

Manual Técnico sobre Medição de Descarga Líquida em Grandes Rios

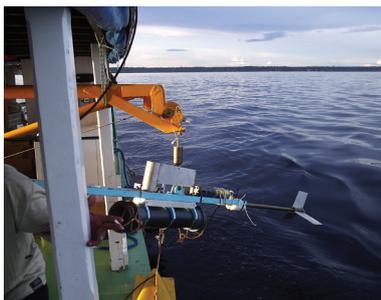


Foto: Paulo Gamaro/Banco de imagens ANA



Foto: Douglas/Banco de imagens ANA



Foto: Prado/Banco de imagens ANA



Foto: Solange/Banco de imagens ANA



Foto: Marcos/Banco de imagens ANA



Foto: Sílvia/Banco de imagens ANA



Foto: Maurício/Banco de imagens ANA



Foto: Ralph/Banco de imagens ANA



Foto: Bragança/Banco de imagens ANA

Agência Nacional de Águas
Ministério do Meio Ambiente

Medição de DESCARGA LÍQUIDA em **Grandes Rios**

MANUAL TÉCNICO

2ª Edição

Superintendência de Gestão da Rede Hidrometeorológica

Brasília – DF

2014

© 2014, Agência Nacional de Águas (ANA).
Setor Policial Sul, Área 5, Quadra 3, Blocos B, L, M e T
CEP 70610-200, Brasília – DF
PABX: (61) 2109 5400 / (61) 2109 5252
Endereço eletrônico: www.ana.gov.br

Comitê de editoração

João Gilberto Lotufo Conejo
Diretor

Reginaldo Pereira Miguel
Representante da Procuradoria Geral

Sérgio Rodrigues Ayrimoraes Soares
Ricardo Medeiros de Andrade
Joaquim Guedes Corrêa Gondim Filho
Superintendentes

Mayui Vieira Guimarães Scafura
Secretária-Executiva

Equipe editorial

Coordenação Geral do Material Técnico: Valdemar Santos Guimarães

Edição do Material Técnico: André Luis Martinelli dos Santos, Celso Rosa de Ávila, Fabrício Vieira Alves, Marcelo Wangler de Ávila, Márcio de Oliveira Cândido, Matheus Marinho de Faria e Moacyr Carvalho de Aquino

Revisão de Texto: Leny Simone Tavares Mendonça

Fotografias: Banco de Imagens ANA. As demais fotos foram tiradas na sessão de medição do Rio Solimões em Manacapuru/AM.

“As ilustrações, tabelas e quadros que não apresentam fonte foram elaboradas no âmbito da SGH/ANA”

Capa: Rio Amazonas, AM – Gérard Moss / Banco de imagens ANA

Todos os direitos reservados.

É permitida a reprodução de dados e informações contidos nesta publicação, desde que citada a fonte.

Catálogo na fonte: CEDOC / BIBLIOTECA

A265m Agência Nacional de águas (Brasil)
Medição de descarga líquida em grandes rios: manual técnico / Agência Nacional de Águas. -- 2. ed. -- Brasília: ANA, 2014.
94p : il.

ISBN 978-85-8210-026-4

1. Recursos hídricos. 2. Fluviometria. 3. Medição de vazão. 4. Manual técnico grandes rios. I. Agência Nacional de Águas (Brasil). II. Superintendência de Gestão da Rede Hidrometeorológica. III. Título.

CDU556.18:556.08(035)

LISTA DE FIGURAS



| | |
|---|----|
| 1 - Estações fluviométricas em operação no Brasil..... | 14 |
| 2 - Estações pluviométricas em operação no Brasil..... | 15 |
| 3 - Régua de alumínio anodizado e pintada sobre concreto..... | 16 |
| 4 - Seção de régua sem escadaria e com escadaria..... | 16 |
| 5 - Linígrafo de bóia (modelo stevens) e poço tranqüilizador..... | 17 |
| 6 - Linígrafos de pressão de bolhas e transdutor eletrônico..... | 17 |
| 7 - Linígrafo de boia digital..... | 17 |
| 8 - Referência de nível de concreto..... | 17 |
| 9 - Pluviômetros "Ville de Paris" e modelo DNAEE e proveta..... | 18 |
| 10 - Pluviógrafos de bóia, balança e cubas basculantes (PCD)..... | 19 |
| 11 - Pluviógrafo digital (sensor de chuva com <i>datalogger</i>)..... | 19 |
| 12 - Método direto de posicionamento com cabo de aço graduado..... | 22 |
| 13 - Utilização do sextante..... | 23 |
| 14 - Parâmetros para cálculo da posição da vertical B..... | 23 |
| 15 - Utilização do teodolito para posicionamento do barco e alvos de visada..... | 24 |
| 16 - Variáveis envolvidas no posicionamento do barco..... | 24 |
| 17 - Utilização DGPS na margem (base) e no barco (móvel)..... | 25 |
| 18 - Métodos de batimetria: à vau, guincho hidrométrico e ecobatímetro..... | 26 |
| 19 - Ecobatímetro com detalhe do transdutor..... | 26 |
| 20 - Grandezas necessárias para determinação da descarga líquida..... | 30 |
| 21 - Partes do molinete (corpo e hélice) e o passo da hélice..... | 31 |
| 22 - Relação entre a velocidade da água e as rotações medidas pelo molinete..... | 31 |
| 23 - Estrutura do guincho (cabo de aço e medidor da profundidade do molinete) e do molinete e lastro (formato hidrodinâmico)..... | 32 |
| 24 - Instalação do ecobatímetro na lateral do barco, contador digital de pulsos e registrador de dados do ecobatímetro..... | 32 |
| 25 - Cálculo da seção média - verificação das verticais e áreas..... | 33 |
| 26 - Cálculo da meia seção - verificação das verticais e áreas..... | 34 |
| 27 - Curva de descarga de controle único..... | 36 |
| 28 - Curva de descarga com mudança de controle..... | 37 |
| 29 - Medições de descarga indicando curva de descarga em laço..... | 37 |
| 30 - Seção de medição com o PI E PF e verticais de medição de velocidades..... | 40 |
| 31 - Procedimentos para ancoramento do barco..... | 41 |

| | |
|---|----|
| 32 - Cálculo das variáveis D, X, Y com o barco à jusante da seção transversal $PI-PF$ | 41 |
| 33 - Cálculo das variáveis D, X, Y com o barco à montante da seção transversal $PI-PF$ | 42 |
| 34 - Perfil transversal da seção obtida pelo método barco ancorado | 46 |
| 35 - Parâmetros para cálculo da vazão pelo método dos grandes rios | 47 |
| 36 - Posicionamento do barco durante a medição utilizando teodolitos | 47 |
| 37 - Ecobatímetro com contador de pulsos digital do molinete e utilização do rádio comunicador para posicionamento do barco | 48 |
| 38 - Triangulação em Manacapuru/AM e posicionamento dos teodolitos | 48 |
| 39 - Perfil transversal da seção de medição pelo método dos grandes rios | 55 |
| 40 - Medição de vazão pelo método Smoot | 56 |
| 41 - Alvo próximo à margem e contador de pulsos pelo método barco em movimento | 56 |
| 42 - Seção de medição com a utilização do método do barco em movimento | 57 |
| 43 - Equipamentos para medição pelo método Smoot a 1 metro de profundidade | 57 |
| 44 - Eixo vertical fixado na proa do barco e medidor de ângulo | 58 |
| 45 - Perfil transversal da seção de medição pelo método Smoot | 61 |
| 46 - Comparação da medição com ADCP com método convencional (Molinetes) | 61 |
| 47 - Mapeamento da seção transversal pelo ADCP/ADP | 62 |
| 48 - Tela do programa Winriver (RDI Instruments – fabricante do ADCP) | 62 |
| 49 - Tela do programa River Surveyor (Sontek – fabricante do ADP) | 63 |
| 50 - Ondas A – fonte estacionária e B – fonte em movimento | 63 |
| 51 - Medição de descarga líquida pelo método acústico em grandes rios | 65 |
| 52 - Perfil de velocidade da seção medida com o ADCP no Rio Solimões, Manacapuru em 07/08/2002 ($123.619\text{m}^3/\text{s}$) | 65 |
| 53 - Vista dos 3 transdutores do ADP e dos 4 transdutores acústicos do ADCP utilizados para emitir e receber os pulsos sonoros | 66 |
| 54 - Modo como o ADCP mede vazão | 67 |
| 55 - Áreas medidas e calculadas (margens, fundo e topo) pelo ADCP | 67 |
| 56 - Fontes de interferência e forma do sinal emitido por cada transdutor do ADCP | 68 |
| 57 - Extrapolação das áreas não medidas (exponencial) | 68 |
| 58 - Tela de configuração inicial do programa Winriver (ADCP) | 69 |
| 59 - Principais comandos do WH Rio Grande ADCP (RDI) | 69 |
| 60 - Configuração inicial do River Surveyor da Sontek | 69 |
| 61 - Configuration Wizard | 70 |

| | |
|--|----|
| 62 - Ficha de medição de vazão com ADCP | 79 |
| 63 - Estação fluviométrica de "Manacapuru" (14.100.000) | 89 |
| 64 - Estação pluviométrica de "Manacapuru" (00360001) | 89 |
| 65 - Estação telemétrica de "Manacapuru" (14.100.000) | 90 |
| 66 - Alvos da seção de medição de descarga líquida da estação Manacapuru | 91 |
| 67 - Curva-chave da estação Manacapuru/AM (14.100.000) | 91 |



LISTA DE TABELAS

| | |
|---|----|
| 1 - Grandezas Geométricas da Seção | 28 |
| 2 - Grandezas do Escoamento na Seção | 29 |
| 3 - Fórmulas para Cálculo da Velocidade Média na Vertical..... | 30 |
| 4 - Freqüências Máximas de Contagem Teóricas e Práticas..... | 32 |
| 5 - Valores Medidos de Profundidade Total e Ângulos dos Teodolitos para Vertical..... | 42 |
| 6 - Cálculo da Distância (D) do Barco à Margem Esquerda do Rio..... | 43 |
| 7 - Cálculo das Coordenadas (X e Y) do Barco e Velocidade Medida pelo Molinete para a Vertical, Profundidade e Velocidade Integrada..... | 44 |
| 8 - Cálculo das Velocidades Médias, Largura (Método Meia Seção), Área, Vazão em Vertical e Total..... | 45 |
| 9 - Valores Medidos de Profundidade Total e Ângulos Teodolitos para Vertical e Profundidade..... | 49 |
| 10 - Cálculo da Distância (D) Percorrida pelo Barco para cada Vertical e Profundidade..... | 50 |
| 11 - Cálculo das Coordenadas (X e Y) do Barco e Velocidade Medida pelo Molinete para cada Vertical e Profundidade..... | 52 |
| 12 - Cálculo das Velocidades (Molinete, Barco, Longitudinais, Rio), Largura (Método Meia Seção), Área e Vazão para cada Vertical (Método Grandes Rios)..... | 54 |
| 13 - Coeficientes do Molinete Utilizado nas Travessias..... | 58 |
| 14 - Cálculo das Velocidades Médias, Distâncias Percorridas, Áreas Parciais e Vazões Parciais para cada Vertical e Vazão Total da Travessia..... | 59 |
| 15 - Resumo das Medições em cada Travessia e Correção da Vazão em Função da Distância entre as Margens (Kl)..... | 60 |
| 16 - Valores Mínimos e Máximos para Equipamentos WH Rio Grande ADCP (RDI)..... | 70 |
| 17 - Distâncias para o Blanking nos Equipamentos ADCP (RDI)..... | 71 |

SUMÁRIO



| | |
|--|-----------|
| Apresentação | 11 |
| 1 Medição de Variáveis Hidrológicas | 13 |
| 1.1 Nível de água | 15 |
| 1.2 Precipitação | 18 |
| 2 Levantamentos Topográficos e Batimétricos | 21 |
| 2.1 Medidas de distância e ângulo | 22 |
| 2.1.1 Posicionamento com sextante | 23 |
| 2.1.2 Posicionamento com teodolito | 24 |
| 2.1.3 Posicionamento com distanciômetro | 25 |
| 2.1.4 Posicionamento com DGPS | 25 |
| 2.2 Levantamento batimétrico | 26 |
| 3 Medição de Descarga Líquida | 27 |
| 3.1 Variáveis da medição de descarga líquida | 28 |
| 3.2 Método convencional com molinete hidrométrico | 29 |
| 3.3 Métodos de cálculo: seção média e meia seção | 33 |
| 3.3.1 Seção média | 33 |
| 3.3.2 Meia seção | 33 |
| 4 Curva de Descarga Líquida (ou Curva-chave) | 35 |
| 5 Técnicas de Medição da Descarga Líquida em Grandes Rios | 39 |
| 5.1 Método do barco ancorado | 40 |
| 5.2 Método dos grandes rios (método barco não-ancorado) | 46 |
| 5.3 Método do barco em movimento (moving boat ou smoot) | 55 |
| 5.4 Método acústico (efeito doppler) | 61 |
| 5.4.1 Conceito do princípio doppler | 63 |
| 5.4.2 A tecnologia ADCP (Acoustic Doppler Current Profiler) | 63 |
| 5.4.3 Fundamentos da medição de vazão com adcp | 66 |
| 5.4.4 Perspectivas | 71 |
| 5.4.5 Quebra de paradigmas do princípio doppler | 71 |
| 5.4.6 Terminologia doppler | 72 |
| 5.4.7 Ficha de medição com ADCP | 72 |
| 5.4.8 Guia de procedimentos para medição com ADCP | 72 |

| | |
|--|-----------|
| 6 Estudo de Caso – Estação “Manacapuru” | 81 |
| 6.1 Fotos | 89 |
| 6.1.1 Estação fluviométrica | 89 |
| 6.1.2 Estação pluviométrica | 89 |
| 6.1.3 Estação telemétrica | 90 |
| 6.1.4 Seção de medição de descarga líquida | 90 |
| 6.2 Curva-chave | 91 |
| 7 Referências | 93 |

APRESENTAÇÃO



O Brasil possui uma disponibilidade hídrica superficial estimada em 8.160 km³/ano, aproximadamente 18% do total disponível no globo terrestre. Apenas o rio Amazonas, que possui uma vazão média de 209.000 m³/s, lança no Oceano Atlântico aproximadamente 6.590 km³/ano.

O crescimento populacional das últimas décadas e os correspondentes níveis de demanda de água para satisfação dos seus diversos usos, consuntivos e não consuntivos, estão contribuindo para seu esgotamento em muitas partes do mundo, seja em termos dos volumes remanescentes, seja pela deteriorização da sua qualidade, resultando daí considerar a água um recurso natural limitado, dotado de valor social, econômico e ambiental.

A gestão da rede básica de estações hidrométricas em todo território brasileiro vem sendo realizada pela Superintendência de Gestão da Rede Hidrometeorológica – SGH da Agência Nacional de Águas – ANA, sendo as estações operadas por diferentes empresas e entidades parceiras.

Atualmente, 28.230 estações hidrometeorológicas de diversas operadoras estão cadastradas no banco de dados hidrometeorológicos da ANA, sendo 16.530 estações pluviométricas e 11.700 estações fluviométricas, das quais 912 são sedimentométricas e 3.999 de qualidade da água. Encontram-se efetivamente, em operação no país, 9.440 estações pluviométricas e 7.008 fluviométricas. Das estações fluviométricas, 3.999 tem monitoramento de qualidade de água e 912 tem medições sedimentométricas (Banco de Dados Hidro. Acesso em: novembr 2013).

As informações hidrológicas obtidas com estas estações estão sendo consideradas, cada vez mais, estratégicas para o gerenciamento dos recursos hídricos e desenvolvimento de projetos em vários segmentos da economia como: agricultura, transporte, energia e meio ambiente. Destacam-se os esforços empreendidos para a produção de dados e informações hidrológicas, mediante o emprego de tecnologias modernas para seu processamento, tendo como objetivos a espacialização dos dados por meio do geoprocessamento e sua disponibilização na Internet como forma de democratizar sua divulgação.

A implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH) defronta-se com uma grande necessidade de conhecimentos científicos e tecnológicos, ao mesmo tempo em que depende de formação e treinamento de pessoal, em todos os níveis, para fazer face às tarefas que se impõem com a Lei das Águas.

Diante da necessidade de padronizar as atividades desenvolvidas no campo da hidrometria e de orientar técnicos, pesquisadores e demais profissionais da área, a ANA pretende oferecer o presente **Manual Técnico sobre Medição de Descarga Líquida em Grandes Rios**.





MEDIÇÃO
DE VARIÁVEIS
HIDROLÓGICAS

A água existe em praticamente todo o planeta, na atmosfera, na superfície dos continentes, nos mares, oceanos e no subsolo, em permanente circulação, processo denominado ciclo hidrológico.

A palavra hidrologia deriva das palavras gregas *hydro* (água) e *logos* (ciência) designando, portanto, a ciência cujo objeto é o estudo da água sobre a terra, sua ocorrência, distribuição e circulação, suas propriedades e seus efeitos sobre o meio ambiente e a vida. Entretanto, por causa da enorme amplitude dessa definição, numerosas disciplinas se constituíram em ciências especializadas (meteorologia, limnologia, oceanografia, ecologia), além de estudos como a hidrometria (SANTOS et al., 2001).

A execução de estudos relacionados aos recursos hídricos depende diretamente das medidas e observações coletadas em campo. Toda e qualquer modelagem a ser definida para o desenvolvimento de pesquisa em uma determinada bacia hidrográfica depende diretamente da coleta dos dados básicos de campo, de forma contínua e precisa. (SANTOS et al., 2001).

A hidrometria é um capítulo da hidrologia que consiste na medição das grandezas que interessam ao estudo da água na natureza, como vazões (líquidas e sólidas) e níveis d'água em rios, lagos e represas, índices pluviométricos (chuva) e outros parâmetros. Pode ser aplicada também em medições de água em estações de tratamento de água ou de esgotos (WIKIPEDIA, 2007).

Essas grandezas podem ser medidas diretamente, como ocorre com a precipitação e com o nível de água; ou indiretamente, como é o caso da vazão líquida e sólida e da evapotranspiração, quando se medem grandezas típicas que guardam uma determinada relação funcional com a variável em pauta.

Pelo exposto, fica evidente a necessidade de medir no campo uma série de variáveis hidrológicas e meteorológicas, visando o conhecimento das características hidrológicas e possibilitando a aplicação dos modelos matemáticos na previsão de níveis e/ou vazões, a estimativa da probabilidade associada a eventos raros e a quantificação as possibilidades do aproveitamento dos recursos hídricos.

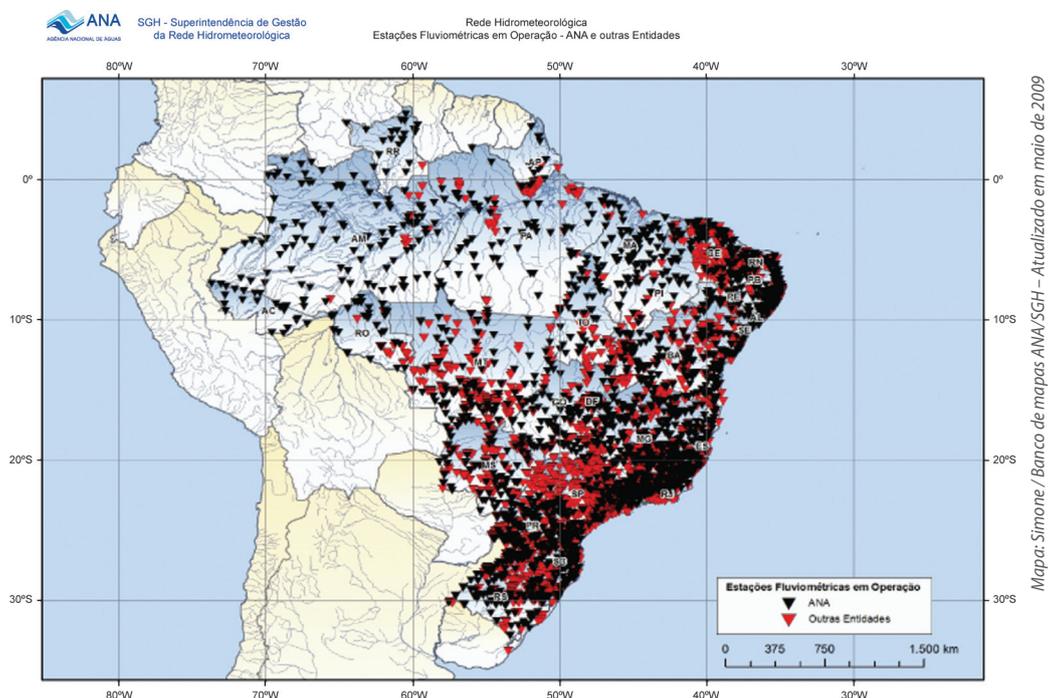


Figura 1: Estações fluviométricas em operação no Brasil.

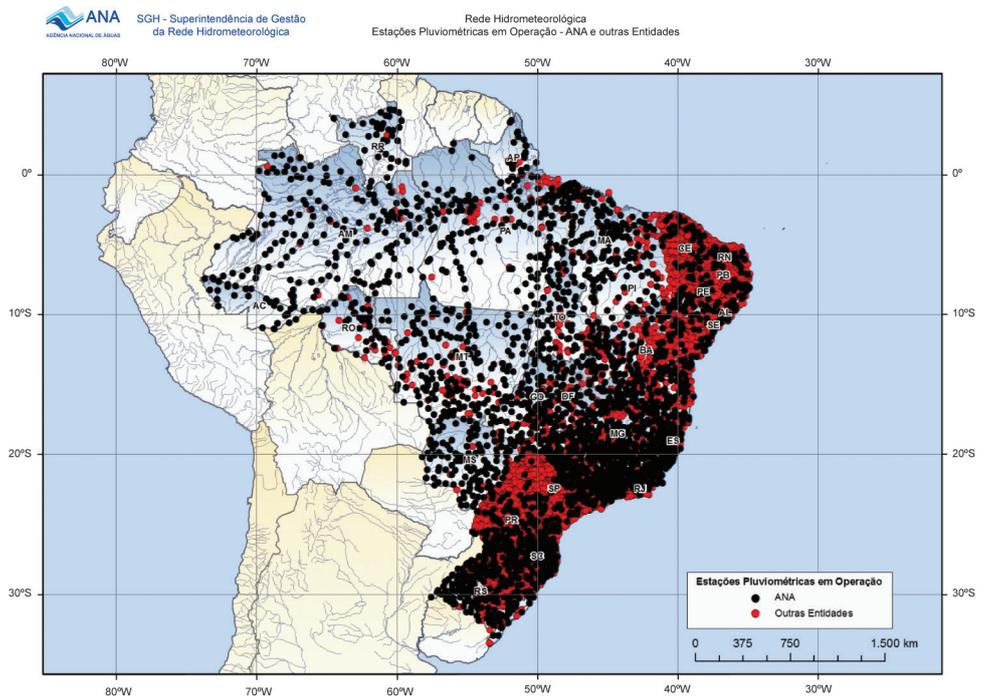


Figura 2: Estações pluviométricas em operação no Brasil.

Um local de observação é chamado de “posto” ou “estação”. Por exemplo, um “posto pluvio-fluviométrico” é o local onde se medem precipitações, níveis d’água e vazões. Como decorrência da variação espacial considerável dessas grandezas, necessita-se, para caracterizar uma bacia hidrográfica, de várias estações distribuídas sobre a sua superfície, o que leva ao conceito de redes de monitoramento, ou seja, um conjunto de estações pluviométricas, fluviométricas, sedimentométricas, meteorológicas e de qualidade da água distribuídas sobre uma determinada região.

O Planejamento de uma rede de monitoramento hidrológica depende diretamente de um bom posicionamento de estações para a produção de dados confiáveis vislumbrando os múltiplos usos dos recursos hídricos. Para uma boa distribuição dessas estações torna-se indispensável a verificação das características geográficas, assim como, variações socio-econômicas da bacia (SILVA e ÁVILA, 2012).

A Rede Hidrometeorológica em operação no Brasil, sob responsabilidade da ANA e de outras entidades, está representada nas Figuras 1 e 2.

1.1 Nível de água

O estudo do regime hidrológico de um curso d’água exige, evidentemente, o conhecimento da variação de seu nível e vazão ao longo do tempo.

Como a avaliação diária das vazões por um processo direto seria excessivamente onerosa e complicada, opta-se em geral pelo registro diário, duas vezes ao dia (nas estações da ANA às 7 horas e às 17 horas) ou contínuo no tempo, do nível d’água e pela determinação da relação entre nível de água e vazão (curva ou tabela cota-vazão).

Neste tópico será descrito apenas a medição do nível da água (cota do rio), visto que a medição da vazão será tratada posteriormente.



Foto: Fabrício / Banco de imagens ANA



Foto: Fabrício / Banco de imagens ANA

Figura 3: Régua de alumínio anodizado e pintada sobre concreto.



Foto: Maurício / Banco de imagens ANA



Foto: Maurício / Banco de imagens ANA

Figura 4: Seção de régua sem escadaria com escadaria.

Mede-se o nível de água por meio de linímetros, mais comumente chamados de réguas limnimétricas e linígrafos. Uma régua limnimétrica é uma escala graduada, de madeira, de metal (esmaltado ou não), ou mesmo pintada sobre uma superfície vertical (Figuras 3 e 4).

Evidentemente, as leituras de uma régua limnimétrica estão sujeitas a uma série de erros, entre os quais, além de dificuldades naturais na leitura durante cheias, os chamados erros grosseiros (resultantes da imperícia ou negligência do observador), e os erros sistemáticos que, em geral, provêm de mudanças causais ou mal documentadas do zero da régua.

