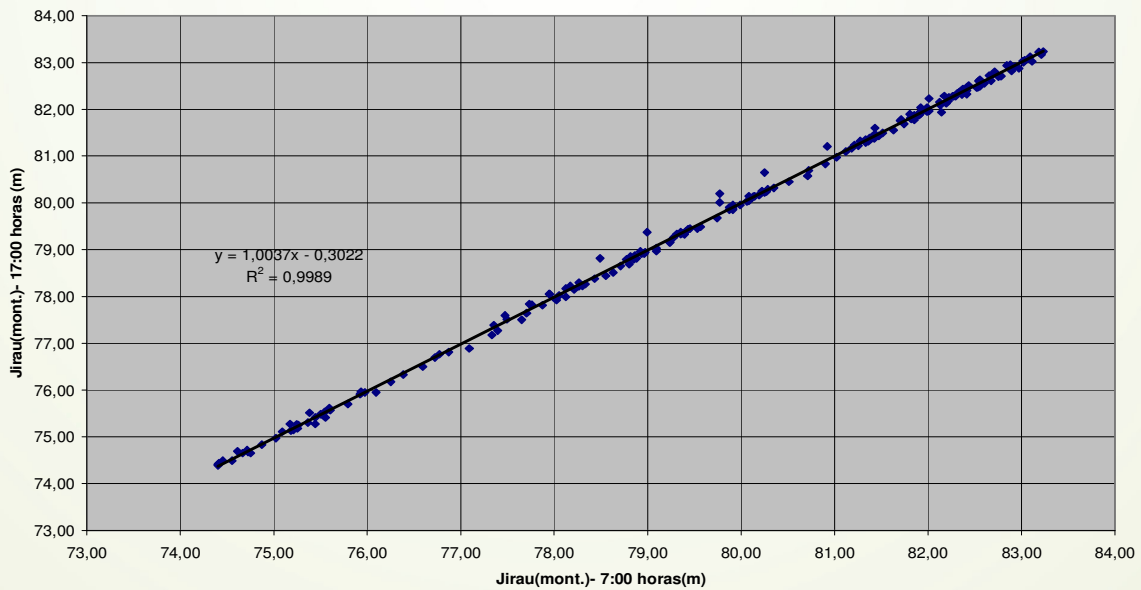
**Figura 5.25 – Rio Madeira em R3 Bananal – Correlação de Cotas Diárias**



**Figura 5.26 – Rio Madeira em Porto – Correlação de Cotas Diárias**

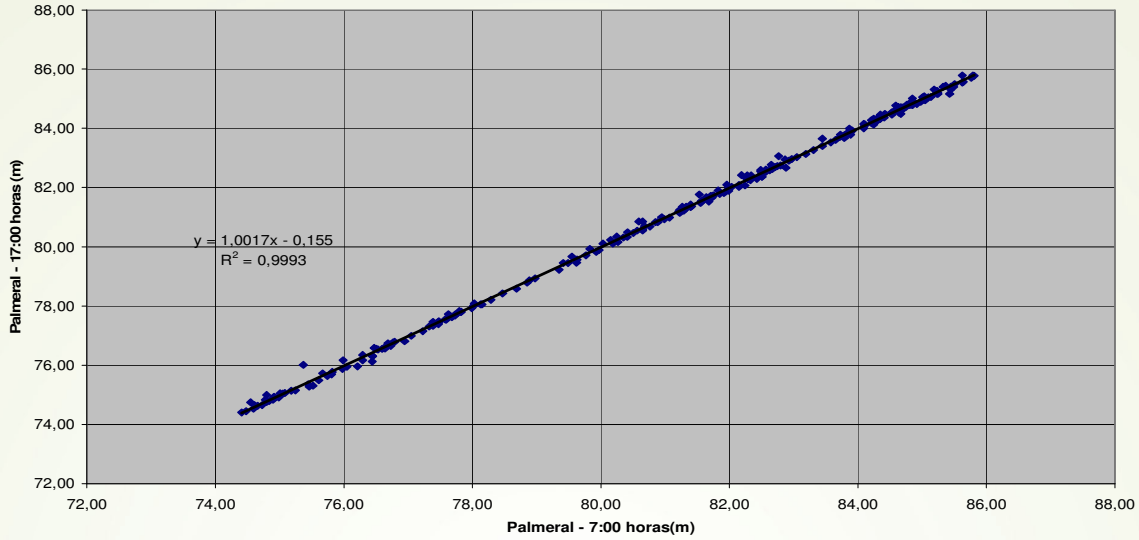


**Figura 5.27 – Rio Madeira em RJ1 Jirau – Correlação de Cotas Diárias**

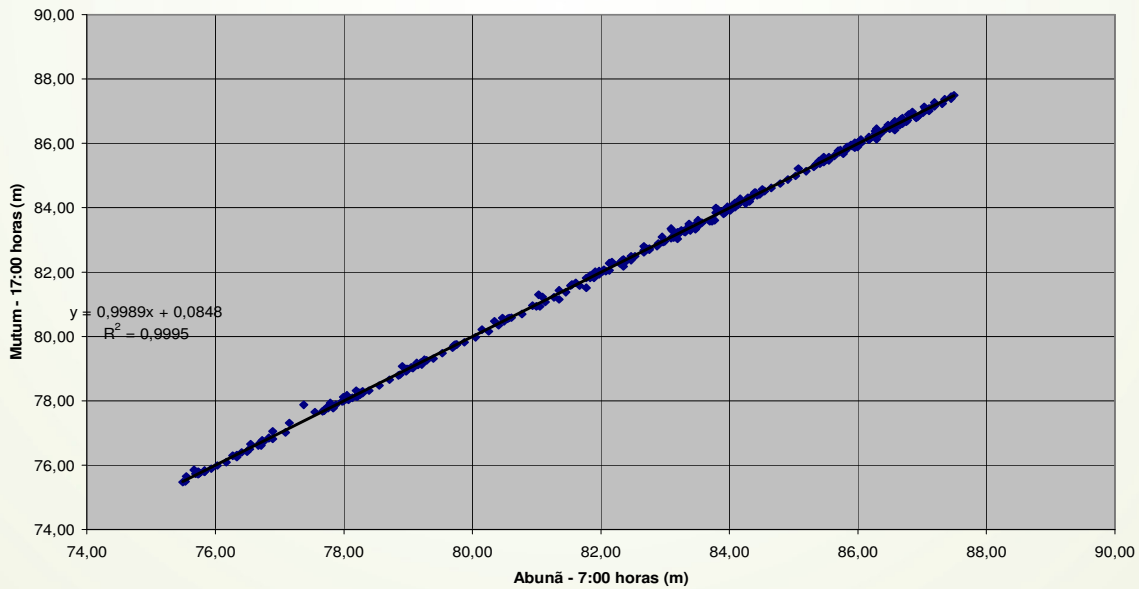