A régua pode não ser representativa da situação de média diária. É perfeitamente possível que tenha ocorrido um máximo (ou mínimo) no intervalo das leituras. Esse problema é particularmente importante nas bacias hidrográficas pequenas e/ou urbanas.

Para contornar esse tipo de problema, costuma-se instalar em estações fluviométricas com variações rápidas de nível, aparelhos registradores contínuos do nível d'água, denominados *linígrafos*. Sob o ponto de vista funcional existem os linígrafos de bóia, colocado em Poço Tranquilizador (Figura 5) e de pressão (Figura 6).

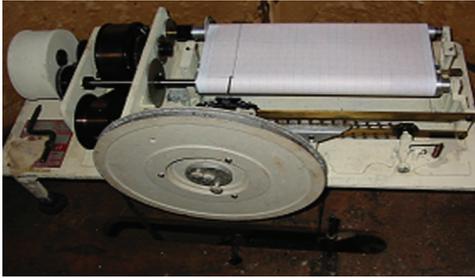


Foto: Bosco / Banco de Imagens ANA



Foto: Bosco / Banco de Imagens ANA

Figura 5: Linígrafo de bóia (modelo Stevens) e poço tranquilizador.



Foto: Alessandro / Banco de Imagens ANA



Foto: Alessandro / Banco de Imagens ANA

Figura 6: Linígrafos de pressão: de bolhas e transdutor eletrônico.



Foto: Matheus / Banco de Imagens ANA



Foto: Matheus / Banco de Imagens ANA

Figura 7 : eferência de nível de concreto.



Foto: Celso / Banco de Imagens ANA



Foto: Celso / Banco de Imagens ANA

Figura 8: Linígrafo de boia digital.

Um detalhe importante é a necessidade de instalar junto à régua, duas ou mais referências de nível (RN), para permitir a reinstalação na mesma cota, na eventualidade de os lances serem destruídos por uma enchente ou atos de vandalismo, ou até mesmo para o nivelamento dos níveis de régua durante a campanha de manutenção da estação. É importante que as referências de nível sejam identificadas com um número sequencial e com cota em relação ao zero da régua (Figura 7).

Os linígrafos podem ser do tipo analógico com registrador gráfico ou digital, armazenando a informação a ser coletada em um datalogger – equipamento destinado a executar a aquisição e a gravação de dados durante um período de tempo, eliminando a necessidade da presença de um operador durante a coleta (Figura 8).

Esses dados são coletados por meio da conexão entre o datalogger e um computador portátil ou mesmo serem transmitidos remotamente por sistema de telemetria (ver descrição dos pluviógrafos digitais no item 1.2 a seguir).

1.2 Precipitação

No Brasil, onde a absoluta maioria da precipitação (mais de 99%) está sob a forma de chuva, mede-se

convencionalmente a precipitação por meio de aparelhos chamados pluviômetros e pluviógrafos.

O pluviômetro é um aparelho dotado de uma superfície de captação horizontal delimitada por um anel metálico e de um reservatório para acumular a água recolhida, ligado a essa área e captação. Em função dos detalhes construtivos, há vários modelos de pluviômetros em uso no mundo, sendo no Brasil bastante difundido o tipo *Ville de Paris* (Figura 9).

O pluviômetro *Ville de Paris* possui uma área de captação de 400 cm², de modo que um volume de 40 ml corresponde a 1 mm de precipitação. A água acumulada no aparelho é retirada por meio de uma torneira situada no fundo do aparelho em horários pré-fixados (nas estações da ANA às 7 horas) e medida por meio de uma proveta calibrada especificamente para o tipo de pluviômetro utilizado. Ainda existe, para evitar a entrada de sujeira e reduzir a evaporação da água, uma peneira entre a área de captação e o depósito de água.

O valor da precipitação é anotado no dia da leitura para facilitar a ação dos observadores, embora a maior parte do período transcorrido entre as observações tenha ocorrido no dia anterior. Portanto, as observações de



Foto: Bosco / Banco de imagens ANA



Foto: Bosco / Banco de imagens ANA



Foto: Bosco / Banco de imagens ANA

Figura 9: Pluviômetros “Ville de Paris” e modelo DNAEE e proveta.



Foto: Maurício / Banco de Imagens ANA



Foto: Fabrício / Banco de Imagens ANA



Foto: Fabrício / Banco de Imagens ANA

Figura 10: Pluviógrafos de bóia, de balança e cubas basculantes (PCD).

chuva referem-se ao total acumulado nas últimas 24 horas, quando este for o intervalo entre as leituras.

Para medição de chuvas de pequena duração ou quando se exige o conhecimento da chuva em intervalos menores (monitoramento de pequenas bacias), são utilizados os chamados pluviógrafos.

Esses aparelhos são capazes de registrar continuamente, de forma analógica ou digital, a precipitação em determinado local. Nos aparelhos de registro analógico existe um mecanismo que registra graficamente a chuva acumulada.

Entre os diferentes tipos de pluviógrafos em uso, há três sistemas mais usuais: o de bóia, balança e cubas basculantes (Figura 10).

A geração atual de pluviógrafos utiliza tecnologia digital, com o registro dos eventos armazenados em Datalogger – equipamento com capacidade de memória variável, capaz de armazenar as informações em intervalos de tempo previamente determinados. Este avanço tecnológico permite eliminar a difícil tarefa de leitura de interpretação gráfica, eliminando erros e reduzindo custos.



Foto: Celso / Banco de Imagens ANA



Foto: Celso / Banco de Imagens ANA

Figura 11: Pluviógrafo digital (sensor de chuva com datalogger).

O sensor de chuva pode ser o de cubas basculantes, emitindo pulsos que são recebidos pelo Datalogger acoplado ao sensor. Os dados armazenados são coletados com o uso de computadores portáteis ou coletor de dados.

Existem equipamentos em que o sensor de chuva e o Datalogger encontram-se numa única unidade (pluviógrafo digital) e outros onde o sensor funciona numa Plataforma de Coleta de Dados – PCD, levando a informação ao Datalogger por meio de cabos próprios (Figura 11).

Esses sensores digitais, quando inseridos a um sistema de telemetria, com *modem* e meio de comunicação (satélite, telefonia celular, telefonia convencional ou rádio), fornecem a informação em tempo real, na central de controle, em intervalos de tempo previamente programados.





LEVANTAMENTOS
TOPOGRÁFICOS
E BATIMÉTRICOS

2.1 Medidas de distância e ângulo

As medidas de distância podem ser realizadas pelos processos direto e indireto.

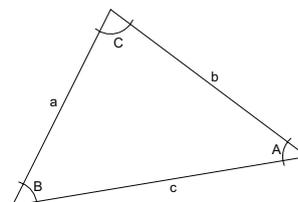
O processo direto consiste em se percorrer a distância a ser medida, verificando o número de vezes que uma unidade de medida linear (metro) cabe dentro do espaço a se medir. O instrumento mais utilizado na medida direta de distância é a trena, sendo que o cabo de aço graduado também é usado com frequência em hidrometria.

O processo indireto utiliza equipamentos que consideram somente as extremidades da distância a medir.

Em hidrometria, a escolha do processo depende do tipo de levantamento e das características do local, além do equipamento e equipe de hidrometristas disponíveis.

Os instrumentos de medida de distâncias e ângulos são utilizados principalmente nas medições de vazão e nos levantamentos batimétricos das seções transversais, com o objetivo de determinar a largura do rio, a distância entre o Ponto Inicial - PI e o Ponto Final - PF e o posicionamento das verticais.

Muitas vezes torna-se necessário utilizar a Lei dos Senos e dos Cossenos no cálculo do posicionamento do barco e para obtenção da triangulação da seção de medição de descarga, em função do posicionamento dos alvos nas margens.



Lei dos senos: $\frac{a}{\text{sen}(A)} = \frac{b}{\text{sen}(B)} = \frac{c}{\text{sen}(C)}$

Lei dos cossenos: $c^2 = a^2 + b^2 - 2 \cdot a \cdot b \cdot \cos(C)$

Cabe recordar que:

se: $\text{sen}(A + B) = \text{sen}(A) \cdot \cos(B) + \text{sen}(B) \cdot \cos(A)$

então: $\text{sen}(180^\circ - C) = \text{sen}(180^\circ) \cdot \cos(C) - \text{sen}(C) \cdot \cos(180^\circ) = 0 - \text{sen}(C) \cdot (-1)$

logo: $\text{sen}(180^\circ - C) = \text{sen}(C)$



Foto: Maurício / Banco de imagens ANA

Figura 12: Método direto de posicionamento com cabo de aço graduado.

Nos rios de pequeno e médio porte, normalmente são utilizados os métodos diretos para posicionamento das verticais, trena e cabo de aço graduado, respectivamente.

Nos rios com largura superior a 300 m ou rios menores que apresentam velocidade elevada, normalmente são utilizados os métodos indiretos de distância. Neste caso, de maneira geral, o posicionamento do barco é feito por triangulação, com o equipamento denominado Sextante ou Teodolito¹ ou por um processo eletrônico utilizando-se o distanciômetro.²

2.1.1 Posicionamento com sextante

Sextante é um instrumento óptico destinado a medir um ângulo entre dois objetos (Figura 13), permitindo leituras com precisão de um minuto de ângulo. Em hidrometria, o sextante é utilizado para medir, a partir do barco, o ângulo horizontal entre alvos instalados previamente nas margens, possibilitando determinar o posicionamento da embarcação.

Na operação se segura com firmeza o instrumento posicionado na horizontal e visa-se o alvo principal através da luneta. As marcações são feitas com o auxílio de um suplemento montado em cima da agulha, denominado *alidade de marcação*. Movendo a alidade, leva-se a imagem refletida do alvo secundário a coincidir com a imagem do alvo visado diretamente. A alidade indica no limbo do sextante o valor do ângulo medido.

A medição com sextante consiste em posicionar o barco na vertical escolhida, seguindo o alinhamento dado pelos alvos da margem esquerda – ME e pelos alvos da MD (margem direita). Mede-se com o sextante, a partir do barco, o ângulo formado entre o alinhamento e os alvos localizados na mesma margem. Obtém-se, assim, um triângulo com uma distância e dois ângulos conhecidos, conforme mostra a Figura 14, em que:



Foto: Marcelo / Banco de Imagens ANA



Foto: Marcelo / Banco de Imagens ANA

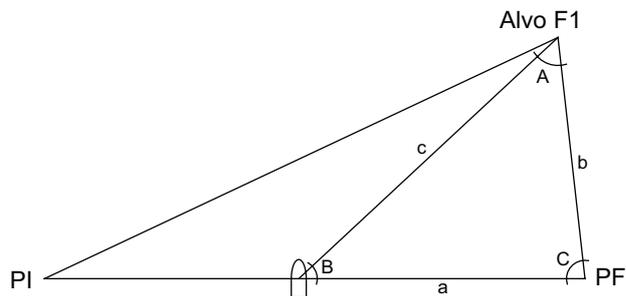
Figura 13: Utilização do sextante.

C = ângulo obtido com a triangulação;

B = ângulo lido no sextante;

b = base da triangulação;

a = distância a ser calculada para determinar a posição da embarcação no eixo da seção de medição.



$$a = b \cdot \frac{\text{sen}(B + C)}{\text{sen}(B)}$$

$$a = b \cdot \frac{\text{sen}[180^\circ - (B + C)]}{\text{sen}(B)}$$

Figura 14: Parâmetros para o cálculo da posição da vertical B.

¹ O teodolito é um instrumento óptico utilizado na topografia e na agrimensura para realizar medidas de ângulos verticais e horizontais, usado em redes de triangulação.

² Equipamento eletrônico usado em levantamentos topográficos ou geodésicos para determinação de distâncias.

Para uma maior segurança, devem-se ler no mínimo dois ângulos para cada posicionamento do barco e utilizar a média destes valores no cálculo da distância.

2.1.2 Posicionamento com teodolito

Este processo pode ser aplicado para o posicionamento do barco ancorado ou em movimento e consiste na instalação de dois teodolitos na margem; e um teodolito (T_2) deve estar posicionado na margem, no alinhamento da seção transversal e tem a função de indicar o posicionamento da embarcação em relação ao eixo da seção de medição (montante ou jusante da seção).

O segundo teodolito (T_1) deverá estar localizado na margem de tal maneira que possa visualizar toda a extensão da seção transversal e estar a uma distância mínima de (T_2) equivalente a um terço da distância entre PI e PF. Esse teodolito medirá o ângulo (α) formado, no momento do posicionamento, entre o alinhamento (T_1 /embarcação) e o alinhamento (T_1/T_2) (Figura 15).



Foto: Celso / Banco de Imagens ANA



Foto: Fabrício / Banco de Imagens ANA

Figura 15: Utilização do teodolito para posicionamento do barco e alvos de visada.

A distância do barco ao PI (d) e das coordenadas x e y do barco são determinadas a partir dos seguintes valores (Figura 16):

- conhecidos pela triangulação da seção de medição: a base b (distância T_1-T_2 sendo geralmente T_2 localizado no PI) e dos ângulos O_1 e O_2 ;
- obtidos com os teodolitos durante a medição: ângulos α e γ .

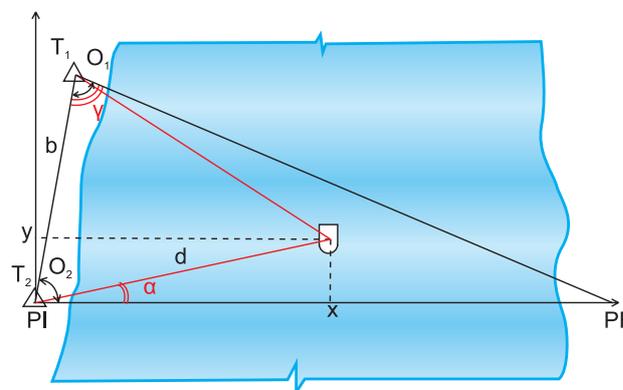


Figura 16: Variáveis envolvidas no posicionamento do barco.

A distância $PI-PF$ (constante durante toda a medição) determinada a partir da base b e dos ângulos O_1 e O_2 , a distância d e as coordenadas x e y (variáveis ao longo de toda a medição) podem ser calculados pelas seguinte expressões:

$$\begin{cases} \frac{\text{sen}[180^\circ - (O_1 + O_2)]}{b} = \frac{PI, PF}{\text{sen}(O_2)} \\ \Rightarrow PI, PF = b \cdot \frac{\text{sen}(O_2)}{\text{sen}(O_1 + O_2)} \end{cases}$$

$$\frac{d}{\text{sen}(\gamma)} = \frac{b}{\text{sen}(180^\circ - [(O_1 - \alpha) + \gamma])} \Rightarrow d = b \cdot \frac{\text{sen}(\gamma)}{\text{sen}(O_1 - \alpha + \gamma)}$$

$$\begin{cases} x = d \cdot \cos(\alpha) \\ y = d \cdot \text{sen}(\alpha) \end{cases}$$

Cabe salientar que o valor das distâncias d , x e y são

calculados em função dos ângulos α e γ , de acordo com a orientação dos eixos cartesianos adotados.

2.1.3 Posicionamento com distanciômetro

O distanciômetro é um equipamento eletrônico acoplado ao teodolito, e os mais comuns possuem um alcance de até 2 km. Na operação, há a necessidade de instalação do refletor (prisma) no ponto a ser medido. O distanciômetro deve ser instalado na margem, alinhado a seção transversal e preferencialmente junto ao *PI*. As distâncias tomadas pelo distanciômetro geralmente necessitam de correção do ângulo vertical, pois dificilmente o prisma colocado no barco está nivelado ao equipamento da margem, utilizando-se a expressão a seguir:

$$D = \text{sen}(\alpha) \cdot D', \quad \text{em que} \begin{cases} D = \text{distância na horizontal} \\ \alpha = \text{ângulo a partir do zenite} \\ D' = \text{distância inclinada} \end{cases}$$

Esse processo pode ser aplicado para o posicionamento do barco ancorado ou em movimento. Nas medições com barco ancorado, o mesmo equipamento pode orientar o posicionamento e executar as tomadas de distância. Para medições com o barco em movimento, há necessidade de um segundo teodolito, instalado

preferencialmente na margem oposta, para orientar o alinhamento da embarcação.

Esse tipo de levantamento necessita de rádio-transmissores como equipamento complementar, para a necessária comunicação entre o barco e o operador do distanciômetro.

2.1.4 Posicionamento com DGPS

O posicionamento da embarcação também pode ser efetuado por um sistema de posicionamento via satélite. Em hidrometria, é utilizado o Sistema de Posicionamento Global Diferencial – Sistema DGPS que registra continuamente a posição da embarcação por meio de uma estação a bordo (móvel). Em terra, nos marcos de cada estação ou em pontos de coordenada conhecida ou arbitrada, instala-se a estação-base (Figura 17).

A precisão varia com o tipo de receptor e com o número de satélites observados no momento da medição. Os receptores DGPS modernos proporcionam uma precisão milimétrica para o posicionamento horizontal, e a operação do sistema é feita na própria embarcação. Após o pós-processamento dos dados obtidos pelas duas estações (base e móvel), as coordenadas da embarcação durante a medição são conhecidas.



Foto: Bosco / Barco de imagens ANA



Foto: Maurício / Barco de imagens ANA

Figura 17: Utilização DGPS na margem (base) e no barco (móvel).

2.2 Levantamento batimétrico

A batimetria da seção transversal consiste em um levantamento detalhado do relevo da “seção molhada”, parte submersa da seção transversal. Operacionalmente, o processo de levantamento depende das condições locais e pode ser feito à *Vau*, com guincho hidrométrico e com ecobatímetro.

O processo à *Vau* é aplicável em rios pequenos, não muito largos e, principalmente, com profundidades inferiores a 1 m e velocidades abaixo de 1 m/s. O levantamento consiste do caminhamento na seção com uma mira ou régua graduada, levantando a profundidade da vertical e a distância da vertical até o *PI*.

O guincho hidrométrico é o processo mais utilizado no Brasil, necessitando de embarcação adequada, sendo o posicionamento nas verticais feito com cabo de aço graduado ou pelos métodos indiretos (sextante, triangulação ou distanciômetro). A profundidade máxima medida com guincho depende da velocidade da corrente, mas recomenda-se que seja de no máximo de 10 m. O peso do lastro é variável com a velocidade da corrente (quanto mais rápida a corrente, mais pesado deve ser o lastro), e os lastros com mais de 50 kg não devem ser manipulados por guinchos manuais.

A ecobatimetria (Figura 18) é o método para medir a profundidade da água pela medida do intervalo de tempo necessário para que ondas sonoras emitidas pelo aparelho viagem, a uma velocidade conhecida, desde um ponto determinado (alguns centímetros abaixo do NA) até o leito do rio, onde são refletidas e voltam até o equipamento. Os limites de operação variam com o modelo do equipamento. Existem no mercado diversos modelos que apresentam facilidades como permitir a conexão com GPS em tempo real e a gravação dos dados em meio digital (Figura 19).

A utilização do ecobatímetro possui vantagens como: registro contínuo do leito do rio, utilização em praticamente todas as situações de velocidades, levantamento realizado com a embarcação em movimento que permite inferir sobre a formação do leito.



Foto: José Jorge/Banco de imagens ANA



Foto: Maurício/Banco de imagens ANA



Foto: Maurício/Banco de imagens ANA

Figura 18: Métodos de batimetria: à Vau, guincho hidrométrico e ecobatímetro.



Fonte: Fichas técnicas DNMAEE, 1984

Figura 19: Ecobatímetro com detalhes do transdutor.



3

MEDIÇÃO DE
DESCARGA
LÍQUIDA

A medição de descarga líquida é todo processo empírico – conhecimento que provém, sob diversas perspectivas, da experiência –, utilizado para determinar o volume de água que passa por meio de uma seção transversal em determinada unidade de tempo (em geral um segundo).

Os valores de vazão medidos em uma seção transversal são associados a uma cota limnimétrica h (cota da superfície livre em relação a um plano de referência arbitrário). Para determinação de uma curva-chave em determinada seção é necessário conhecer certo número de pares da relação cota–vazão medidos em condições reais.

As curvas-chaves ajustadas para as seções monitoradas nos rios são de grande importância, pois fornecem informações utilizadas constantemente na elaboração de estudos hidrológicos que orientam diversos processos de tomada de decisão, entre eles, análises de processos de outorga, definições sobre medidas estruturais e não estruturais sobre eventos críticos (cheias ou estiagens), projetos de abastecimento público e lançamento de efluentes domésticos e industriais etc.

Destaca-se que quanto maior a precisão durante a medição de descarga líquida (vazão), melhor será o processo de tomada de decisão na área de recursos hídricos e saneamento ambiental.

Os métodos mais utilizados para medição de vazão em grandes rios são:

- medição e integração da distribuição de velocidade (método convencional);
- método acústico.

O método acústico tem sido empregado, nos últimos anos, com frequência por entidades operadoras de redes de monitoramento hidrológico, universidades, centros de pesquisa, empresas privadas, e estão sendo alcançados bons resultados. Entretanto, o método convencional ainda é o mais utilizado nas medições de descarga líquida em grandes rios.

3.1 Variáveis da medição de descarga líquida

A medição de vazão envolve uma série de grandezas características do escoamento na seção e 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 utilizados em publicações da área de recursos hídricos, podem ser verificadas na Tabela 1 e Tabela 2.

Tanto as grandezas geométricas quanto as referentes ao escoamento são definidas em função do nível de água na

Tabela 1 – Grandezas geométricas da seção.

| Grandeza | Símbolo | Unidade Usual | Cálculo |
|------------------------------------|-----------|----------------|-----------|
| área | A | m ² | --- |
| perímetro molhado | X | m | --- |
| raio hidráulico | R | m | $R = A/X$ |
| largura superficial | L | m | --- |
| profundidade média | $P_{méd}$ | m | $P = A/L$ |
| profundidade máxima | $P_{máx}$ | m | --- |
| cota linimétrica | h | cm | --- |
| ponto inicial da seção transversal | PI | --- | --- |
| ponto final da seção transversal | PF | --- | --- |
| distância entre PI e PF | D | m | --- |



Continuação

| Grandeza | Símbolo | Unidade Usual | Cálculo |
|--------------------------------------|---------|---------------|---------|
| distância entre duas verticais | l | m | --- |
| distância da vertical ao Pl | d | m | --- |
| profundidade de um ponto da vertical | p_i | m | --- |
| profundidade total numa vertical | p | m | --- |
| área entre duas verticais | a | --- | --- |

Tabela 2 – Grandezas do escoamento na seção.

| Grandeza | Símbolo | Unidade Usual | Cálculo |
|------------------------------------|-----------|---------------|-------------|
| velocidade média na seção | V | 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 | --- |

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.

Para o emprego do método de medição convencional, é necessária a determinação da velocidade em um número relativamente grande de pontos na seção transversal, podendo-se realizar a integração das velocidades por dois processos:

- a) traçando, com base nas velocidades medidas, as curvas de igual velocidade – as *isótacas* –, calcula-se a área entre isótacas consecutivas e multiplica-se essa área pelo valor médio das isótacas limítrofes. Somam-se esses resultados parciais para obter-se a vazão total;
- b) definindo-se na seção uma série de verticais e medindo-se as velocidades em vários pontos situados sobre essas verticais, para então, com auxílio do respectivo perfil de velocidade, determinar a velocidade média na vertical. A velocidade média da vertical, multiplicada por uma área de influência igual ao produto da profundidade na vertical pela soma das

semidistâncias das verticais adjacentes, fornece a vazão parcial (vazão na área de influência da vertical analisada), cuja soma destas parcelas será a Vazão Total na seção.

O segundo método é o mais utilizado, pois permite o cálculo da vazão por um processo passo a passo, na própria caderneta de medição, eliminando o fator subjetivo do traçado das isótacas. Entretanto, no primeiro método, os valores calculados são mais precisos, pois leva em conta mais adequadamente a variação espacial da velocidade nas duas dimensões da seção.

3.2 Método convencional com molinete hidrométrico

A medição convencional utilizando o molinete hidrométrico é universalmente 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 média do fluxo que passa na seção.

A determinação da área da seção é realizada a partir da medição da abscissa, da profundidade do rio em

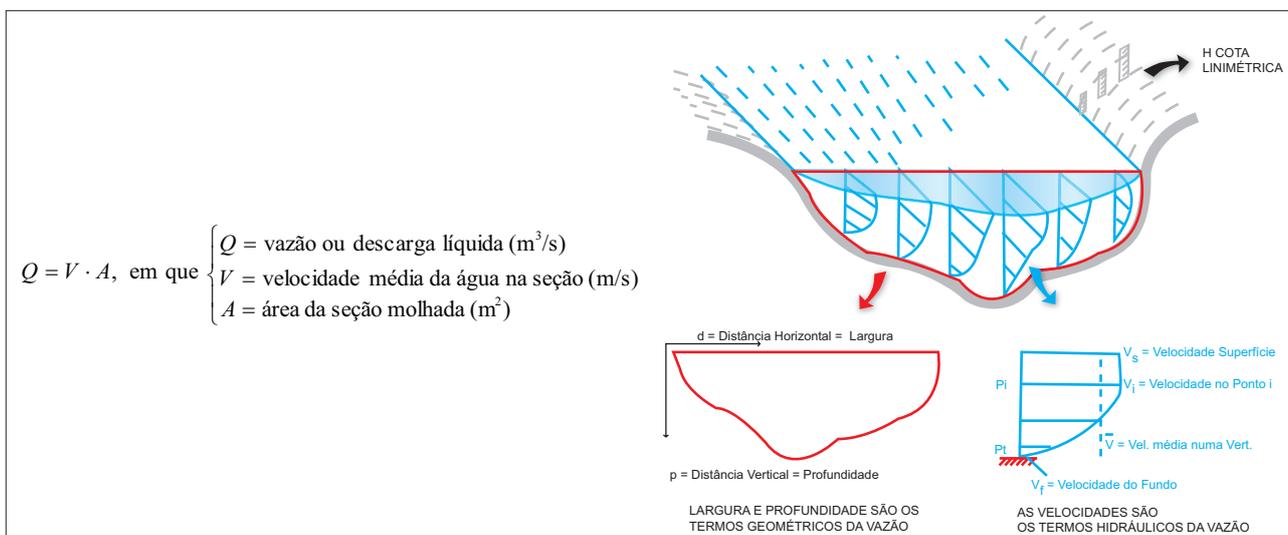


Figura 20: Grandezas necessárias para determinação da descarga líquida.

um número significativo de pontos ao longo da seção. Estes pontos definidos ao longo da seção determinam as verticais que ligam a superfície livre ao fundo do rio, e 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 geralmente por meio de métodos analíticos.

A Tabela 3 apresenta as fórmulas recomendadas em função do número de medições de velocidade e da posição (p – profundidade).

O molinete ao ser adquirido deve vir acompanhado de um certificado de calibragem contendo a equação a ser

| Tabela3 – Fórmulas para cálculo da velocidade média na vertical. | | | |
|--|---|---|------------------|
| nº de pontos | Posição na vertical (*) em relação a profundidade (p) | Cálculo da velocidade média (Vm) na vertical | Profundidade (m) |
| 1 | 0,6 p | $V_m = V_{0,6}$ | 0,15 – 0,6 |
| 2 | 0,2 e 0,8 p | $V_m = (V_{0,2} + V_{0,8})/2$ | 0,6 – 1,2 |
| 3 | 0,2; 0,6 e 0,8 p | $V_m = (V_{0,2} + V_{0,6} + V_{0,8})/4$ | 1,2 – 2,0 |
| 4 | 0,2; 0,4; 0,6 e 0,8 p | $V_m = (V_{0,2} + V_{0,4} + V_{0,6} + V_{0,8})/6$ | 2,0 – 4,0 |
| 6 | S; 0,2; 0,4; 0,6; 0,8 p e F | $V_m = [V_s + 2(V_{0,2} + V_{0,4} + V_{0,6} + V_{0,8}) + V_f]/10$ | > 4,0 |

Fonte: JACCONG. (1984)

* Observação: VS – velocidade média na superfície e VF – velocidade no fundo do rio.

utilizada no cálculo das velocidades a partir do número de rotações por segundo. A relação básica para o cálculo da velocidade a partir da contagem do número de rotações da hélice é descrita a seguir:

$$V = a \cdot \left(\frac{N}{t} \right) + b, \text{ em que } \begin{cases} a = \text{passo da hélice (constante -} \\ \text{função da hélice do molinete)} \\ b = \text{inércia da hélice (constante -} \\ \text{função da hélice do molinete)} \\ t = \text{duração da medição} \\ N = \text{número de rotações da hélice} \end{cases}$$

As partes integrantes e o princípio de funcionamento do molinete podem ser visualizados na Figura 21.

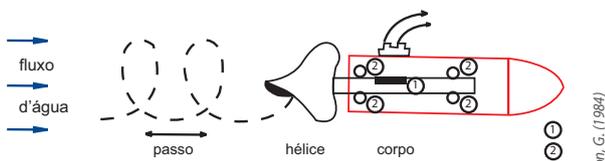
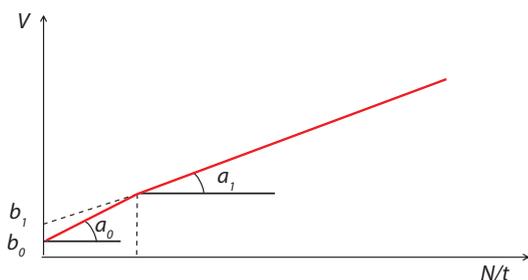


Figura 21: Partes do molinete (corpo e hélice) e o passo da hélice

A velocidade do fluxo da água é linearmente proporcional ao número de rotações da hélice (N), como pode ser verificado na Figura 22.



$$\text{em que } \begin{cases} a = \text{passo da hélice} \\ b = \text{inércia da hélice} \\ t = \text{duração da medição} \end{cases}$$

Figura 22: Relação entre a velocidade da água e as rotações medidas pelo molinete.

Os passos teóricos existentes são:

- 0,125 m ----- 8 rotações por segundo se $V = 1$ m/s
- 0,25 m ----- 4 rotações por segundo se $V = 1$ m/s
- 0,50 m ----- 2 rotações por segundo se $V = 1$ m/s
- 1,00 m ----- 1 rotação por segundo se $V = 1$ m/s

O passo real é:

- Sempre diferente do passo teórico, por exemplo, 0,2588 no lugar de 0,25 m;
- Determinado em um "canal de aferição" assim como a constante b ;
- Pode ser duplo ou triplo para uma mesma hélice, por exemplo, 0,2488 para N/t menor ou igual a 1,10 e 0,2542 para N/t maior que 1,10.

Normalmente, os molinetes são comercializados com várias hélices, para diferentes faixas de velocidade. É interessante aferir frequentemente o molinete visando detectar mudanças em suas características, a partir do efeito do atrito do molinete.

Além do molinete, o contador de rotações é um equipamento indispensável nas medições de vazão. Atualmente, usam-se dois tipos de contador:

- a) contador acústico e cronômetro;
- b) contador digital de tempo pré-programado com parada automática.

O aparelho registra todas as rotações do molinete, ajustado para emitir um impulso a cada revolução. Esses impulsos acionam um contador (eletromecânicos ou eletrônicos) acoplado a um cronômetro de contagem regressiva. Ajusta-se o tempo desejado para a medição (em geral 40 segundos), posiciona-se o molinete (profundidade a ser medida a velocidade) e, ao apertar um botão, o contador de impulsos e o cronômetro são acionados 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. As frequências máximas de contagem teórica e prática podem ser verificadas na Tabela 4.

Tabela 4 – Frequências máximas de contagem teóricas e práticas.

| Tipo de contador | Frequência teórica em impulsos por segundo | Frequência prática em impulsos por segundo |
|------------------|--|--|
| Sonoro | 1 | 0,5 |
| Mecânico | 10 | 5 |
| Eletrônico | 20 | 10 |

A seguir são apresentadas figuras com detalhes sobre a estrutura do Guincho, Molinete, Lastro Hidrodinâmico, Contador Digital e Ecobatímetro.



Foto: Fabrício / Banco de imagens ANA



Foto: Fabrício / Banco de imagens ANA

Figura 23: Estrutura do Guincho (Cabo de Aço e Medidor da Profundidade do Molinete) e do Molinete e Lastro (Formato Hidrodinâmico)



Foto: Fabrício / Banco de imagens ANA

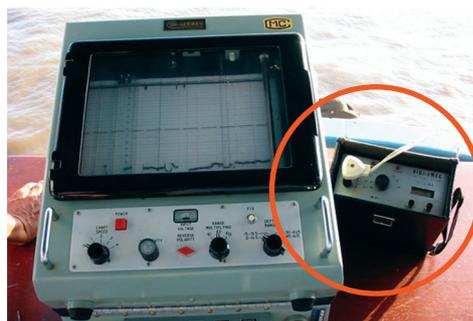


Foto: Fabrício / Banco de imagens ANA

Figura 24: Instalação do Ecobatímetro na Lateral do Barco, Contador Digital de Pulsos e Registrador de Dados do Ecobatímetro.

3.3 Métodos de cálculo: seção média e meia seção

O processo numérico de cálculo da medição convencional de descarga líquida com uso de molinete pode ser calculado em tempo "real" (caderneta de campo), permitindo uma verificação dos resultados da medição *in loco*.

O processo numérico pode ser feito por meio de dois métodos: Seção Média e Meia Seção.

3.3.1 Seção média

No método da Seção Média as vazões parciais são calculadas para cada subseção entre verticais, a partir da largura, da média das profundidades e da média das velocidades entre as verticais envolvidas, conforme figura abaixo.

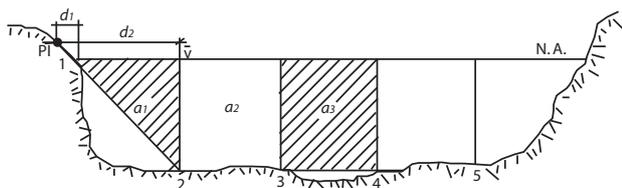


Figura 25: Cálculo da seção média - Verificação das verticais e áreas.

Procedimento para cálculo da descarga líquida pelo Método da Seção Média (média das velocidades médias em verticais subseqüentes):

Cálculo das velocidades médias nas verticais, em função do método de medição utilizado (2 pontos, detalhada, etc.), observando as fórmulas indicadas na Tabela 3.

Cálculo das Velocidades Médias nos segmentos:

$$\overline{v_{(a1)}} = \frac{(\overline{v_{(1)}} + \overline{v_{(2)}})}{2} \quad \overline{v_{(a2)}} = \frac{(\overline{v_{(2)}} + \overline{v_{(3)}})}{2}$$

Cálculo das Áreas dos segmentos:

$$a_1 = (d_2 - d_1) * \frac{[(p_2 + p_1)]}{2}$$

$$a_2 = (d_3 - d_2) * \frac{[(p_3 + p_2)]}{2}$$

Cálculo das Vazões nos segmentos:

$$q_{a1} = \overline{v_{a1}} * a_1 \quad q_{a2} = \overline{v_{a2}} * a_2$$

Cálculo da vazão total:

$$Q = \sum q_i$$

Cálculo da Área Total:

$$A = \sum a_i$$

Cálculo da Velocidade Média:

$$\overline{V} = \frac{Q}{A}$$

Cálculo da Largura do rio:

$$L = d_n - d_1$$

Cálculo da Profundidade Média do rio:

$$P = \frac{A}{L}$$

3.3.2 Meia seção

O método da Meia Seção é o mais utilizado pelos técnicos das entidades operadoras da Rede Hidrometeorológica, pois consiste no cálculo das vazões parciais, por meio da multiplicação da Velocidade Média na vertical pelo produto da profundidade média na vertical e pela soma das semidistâncias às verticais adjacentes (vazão parcial determinada para cada região de influência de uma determinada vertical).

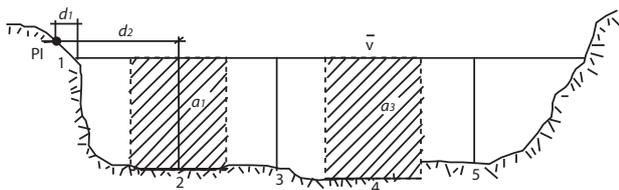


Figura 26: Cálculo da meia seção - Verificação das verticais e áreas.

Procedimento para cálculo da descarga líquida pelo Método da Meia Seção (média dos segmentos subsequentes):

Cálculo das velocidades médias nas verticais, em função do método de medição utilizado (2 pontos, detalhada, etc.), observando as fórmulas indicadas na Tabela 3.

Cálculo das Larguras dos segmentos:

$$l_2 = \left[\frac{(d_2 - d_1)}{2} + \frac{(d_3 - d_2)}{2} \right]; \quad l_3 = \left[\frac{(d_3 - d_2)}{2} + \frac{(d_4 - d_3)}{2} \right]; \text{ etc.}$$

$$l_2 = \frac{(d_3 - d_1)}{2}; \quad l_3 = \frac{(d_4 - d_2)}{2}; \text{ etc.}$$

Cálculo das Áreas dos segmentos:

$$a_2 = l_2 * p_2 \quad a_3 = l_3 * p_3$$

Cálculo das Vazões nos segmentos:

$$q_{a2} = \bar{v}_2 * a_2 \quad q_{a3} = \bar{v}_3 * a_3$$

Cálculo da vazão total:

$$Q = \sum q_i$$

Cálculo da Área Total:

$$A = \sum a_i$$

Cálculo da Velocidade Média:

$$\bar{V} = \frac{Q}{A}$$

Cálculo da Largura do rio:

$$L = d_n - d_1$$

Cálculo da Profundidade Média do rio:

$$P = \frac{A}{L}$$



CURVA DE
DESCARGA
LÍQUIDA (OU
CURVA-CHAVE)

Um curso d'água natural constitui-se, do ponto de vista hidráulico, em um canal de seção transversal variável, pelo qual a água escoia contínua ou intermitentemente. Portanto, aplicam-se aos rios, as leis da hidráulica em canais, considerando o escoamento não uniforme e não permanente.

Para o escoamento não permanente em canais, a relação entre o nível de água e a vazão nunca é rigorosamente unívoca. Entretanto, no caso de rios de leito bem definido, com seções transversais constantes e declividade forte (declividade do fundo do canal maior do que 1‰), o afastamento dos pontos observados em relação à curva de descarga em regime permanente é muito pequeno, inferior mesmo à precisão das medidas, o que permite considerar, para efeitos práticos, como biunívoca a relação entre o nível de água e a vazão.

Denomina-se "controle" a seção do rio que determina o nível d'água para cada vazão. No caso de rios naturais, é constituída em geral por um salto, corredeira ou estrangulamento do rio, de modo que ocorra o escoamento em profundidade crítica. O controle é único quando, para qualquer situação de vazão, a seção com escoamento crítico for sempre a mesma, isso ocorre em geral quando o controle é um salto ou uma corredeira de desnível grande (Figura 27).

Se o controle for uma corredeira menor, ocorre frequentemente que, para vazões elevadas, esta fica afogada por outro controle mais a jusante e, nesse caso, diz-se que o controle não é único (Figura 28).

No caso de estações de controle variável, a região de transição entre os dois controles pode apresentar instabilidades, além de propiciar grandes erros na extrapolação quando o trecho da curva, definido por medições diretas se situar totalmente sob a influência do primeiro controle. Por essa razão, sempre é vantajoso, quando possível, instalar as estações fluviométricas a montante de grandes saltos, garantindo a unicidade de controle.

Deve-se frisar que nenhum processo de extrapolação pode substituir a realização de medições diretas para vazões altas, pois esse é o único meio capaz de eliminar, de maneira definitiva, as dúvidas sobre o traçado da curva de descarga.

Quando deixam de existir as condições para que uma relação cota-descarga possa ser considerada unívoca, isto é, a declividade da superfície da água pode variar para um mesmo nível de água, os laços no plano $H \times Q$ se tornam bem nítidos, e o erro resultante da consideração da curva em regime permanente não mais pode ser aceito (Figura 29).

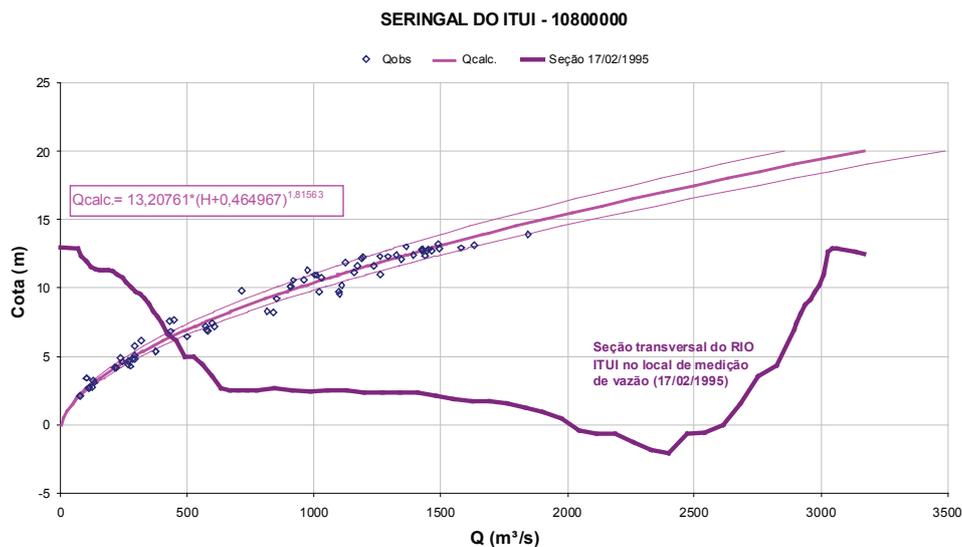


Figura 27: Curva de descarga de controle único

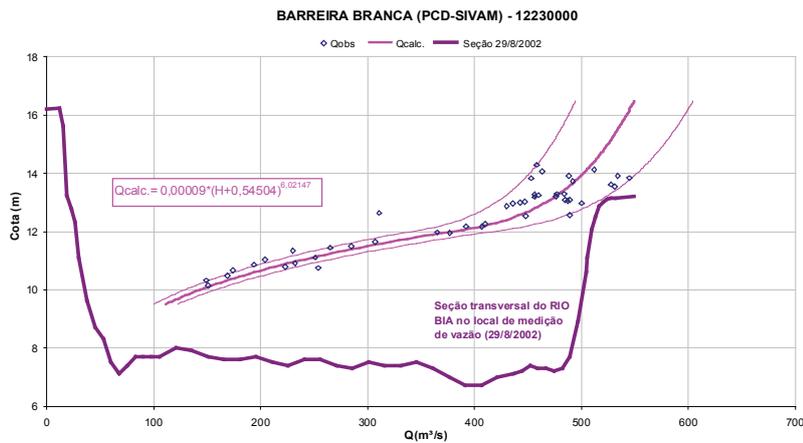


Figura 28: Curva de descarga com mudança de controle.

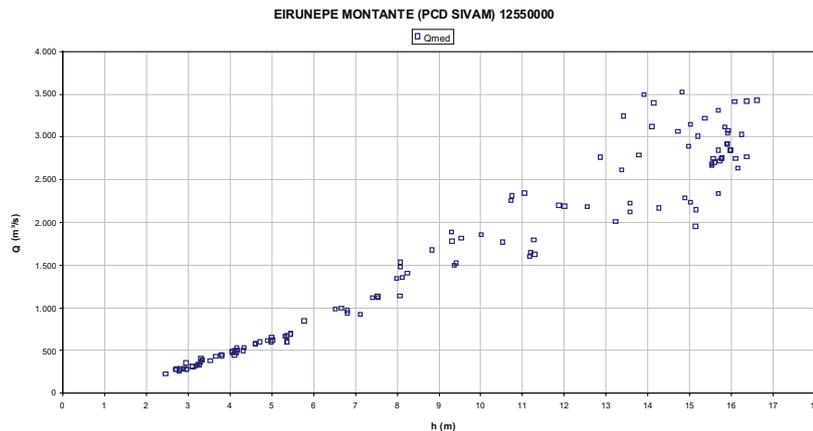


Figura 29: Medições de descarga indicando curva de descarga em laço.

A variabilidade da declividade decorre de várias causas, tais como:

- efeito da passagem de uma onda de cheia (regime não permanente) em rios de pequena declividade e controle de canal;
- efeito de lagos ou reservatórios a jusante com níveis variáveis;
- remanso de afluentes a jusante ou da maré no local da régua.

Em geral, nesses casos, instalam-se duas régua a certa distância, ambas referidas a uma mesma cota,

cujas leituras simultâneas permitem obter a declividade da superfície da água.

Em ambas as situações descritas, com curva de descarga unívoca ou não, supõe-se que a mesma não se altere com o tempo. Quando, em função de eventuais alterações produzidas no leito do rio, seja por fenômenos naturais, seja pela ação do homem, a relação cota-descarga se modifica no tempo, a curva de descarga deve ser ajustada para cada período de validade. As alterações produzidas naturalmente são, em geral, consequências de enchentes e da retirada do material do leito do rio.





5

TÉCNICAS DE
MEDIÇÃO DA
DESCARGA
LÍQUIDA EM
GRANDES RIOS

5.1 Método do barco ancorado

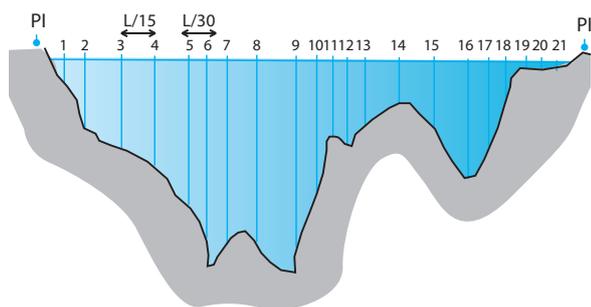
A medição utilizando o Método do Barco Ancorado é realizada de forma sucessiva, ou seja, a várias distâncias da margem, dividindo a seção transversal em trechos, dentro do alinhamento *PI - PF* (Ponto Inicial e Final) (Figura 30).

A velocidade na vertical pode ser determinada de forma integrada (molinete medindo a velocidade de forma contínua) ou a partir de vários pontos da seção (molinete medindo a velocidade em cada profundidade predeterminada – velocidade média).

As distâncias horizontais (margens) são determinadas com teodolitos, a partir da margem ou com um sextante.

As profundidades são determinadas no próprio barco durante a medição das velocidades nas verticais, podendo ser determinado pelo comprimento do cabo de aço em que se encontra afixado o molinete e o lastro hidrodinâmico, além disso, é muito interessante o uso do ecobatímetro que detalha a seção do rio.

Para aplicação desse método, o número de verticais recomendadas é da ordem de 10 a 25, dependendo da largura do rio, sendo que o fator principal de repartição é a geometria da seção transversal como pode ser verificado na Figura 30.



Fonte: Jacon, G. (1984)

Figura 30: Seção de medição com o PI e PF e verticais de medição de velocidades.

O número de pontos por vertical é estabelecido em função do tipo de medição (Tabela 3). Na medição detalhada, são medidos no mínimo seis pontos, igualmente distribuídos na vertical, sendo, necessariamente, um ponto próximo à

superfície livre e outro próximo ao fundo do rio; enquanto, no método dos 3 pontos, as medidas são realizadas na vertical a 0,2; 0,6 e 0,8 da profundidade. Portanto, após a ancoragem do barco na vertical, as velocidades começam a ser medidas nas profundidades pré-definidas em função da profundidade total na vertical e do tipo de medição (três pontos, detalhada etc.).

A medição integrada é feita com um equipamento especial no guincho que permite regular a velocidade de deslocamento do molinete tanto na descida (freio) quanto na subida. A velocidade vertical do molinete deve ser constante e lenta em relação à velocidade da água: de 5 a 20 cm/s para um tempo total de medição necessariamente superior a 100 segundos.

A maior dificuldade durante uma medição com barco ancorado é justamente durante as manobras para ancorar o barco na vertical desejada, posicionamento do barco, controle dos equipamentos para ancoragem etc. Essas dificuldades são maiores ainda nas verticais com grandes profundidades e intensas correntezas.

Quando a ancoragem do barco é realizada, o tempo tem pouca importância, haja vista a lenta variação da Cota Limnométrica nos grandes rios. Em consequência, aconselha-se fazer uma medição detalhada na descida do lastro e uma medição integrada na subida do lastro. A vazão pode ser calculada por método gráfico, usando o planímetro para definição das áreas entre as isotacas ou pelo método aritmético. A área da seção é determinada com o auxílio do ecobatímetro.

Durante a aplicação deste método, é indispensável anotar o ângulo de arraste do cabo de aço pela correnteza para cada ponto de medição, procedimento necessário para correção dos valores de profundidade medidos. Aconselha-se, também, verificar a profundidade total na vertical antes de puxar a âncora, podendo, dessa forma, comparar os valores do contador do guincho e do ecobatímetro.

A medição pelo Método do “Barco Ancorado” (Figura 31) permite obter resultados com boa precisão (erro relativo inferior a 10%), além disso, pode ser verificado o regime do rio na seção de medição, e, geralmente, localizar e corrigir os erros acidentais.



O maior problema deste método encontra-se na dificuldade ou na impossibilidade de ancorar o barco em rios muito profundos (profundidades > 30m) e no risco de acidentes de colisão com materiais flutuantes (vegetação, madeira etc.).

Para o cálculo da posição do barco durante a medição, é necessária a triangulação da seção de medição em

cada vertical, sendo as coordenadas determinada a partir dos ângulos medidos nos dois teodolitos. A fim de exemplificar o cálculo da vazão pelo método do barco ancorado, serão apresentadas, a seguir as Figuras 32 e 33 e as Tabelas 5, 6, 7 e 8 utilizadas para obtenção da vazão líquida, bem como a Figura 34 que apresenta o perfil transversal da seção obtida pelo Método do Barco Ancorado.



Figura 31: Procedimentos para ancoramento do barco (operação do guincho, detalhes do suporte e da âncora).

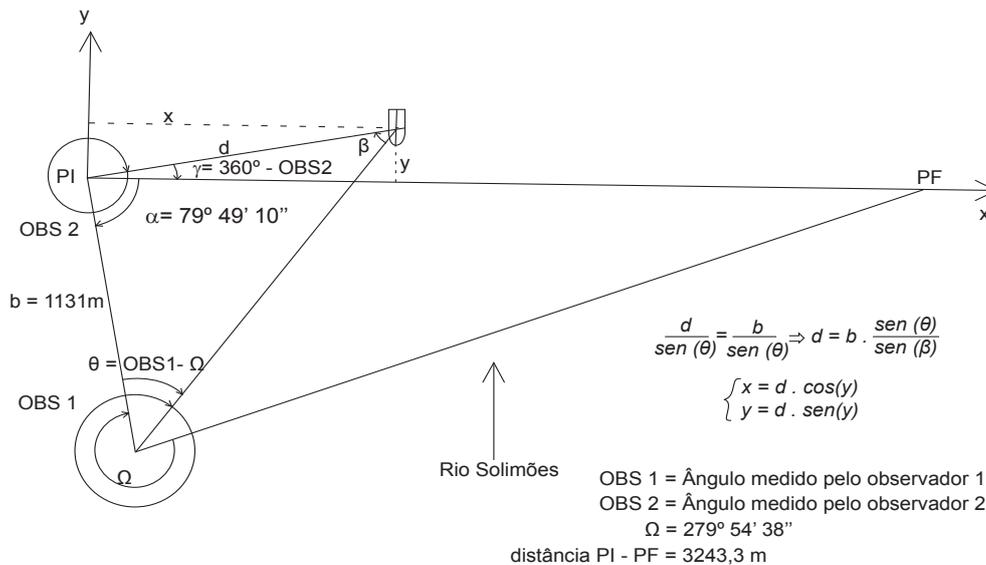


Figura 32: Cálculo das variáveis d, x, y com o barco a jusante da seção transversal PI-PF.