**Figura 5.28 – Rio Madeira em RJ2 Jirau Montante – Correlação de Cotas Diárias**

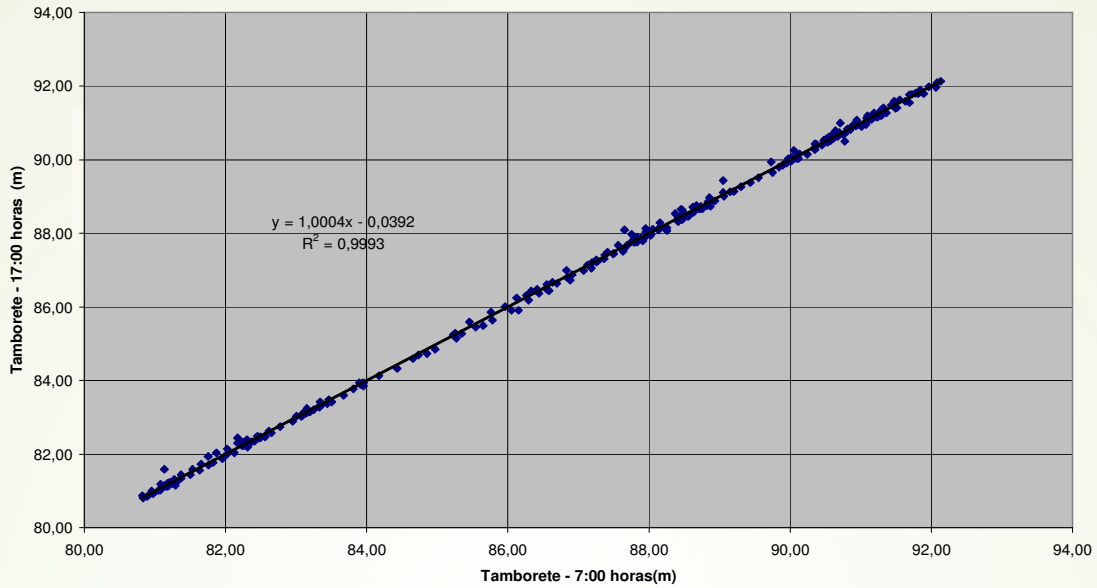




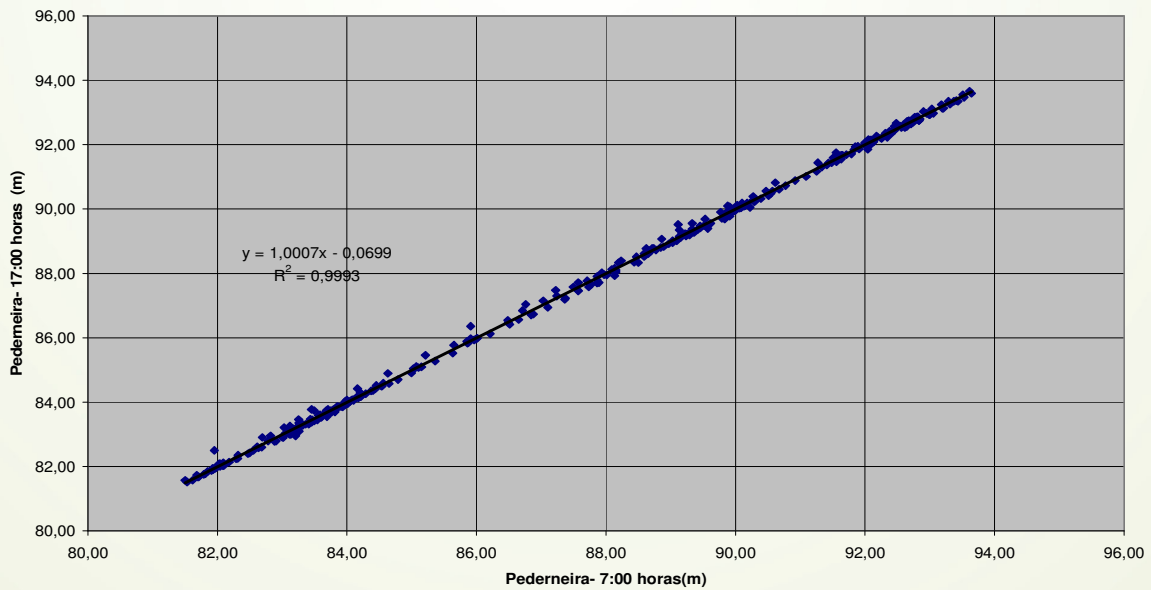
**Figura 5.29 – Rio Madeira em RJ3 Palmeral – Correlação de Cotas Diárias**