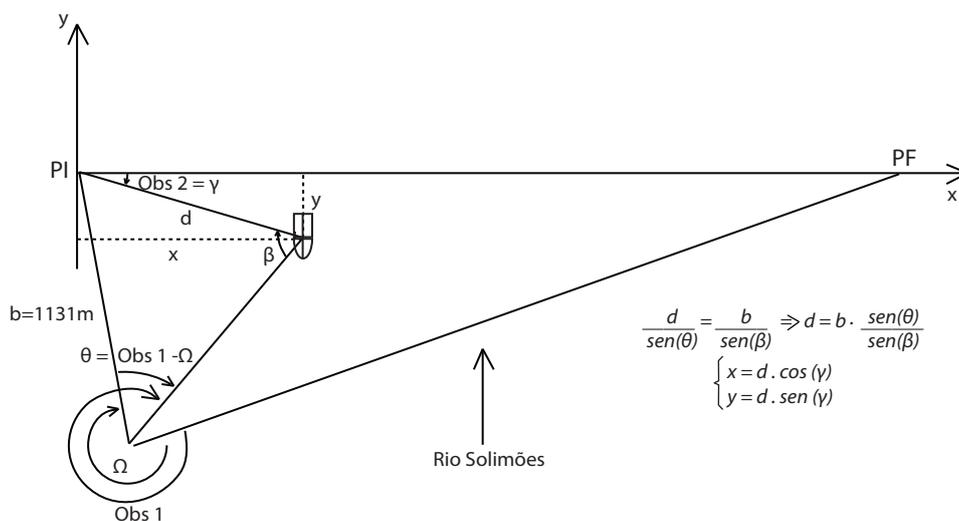


Figura 33: Cálculo das variáveis d, x, y com o barco a montante da seção transversal PI-PF.

Tabela 5 –Valores medidos de profundidade total e ângulos dos teodolitos para vertical (método do barco ancorado).

| Vertical | Obs 2 | | | | Obs 1 | | | | Profundidade Total (m) |
|----------|------------------------|-----|-----|----------|----------------------------|-----|-----|----------|------------------------|
| | (alinhado com PI e PF) | | | | (não-alinhado com PI e PF) | | | | |
| | grau | min | seg | Decimal | grau | min | seg | Decimal | |
| PI | - | - | - | - | - | - | - | - | 12,25 |
| 1 | 359 | 27 | 40 | 359,4611 | 287 | 30 | 40 | 287,5111 | 24,50 |
| 2 | 359 | 55 | 10 | 359,9194 | 292 | 18 | 50 | 292,3139 | 24,70 |
| 3 | 0 | 4 | 50 | 0,0806 | 304 | 27 | 30 | 304,4583 | 24,10 |
| 4 | 0 | 5 | 20 | 0,0889 | 317 | 34 | 10 | 317,5694 | 23,30 |
| 5 | 0 | 0 | 0 | 0,0000 | 327 | 0 | 0 | 327,0000 | 25,80 |

| Vertical | Obs 2 | | | | Obs 1 | | | | Profundidade Total (m) |
|----------|------------------------|-----|-----|----------|----------------------------|-----|-----|----------|------------------------|
| | (alinhado com PI e PF) | | | | (não-alinhado com PI e PF) | | | | |
| | grau | min | seg | Decimal | grau | min | seg | Decimal | |
| 15 | 0 | 0 | 40 | 0,0111 | 354 | 10 | 0 | 354,1667 | 28,30 |
| 16 | 359 | 58 | 50 | 359,9806 | 356 | 7 | 20 | 356,1222 | 19,70 |
| 17 | 0 | 1 | 40 | 0,0278 | 357 | 0 | 20 | 357,0056 | 16,50 |
| 18 | 0 | 1 | 0 | 0,0167 | 358 | 4 | 20 | 358,0722 | 12,60 |
| 19 | 359 | 59 | 50 | 359,9972 | 358 | 40 | 0 | 358,6667 | 13,90 |
| PF | - | - | - | - | - | - | - | - | 3,10 |

Valor calculado

Valor digitado

Valor fixo

Tabela 6 – Cálculo da distância (d) do barco à margem esquerda do rio (método do barco ancorado).

| Base | Ω (Const Obs 1) | α (Const Obs 2) |
|---------|------------------------|------------------------|
| (m) | dec | dec |
| 1.131,0 | 279,9106 | 79,8194 |

| Vertical | Obs 1 | Obs 2 | $\theta =$ (Const Obs 1) | | $\gamma =$ Obs2 corrigido | | β | | Distância (m) |
|----------|----------|----------|--------------------------|--------|---------------------------|--------|---------|--------|------------------|
| | dec | dec | dec | rad | dec | rad | dec | rad | |
| 1 | 287,5111 | 359,4611 | 7,6006 | 0,1327 | 0,5389 | 0,0094 | 92,0411 | 1,6064 | 149,6878 |
| 2 | 292,3139 | 359,9194 | 12,4033 | 0,2165 | 0,0806 | 0,0014 | 87,6967 | 1,5306 | 243,1264 |
| 3 | 304,4583 | 0,0806 | 24,5478 | 0,4284 | 0,0806 | 0,0014 | 75,7133 | 1,3214 | 484,8716 |
| 4 | 317,5694 | 0,0889 | 37,6589 | 0,6573 | 0,0889 | 0,0016 | 62,6106 | 1,0928 | 778,2348 |
| 5 | 327,0000 | 0,0000 | 47,0894 | 0,8219 | 0,0000 | 0,0000 | 53,0911 | 0,9266 | 1.035,9842 |
| 6 | 332,6778 | 0,0000 | 52,7672 | 0,9210 | 0,0000 | 0,0000 | 47,7133 | 0,8275 | 1.223,0606 |
| 7 | 337,6778 | 359,9278 | 57,7672 | 1,0082 | 0,0722 | 0,0013 | 42,3411 | 0,7390 | 1.420,3985 |
| 8 | 340,9167 | 359,9806 | 61,0061 | 1,0648 | 0,0194 | 0,0003 | 39,1550 | 0,6834 | 1.556,7110 |
| 9 | 342,0750 | 0,0111 | 62,1644 | 1,0850 | 0,0111 | 0,0002 | 28,0272 | 0,6637 | 1.623,4991 |
| 10 | 345,0417 | 0,1000 | 65,1311 | 1,1368 | 0,1000 | 0,0017 | 25,1494 | 0,6135 | 1.782,3614 |
| 11 | 348,3389 | 0,0306 | 68,4283 | 1,1943 | 0,0306 | 0,0005 | 31,7828 | 0,5547 | 1.996,9287 |
| 12 | 349,7528 | 0,0167 | 69,8422 | 1,2190 | 0,0167 | 0,0003 | 30,3550 | 0,5298 | 2.100,9401 |
| 13 | 352,2111 | 359,9944 | 72,3006 | 1,2619 | 0,0056 | 0,0001 | 27,8744 | 0,4865 | 2.304,5593 |
| 14 | 352,7639 | 359,9222 | 72,8533 | 1,2715 | 0,0778 | 0,0014 | 27,2494 | 0,4756 | 2.360,3682 |
| 15 | 354,1667 | 0,0111 | 74,2561 | 1,2960 | 0,0111 | 0,0002 | 25,9356 | 0,4527 | 2.488,9559 |
| 16 | 356,1222 | 359,9806 | 76,2117 | 1,3301 | 0,0194 | 0,0003 | 23,9494 | 0,4180 | 2.705,9017 |
| 17 | 357,0056 | 0,0278 | 77,0950 | 1,3456 | 0,0278 | 0,0005 | 23,1133 | 0,4034 | 2.808,3801 |
| 18 | 358,0722 | 0,0167 | 78,1617 | 1,3642 | 0,0167 | 0,0003 | 22,0356 | 0,3846 | 2.950,4196 |
| 19 | 358,6667 | 359,9972 | 78,7561 | 1,3746 | 0,0028 | 0,0000 | 21,4217 | 0,3739 | 3.037,2510 |
| 20 | 359,5639 | 0,0556 | 79,6533 | 1,3902 | 0,0556 | 0,0010 | 20,5828 | 0,3592 | 3.164,7743 |

Tabela 7 - Cálculo das Coordenadas (x e y) do Barco e Velocidade medida pelo Molinete para a Vertical, profundidade e velocidade integrada (método do barco ancorado).

| | | | | | |
|---------------------|----------------------------|--|---------------------------|---------|---------------------------|
| Rio: Solimões | Cota(NA)início(m) 24/08: | 15,51 m | Cota(NA)início(m) 25/08: | 15,44 m | Cota (NA)media (m): 15,4m |
| Local: Maracapuru | Cota (NA) final (m) 24/08: | 15,46 m | Cota (NA)final (m) 25/08: | 15,4 m | |
| Data: 24 e 25/08/09 | Eq. Molinete | Para (N/T)<=12,90: V=0,238272*(N/T)+0,006455 | | | |
| | | Para(N/T)<=12,90: V=0,236476*(N/T)+0,029619 | | | |

| Base (Dist entre Obs1 e Obs 2) | PI-PF | Ω (ângulo const. Obs 1) | | | | £ (ângulo const. Obs 2)t | | | | Dist PI-ME | Dist PF-MD |
|--------------------------------------|--------|-------------------------|-----|-----|----------|--------------------------|-----|-----|---------|---------------|---------------|
| (m) | (m) | grau | min | seg | Decimal | grau | min | seg | Decimal | (m) | (m) |
| 1131,0 | 3243,3 | 279 | 54 | 38 | 279,9106 | 79 | 49 | 10 | 79,8194 | 8,5 | 7,800 |

| Vertical | Abscissa | | Obs 2 | | | | Obs 1 | | | | Coordenadas | | Pro-fundidade total | Profundidade de medição | N | T | Veloc |
|----------|------------|----------|------------------------|-----|-----|----------|----------------------------|-----|-----|----------|-------------|---------|---------------------|-------------------------|-----|------|-------|
| | Esti-ma-da | Real | (alinhado com PI e PF) | | | | (não alinhado com PI e PF) | | | | X | Y | | | | | |
| | (m) | (m) | grau | min | seg | Decimal | grau | min | seg | Decimal | (m) | (m) | | | | | |
| PI | - | 74,841 | - | - | - | - | - | - | - | - | 74,8406 | - | 12,25 | - | - | - | - |
| 1 | 90 | 149,681 | 359 | 27 | 40 | 359,4611 | 287 | 30 | 40 | 287,5111 | 149,6812 | -1,4079 | 24,50 | 1 | 185 | 40 | 1,108 |
| | | | | | | | | | | | | | | 5 | 192 | 40 | 1,150 |
| | | | | | | | | | | | | | | 9 | 179 | 40 | 1,073 |
| | | | | | | | | | | | | | | 13 | 162 | 40 | 0,971 |
| | | | | | | | | | | | | | | 17 | 148 | 40 | 0,868 |
| | | | | | | | | | | | | | | 21 | 120 | 40 | 0,721 |
| | | | | | | | | | | | | | | 24,10 | 68 | 40 | 0,412 |
| | | | | | | | | | | | | | | Inte-grada | 489 | 48,9 | 2,389 |
| 20 | 3,190 | 3164,773 | 0 | 3 | 20 | 0,0556 | 359 | 33 | 50 | 359,5839 | 3164,7728 | 3,0687 | 6,20 | 1 | 110 | 40 | 0,662 |
| | | | | | | | | | | | | | | 5 | 91 | 40 | 0,549 |
| | | | | | | | | | | | | | | 5,80 | 60 | 40 | 0,364 |
| | | | | | | | | | | | | | | Inte-grada | 26 | 13,9 | 0,452 |
| PF | - | 3200,136 | - | - | - | - | - | - | - | - | 3200,1364 | - | 3,10 | - | - | - | - |

Valor calculado

Valor digitado

Valor fixo

Tabela 8 – Cálculo das velocidades médias, largura (método meia seção), área, vazão em vertical e total (método do barco ancorado).

| Vertical | Abscissa | | Profundidade total (m) | Profundidade de medição (m) | Veloc. (m/s) | Veloc. média (m/s) | Largura (m) | Área (m ²) | Vazão (m ³ /s) |
|----------|----------|----------|---------------------------|--------------------------------|-----------------|-----------------------|----------------|---------------------------|------------------------------|
| | Estimada | Real | | | | | | | |
| | (m) | (m) | | | | | | | |
| PI | - | 74,841 | 12,25 | - | - | 0,464 | 70,5906 | 432,3674 | 200,4622 |
| | | | | | | 1,19459 | | | 516,5007 |
| 1 | 90 | 149,681 | 24,50 | 1 | 1,108 | 0,927 | 117,3131 | 2.874,1698 | 2.665,1516 |
| | | | | 5 | 1,150 | | | | |
| | | | | 9 | 1,073 | | | | |
| | | | | 13 | 0,971 | | | | |
| | | | | 17 | 0,888 | | | | |
| | | | | 21 | 0,721 | | | | |
| | | | | 24,10 | 0,412 | | | | |
| | | | | Integrada | 2,389 | | | | |
| 20 | 3.190 | 3164,773 | 6,20 | 1 | 0,662 | 0,531 | 99,1245 | 614,5718 | 326,1246 |
| | | | | 5 | 0,549 | | | | |
| | | | | 5,80 | 0,364 | | | | |
| | | | | Integrada | 0,452 | | | | |
| PF | - | 3200,136 | 3.10 | - | - | 0,265 | 35,3636 | 54,8136 | 14,5435 |
| | | | | | | 0,226 | | | 12,3918 |
| Total | | | | | | | 3.243,3000 | 78.924,9283 | |

| | | |
|------------------|---------------------------------|------------|
| Velocidade média | Vazão total (m ³ /s) | 87.889,164 |
| | Área total(m ²) | 78.924,928 |
| | Vmédia (m/s) | 1,114 |

| | | |
|----------------------|---------------------------------|------------|
| Velocidade integrada | Vazão total (m ³ /s) | 88.708,423 |
| | Área total(m ²) | 78.924,928 |
| | Vmédia (m/s) | 1,124 |

| | |
|--------------------------------|--------|
| Velocidade média na prof de 1m | 1,2193 |
| Kv (Vmédia-total/Vmédia-1m) | 0,9133 |

Valor calculado

Valor digitado

Valor fixo

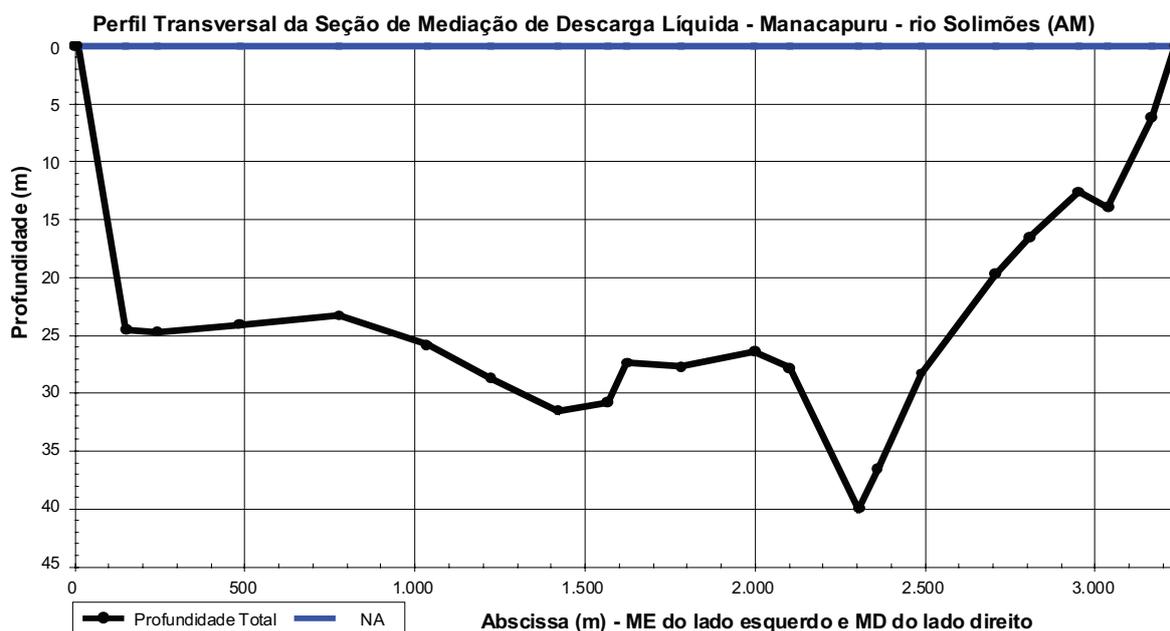


Figura 34 : Perfil transversal da seção obtida pelo Método Barco Ancorado.

5.2 Método dos grandes rios (método barco não ancorado)

Adequado para rios de grande largura que possam apresentar dificuldades para ancorar o barco ou riscos à operação.

A medição é realizada por verticais sucessivas, sem ancorar o barco para as tomadas de velocidades, sendo a velocidade média de cada vertical obtida usando-se dois pontos em cada vertical (20% e 80%) ou pelo processo detalhado.

As tomadas de velocidades medidas pelo molinete correspondem à velocidade do rio em relação ao barco. A velocidade do barco em relação à terra é calculada a partir da distância percorrida pelo mesmo durante a tomada de velocidade. O posicionamento do barco é

determinado com dois teodolitos no início e no fim de cada tomada de velocidade.

As verticais e seu posicionamento são determinados previamente pelas distâncias ao *PI* (d) e pelos ângulos formados com a base dos teodolitos instalados no *PI* (γ) e Alvo 2 (θ). Com os ângulos predeterminados, os dois observadores dos teodolitos, usando rádio, procuram orientar o piloto da embarcação para que este posicione o barco no alinhamento *PI - PF* e nas proximidades da vertical escolhida, buscando manter o barco na mesma posição durante as tomadas de velocidade.

Um contador digital de pulsos permite a pré-seleção de tempo (40 s), emitindo um sinal sonoro quando faltam 10 segundos para a contagem final do tempo, fazendo com que, nesse período de alerta, os observadores fiquem atentos ao sinal ou *top* final para leitura dos ângulos (Figura 37).

As tomadas de velocidade devem ser feitas nas proximidades da seção transversal. Para isso, recomenda-se iniciar a medida o mais próximo possível do alinhamento dessa seção, mantendo o barco contra a corrente, em aceleração que permita “manter” sua posição ao longo das tomadas de velocidade. O barco deve voltar à posição inicial para a medida do ponto seguinte (ainda na mesma vertical). Após a medição das velocidades na vertical escolhida, repete-se o procedimento na próxima vertical e assim, sucessivamente, até o final da medição (Figura 35).

Deve-se evitar qualquer mudança de direção ou aceleração do barco durante as tomadas de velocidade.

É fundamental que as leituras nos teodolitos pelos observadores coincidam exatamente com o início e o fim de cada tomada de velocidade, sendo o uso de rádios comunicadores indispensável. A determinação da profundidade na vertical deve ser feita com cuidado, visto o permanente deslocamento do barco (Figura 36).

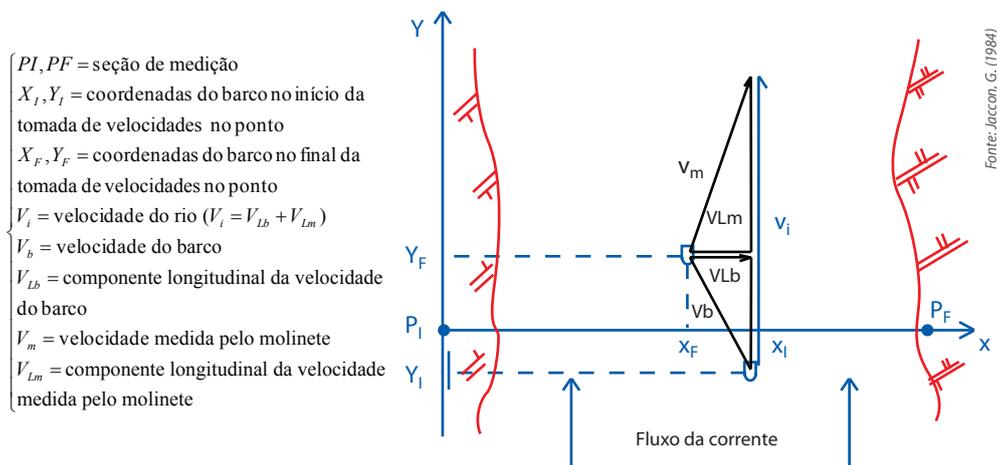


Figura 35: Parâmetros para cálculo da vazão pelo método dos grandes rios.



Foto: Maurício / Banco de Imagens ANA



Foto: Maurício / Banco de Imagens ANA

Figura 36: Posicionamento do Barco durante a Medição utilizando Teodolitos.



Foto: Maurício / Banco de imagens ANA



Foto: Maurício / Banco de imagens ANA

Figura 37: Ecobatímetro com contador de pulsos digital do molinete e utilização do rádio comunicador para posicionamento do barco

Esse método de medição é 3 a 4 vezes mais rápido em relação ao Método com Barco Ancorado, mais seguro para os operadores e equipamentos (menor perigo de abalroamento por materiais hidrotransportados), permitindo a duplicação do número de verticais..

Esta medição deve ser feita com maior atenção, pois as possibilidades de erros são grandes. A precisão do método está no rigor de sua execução, buscando-se minimizar os deslocamentos longitudinais e transversais durante a tomada de velocidade em um ponto e entre os pontos de uma mesma vertical.

Os deslocamentos transversais e longitudinais superiores a 20 m e 10 m, respectivamente, influem decisivamente na precisão do método, uma vez que podem ocorrer variações bruscas de profundidade e, nesses casos, os pontos de tomada de velocidades a 20% e 80% da profundidade total passam a ser indefinidos. O deslocamento do barco tem um peso muito grande na correção da velocidade medida.

É a partir desses deslocamentos, que é determinada a velocidade longitudinal do barco (V_{Lb}), conforme descrito na Figura 35, pois se divide a decomposição longitudinal desse deslocamento (d_y) pelo tempo da tomada de velocidade na vertical (t). Destaca-se que durante o processo de medição, caso o barco venha a subir o rio, a sua velocidade (V_{Lb}) deve ser subtraída da velocidade longitudinal medida pelo molinete (V_{Lm}), e caso o barco vier a descer o rio, a sua velocidade tem que ser adicionada à velocidade longitudinal medida pelo molinete.

Ainda neste método, considera-se como posição da vertical para o cálculo da vazão a projeção sobre a seção de medição da média aritmética entre as posições inicial e final do barco, ou seja:

$$x = \frac{x_{i,20\%} + x_{f,20\%} + x_{i,80\%} + x_{f,80\%}}{4}$$

Para o cálculo do posicionamento do barco, torna-se necessária a triangulação da seção de medição e, para cada vertical, as coordenadas iniciais e finais devem ser calculadas (a partir dos ângulos medidos nos dois teodolitos instalados na margem). A fim de exemplificar o cálculo da vazão pelo método dos grandes rios, serão apresentadas, a seguir a Figura 38 e as Tabelas 9, 10, 11, 12 utilizadas para obtenção da vazão líquida, bem como a Figura 39 que apresenta o perfil transversal da seção obtida pelo Método dos Grandes Rios.

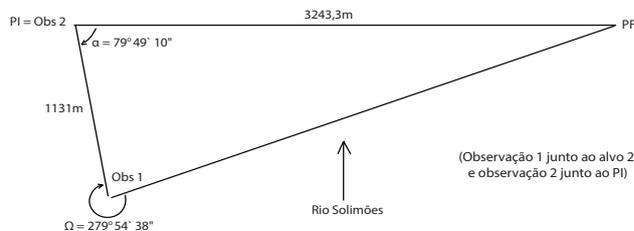


Figura 38: Triangulação em Manacapuru/AM e posicionamento dos teodolitos

Tabela 9 – Valores medidos de profundidade total e ângulos dos teodolitos para vertical e profundidade (método dos grandes rios).

| Vertical | Profundidade total (m) | Posição (%) | Obs 2 (alinhado com PI e PF) | | | | | | | |
|----------|------------------------|-------------|------------------------------|-----|-----|----------|-------|-----|-----|----------|
| | | | Início | | | | Final | | | |
| | | | Grau | Min | Seg | Decimal | Grau | Min | Seg | Decimal |
| 1 | 23,10 | 20% | 359 | 51 | 0 | 359,8500 | 359 | 42 | 20 | 359,7056 |
| | | 80% | 359 | 54 | 20 | 359,9056 | 0 | 16 | 40 | 0,2778 |
| 2 | 25,40 | 20% | 359 | 49 | 40 | 359,8278 | 359 | 49 | 50 | 359,8306 |
| | | 80% | 359 | 43 | 40 | 359,7278 | 359 | 50 | 20 | 359,8389 |
| 3 | 25,70 | 20% | 359 | 37 | 20 | 359,6222 | 359 | 59 | 50 | 359,9972 |
| | | 80% | 0 | 9 | 40 | 0,1611 | 0 | 11 | 40 | 0,1944 |
| 4 | 25,40 | 20% | 359 | 48 | 30 | 359,8083 | 0 | 2 | 20 | 0,0389 |
| | | 80% | 359 | 7 | 0 | 359,1167 | 359 | 47 | 0 | 389,7833 |
| 5 | 24,90 | 20% | 359 | 52 | 20 | 359,8722 | 359 | 48 | 20 | 359,8056 |
| | | 80% | 359 | 58 | 30 | 359,9750 | 359 | 55 | 0 | 359,9167 |
| 27 | 20,90 | 20% | 359 | 59 | 40 | 359,9944 | 0 | 2 | 10 | 0,0361 |
| | | 80% | 359 | 59 | 0 | 359,9633 | 0 | 0 | 40 | 0,0111 |
| 28 | 17,50 | 20% | 0 | 0 | 40 | 0,0111 | 359 | 59 | 0 | 359,9833 |
| | | 80% | 0 | 0 | 0 | 0,0000 | 359 | 59 | 20 | 359,9889 |
| 29 | 15,60 | 20% | 359 | 58 | 40 | 359,9778 | 359 | 59 | 40 | 359,9944 |
| | | 80% | 359 | 59 | 40 | 359,9944 | 359 | 59 | 20 | 359,9889 |
| 30 | 9,20 | 20% | 359 | 59 | 20 | 359,9889 | 359 | 59 | 50 | 359,9972 |
| | | 80% | 359 | 59 | 50 | 359,9972 | 0 | 0 | 40 | 0,0111 |
| 31 | 3,60 | 20% | 0 | 0 | 0 | 0,0000 | 359 | 59 | 30 | 359,9917 |
| | | 80% | 0 | 0 | 30 | 0,0083 | 0 | 0 | 0 | 0,0000 |

| Vertical | Obs 1 (não alinhado com PI e PF) | | | | | | | | |
|----------|----------------------------------|-----|-----|----------|-------|-----|-----|----------|--|
| | Início | | | | Final | | | | |
| | Grau | Min | Seg | Decimal | Grau | Min | Seg | Decimal | |
| 1 | 284 | 26 | 40 | 284,4444 | 284 | 25 | 30 | 284,4250 | |
| | 284 | 26 | 10 | 284,4361 | 284 | 28 | 30 | 284,4750 | |
| 2 | 287 | 1 | 30 | 287,0250 | 287 | 0 | 30 | 287,0083 | |
| | 287 | 1 | 20 | 287,0222 | 287 | 1 | 40 | 287,0278 | |
| 3 | 291 | 36 | 50 | 291,6139 | 291 | 36 | 50 | 291,6139 | |
| | 291 | 36 | 20 | 291,6389 | 291 | 36 | 30 | 291,6083 | |
| 4 | 298 | 47 | 10 | 298,7861 | 298 | 46 | 40 | 298,7778 | |
| | 298 | 46 | 20 | 298,7722 | 298 | 45 | 50 | 298,7639 | |
| 5 | 305 | 38 | 30 | 305,6417 | 305 | 36 | 50 | 305,6139 | |
| | 305 | 38 | 10 | 305,6361 | 305 | 38 | 50 | 305,6472 | |
| 27 | 356 | 45 | 40 | 356,7611 | 356 | 47 | 30 | 355,7917 | |
| | 356 | 44 | 40 | 356,7444 | 356 | 46 | 10 | 356,7894 | |
| 28 | 357 | 52 | 10 | 357,8694 | 357 | 51 | 30 | 357,8583 | |
| | 357 | 52 | 20 | 357,8667 | 357 | 52 | 40 | 357,8778 | |
| 29 | 358 | 32 | 30 | 358,5417 | 358 | 33 | 20 | 358,5556 | |
| | 358 | 33 | 50 | 358,5839 | 358 | 33 | 40 | 358,5611 | |
| 30 | 359 | 14 | 30 | 359,2417 | 359 | 14 | 50 | 359,2472 | |
| | 359 | 15 | 0 | 359,2500 | 359 | 14 | 20 | 359,2389 | |
| 31 | 359 | 41 | 30 | 359,6917 | 359 | 40 | 40 | 359,6778 | |
| | 359 | 41 | 20 | 359,6889 | 359 | 42 | 10 | 359,7028 | |

Valor calculado

Valor medido

Valor fixo

Tabela 10 – Cálculo da Distância (d) percorrida pelo Barco para cada Vertical e Profundidade

| Base | Ω (Const Obs 1) | α (Const Obs 2) |
|--------|------------------------|------------------------|
| (m) | dec | dec |
| 1131,0 | 279,9106 | 79,8194 |

| Vertical | Posição | Obs 1 | | Obs 2 | | $\theta = \text{Obs 1} - \Omega$ | | | |
|----------|---------|----------|----------|----------|----------|----------------------------------|--------|---------|--------|
| | | Inicial | Final | Inicial | Final | Inicial | | Final | |
| | | dec | dec | dec | dec | dec | rad | dec | rad |
| 1 | 20% | 284,4444 | 284,4250 | 359,8500 | 359,7056 | 4,5339 | 0,0791 | 4,5144 | 0,0788 |
| | 80% | 284,4361 | 284,4750 | 359,9056 | 0,2778 | 4,5256 | 0,0790 | 4,5644 | 0,0797 |
| 2 | 20% | 287,0250 | 287,0083 | 359,8278 | 359,8306 | 7,1144 | 0,1242 | 7,0978 | 0,1239 |
| | 80% | 287,0222 | 287,0278 | 359,7278 | 259,8389 | 7,1117 | 0,1241 | 7,1172 | 0,1242 |
| 3 | 20% | 291,6139 | 291,6139 | 359,6222 | 359,9972 | 11,7033 | 0,2043 | 11,7033 | 0,2043 |
| | 80% | 291,6389 | 291,6083 | 0,1611 | 0,1944 | 11,7283 | 0,2047 | 11,6978 | 0,2042 |
| 4 | 20% | 298,7861 | 298,7778 | 359,8083 | 0,0389 | 18,8756 | 0,3294 | 18,8672 | 0,3293 |
| | 80% | 298,7722 | 298,7639 | 359,1167 | 359,7833 | 18,8617 | 0,3292 | 18,8533 | 0,3291 |
| 5 | 20% | 305,6417 | 305,6139 | 359,8722 | 359,8056 | 25,7311 | 0,4491 | 25,7033 | 0,4486 |
| | 80% | 305,6361 | 305,6472 | 359,9750 | 359,9167 | 25,7256 | 0,4490 | 25,7367 | 0,4492 |
| 25 | 20% | 355,2222 | 355,2111 | 359,9722 | 359,9556 | 75,3117 | 1,3144 | 75,3006 | 1,3142 |
| | 80% | 355,2139 | 355,2083 | 359,9556 | 359,9778 | 75,3033 | 1,3143 | 75,2978 | 1,3142 |
| 26 | 20% | 356,1917 | 356,0306 | 0,0139 | 0,0250 | 76,2811 | 1,3314 | 76,1200 | 1,3285 |
| | 80% | 356,0417 | 356,0278 | 359,9833 | 359,9833 | 76,1311 | 1,3287 | 76,1172 | 1,3285 |
| 27 | 20% | 356,7611 | 356,7917 | 359,9944 | 0,0361 | 76,8506 | 1,3413 | 76,8811 | 1,3418 |
| | 80% | 356,7444 | 356,7694 | 359,9833 | 0,0111 | 76,8339 | 1,3410 | 76,8589 | 1,3414 |
| 28 | 20% | 357,8694 | 357,8583 | 0,0111 | 359,9833 | 77,9589 | 1,3606 | 77,9478 | 1,3604 |
| | 80% | 357,8667 | 357,8778 | 0,0000 | 359,9889 | 77,9561 | 1,3606 | 77,9672 | 1,3608 |
| 29 | 20% | 358,5417 | 358,5556 | 359,9778 | 359,9944 | 78,6311 | 1,3724 | 78,6450 | 1,3726 |
| | 80% | 358,5639 | 358,5611 | 359,9944 | 359,9889 | 78,6533 | 1,3728 | 78,6506 | 1,3727 |
| 30 | 20% | 359,2417 | 359,2472 | 359,9889 | 359,9972 | 79,3311 | 1,3846 | 79,3367 | 1,3847 |
| | 80% | 359,2500 | 359,2389 | 359,9972 | 0,0111 | 79,3394 | 1,3847 | 79,3283 | 1,3845 |
| 31 | 20% | 359,6917 | 359,6778 | 0,0000 | 359,9917 | 79,7811 | 1,3924 | 79,7672 | 1,3922 |
| | 80% | 359,6889 | 359,7028 | 0,0083 | 0,0000 | 79,7783 | 1,3924 | 79,7922 | 1,3926 |

Valor calculado

Valor fixo

Tabela 10 – Cálculo da Distância (d) percorrida pelo Barco para cada Vertical e Profundidade

| Vertical | $\gamma = \text{Obs 2 corrigido}$ | | | | β | | | | Di (m) | Df (m) |
|----------|-----------------------------------|--------|--------|--------|---------|--------|---------|--------|-----------|-----------|
| | Inicial | | Final | | Inicial | | Final | | | |
| | dec | rad | dec | rad | dec | rad | dec | rad | | |
| 1 | 0,1500 | 0,0026 | 0,2944 | 0,0051 | 95,4967 | 1,6667 | 95,3717 | 1,6645 | 89,8171 | 89,4142 |
| | 0,0944 | 0,0016 | 0,2778 | 0,0048 | 95,5606 | 1,6678 | 95,8939 | 1,6737 | 89,6621 | 90,4837 |
| 2 | 0,1722 | 0,0030 | 0,1694 | 0,0030 | 92,8939 | 1,6213 | 92,9133 | 1,6216 | 140,2551 | 139,9306 |
| | 0,2722 | 0,0048 | 0,1611 | 0,0028 | 92,7967 | 1,6196 | 92,9022 | 1,6214 | 140,1888 | 140,3106 |
| 3 | 0,3778 | 0,0066 | 0,0028 | 0,0000 | 88,0994 | 1,5376 | 88,4744 | 1,5442 | 229,5431 | 229,4982 |
| | 0,1611 | 0,0028 | 0,1944 | 0,0034 | 88,6133 | 1,5466 | 88,6772 | 1,5477 | 229,9674 | 229,3706 |
| 4 | 0,1917 | 0,0033 | 0,0389 | 0,0007 | 81,1133 | 1,4157 | 81,3522 | 1,4199 | 370,3397 | 369,9442 |
| | 0,8833 | 0,0154 | 0,2167 | 0,0038 | 80,4356 | 1,4039 | 81,1106 | 1,4156 | 370,7888 | 369,9223 |
| 5 | 0,1278 | 0,0022 | 0,1944 | 0,0034 | 74,3217 | 1,2972 | 74,2828 | 1,2965 | 509,9967 | 509,5808 |
| | 0,0250 | 0,0004 | 0,0833 | 0,0015 | 74,4300 | 1,2990 | 74,3606 | 1,2978 | 509,6245 | 510,0022 |
| 25 | 0,0278 | 0,0005 | 0,0444 | 0,0008 | 24,8411 | 0,4336 | 24,8356 | 0,4335 | 2604,2123 | 2604,6254 |
| | 0,0444 | 0,0008 | 0,0222 | 0,0004 | 24,8328 | 0,4334 | 24,8606 | 0,4339 | 2604,9314 | 2602,1393 |
| 26 | 0,0139 | 0,0002 | 0,0250 | 0,0004 | 23,9133 | 0,4174 | 24,0856 | 0,4204 | 2710,5512 | 2690,4539 |
| | 0,0167 | 0,0003 | 0,0167 | 0,0003 | 24,0328 | 0,4195 | 24,0467 | 0,4197 | 2696,1397 | 2694,5136 |
| 27 | 0,0056 | 0,0001 | 0,0361 | 0,0006 | 23,3244 | 0,4071 | 23,3356 | 0,4073 | 2781,6151 | 2780,7106 |
| | 0,0167 | 0,0003 | 0,0111 | 0,0002 | 23,3300 | 0,4072 | 23,3328 | 0,4072 | 2780,8006 | 2780,7716 |
| 28 | 0,0111 | 0,0002 | 0,0167 | 0,0003 | 22,2328 | 0,3880 | 22,2161 | 0,3877 | 2923,3680 | 2925,3290 |
| | 0,0000 | 0,0000 | 0,0111 | 0,0002 | 22,2244 | 0,3879 | 22,2022 | 0,3875 | 2924,3784 | 2927,2782 |
| 29 | 0,0222 | 0,0004 | 0,0056 | 0,0001 | 21,5272 | 0,3757 | 21,5300 | 0,3758 | 3021,7423 | 3021,5181 |
| | 0,0056 | 0,0001 | 0,0111 | 0,0002 | 21,5217 | 0,3756 | 21,5189 | 0,3756 | 3022,7208 | 3023,0630 |
| 30 | 0,0111 | 0,0002 | 0,0028 | 0,0000 | 20,8383 | 0,3637 | 20,8411 | 0,3637 | 3124,3968 | 3124,0560 |
| | 0,0028 | 0,0000 | 0,0111 | 0,0002 | 20,8383 | 0,3637 | 20,8633 | 0,3637 | 3124,4824 | 3120,7911 |
| 31 | 0,0000 | 0,0000 | 0,0083 | 0,0001 | 20,3994 | 0,3560 | 20,4060 | 0,3561 | 3193,2801 | 3192,3081 |
| | 0,0083 | 0,0001 | 0,0000 | 0,0000 | 20,4106 | 0,3562 | 20,3883 | 0,3558 | 3191,5879 | 3195,0578 |

Valor calculado

Valor fixo

Tabela 11 – Cálculo das coordenadas (x e y) do barco e velocidade medida pelo molinete para cada vertical e profundidade

| | | | |
|------------------|----------------------|---|-----------------------------|
| Rio Solimões | Cota(NA)início(m): | 15,57 m | |
| Local Maracapuru | Cota (NA) final (m): | 15,55 m | Cota (NA)média (m): 15,56 m |
| Data 23/08/2004 | Eq. Molinete | Para (N/T) <= 12,90: V=0,238272*(N/T)+0,006455 Para(N/T) <= 12,90: V=0,236476*(N/T)+0,029619 | |

| Vertical | Abscissa | | Profundidade total (m) | Posição (%) | Profundidade de medição (m) | Obs 2 (alinhado com PI e PF) | | | | | | | |
|----------|--------------|----------|------------------------|-------------|-----------------------------|------------------------------|-----|-----|----------|-------|-----|-----|----------|
| | Estimada (m) | Real (m) | | | | Início | | | | Final | | | |
| | | | | | | grau | min | seg | Decimal | grau | min | seg | Decimal |
| 1 | 90 | 89,844 | 23,10 | 20% | 4,62 | 359 | 51 | 0 | 359,8500 | 359 | 42 | 20 | 359,7058 |
| | | | | 80% | 18,48 | 359 | 54 | 20 | 359,9058 | 0 | 16 | 40 | 0,2778 |
| 2 | 140 | 140,170 | 25,40 | 20% | 5,08 | 359 | 49 | 40 | 359,8278 | 359 | 49 | 50 | 359,8306 |
| | | | | 80% | 20,32 | 359 | 43 | 40 | 359,7278 | 359 | 50 | 20 | 359,8389 |
| 3 | 230 | 229,593 | 25,70 | 20% | 5,14 | 359 | 37 | 20 | 359,6222 | 359 | 59 | 50 | 359,9972 |
| | | | | 80% | 20,56 | 0 | 9 | 40 | 0,1611 | 0 | 11 | 40 | 0,1944 |
| 4 | 370 | 370,237 | 25,40 | 20% | 5,08 | 359 | 48 | 30 | 359,8083 | 0 | 2 | 20 | 0,0389 |
| | | | | 80% | 20,32 | 359 | 7 | 0 | 359,1167 | 359 | 47 | 0 | 359,7833 |
| 5 | 510 | 509,800 | 24,90 | 20% | 4,98 | 359 | 52 | 20 | 359,8722 | 359 | 48 | 20 | 359,8056 |
| | | | | 80% | 19,92 | 359 | 58 | 30 | 359,9750 | 359 | 55 | 0 | 359,9167 |
| 27 | 2780 | 2780,974 | 20,90 | 20% | 4,18 | 359 | 59 | 40 | 359,9944 | 0 | 2 | 10 | 0,0361 |
| | | | | 80% | 16,72 | 359 | 59 | 0 | 359,9833 | 0 | 0 | 40 | 0,0111 |
| 28 | 2920 | 2925,088 | 17,50 | 20% | 3,5 | 0 | 0 | 40 | 0,0111 | 359 | 59 | 0 | 359,9833 |
| | | | | 80% | 14 | 0 | 0 | 0 | 0,0000 | 359 | 59 | 20 | 359,9889 |
| 29 | 3020 | 3022,261 | 15,60 | 20% | 3,12 | 359 | 58 | 40 | 359,9778 | 359 | 59 | 40 | 359,9944 |
| | | | | 80% | 12,48 | 359 | 59 | 40 | 359,9944 | 359 | 59 | 20 | 359,9889 |
| 30 | 3120 | 3123,432 | 9,20 | 20% | 1,84 | 359 | 59 | 20 | 359,9889 | 359 | 59 | 50 | 359,9972 |
| | | | | 80% | 7,36 | 359 | 59 | 50 | 359,9972 | 0 | 0 | 40 | 0,0111 |
| 31 | 3190 | 3193,058 | 3,60 | 20% | 0,72 | 0 | 0 | 0 | 0,0000 | 359 | 59 | 30 | 359,9917 |
| | | | | 80% | 2,88 | 0 | 0 | 30 | 0,0083 | 0 | 0 | 0 | 0,0000 |

Valor calculado

Valor medido

Valor fixo

Tabela 11 – Cálculo das coordenadas (x e y) do barco e velocidade medida pelo molinete para cada vertical e profundidade

| Base (Dist entre Obs1 e Obs 2) | PI-PF | Ω (ângulo const. Obs 1) | | | | α (ângulo const. Obs 2) | | | |
|--------------------------------------|--------|--------------------------------|-----|-----|----------|--------------------------------|-----|-----|---------|
| (m) | (m) | grau | min | seg | Decimal | grau | min | seg | Decimal |
| 1131,0 | 3243,3 | 279 | 54 | 38 | 279,9106 | 79 | 49 | 10 | 79,8194 |

| Obs 1 (não-alinhado com PI e PF) | | | | | | | | Coordenadas | | | | N | T | Veloc |
|----------------------------------|-----|-----|----------|-------|-----|-----|----------|-------------|-----------|---------|---------|-----|-------|-------|
| Início | | | | Final | | | | X_i | X_f | Y_i | Y_f | | | |
| grau | min | seg | Decimal | grau | min | seg | Decimal | (m) | (m) | (m) | (m) | (s) | (m/s) | |
| 284 | 26 | 40 | 284,4444 | 284 | 25 | 30 | 284,4250 | 89,8168 | 89,4130 | -0,2351 | -0,4595 | 183 | 40 | 1,097 |
| 284 | 26 | 10 | 384,4361 | 284 | 28 | 30 | 284,4750 | 89,6619 | 90,4826 | -0,1478 | 0,4387 | 134 | 40 | 0,805 |
| 287 | 1 | 30 | 387,0250 | 287 | 0 | 30 | 287,0083 | 140,2544 | 139,9800 | -0,4216 | -0,4138 | 189 | 40 | 1,132 |
| 287 | 1 | 20 | 287,0222 | 287 | 1 | 40 | 287,0278 | 140,1872 | 140,3100 | -0,6661 | -0,3945 | 154 | 40 | 0,924 |
| 291 | 36 | 50 | 291,6139 | 291 | 36 | 50 | 291,6139 | 229,5381 | 229,4982 | -0,5135 | -0,0111 | 197 | 40 | 1,180 |
| 291 | 38 | 20 | 391,6389 | 291 | 36 | 30 | 291,6083 | 229,9665 | 229,3693 | 0,6466 | 0,7784 | 154 | 40 | 0,924 |
| 298 | 47 | 10 | 298,7861 | 298 | 46 | 40 | 298,7778 | 370,3376 | 369,9441 | -1,2389 | 0,2511 | 204 | 40 | 1,222 |
| 298 | 46 | 20 | 298,7722 | 298 | 45 | 50 | 298,7639 | 370,7448 | 369,9197 | -5,7163 | -1,3989 | 171 | 40 | 1,025 |
| 305 | 38 | 30 | 305,6417 | 305 | 36 | 50 | 305,6139 | 509,9954 | 509,5778 | -1,1374 | -1,7294 | 202 | 40 | 1,210 |
| 305 | 38 | 10 | 305,6361 | 305 | 38 | 50 | 305,6472 | 509,6245 | 510,0017 | -0,2224 | -0,7418 | 155 | 40 | 0,930 |
| 356 | 45 | 40 | 356,7611 | 356 | 47 | 30 | 356,7917 | 2781,6151 | 2780,7101 | -0,2697 | 1,7526 | 225 | 40 | 1,347 |
| 356 | 44 | 40 | 356,7444 | 356 | 46 | 10 | 256,7694 | 2780,8005 | 2780,7715 | -0,8089 | 0,5393 | 179 | 40 | 1,073 |
| 357 | 52 | 10 | 357,8694 | 357 | 51 | 30 | 357,8583 | 2923,3680 | 2925,3288 | 0,5669 | -0,8509 | 186 | 40 | 1,114 |
| 357 | 52 | 0 | 357,8667 | 357 | 52 | 40 | 357,8778 | 2924,3784 | 2927,2782 | 0,0000 | -0,5677 | 148 | 40 | 0,888 |
| 358 | 32 | 30 | 358,5417 | 358 | 33 | 20 | 358,5556 | 3021,7421 | 3021,5181 | -1,1720 | -0,2930 | 171 | 40 | 1,025 |
| 358 | 33 | 50 | 358,5639 | 358 | 33 | 40 | 358,5611 | 3022,7208 | 3023,0630 | -0,2931 | -0,5862 | 122 | 40 | 0,733 |
| 359 | 14 | 30 | 359,2417 | 359 | 14 | 50 | 359,2472 | 3124,3968 | 3124,0560 | -0,6059 | -0,1515 | 157 | 40 | 0,942 |
| 359 | 15 | 0 | 359,2500 | 359 | 14 | 20 | 359,2389 | 3124,4824 | 3120,7910 | -0,1515 | 0,6052 | 107 | 40 | 0,644 |
| 359 | 41 | 30 | 359,6917 | 359 | 40 | 40 | 359,6778 | 3193,2801 | 3192,3081 | 0,0000 | -0,4643 | 51 | 40 | 0,310 |
| 359 | 41 | 20 | 359,6889 | 359 | 42 | 10 | 359,7028 | 3191,5879 | 3195,0578 | 0,4642 | 0,0000 | 41 | 40 | 0,251 |

Valor calculado

Valor medido

Valor fixo

Tabela 12 – Cálculo das velocidades (molinete, barco, longitudinais, rio), largura (método meia seção), área e vazão para cada vertical (Método Grandes Rios)

| Dist PI-ME (m) | Dist PF-MD (m) |
|----------------|----------------|
| 7 | 7,8 |

| Vertical | Posição | ΔY (m) | ΔX (m) | V_m (m/s) | V_{Lb} (m/s) | V_{Lm} (m/s) | V_i ($V_{Lm} + V_{Lm'}$) (m/s) | $V_{m\acute{e}dia}$ (m/s) | Largura (m) | Área (m ²) | Vazão (m ³ /s) |
|----------|---------|----------------|----------------|-------------|----------------|----------------|------------------------------------|---------------------------|-------------|------------------------|---------------------------|
| PI | - | - | - | - | - | - | - | 0,473 | 41,422 | 476,422 | 226,276 |
| 1 | 20% | -0,224 | -0,404 | 1,097 | 0,006 | 1,097 | 1,102 | 0,946 | 66,585 | 1538,118 | 1454,948 |
| | 80% | 0,586 | 0,821 | 0,805 | -0,015 | 0,804 | 0,790 | | | | |
| 2 | 20% | 0,008 | -0,324 | 1,132 | 0,00 | 1,132 | 1,132 | 1,025 | 69,875 | 1774,816 | 1818,369 |
| | 80% | 0,272 | 0,123 | 0,924 | -0,007 | 0,924 | 0,917 | | | | |
| 3 | 20% | 1,502 | -0,040 | 1,180 | -0,038 | 1,180 | 1,142 | 1,031 | 115,033 | 2956,350 | 3049,139 |
| | 80% | 0,132 | -0,597 | 0,924 | -0,003 | 0,924 | 0,920 | | | | |
| 4 | 20% | 1,490 | -0,394 | 1,222 | -0,037 | 1,222 | 1,184 | 1,051 | 140,103 | 3558,626 | 3738,834 |
| | 80% | 4,317 | -0,825 | 1,025 | -0,108 | 1,025 | 0,917 | | | | |
| 5 | 20% | -0,592 | -0,418 | 1,210 | 0,015 | 1,210 | 1,224 | 1,084 | 149,868 | 3731,709 | 4043,642 |
| | 80% | -0,519 | 0,377 | 0,930 | 0,013 | 0,930 | 0,943 | | | | |
| 27 | 20% | 2,022 | -0,905 | 1,347 | -0,051 | 1,347 | 1,296 | 1,168 | 113,587 | 2373,967 | 2771,613 |
| | 80% | 1,348 | -0,029 | 1,073 | -0,034 | 1,073 | 1,039 | | | | |
| 28 | 20% | -1,418 | 1,961 | 1,114 | 0,035 | 1,113 | 1,149 | 1,024 | 120,643 | 2111,258 | 2162,010 |
| | 80% | -0,568 | 2,900 | 0,888 | 0,014 | 0,885 | 0,899 | | | | |
| 29 | 20% | 0,879 | -0,224 | 1,025 | -0,022 | 1,025 | 1,003 | 0,872 | 99,172 | 1547,077 | 1348,696 |
| | 80% | 0,293 | 0,342 | 0,733 | 0,007 | 0,733 | 0,740 | | | | |
| 30 | 20% | 0,454 | -0,341 | 0,942 | -0,011 | 0,942 | 0,930 | 0,774 | 85,399 | 785,668 | 608,320 |
| | 80% | 0,757 | -3,691 | 0,644 | -0,019 | 0,637 | 0,618 | | | | |
| 31 | 20% | -0,464 | -0,972 | 0,310 | 0,012 | 0,309 | 0,321 | 0,284 | 56,034 | 201,723 | 57,260 |
| | 80% | -0,464 | 3,470 | 0,251 | 0,012 | 0,235 | 0,247 | | | | |
| PF | - | - | - | - | - | - | - | 0,142 | 21,221 | 38,197 | 5,421 |
| | | | | | | | | | | Largura total (m) | 3243,300 |

| | |
|--|-----------------|
| | Valor calculado |
| | Valor digitado |
| | Valor fixo |

| | |
|---------------------------------|-------------|
| Vazão total (m ³ /s) | 104.982,466 |
| Área total (m ²) | 85.617,836 |
| $V_{m\acute{e}dia}$ (m/s) | 1,226 |

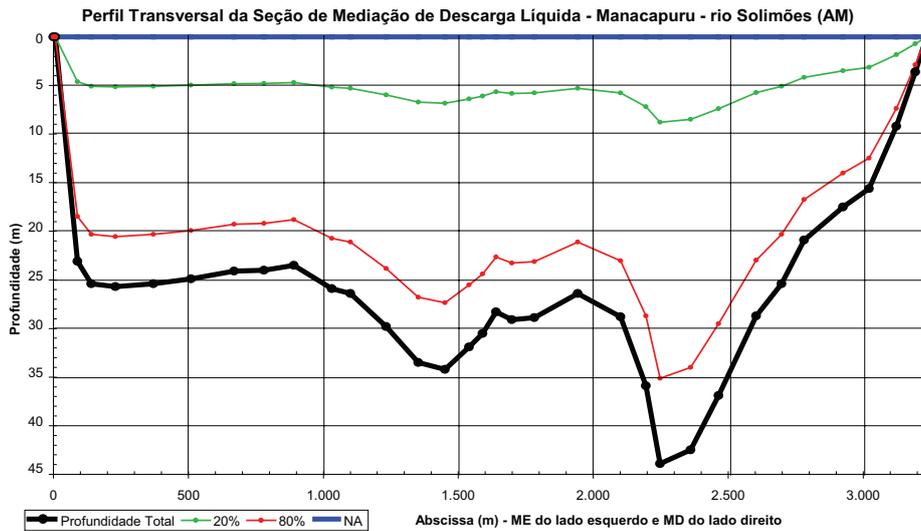


Figura 39: Perfil transversal da seção de medição pelo método dos grandes rios

5.3 Método do barco em movimento (moving boat ou smoot)

A técnica de medição com o barco em movimento, conhecida como Método de Smoot, foi desenvolvida no U. S. Geological Survey, por George F. Smoot e Charles E. Novak. Esse método destaca-se pela rapidez e segurança com que se realizam as medições, razão pela qual é especialmente indicado para os períodos de cheias, em locais sujeitos a fortes inundações e em rios ou estuários sujeitos ao efeito de maré.