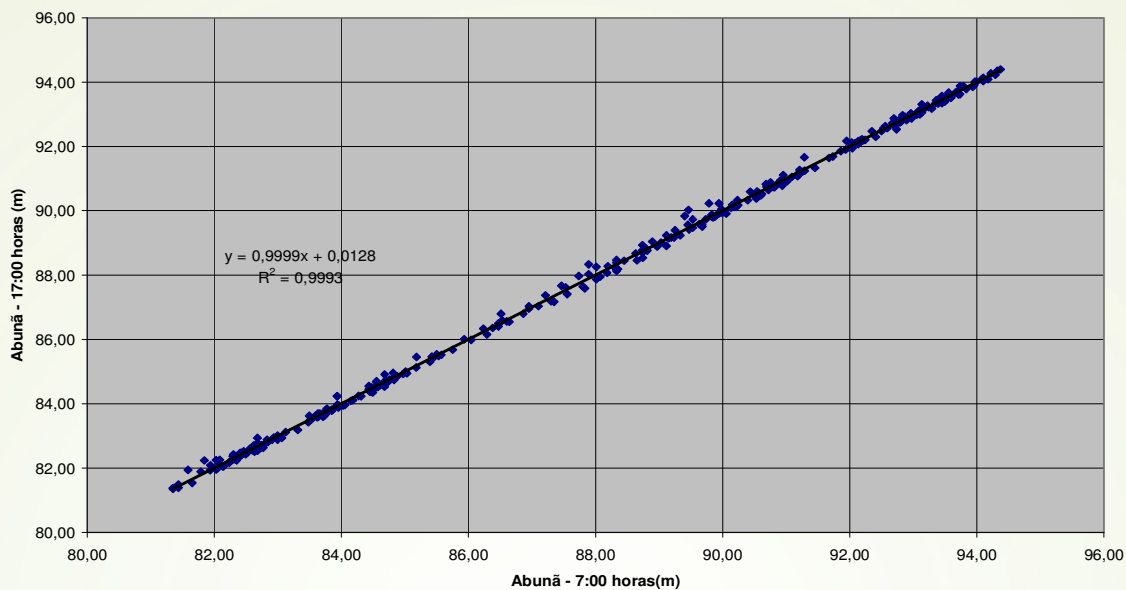
**Figura 5.30 – Rio Madeira em RJ4 Mutum – Correlação de Cotas Diárias**