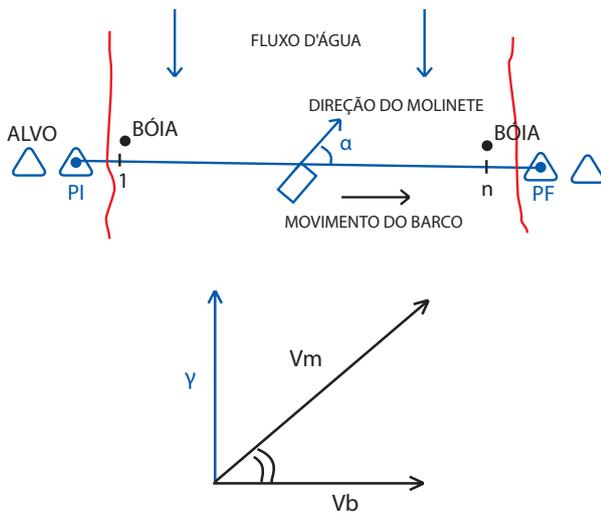
Os resultados obtidos em medições realizadas com o Método de Smoot estão na faixa de 5% de diferença em relação aos demais métodos convencionais, desde que sejam utilizadas seções cuidadosamente selecionadas e que o deslocamento do barco sobre a seção transversal de medição seja previamente demarcado com dois alvos em cada margem.

Como nas demais técnicas, devem ser determinados os seguintes elementos para o cálculo da vazão:

- Velocidade da corrente perpendicular à seção de medição, em cada vertical de observação;
- Posição das verticais em relação a um ponto inicial de observação;
- Profundidade do rio nas verticais.

Como o barco desloca-se continuamente na seção transversal, a velocidade medida em cada vertical pelo molinete (V_m) é a resultante da velocidade da água (V) com a velocidade produzida pelo deslocamento do barco (V_b). Por isso, é necessária a medida do ângulo α entre a direção do molinete e a seção transversal de medição (Figura 40).

Por esse método, o barco desloca-se na seção transversal de maneira constante, tanto em velocidade quanto em direção. A distância do percurso é definida com duas boias ancoradas perto das margens. A utilização das boias evita que o molinete seja danificado quando o barco atinge, nas proximidades da margem, profundidades inferiores à posição do molinete.



Fonte: Fichas Técnicas DNAAE - 1984

O molinete, fixado na proa do barco e o ecobatímetro funcionam de maneira contínua durante a travessia. A velocidade, a profundidade e o ângulo do molinete com a seção transversal são medidos em 30 ou em até 40 verticais.

A velocidade (V_m) é medida num único ponto da vertical, geralmente a 1 m de profundidade, sendo essa velocidade (V_m) a soma vetorial da velocidade do rio (V), normal à seção transversal, e a velocidade do barco (V_b) com as margens.

$$\begin{cases} V = V_m \cdot \text{sen}(\alpha) \\ V_b = V_m \cdot \text{cos}(\alpha) \end{cases} \quad \text{ou} \quad V = \sqrt{V_m^2 - V_b^2}$$

Figura 40: Medição de vazão pelo método Smoot.

A velocidade do rio determinada a 1 m de profundidade deve ser convertida em velocidade média na vertical por meio de um coeficiente apropriado (K_v).

Os autores do método (Smoot e Novak), após uma série de investigações feitas em rios americanos, afirmam que esse coeficiente situa-se na faixa de 0,90 a 0,92. Esse coeficiente para a seção em questão pode ser obtido pela média das razões entre a velocidade média de cada vertical e a velocidade medida a 1 m de profundidade (obtido pelo método de barco ancorado).

$$V_c = V \cdot K_v$$

em que

$$\begin{cases} V_c = \text{velocidade média da vertical na direção do fluxo (m/s)} \\ V = \text{velocidade a um metro de profundidade na direção do fluxo (m/s)} \\ K_v = \text{coeficiente de correção de velocidade (entre 0,90 e 0,92)} \end{cases}$$

$$K_v = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{(V_{média})_i}{(V_{Prof=1m})_i}}{n}$$

em que

$$\begin{cases} K_v = \text{coeficiente de correção da velocidade} \\ (V_{média})_i = \text{velocidade média da vertical "i" na direção do fluxo (m/s)} \\ (V_{Prof=1m})_i = \text{velocidade medida na vertical "i" a um metro de profundidade na direção do fluxo (m/s)} \\ i = \text{vertical onde é realizada a medição da velocidade (método do Barco Ancorado)} \end{cases}$$



Foto: Matheus / Banco de imagens ANA



Foto: Matheus / Banco de imagens ANA

Figura 41: Alvo próximo à margem e Contador de Pulsos pelo Método Barco em Movimento

A distância percorrida pelo barco, entre duas verticais, é calculada a partir de uma distância teórica (constante) que é a função do molinete. Essa distância deve ser corrigida em função do ângulo do molinete, conforme a expressão a seguir, obtendo a distância projetada ao longo da seção transversal.

$$L_{b,i} = L_V \cdot \cos(\alpha)$$

em que $\left\{ \begin{array}{l} L_{b,i} = \text{distância calculada percorrida pelo barco} \\ \text{entre duas verticais (m)} \\ L_V = \text{distância teórica e constante do molinete (m)} \\ \alpha = \text{ângulo entre a direção do molinete e a seção} \\ \text{transversal de medição} \end{array} \right.$

O somatório das distâncias parciais entre duas verticais consecutivas ($L_{b,i}$), com as distâncias entre a margem e a respectiva boia, não necessariamente coincidirá com a distância entre as margens (L) medida. Deverá então ser calculado um coeficiente de correção da largura (K_L) para obter a área e a vazão real para a travessia respectiva (Figura 42).

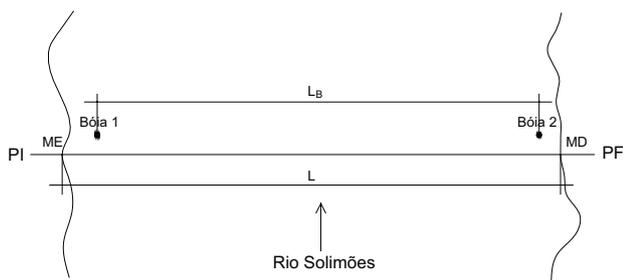


Figura 42: Seção de medição com a utilização do método do barco em movimento

$$K_L = \frac{L}{\sum_{i=1}^2 L_{M,Bóia} + \sum_{i=1}^n L_{b,i}}$$

em que $\left\{ \begin{array}{l} K_L = \text{coeficiente de correção da largura} \\ L = \text{distância real entre as margens MD e ME (m)} \\ L_{M,Bóia} = \text{distância medida entre a margem e a} \\ \text{respectiva bóia (m)} \\ L_{b,i} = \text{distância calculada percorrida pelo barco} \\ \text{entre duas verticais (m)} \end{array} \right.$

$$A_{real} = A \cdot K_L \quad \text{e} \quad Q_{real} = Q \cdot K_L$$

O método de medição com barco em movimento é completo no que se refere ao termo geométrico da vazão (seção molhada), é parcial no que se refere ao termo hidráulico da vazão (velocidade medida a um metro de profundidade, ou seja, somente na superfície).

Para a realização da medição, são utilizados os equipamentos ilustrados nas Figuras 43 e 44, ou seja:

- eixo vertical fixado na proa do barco com um leme que orienta o molinete na direção da corrente com um indicador de direção que permite ler o valor do ângulo α ;
- Molinete (passo teórico 0,125) gera 24 impulsos em cada revolução, e os impulsos recebidos por um contador apresentam o valor instantâneo de impulsos por segundo e, por consequência, permite calcular a velocidade instantânea. O contador seleciona também as verticais de medição e quando o número de pulsos totaliza o valor pré-escolhido (correspondendo a distância teórica), é gerado um sinal sonoro para alertar a equipe e um sinal elétrico que assinala uma marca no papel do ecobatímetro.

- 1 = molinete
- 2 = leme
- 3 = transdutor ligado ao ecobatímetro
- 4 = medidor de ângulo
- 5 = eixo fixado na proa do barco
- 6 = contador de impulsos

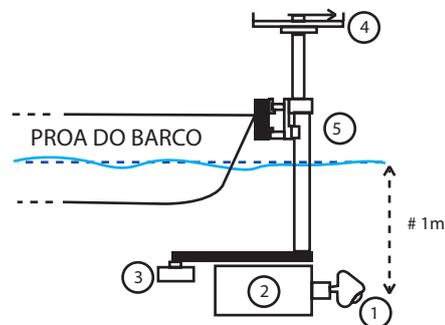


Figura 43: Equipamentos para Medição pelo Método Smoot a 1 metro de profundidade



Foto: Celso / Banco de Imagens ANA



Foto: Celso / Banco de Imagens ANA

Figura 44: Eixo vertical fixado na proa do barco e medidor de ângulo

Nesse método, a medição inicia-se na primeira boia e na primeira vertical são tomadas a velocidade e a profundidade, assim como lido o ângulo α . Se não for possível, a velocidade será estimada a $\frac{3}{4}$ daquela medida na vertical seguinte.

A distância entre a penúltima vertical e a segunda boia não corresponde, em geral, a uma distância teórica inteira, mas somente a uma fração desta. Quando o barco passa na frente da 2ª boia, o operador dá uma ordem de fim de medição, e nesse momento a velocidade, a profundidade e o ângulo são levantados e a sinalização é registrada no papel do ecobatímetro, permitindo avaliar o valor da fração da distância teórica.

Uma medição completa consta de 6 a 10 travessias sucessivas, alternando-se a origem da medição. É geralmente difícil, nos grandes rios, definir uma seção transversal rigorosamente perpendicular à direção da corrente d'água. Isso implica uma diferença entre os valores da vazão medida na ida (de uma margem a outra) e na volta. O valor da vazão final será a média aritmética de seis valores (três na ida e três na volta), sendo eliminados os resultados extremos. Durante a medição, o ângulo α deve ficar o mais constante possível entre duas verticais e não sair da faixa entre 35° e 55°.

O número de verticais recomendado pelos autores do método (30 a 40) parece suficiente quando as condições de operações são boas. Um número superior só vem a

melhorar a precisão, pois um maior número de verticais faz com que a precisão se aproxime de um processo integrado. Deve-se destacar que esse método é rápido, seguro e não exige nenhum equipamento localizado nas margens (aspecto importante quando as margens estão alagadas).

A fim de exemplificar o cálculo da vazão pelo método do barco em movimento (Método do *Moving Boat* ou *Smoot*), serão apresentadas, a seguir as Tabelas 13, 14 e 15 utilizadas para obtenção da vazão líquida, bem como a Figura 45 que apresenta o perfil transversal da seção obtida pelo Método do *Moving Boat*.

| Tabela 13 – Coeficientes do molinete utilizado nas travessias | |
|---|----------|
| Molinete nº: | A-18038 |
| CML 1 = | 0,005482 |
| OML 1 = | 0,01177 |
| Prof. Mol.: | 1,00 |
| Nº. pulsos: | 16,384 |
| Classe = | 5 |
| Lv (m) = | 90,6 |

$$V_m = CML1 \cdot N + OML1$$

$$V_m = 0,005482 \cdot N + 0,01177$$

Tabela 14 – Cálculo das velocidades médias, distâncias percorridas, áreas parciais e vazões parciais para cada vertical e vazão total da travessia

Medição pelo método do barco em movimento (SMOOT)

Local: Manacapuru

Medição nº 1: da margem direita (MD) para a margem esquerda (ME)

| Travessia | Método | Travessia | Distância bóia 1 (m) | Distância bóia 2 (m) | Coefficiente bóia 1 (m) | Coefficiente bóia 2 (m) | Kv |
|-----------|--------|-----------|----------------------|----------------------|-------------------------|-------------------------|--------|
| 1 | 5 | MD-ME | 71,2 | 43,1 | 0,70 | 1,0 | 0,9133 |

| Vertical | Ângulo | Profundidade | Pulsos | Vel. 1m | Vel. média | D. parcial | D. acumulada | Área | Vazão |
|-------------|--------------|--------------|--------|---------|------------|------------|--------------|----------|----------|
| (i) | (θ) | (Pi) | (N) | (V) | (VC) | (Lb, i) | (D) | (Aj) | (Qi) |
| 1 (=bóia 1) | 29 | 4,0 | 225 | 0,60 | 0,55 | 71,20 | 71,2 | 255,42 | 140,83 |
| 2 | 27 | 7,9 | 275 | 0,69 | 0,69 | 56,51 | 127,7 | 519,89 | 327,52 |
| 3 | 34 | 11,8 | 355 | 1,09 | 1,00 | 75,11 | 202,8 | 896,47 | 896,41 |
| 4 | 32 | 15 | 405 | 1,18 | 1,08 | 76,83 | 279,7 | 1.132,86 | 1.223,78 |
| 5 | 35 | 15,2 | 425 | 1,34 | 1,23 | 74,22 | 353,9 | 1.141,51 | 1.400,27 |
| 6 | 33 | 17,3 | 415 | 1,25 | 1,14 | 75,98 | 429,9 | 1.266,30 | 1.440,45 |
| 7 | 39 | 18,9 | 430 | 1,49 | 1,36 | 70,41 | 600,3 | 1.349,14 | 1.837,06 |
| 8 | 37 | 20,7 | 450 | 1,49 | 1,36 | 72,36 | 572,6 | 1.544,11 | 2.103,71 |
| 9 | 32 | 23,4 | 450 | 1,31 | 1,20 | 76,83 | 649,4 | 1.787,96 | 2.144,92 |
| 10 | 33 | 27 | 450 | 1,35 | 1,23 | 75,98 | 725,4 | 2.085,01 | 2.570,76 |
| 11 | 30 | 28,1 | 455 | 1,25 | 1,14 | 78,46 | 803,9 | 2.246,49 | 2.570,96 |
| 12 | 26 | 31,5 | 450 | 1,09 | 0,99 | 81,43 | 885,3 | 2.436,96 | 2.418,43 |
| 13 | 36 | 36,4 | 475 | 1,54 | 1,40 | 73,30 | 958,6 | 2.762,01 | 3.878,47 |
| 14 | 30 | 41,5 | 500 | 1,38 | 1,26 | 78,46 | 1.037,1 | 3.358,59 | 4.222,03 |
| 15 | 23 | 43 | 505 | 1,09 | 0,99 | 83,40 | 1.120,5 | 3.444,96 | 3.417,91 |
| 16 | 32 | 37 | 520 | 1,52 | 1,39 | 76,83 | 1.197,3 | 2.606,60 | 3.611,10 |
| 17 | 45 | 27,4 | 575 | 2,24 | 2,04 | 64,06 | 1.261,4 | 1.709,21 | 3.490,42 |
| 18 | 48 | 26,3 | 575 | 2,35 | 2,15 | 60,62 | 1.322,0 | 1.624,80 | 3.489,19 |
| 19 | 46 | 26,5 | 555 | 2,20 | 2,01 | 62,94 | 1.384,9 | 1.817,25 | 3.646,56 |
| 20 | 35 | 25,8 | 550 | 1,74 | 1,59 | 74,22 | 1.459,2 | 1.825,92 | 2.895,29 |
| 21 | 42 | 27,7 | 550 | 2,03 | 1,85 | 67,33 | 1.526,5 | 1.604,17 | 3.337,39 |
| 22 | 46 | 28 | 560 | 2,22 | 2,02 | 62,94 | 1.589,4 | 1.808,75 | 3.662,08 |
| 23 | 43 | 28,1 | 560 | 2,10 | 1,92 | 66,26 | 1.655,7 | 1.891,65 | 3.631,11 |
| 24 | 41 | 27,9 | 600 | 2,17 | 1,98 | 68,38 | 1.724,1 | 2.025,68 | 4.006,63 |
| 25 | 32 | 26,7 | 610 | 1,78 | 1,62 | 76,83 | 1.800,9 | 1.924,56 | 3.125,80 |
| 26 | 42 | 31,0 | 600 | 2,21 | 2,02 | 67,33 | 1.868,2 | 2.165,12 | 4.367,77 |
| 27 | 37 | 28,5 | 600 | 1,99 | 1,81 | 72,36 | 1.940,6 | 2.062,16 | 3.741,55 |
| 28 | 37 | 25,0 | 530 | 1,76 | 1,60 | 72,36 | 2.012,9 | 1.854,25 | 2.973,22 |
| 29 | 33 | 33,0 | 510 | 1,53 | 1,40 | 75,98 | 2.088,9 | 2.499,06 | 3.481,77 |
| 30 | 34 | 31,7 | 490 | 1,51 | 1,38 | 75,11 | 2.164,0 | 2.381,01 | 3.280,82 |
| 31 | 34 | 30,3 | 375 | 1,16 | 1,06 | 75,11 | 2.239,1 | 2.410,57 | 2.545,40 |
| 32 | 22 | 26,2 | 405 | 0,84 | 0,76 | 84 | 2.323,1 | 2.148,37 | 1.640,59 |
| 33 | 28 | 26,3 | 450 | 1,16 | 1,06 | 80 | 2.403,1 | 1.951,09 | 2.073,62 |
| 34 | 41 | 23,3 | 510 | 1,84 | 1,68 | 68,38 | 2.471,5 | 1.580,97 | 2.659,66 |

Continua

Continuação

| Vertical | Ângulo | Profundidade | Pulsos | Vel. 1m | Vel. média | D. parcial | D. acumulada | Área | Vazão |
|-------------|--------|--------------|--------|---------|------------|------------|--------------|-----------|------------|
| (i) | (θ) | (Pi) | (N) | (V) | (VC) | (Lb, i) | (D) | (Aj) | (Qi) |
| 35 | 42 | 24,2 | 390 | 1,44 | 1,31 | 67,33 | 2.538,8 | 1.504,58 | 1.976,69 |
| 36 | 51 | 23,7 | 310 | 1,33 | 1,21 | 57,02 | 2.595,9 | 1.336,62 | 1.623,44 |
| 37 | 52 | 24,3 | 270 | 1,16 | 1,07 | 65,78 | 2.651,6 | 1.533,19 | 1.646,25 |
| 38 | 39 | 23,4 | 250 | 0,87 | 0,79 | 70,41 | 2.722,0 | 1.623,80 | 1.290,09 |
| 39 | 41 | 23,8 | 340 | 1,23 | 1,12 | 68,38 | 2.790,4 | 1.614,90 | 1.814,95 |
| 40 | 42 | 24,5 | 300 | 1,11 | 1,01 | 67,33 | 2.857,7 | 1.674,97 | 1.695,51 |
| 41 | 40 | 24,4 | 325 | 1,15 | 1,05 | 69,40 | 2.927,2 | 1.668,14 | 1.756,33 |
| 42 | 42 | 24,7 | 275 | 1,02 | 0,93 | 67,33 | 2.994,5 | 1.649,83 | 1.531,88 |
| 43 | 43 | 25,2 | 310 | 1,17 | 1,07 | 66,26 | 3.060,7 | 1.656,05 | 1.765,15 |
| 44 | 44 | 24,7 | 260 | 1,00 | 0,91 | 65,17 | 3.125,9 | 1.462,56 | 1.333,50 |
| 45 | 54 | 24,6 | 275 | 1,23 | 1,12 | 53,25 | 3.179,2 | 1.195,28 | 1.341,84 |
| 46 | 61 | 24,0 | 270 | 1,30 | 1,19 | 43,92 | 3.223,1 | 1.087,03 | 1.295,48 |
| 47(=bóia 2) | 59 | 14,0 | 275 | 1,30 | 1,19 | 46,66 | 3.269,8 | 628,34 | 747,36 |
| | | | | | | 43,10 | 3.312,85 | | |
| | | | | | | 3.312,85 | | 82.947,18 | 112.071,95 |

Valor calculado

Valor medido

Valor fixo

Tabela 15 – Resumo das medições em cada travessia e correção da vazão em função da distância entre as margens (KL)

| | |
|-------------|--------|
| PI-PF (m) | 3243,3 |
| PI-ME (m) | 8,9 |
| PI-MD (m) | 8,8 |
| BOIA-MD (m) | 71,2 |
| BOIA-ME (m) | 43,1 |
| L (m) | 3225,6 |
| LB (m) | 3111,3 |

| Travessia | Sentido | Largura (m) | K_L | Área (m ²) | Descarga (m ³ /s) | Vel. Méd. (m/s) | Prof. Méd. (m) |
|-----------|---------|-------------------|-------|-----------------------------------|-----------------------------------|-------------------|----------------|
| Nº | | (L _r) | | (A _r ,K _L) | (Q _r ,K _L) | (V _r) | (Prof med) |
| 1 | MD-ME | 3.312,85 | 0,97 | 80.762,49 | 109.120,17 | 1,35 | 25,04 |
| 2 | ME-MD | 3.084,01 | 1,05 | 82.005,79 | 114.342,84 | 1,39 | 25,42 |
| 3 | MD-ME | 3.559,28 | 0,91 | 81.871,65 | 105.267,22 | 1,29 | 25,38 |
| 4 | ME-MD | 3.114,66 | 1,04 | 82.152,04 | 115.264,74 | 1,40 | 25,47 |
| Média | MD-ME | 3.436,07 | 0,94 | 81.317,07 | 107.193,70 | 1,32 | 25,21 |
| | ME-MD | 3.099,34 | 1,04 | 82.078,91 | 114.803,79 | 1,40 | 25,45 |
| | Global | 3.267,70 | 0,99 | 81.697,99 | 110.998,74 | 1,36 | 25,33 |

| Sentido | Desvio Padrão (σ) | Coef. de Var. das Descargas Cv (%) |
|---------|-------------------|------------------------------------|
| MD-ME | 1926,5 | 1,8 |
| ME-MD | 460,9 | 0,4 |

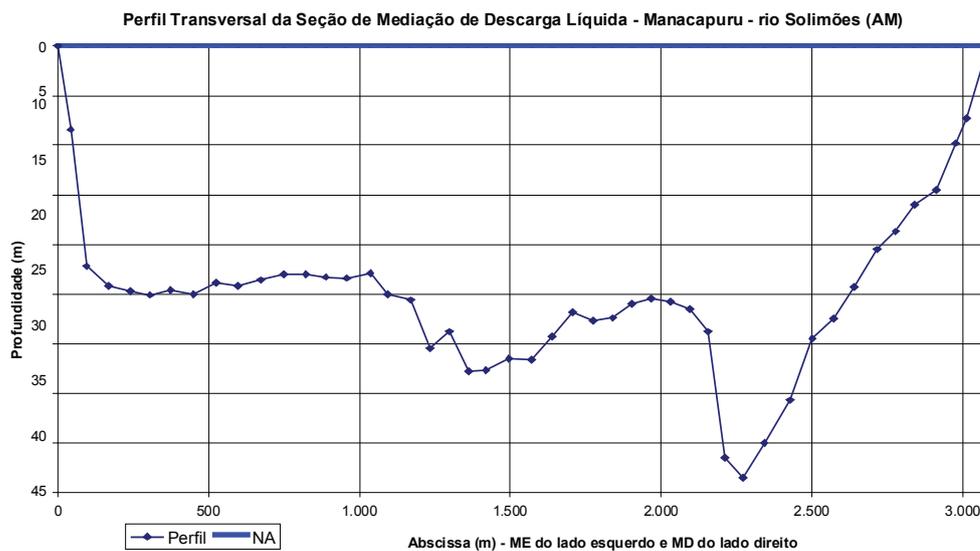


Figura 45: Perfil transversal da seção de medição pelo Método Smoot.

5.4 Método acústico (efeito doppler)

A tecnologia *doppler* utilizada para medir vazões em rios originou-se da oceanografia, nas áreas de baías onde as dificuldades encontradas consistiam na calibração dos medidores acústicos – AVM (Acoustic Velocity Meter) e não existia um medidor rápido o suficiente para realizar a medição antes que a corrente invertesse a direção.

A utilização desta tecnologia para a medição de vazão permite que se tenha um perfil formado por células que são áreas em vez de pontos e milhares de medidas em cada área em vez de medidas pontuais. Essa maior resolução poderia ser alcançada, teoricamente no passado, medindo-se com molinetes fluviométricos em uma grande quantidade de verticais, agora denominadas ensembles.

Imagine-se um conjunto infinito de molinetes colocados em uma vertical da seção de medição. A medida de velocidade que cada um dos molinetes efetuará será pontual, entretanto com a tecnologia *doppler*, passa-se a ter mais medidas de velocidades na área de cada célula, e a velocidade que é mostrada na tela do computador será a média de velocidades para cada uma destas células (Figura 46).

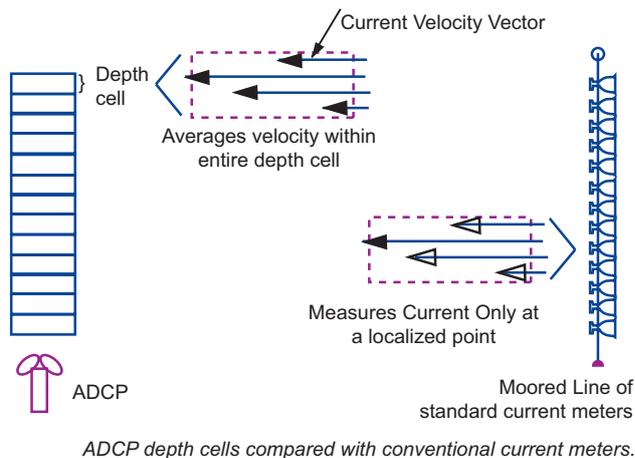


Figura 46: Comparação da medição com ADCP com método convencional (molinetes)

Toda a seção de medição é “mapeada”, Figura 47, tanto em velocidade d’água (módulo e direção) e profundidade, quanto em relação a uma ideia da quantidade de sedimentos em suspensão. Existem estudos de modelos que buscam uma calibração para relacionar os dados obtidos com medidores *doppler* com a quantidade de sedimento em suspensão.

As Figuras 48 e 49 ilustram algumas medições (simultâneas) de vazões realizadas na seção de medição de Manacapuru (Rio Solimões) e mostra o quantitativo de *ensembles* medidos (aproximadamente 2 mil), bem como o quantitativo de tomadas de velocidades nestas verticais.

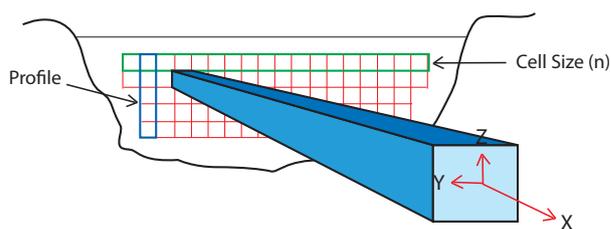


Figura 47: Mapeamento da seção transversal pelo ADCP/ADP

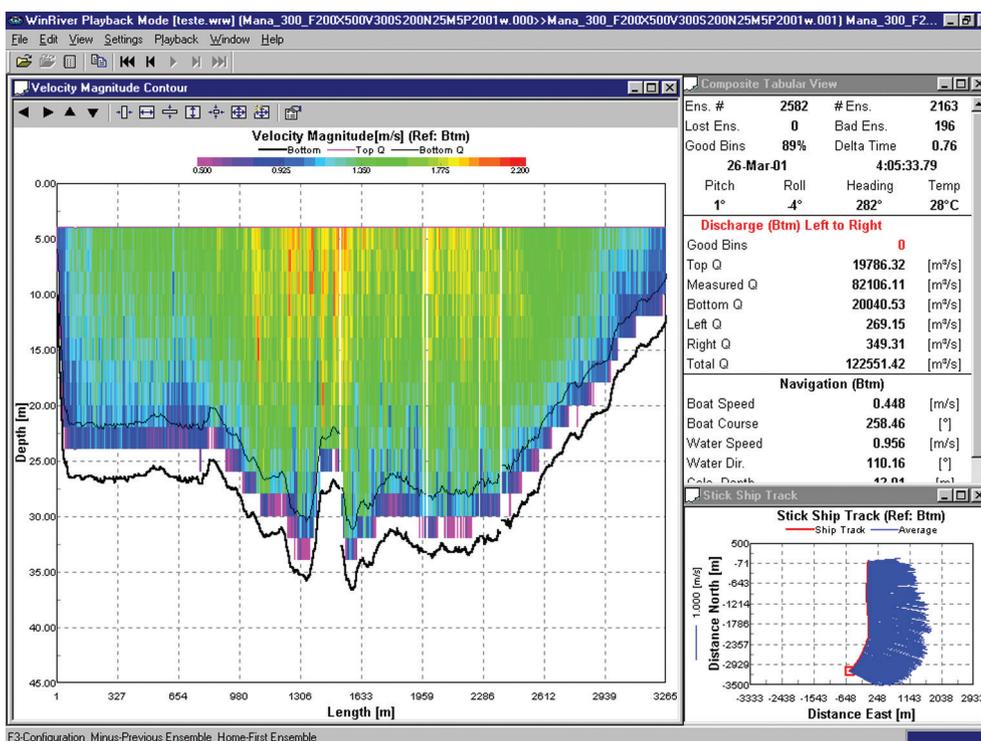


Figura 48: Tela do Programa WinRiver (RDI Instruments – fabricante do ADCP)

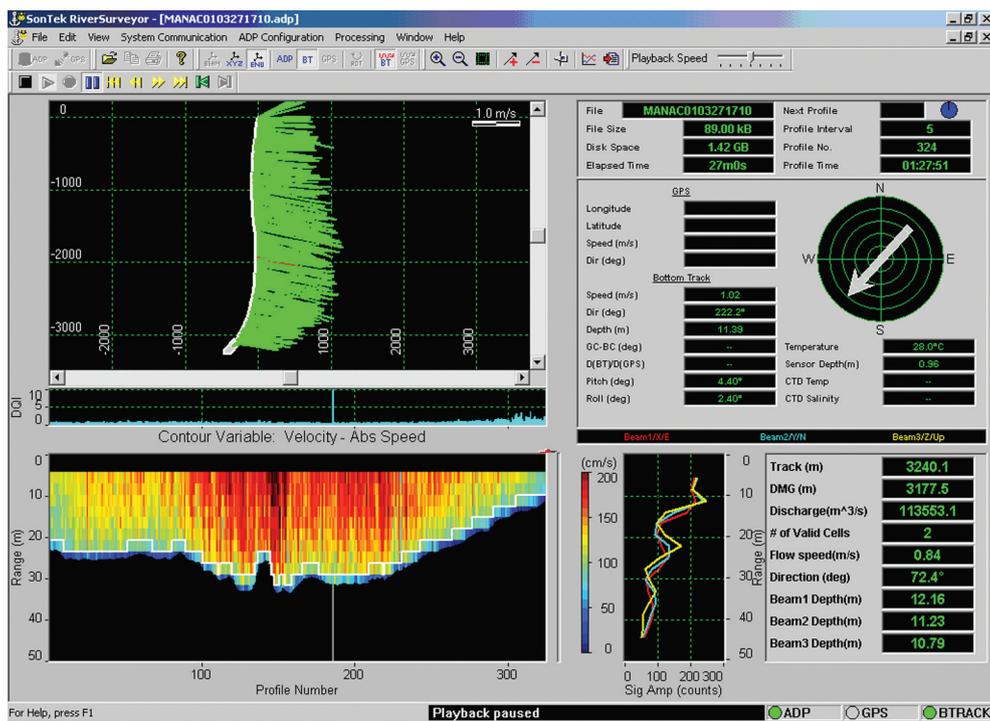


Figura 49: Tela do Programa River Surveyor (Sontek – fabricante do ADP)

5.4.1 Conceito do princípio doppler

Imagine uma fonte estacionária de som ou de luz emitindo uma série de ondas esféricas como na Figura 50. Se a fonte estiver em movimento, por exemplo, da direita para a esquerda, ela emite ondas esféricas progressivamente centradas nos pontos de 1 a 6 como é mostrado na Figura 51. Mas um observador em B vê as ondas alongadas, enquanto outro em A as vê comprimidas, sendo esse é o efeito *doppler*.

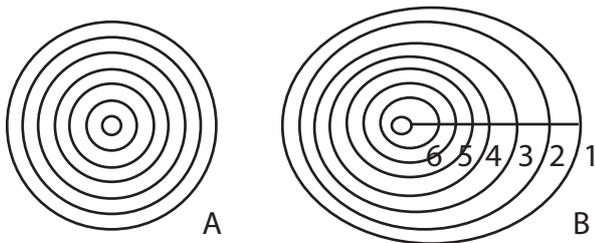


Figura 50: Ondas A – Fonte Estacionária e B – Fonte em Movimento

Em resumo, efeito *Doppler* é a alteração da frequência sonora percebida pelo observador em virtude do movimento relativo de aproximação ou afastamento entre a fonte e o observador.

Exemplificando: um carro de corrida passa por um observador fixo na reta principal de um autódromo, e, à medida que se aproxima do observador, o som do motor fica mais agudo e passa para mais grave à medida que se afasta, dando continuidade a seu trajeto.

5.4.2 Tecnologia ADCP (Acoustic Doppler Current Profiler)

A partir deste instante a sigla ADCP fará referência à tecnologia *doppler* de medição de vazão, podendo ser aplicado tanto para o equipamento da RDI (ADCP) como para o equipamento da Sontek (ADP).

O ADCP é um equipamento composto por uma sonda, com quatro transdutores (existem equipamentos com

três transdutores), e os modelos antigos possuem ainda um *deck box* (conjunto de *hardware*) que em decorrência do tamanho dos integrados e circuitos da época, não cabiam somente no corpo do equipamento.

Nos equipamentos de 2ª e 3ª geração, todo o *hardware* fica no corpo do aparelho, e através de seu *firmware* (*software* interno autônomo) emite, recebe, lê e processa os pulsos acústicos, para serem transmitidos a um computador com um *software* específico de acompanhamento *on-line* em forma de gráficos, tabelas etc. Ou *software* de interface usado apenas para enviar as configurações e extrair os dados nos casos dos equipamentos fixos.

O equipamento emite ondas sonoras fazendo vibrar seus pequenos elementos cerâmicos ao passar por eles uma corrente elétrica. Esta onda viaja por meio da água em frequências preestabelecida (para uso em rios, 300, 600, 1.200 ou 2.400 kHz, para os equipamentos da RDI, e 500, 1.000, 1.500, 3.000 e 5.000 kHz, para os equipamentos da Sontek).

Partículas carregadas pela corrente de água, a diferentes profundidades, refletem o som de volta para o aparelho que “escuta” o eco por meio dos mesmos sensores chamados mono estáticos. Os equipamentos que emitem frequências menores (por exemplo: 1200 kHz) são utilizados para medições em rios menos profundos.

O retorno do som refletido pelas partículas, a diferentes profundidades, faz que os sensores do ADCP reconheçam também diferentes profundidades. Dessa forma, o equipamento constrói um perfil vertical da coluna d’água (RDI, 1989).

O processamento do sinal refletido pode ser feito de três maneiras:

- a) *Pulso Incoerente ou Narrowband* — o sistema transmite um pulso sonoro relativamente longo, que “ouve” o reflexo deste som nas partículas carregadas na água e mede a diferença de frequência entre o sinal emitido e o recebido. Essa mudança de frequência, efeito *Doppler*, é usada para calcular a velocidade da água.

- b) *Processamento coerente pulso a pulso* — é o mais preciso de todos e também o que possui maiores limitações, trabalhando na emissão de um pulso relativamente curto na água, gravando o retorno do sinal, para então transmitir o segundo pulso, quando não há mais vestígios do primeiro pulso no perfil. O sistema mede a diferença de fase entre os dois reflexos dos pulsos e usa isso para calcular o efeito *doppler*.

- c) *Dispersão do espectro ou processamento broadband* — os sistemas *broadband* medem a diferença de fase dos retornos de sucessivos pulsos, com a diferença que aqui estarão mais de um pulso na água ao mesmo tempo, isso traz consigo um ruído maior no sinal e, por conseguinte, um desvio-padrão maior nas medidas de velocidade da água, em outras palavras menor precisão.

Os sistemas da RDI utilizam os dois últimos e são definidos por comandos divididos em modos ou módulos de operação, determinados por meio de programa computacional. A Sontek utiliza o processamento incoerente e não necessita alterar os modos para diferentes ambientes. Cada enfoque tem suas vantagens e desvantagens que devem ser bem analisadas, por quem entende seus funcionamentos na hora de adquirir um equipamento.

À medida que o ADCP processa o sinal refletido pelas partículas em suspensão na água, divide a coluna líquida em um número discreto de segmentos na vertical. Esses segmentos são denominados células de profundidade ou bins. O equipamento determina a velocidade e a direção de cada célula, cuja profundidade é escolhida pelo operador, cuja largura é função da velocidade do barco e da velocidade de processamento dos pulsos.

No caso do Projeto Hidrologia e Geoquímica da Bacia Amazônica — HiBAM, utilizou-se um equipamento de BB-DR-300kHz de frequência, para profundidades variando de 25 a 110 metros, adotando-se células de 1 ou 2 metros de altura por aproximadamente 5 metros de largura, dependendo da profundidade da seção, visando obter uma melhor medição da vazão (GUYOT et al., 1995) (Figura 51).



Foto: David Velasco / Banco de Imagens AINA

Figura 51: Medição de descarga líquida pelo método acústico em grandes rios.

Um perfil leva menos de um segundo para ser obtido pelo equipamento, levando a medição de vazão com ADCP rápida. Para uma seção de 3,2 km de largura, como a de Manacapuru, no Rio Solimões, a travessia com o ADCP leva apenas 20 minutos, e uma medição com métodos de barco ancorado precisa de mais de um dia de trabalho. Essa rapidez aumenta a segurança dos hidrotécnicos e a eficiência do trabalho (Figura 52).

A dificuldade de medir vazões em locais onde ocorrem redemoinhos e remanso não representa um obstáculo ao ADCP, pois o equipamento faz correções automáticas da direção de escoamento e calcula a vazão. Essas correções, associadas à rapidez de operação, permitem medir vazões em zonas influenciadas pela maré e, também, estimar o impacto da maré nas vazões dos rios (FILIZOLA et al., 1999).

O ADCP mede a velocidade e a direção do fluxo d'água relativo a ele mesmo. A velocidade aparente, velocidade da água mais a velocidade do barco, e a velocidade do barco em relação ao fundo medidas pela função conhecidas como *bottom tracking*, que, por subtração, obtém a velocidade da água (RDI, 1989).

Algumas informações adicionais, também relacionadas à medição da velocidade da água, são gravadas pelo ADCP, como temperatura, posicionamento, oscilações do barco, informações quanto à qualidade das medições de velocidade, intensidade da energia acústica, dados horários da medição etc.

O valor da temperatura da água é obtido por meio de um sensor de temperatura localizado na extremidade dos transdutores acústicos. Esse valor é muito importante, pois os cálculos das velocidades da água e

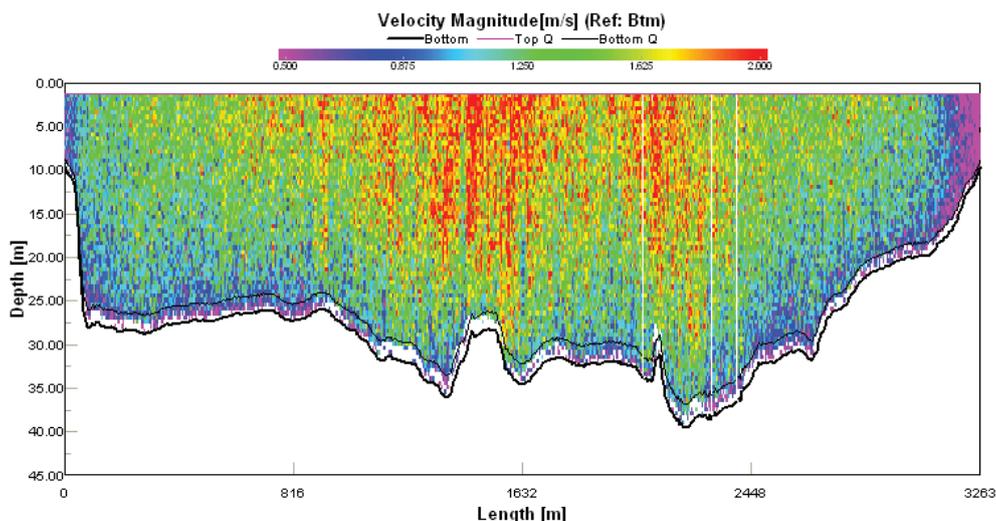


Figura 52: Perfil de velocidade da seção medida com o ADCP no Rio Solimões, Manacapuru em 07/08/2002 ($123.619\text{m}^3/\text{s}$)

do fundo dependem da velocidade do som, que por sua vez depende da temperatura e da salinidade da água. A temperatura, conforme dito anteriormente é medida diretamente e a salinidade é estimada e fornecida ao equipamento via teclado.

Para fornecer a velocidade “orientada” segundo as coordenadas terrestres, Norte/Sul e Leste/Oeste, o ADCP tem uma bússola interna que mede sua orientação relativa ao campo magnético da Terra. Com isso, o equipamento pode determinar a direção do fluxo d’água e o seu movimento em relação ao fundo e, dessa forma, informar a direção do fluxo d’água.

Para medir os movimentos de oscilação do barco (laterais e de popa-proa), o ADCP tem sensores internos que permitem realizar correções necessárias visando compensar tais movimentos. A amplitude da correlação também é fornecida pelo equipamento como um valor da qualidade da medição, quando da análise dos dados (RDI, 1989).

A intensidade da energia acústica refletida pelas partículas em suspensão na água também é gravada pelo ADCP, útil para uma avaliação qualitativa do material em suspensão na água (GUIMARÃES et al., 1997).

A partir desses dados, é possível obter uma distribuição na seção do material em suspensão – MES, que permite calcular, com uma precisão melhor, os fluxos de sedimentos nos grandes rios a partir de uma equação $MES = f(\text{intensidade})$. Na prática, essa equação é uma função da qualidade da MES3, sendo necessário gerar uma equação para cada seção (GUYOT et al., 1997).

Ainda com relação aos sedimentos, o equipamento permite registrar o deslocamento das dunas no fundo do rio e estimar de maneira indireta a velocidade das partículas em movimento no fundo (arraste).

Este método ainda se encontra em desenvolvimento e não deve ser visto como uma técnica operacional madura, mas como um método de pesquisa que pode fornecer informações valiosas quando aplicado devidamente nos limites da técnica (MUELLER, D., 2002).

Uma abordagem mais elaborada sobre desenvolvimento da técnica, bem como dos procedimentos matemáticos

envolvidos, pode ser obtida no estudo de Simpson e Oltmann (1993), Morlock (1996) e Simpson (2001) além dos manuais dos dois fabricantes conhecidos, **RD Instruments e Sontek**.

5.4.3 Fundamentos da medição de vazão com ADCP

A descarga medida numa seção é o total de fluxo perpendicular à superfície projetada verticalmente, a partir do percurso do barco relativamente ao fundo. A descarga é independente do percurso real do barco entre dois pontos das margens opostas do curso d’água, pois com o ADCP não é necessário ter um balizamento (considera-se uma reta ideal) entre o PI-PF, forçando o barco a seguir essa trajetória. Isto torna mais fácil a obtenção da descarga, particularmente em locais de grande tráfego de barcos ou em rios de grande largura.

O transdutor acústico do ADCP (Figura 53) precisa ser imerso de forma que esteja completamente coberto de água, permitindo, assim, conduzir o barco em velocidades aceitáveis, visando não permitir grandes variações em decorrência das oscilações da embarcação. Tal fato provocaria a entrada de ar em baixo da face dos transdutores, bloqueando a penetração da energia acústica na água (RDI, 1989). No caso da Amazônia, com rios largos, muitas vezes trabalhando sob fortes intempéries, utilizou-se o equipamento sempre mergulhado a 60 cm



Foto: Paulo Garrara / Banco de imagens ANA

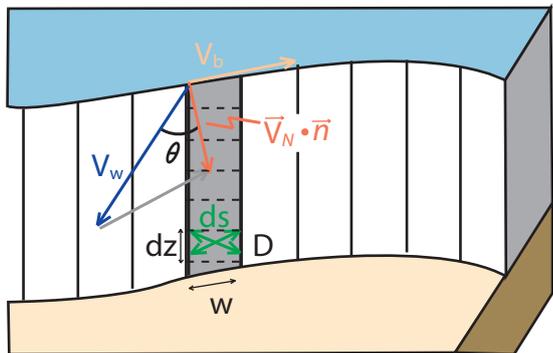
Figura 53: Vista dos 3 Transdutores do ADP e dos 4 transdutores acústicos do ADCP utilizados para emitir e receber os pulsos sonoros

em relação à superfície, fixado ao lado da embarcação por uma estrutura de alumínio.

Outro importante fator de grande influência na qualidade de uma medição é a velocidade do barco e não apenas a profundidade de imersão dos transdutores.

Como o ADCP mede sua própria velocidade em relação ao fundo, essa informação é usada para calcular o trajeto que o barco percorreu em relação a terra. O programa computacional, que acompanha o conjunto do ADCP, calcula a descarga usando essa informação e os perfis de velocidade da água (Figura 54).

Descrevendo o esquema a seguir, tem-se:



V_b = vetor velocidade barco
 V_w = vetor velocidade água
 $V_w * N$ = vetor normal unitário
 D = Profundidade total perfilada
 dz = Tamanho célula (bin size)
 w = Largura do perfil (ensemble)
 dt = tempo entre pulsos (pings)
 ds = área da célula (bin)

Figura 54: Modo como o ADCP mede vazão

No entanto, nem toda a descarga é efetivamente medida, pois o ADCP não mede diretamente todo o perfil de velocidade, da superfície ao fundo, visto que isso se dá por questões técnico-operacionais relacionadas à profundidade em que o equipamento é colocado, à existência de “brancos” após a transmissão do sinal, à estrutura e ao comprimento do pulso de energia emitido pelos transdutores do ADCP e, finalmente, por efeitos causados pelo fundo (Figura 55).

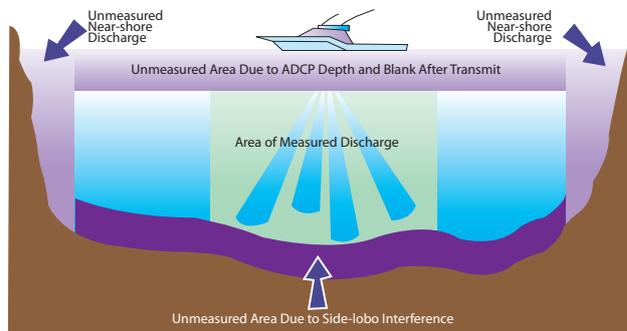


Figura 55: Áreas medidas e calculadas (margens, fundo e topo) pelo ADCP

O mesmo transdutor é usado para transmitir e receber a energia acústica, sendo necessário decorrer certo intervalo de tempo após a transmissão do pulso para que a recepção se torne possível. Esse intervalo constitui um “branco” após a transmissão, durante o qual uma distância é percorrida pelo som. Essa distância, *blanking distance*, não é efetivamente medida pelo ADCP e é função da frequência e modelo do ADCP (RDI, 1989). Exemplificando, para um equipamento de 300 kHz, esse “branco” corresponde a uma distância de 2 metros.

Ainda segundo RDI (1989), além do branco, o pulso de energia emitido pelo ADCP abrange, na verdade, subpulsos distintos compactados, mas que possuem um espaçamento, denominado *lag* ou retardo do sinal.

Ressalta-se que a distância das lentes à primeira célula de profundidade, medida pelo ADCP, é a soma da profundidade de imersão do transdutor (Draft) – o *blanking distance* com a metade da soma do *lag* – comprimento da transmissão e uma célula. Calculando isso, para um equipamento de BB 300 kHz com 2 metros de células de profundidade, a distância da superfície até a primeira célula de profundidade é de cerca de 5,6 metros.