**Figura 5.31 – Rio Madeira em RJ Tamborete – Correlação de Cotas Diárias**

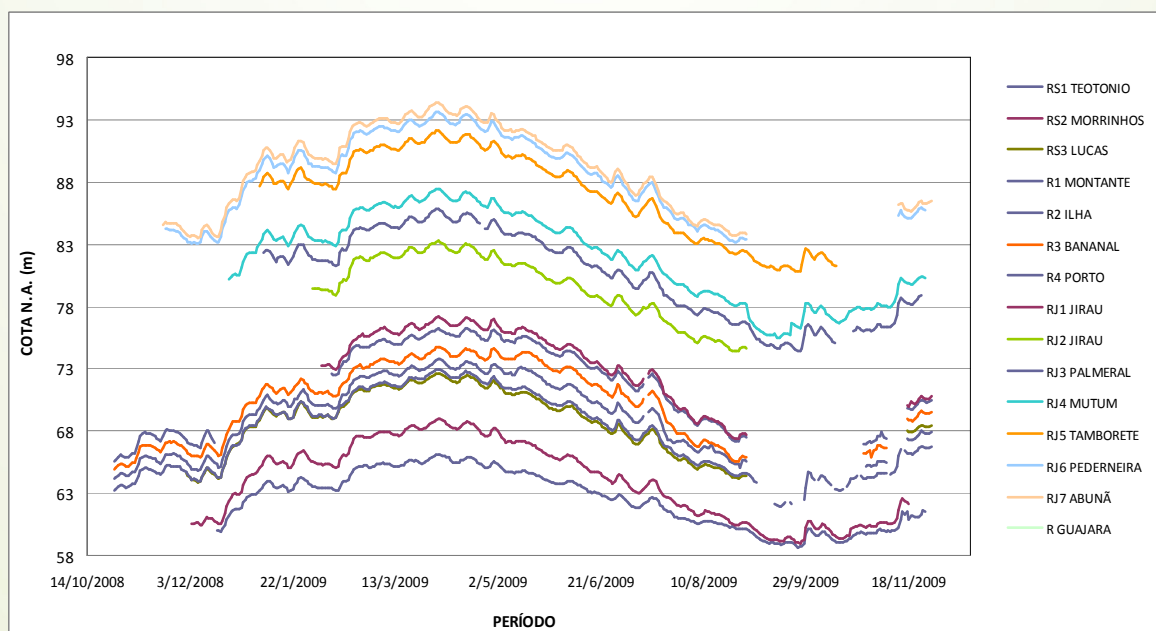


**Figura 5.32 – Rio Madeira em RJ6 Pederneira – Correlação de Cotas Diárias**



**Figura 5.33 – Rio Madeira em RJ7 Abunã – Correlação de Cotas Diárias**

Por fim, é apresentado na **Figura 5.34** abaixo o cotograma com as leituras das estações realizadas desde o início de operação da rede hidrométrica até o final do período de abrangência deste relatório (30/11/2009).



**Figura 5.34 – Cotograma das Estações Linimétricas no rio Madeira**

## 6 Visita de Campo

Foi realizada no período entre 28 e 29/07/2009, uma visita de campo, onde foram percorridos os locais das réguas linimétricas instaladas ao longo do rio Madeira e tributários, mais especificamente aquelas situadas na área de influência do AHE Jirau. No total foram visitadas 12 das 15 estações existentes.

No **Quadro 6.1** abaixo são apresentadas as estações inspecionadas, sendo que 02 (duas) destas são operadas pela CPRM, sob responsabilidade da ANA. As demais estações são atualmente operadas pela empresa GEONORTE do Brasil Ltda, subcontratada da Leme Engenharia.

**Quadro 6.1 – Estações Inspeccionadas Durante a Visita de Campo**

Estação	Código ANA	Entidade Operadora	Curso d'água	Coordenadas <sup>(*)</sup>		Início de Operação
				Latitude	Longitude	
Guajará-Mirim <sup>(1)</sup>	15250000	CPRM	Mamoré	10°20'52"	65°20'52"	08/1970
Abunã-Vila <sup>(1)</sup>	15320002	CPRM	Madeira	09°42'16"	65°21'54"	02/1976
RJ6 Pederneira	-	Leme	Madeira	09°38'43"	65°26'50"	01/2009
RJ5 Tamborete	-	Leme	Madeira	09°31'37"	65°19'26"	12/2008
RJ4 Mutum	-	Leme	Madeira	09°35'25"	64°56'50"	12/2008
Palmeiral <sup>(2)</sup>	15340000	Leme	Madeira	09°30'60"	64°48'50"	02/1978 <sup>(2)</sup> 01/2009
Porto	-	Leme	Madeira	09°14'56"	64°37'36"	06/2008
RS3 Lucas	-	Leme	Madeira	09°12'09"	64°36'27"	11/2008
R2 Ilha	-	Leme	Madeira	09°16'00"	64°39'25"	06/2008
R1 Montante	-	Leme	Madeira	09°17'10"	64°39'32"	06/2008
R3 Bananal	-	Leme	Madeira	09°16'59"	64°39'14"	06/2008
RJ1 Jirau	-	Leme	Madeira	09°19'30"	64°43'30"	01/2009

<sup>(1)</sup> As estações Guajará-Mirim e Abunã-Vila são de responsabilidade da Agência Nacional de Águas.

<sup>(2)</sup> Estação desativada em 08/1986 e seção de réguas reinstalada em 01/2009 pela Leme Engenharia, em local próximo à antiga seção.

<sup>(\*)</sup> As coordenadas das estações linimétricas foram extraídas do documento fornecido pela Leme Engenharia, que é responsável pela operação atual das instalações.

A visita contou com a participação de representantes da ESBR, professores da COPPE, responsáveis pela modelagem matemática, e técnicos da empresa CNEC Engenharia. Houve visita ao local do canteiro de obras de Jirau e ao local das estações fluviométricas e locais das réguas linimétricas. Nesta visita de reconhecimento, procurou-se aferir aspectos relacionados às condições de instalação das réguas linimétricas e sua representatividade em função dos condicionantes hidráulicos locais.

O local das estações distribuídas no rio Madeira, são apresentadas nas Figuras 5.13 e 5.14 anexas ao presente documento (Anexo 1).

O Registro Fotográfico da visita de campo às estações linimétricas existentes consta do item 7 a seguir.

## 7 Relatório Fotográfico

Apresenta-se um registro fotográfico da visita de campo às estações limimétricas, ocorrida entre os dias 28 e 29/07/2009, de modo a permitir identificar as instalações existentes.



Foto 7.1 – Estação R Guajará, no rio Mamoré



Foto 7.2 – Estação RJ7 Abunã, no rio Madeira



Foto 7.3 – Estação RJ6 Pederneira, no rio Madeira



Foto 7.4- Estação RJ5 Tamborete, no rio Madeira





Foto 7.5 – Estação RJ4 Mutum, no rio Madeira



Foto 7.6 – Estação RJ3 Palmeiral, no rio Madeira



Foto 7.7 – Estação R4 Porto, no rio Madeira



Foto 7.8- Estação RS3 Lucas, no rio Madeira



Foto 7.9 – Estação R2 Ilha, no rio Madeira



Foto 7.10 – Estação R1 Montante, no rio Madeira




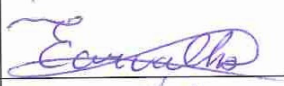

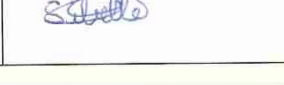
Foto 7.11 – Estação R3 Bananal, no rio Madeira



Foto 7.12 – Estação RJ1 Jirau, no rio Madeira

## 8 Equipe Técnica de Trabalho

Lista-se, a seguir, a relação dos profissionais da empresa CNEC Engenharia alocados na elaboração das atividades realizadas no Programa de Monitoramento Hidrossedimentológico no semestre em questão.

Nome do Profissional	RG	Qualificação	Função no Contrato	Assinatura
Roni Cleber Boni	173541501	Engº Civil	Coordenador	
Humberto J. Teixeira	3819914	Engº Civil	Hidrologia e Sedimentologia	
Eurico de Carvalho Filho	341350176	Engº Físico	Levantamento e Análise de Dados	
Anderson F. Borges	416320958	Técnicos	Elaboração de Desenhos	
Sibelle Siqueira Meireles	491686390	Ajudante de Aprendiz	Digitação	

São Paulo, 27 de Novembro de 2009



**Roni Cleber Boni**  
CNEC Engenharia S.A  
Nº IBAMA: 2624111



## 9 Anexo

É apresentado, em anexo, 07 (sete) Figuras elaboradas a partir do Levantamento Aerofotogramétrico (Aeromapa – 2002) e das informações coletadas dos relatórios finais dos serviços de campo (PETCON – 2009) com indicação das seções batimétricas levantadas nas duas campanhas de campo.

Para as estações linimétricas existentes nos rios Madeira e Abunã, na região de implantação do AHE Jirau, as informações foram obtidas da Leme Engenharia.

Figura 5.8 a 5.11: Localização das Seções Batimétricas no rio Madeira e rio Abunã

Figura 5.12: Localização das Seções Batimétricas no rio Madeira na Proximidade do Eixo do Aproveitamento

Figura 5.13 e 5.14: Rede de Estações Linimétricas/Fluviométricas