Como comparativo, um equipamento WH-Rio Grande 600 kHz, segunda geração de ADCPs, com Draft de 20 cm, sua primeira célula se localiza a 1,20 m.

De uma camada próxima ao fundo, os dados obtidos pela sonda não são utilizados para medir a descarga. A razão para isso é que, além da energia transmitida diretamente do transdutor, uma pequena quantidade de energia chamada *side lobe*, é transmitida em diversos cones centrados no feixe principal (o ADCP transmite os pulsos por meio de quatro “feixes acústicos”), que são como cones de energia. Como o feixe lateral de maior amplitude está desviado do feixe principal e uns descem na vertical, parte da energia daquele é refletida no fundo e nas margens, quando próximo delas, enquanto o feixe principal ainda está sendo refletido pelas partículas suspensas na água (Figura 56).

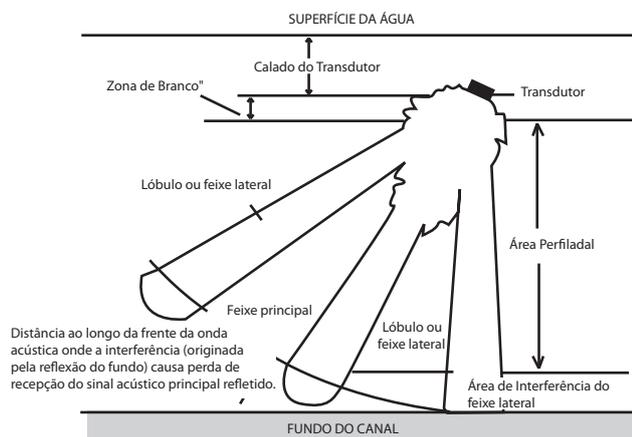


Figura 56: Fontes de interferência e forma do sinal emitido por cada transdutor do ADCP

Essa energia é muito mais fraca que o feixe principal, e seu eco não tem força para interferir nas medições de velocidade da água, mas essa energia ao “bater” no fundo cria um obstáculo sólido, seu eco é então muito mais forte que o eco do feixe principal nas partículas em suspensão na água, contaminando as medidas de velocidade da água perto do fundo.

Para um ADCP com feixes entre 20-30 graus, a espessura da camada não medida em função do efeito do feixe lateral é, respectivamente, de 6% e 15% da distância

do transdutor ao fundo. Cabe ressaltar que o *software* desconta do cálculo os dados correspondentes à última célula de profundidade, próxima ao fundo, e faz a extrapolação desta área a partir do método escolhido pelo operador (Figura 57).

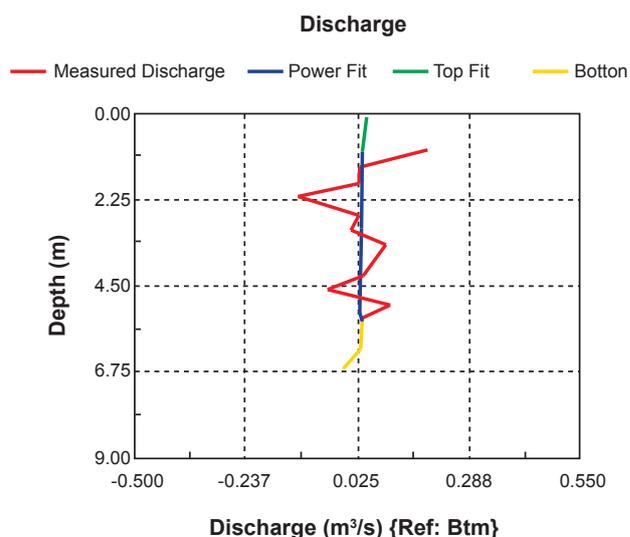


Figura 57: Extrapolação das áreas não medidas (exponencial)

Existe mais de um fabricante de equipamento com tecnologia *doppler* para medição de vazão de rios e lago; e cada um desses fabricantes tem seu equipamento (*hardware* e *firmware*) e seus programas próprios (*softwares*), sendo necessário a inserção ou a utilização das configurações preexistentes. As Figuras 58 e 60 mostram as telas de configuração inicial do *software* WinRiver e River Surveyor, da RDI Instruments e da Sontek, respectivamente.

A Figura 59 a seguir, apresenta uma descrição dos comandos mostrados na tela de configuração do *software* WinRiver. Vale ressaltar que se as configurações iniciais não estiverem de acordo com a seção de medição, o resultado obtido não representará de forma satisfatória a vazão real naquela seção. Isso vale dizer que cada seção de medição tem sua própria configuração.

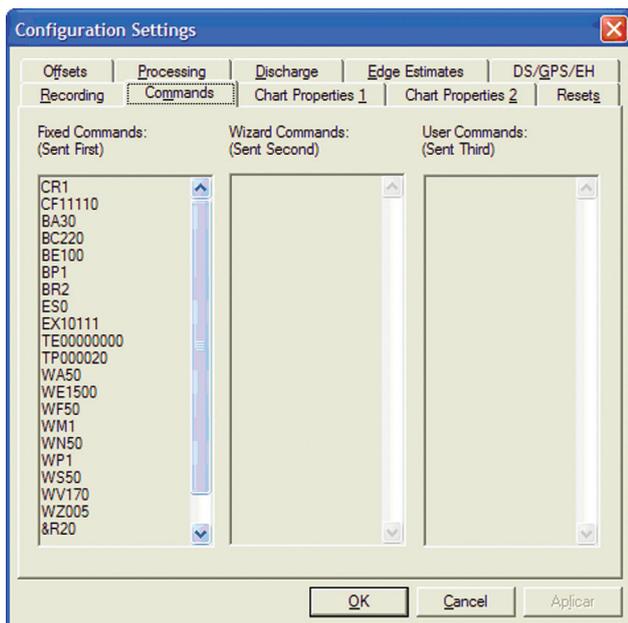


Figura 58: Tela de configuração inicial do Programa WinRiver (ADCP)

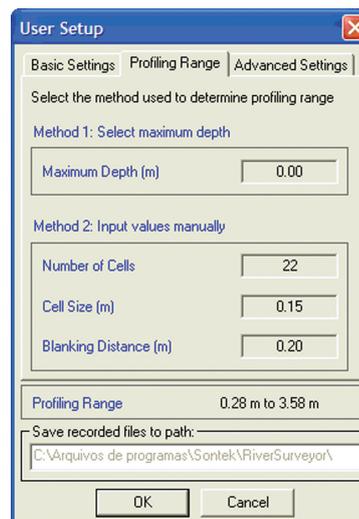


Figura 60: Configuração inicial do River Surveyor da Sontek

| Command | Choice | Description |
|---------------|----------------------------|--|
| CR1 | Sets factory defaults | This is the first command sent to the ADCP to place it in a "known" state. |
| TE00:00:00.00 | Time per ensemble | Ensemble interval is set to zero. |
| TP00:00.20 | Time between pings | Sets the time between pings to 0.2 seconds. |
| WF50 | Blank after transmit | Moves the location of the first depth cell 50 cm away from the transducer head (see Table 2, page 37). |
| WS50 | Depth cell size | Bin size is set to 0,5 meters (see Table 3, page 37) |
| WN50 | Number of depth cells | Number of bins is set to 50 (see Table 2, page 37). |
| BP1 | Bottom track pings | The ADCP will ping 1 bottom track ping per ensemble. |
| WP1 | Pings per ensemble | The ADCP will ping 1 water track ping per ensemble. |
| ES0 | Salinity | Salinity of water is set to 0 (freshwater). |
| EX10101 | Coordinate transformations | Sets Ship coordinates, use tilts, and allow bin mapping to ON. |
| WM1 | Water mode | Sets the ADCP to Water Track mode 1. |
| WV170 | Ambiguity velocity | Sets the maximum relative radial velocity between water-current speed and Workhorse speed to 170 cm/s. |

Figura 59: Principais comandos do WH Rio Grande ADCP (RDI)

Para facilitar a inserção dos comandos, o WinRiver possui um *Assistente de Configuração* (Figura 61). A introdução de algumas variáveis como: velocidade máxima esperada da água, profundidade máxima, entre outras, cria uma configuração básica que deve ser revista por um hidrotécnico experiente.

No caso dos equipamentos da Sontek, só é necessário a inserção do *draft* e da "profundidade máxima esperada".

O comando velocidade ambígua *WV* é um dos mais importantes, mesmo sendo criado a partir de parâmetros fornecidos pelo usuário, deve ser revisto atentamente, pois caso seja muito baixo causará erros chamados velocidade ambígua; e, se muito alto, a precisão ficará abaixo do esperado (Tabelas 16 e 17).

$$WV = 1,5 \cdot \cos(\text{ângulo entre feixes}) \cdot (V_{\text{água}} + V_{\text{barco}})$$

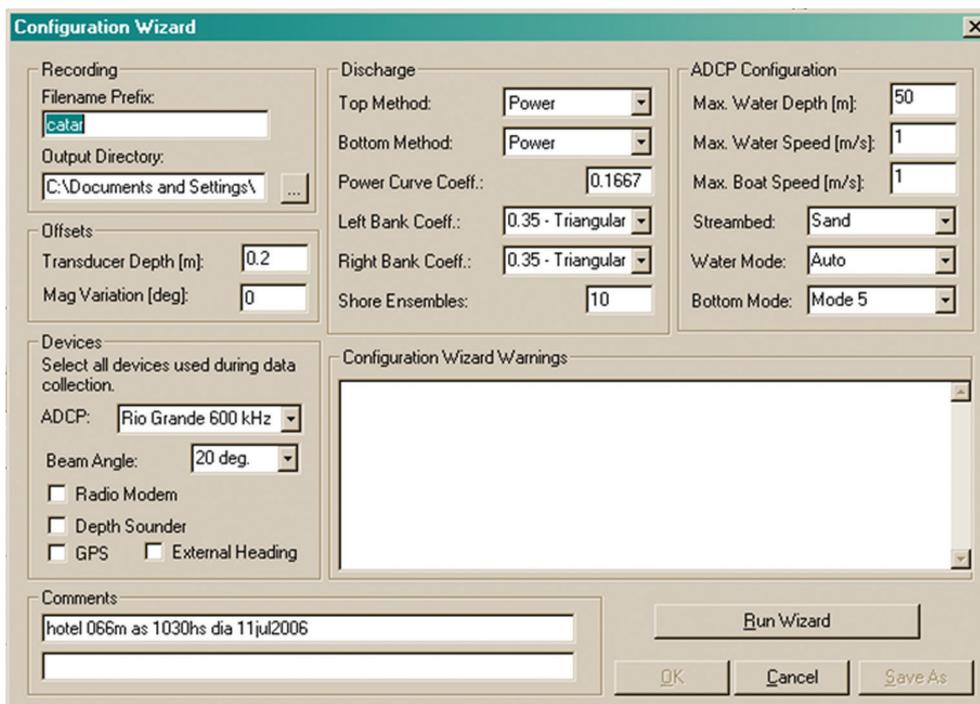


Figura 61: Assistente de Configuração do WinRiver

Tabela 16 – Valores mínimos e máximos para equipamentos WH Rio Grande ADCP (RDI)

| Water Mode | 1200 kHz | 600 kHz | 300 kHz | Remarks |
|---|-------------|------------|------------|---------------|
| Minimum Recommended Depth Cell Sizes, in centimeters | | | | |
| 1 | 25 | 50 | 100 | |
| 5 | 5 | 10 | 20 | |
| 8 | 5 | 10 | 20 | |
| Maximum Profiling Ranges, in meters (feet) | | | | |
| 1 | 20 (66) | 60 (197) | 130 (426) | Normal range |
| 5 | 4 (13) | 8 (26) | 16 (53) | Maximum range |
| 8 | 4 (13) | 8 (26) | 16 (53) | Maximum range |
| Maximum Relative Velocities, in meters/sec (feet/sec) | | | | |
| 1 | 10 (32.8) | 10 (32.8) | 10 (32.8) | |
| 5 | 0.5 (01.64) | 1.0 (3.28) | 1.0 (3.28) | |
| 8 | 2 (6.56) | 2 (6.56) | 2 (6.56) | |



Tabela 17 – Distâncias para o *blanking* nos equipamentos ADCP (RDI)

| ADCP Type | Blanking distance, in centimeters, by frequency | | |
|------------|---|---------|---------|
| | 1200 kHz | 600 KHz | 300 kHz |
| Broadband | 50 | 50 | 100 |
| Rio Grande | 25 | 25 | 75 |

5.4.4 Perspectivas

O aumento do número de equipamentos ADCP em uso no Brasil está criando a necessidade de troca de informações da comunidade de usuários, hoje com mais de 18 entidades, haja vista que diversos estudos têm sido conduzidos em rios, reservatórios e estuários.

Há carência de um estudo mais aprofundado, no Brasil, quanto à técnica do equipamento e sua sistemática de obtenção de dados. Esses estudos poderiam iniciar-se por um conhecimento maior de questões relacionadas à acústica e ao uso do equipamento em diferentes ambientes no país.

O aparecimento de novos fabricantes deve incentivar a concorrência, diminuindo ainda mais o preço do equipamento, visto que a redução dos componentes, assim como o desenvolvimento da eletrônica, também deve favorecer a diminuição do custo do aparelho, além de fazê-lo diminuir de tamanho.

O desenvolvimento de *firmwares* mais complexos, em termos de processamento dos dados obtidos pela sonda, deve possibilitar a aquisição de mais informações, com uma operação cada vez mais simplificada, facilitando a operação por equipe menos especializada.

A resolução de problemas de posicionamento com o uso de DGPS (Sistema Diferencial de Geo – Posicionamento por Satélite), acoplado ao ADCP, e o avanço dos estudos quanto à estimativa da carga de material em suspensão devem aumentar, consideravelmente, a confiabilidade no equipamento para outros usos.

Essas perspectivas abrem espaço para um uso operacional maciço do ADCP, na operação de estações com medições de descargas líquida e sólida.

5.4.5 Quebra de paradigmas do princípio *doppler*

Por que três ou quatro transdutores?

- Cada transdutor mede um componente da velocidade e para medir o perfil 3D da corrente, somente três transdutores são necessários, sendo o quarto transdutor acústico, redundante.
- Por que uma configuração com quatro transdutores? Historicamente, quando os primeiros perfiladores foram produzidos no final dos anos 1970, o processamento digital era muito limitado, e uma configuração de quatro transdutores permitia o cálculo de velocidades em 3D, usando um simples esquema analógico de adição/subtração (com uma combinação de resistores para cada valor). Com os modernos processadores digitais, os cálculos com um sistema de três transdutores é muito simples.
- Os sistemas de três ou quatro transdutores fornecem parâmetros de qualidade dos dados, em cada perfil, para avaliar a precisão e integridade dos dados de velocidade. Enquanto a exata definição destes parâmetros de qualidade dos dados varia de sistema para sistema, suas funções e efetividade são completamente comparáveis.
- Para a maioria das aplicações, a adição de um quarto transdutor aumenta o custo de construção de um perfilador de corrente, sem uma melhoria significativa na *performance* do sistema.

5.4.6 Terminologia *doppler*

- **Beams:** feixes de ultrassom
- **Transdutores:** emissores de ondas sonoras, discos cerâmicos que expandem ou contraem, sob a influência de um campo eletromagnético.
- **Pings:** pulsos acústicos de uma frequência conhecida (água e fundo).
- **Ensembles (verticais):** a média de uma coleção de *pings*, visando obter o perfil de velocidade da água e/ou a velocidade do barco.
- **Bad ensemble:** *ensemble* sem qualidade nas velocidades ou com problemas de fundo.
- **Transect:** um grupo de *ensembles* que constitui uma medição de descarga líquida.
- **Depth-cell ou bin:** divisão do perfil vertical em segmentos igualmente espaçados.
- **Bad bin:** célula com erro ou sem qualidade requerida.
- **Bottom tracking:** Método usado para medir a velocidade do barco.
- **Blank After Transmit:** faixa não medida diretamente pelo ADCP na superfície.
- **ADCP Depth:** profundidade de imersão do perfilador.
 - **Pitch:** inclinação do aparelho no sentido eixo longitudinal do barco.
- **Roll:** inclinação do aparelho no sentido transversal do barco.
- **Side lobe:** dispersão do sinal fora do feixe principal.
- **Error velocity:** diferença entre a velocidade vertical de dois pares de *beams*.
- **Bin mapping:** técnica que se utiliza o ADCP quando de *pitch* e *roll* muito grandes de posicionar células de mesmo número na vertical.
- **Ambiguity velocity:** diferentes velocidades medidas com o mesmo ângulo.

5.4.7 Ficha de medição com ADCP

A fim de padronizar as medições realizadas com equipamentos ADCP, foi elaborada uma ficha de medição de vazão com ADCP a ser preenchida em campo, pela equipe responsável, durante a medição (Figura 62).

A utilização desta ficha irá auxiliar a análise da medição realizada, posteriormente, em escritório, além de permitir a comparação de medições realizadas.

5.4.8 Guia de procedimentos para medição com ADCP

PREPARAÇÃO PARA CAMPANHA DE CAMPO

Antes de realizar medições com o ADCP é importante estabelecer procedimentos padrão para assegurar que os dados coletados sejam armazenados de forma eficiente e consistente, que o ADCP esteja funcionando de forma correta e que o equipamento utilizado seja apropriado para a realização das medições. Uma preparação prévia ajudará a evitar atrasos nas atividades de campo, assegurar uma completa e precisa aquisição de dados, e produzirá dados documentados e armazenados apropriadamente para uso futuro. Os procedimentos preparativos para a utilização do ADCP devem incluir:

- O estabelecimento de uma política para o recebimento e o armazenamento dos dados apropriadamente.
- A verificação do perfeito funcionamento do ADCP e do software de aquisição dos dados.
- Identificação prévia das condições de fluxo e dos acessórios (GPS, ecobatímetros, suportes de instalação e outros) necessários à realização das medições com qualidade e segurança.
- A integração prévia de todos os equipamentos acessórios que serão utilizados durante as medições.

PROCEDIMENTOS DE CAMPO (Guia de Referência Rápida)

Montagem do ADCP e outros equipamentos



- Fixar o ADCP no suporte de medição.
- Amarrar o cabo de segurança ao ADCP.
- Ligar o computador antes de conectar o ADCP e os rádios.
- Desabilitar a proteção de tela e modos de economia de energia.
- Conectar os equipamentos utilizados (ADCP, GPS, Rádios, Sonar e outros) ao computador.
- Verificar a comunicação entre os equipamentos integrados.
- Configuração dos parâmetros do ADCP
- Locar uma seção apropriada para realizar a medição. Se necessário realizar travessia de teste. O local escolhido deve possuir seção transversal com fluxo uniforme e ser distante o suficiente de quedas bruscas (cachoeira/cascada, corredeiras). Além disto, deve-se buscar maximizar a área da seção transversal medida pelo ADCP.
- Determinar a máxima profundidade da seção transversal.
- Medir a temperatura da água, registrar no formulário de campo e comparar com a temperatura medida pelo ADCP.
- Medir a salinidade da água, e digitar no software do ADCP e no formulário de campo.
- Medir a profundidade de instalação do ADCP e registrar no software do ADCP e no formulário de campo. Tomar o cuidado para medir a profundidade do ADCP nas mesmas condições de pitch-and-roll da medição.
- Verificar e ajustar a data e hora do ADCP.
- Preencher todos os campos do formulário de medição com as configurações adotadas para o funcionamento do ADCP e outras informações.

Antes de iniciar a medição

- Realizar os teste de diagnósticos e gravar os resultados.
- Realizar os procedimentos de calibração da bússola (verificar o erro total, que deve ser preferencialmente menor que 1 grau). A calibração da bússola é obrigatória quando da utilização de GPS, método do loop para correção do fundo móvel e quando pretende-se utilizar os resultados das direções das velocidades. Nos casos em

que o objetivo final é determinar a vazão e não haja a indicação de fundo móvel, os procedimentos de calibração da bússola são apenas recomendados. Para utilização de sistemas GPS, deve-se, além da calibração da bússola, realizar o cálculo da declinação magnética local, a qual deverá ser registrada no software do ADCP e no formulário de campo.

- Gravar o teste de fundo móvel (estacionário ou loop).
- Usar GPS ou outra técnica apropriada, caso for verificada a presença de fundo móvel.
- Estabelecer os pontos de início e fim da travessia com um mínimo de duas células com velocidades válidas para a água. Os pontos de início e fim das travessias podem ser materializados por bóias, estacas, guias e outras referências (evite materiais ferrosos).

A medição de vazão

- Posicionar a embarcação no ponto de início da medição. Iniciar o registro dos dados. Medir a distância do ADCP a margem e registrar no software do ADCP e no formulário de campo.
- Aguardar a aquisição de um mínimo de 10 verticais antes de iniciar a travessia.
- Conduzir a embarcação com velocidade menor que a da água, com mudanças lentas de direção e baixas oscilações de pitch e roll.
- Aproximar da margem final lentamente. Aguarde na posição final a coleta de 10 verticais. Finalize a medição. Mensure a distância até a margem final e registre no arquivo de medição e formulário de campo.
- Realize os passos "a, b, c e d" de forma a obter um mínimo de 720 segundos de dados medidos. As travessias devem ser realizadas aos pares.
- Todas as travessias devem estar dentro de uma tolerância de 5 por cento do valor médio, exceto para regime de fluxo não permanente.
- Validar os dados coletados no campo, buscando encontrar os potenciais problemas.
- Faça backup temporário dos dados antes de deixar o local da medição.

PÓS-PROCESSAMENTO DAS MEDIÇÕES

Diretrizes para a revisão das medições

As medições de descarga devem ser revistas em detalhes pela pessoa que as fez, como uma prática após o término da medição. Rotineiramente, elas devem ser verificadas por outra pessoa com capacitação para realizar as medições acústicas.

Segue abaixo uma lista de aspectos importantes para serem revisados, tanto no escritório quanto no campo.

- Os formulários de campo devem estar completos, com todas as informações escritas com letras legíveis e compreensíveis.
- Todos os arquivos de dados devem estar gravados em cópia de backup no servidor do escritório.
- O número de travessias deve ser apropriado para as condições de fluxo e satisfazer as políticas institucionais. As travessias devem ser medidas em números pares.
- Os arquivos de configuração devem ser verificados quanto à presença de erros, se o modo configurado é apropriado às condições de fluxo. Além disto, deve ser realizada uma comparação entre o arquivo digital e o formulário de campo (profundidade de instalação do ADCP, salinidade da água, distância das margens, forma das margens, métodos de extrapolação, e outros).
- A temperatura medida pelo ADCP deve ser comparada com os valores típicos do local de medição para a mesma época do ano, e/ou com aquela medida em campo. Os cálculos da velocidade do som sem a correção da temperatura podem causar erros, nas medidas de velocidade e profundidade, maiores que 7 por cento. Um erro na temperatura causado por falha no termômetro do ADCP resulta em erros de cálculo na densidade da água e introduz incertezas no cálculo da velocidade do som (Simpson, 2002).
- A salinidade da água no local da medição deve ser medida e registrada no formulário de campo, e digitada no software do ADCP para uso no cálculo da velocidade do som. Caso o hidrólogo tenha digitado um valor errado de salinidade ou esquecido de entrar com o valor correto, as profundidades e as velocidades serão calculadas incorretamente. Erros acima de 3 por cento podem ser causados pelo cálculo da velocidade do som sem a correção da salinidade.
- O teste de fundo móvel, utilizando técnica correta, deve ser realizado antes da realização das medições, gravado, arquivado e registrado no formulário de campo. Caso a presença de fundo móvel for detectada, a utilização de GPS poderá ser necessária. Caso não seja utilizado GPS durante as medições o resultado encontrado deverá ser ajustado à condição de fundo móvel.
- A velocidade média da embarcação não deve superar a velocidade média da água, a menos que seja impraticável ou inseguro à realização das travessias. A razão pelo excesso de velocidade deve ser documentada no formulário de campo. Os movimentos do barco (pitch e roll) não devem ser excessivos. Excessiva velocidade da embarcação, grandes movimentos de pitch e roll diminuem o grau de qualidade das medições.
- As medidas de distância das margens digitadas no software devem ser iguais as registradas nos formulários de campo. Uma correta configuração da forma geométrica das margens deve ser selecionada. O ADCP deve coletar entre 5 e 10 segundos antes de iniciar e finalizar a travessia. Caso a medição seja seccionada para corrigir erros encontrados nas margens, o motivo da partição deve estar registrado no formulário de campo. Em situações onde a posição inicial e/ou final da travessia esteja próxima a uma margem vertical, a embarcação deve ser posicionada a uma distância mínima da margem igual sua profundidade.
- O número de verticais perdidas por problemas de comunicação ou com dados inválidos não deve ser muito grande. Quantificar o limiar de verticais perdidas ou com dados inválidos que irá resultar em uma medição ruim não é fácil, uma vez que é importante verificar a localização e o agrupamento das mesmas. Se 50 por cento das verticais foram perdidas ou invalidadas, mas as outras verticais representem bem a distribuição das velocidades na seção transversal, a medição poderá ser considerada como boa. Por outro lado, caso apenas 10 por cento das verticais sejam perdidas e/ou inválidas, mas todas elas



ocorram em locais onde às verticais subjacentes não sejam representativas, a medição poderá ser considerada de má qualidade. Quando as verticais perdidas ou inválidas ocorrem sempre na mesma parte da seção transversal, e a porcentagem de fluxo estimada excede a 5 por cento, deve-se avaliar a possibilidade em re-locação da seção medidora.

- O critério para células perdidas ou inválidas é similar ao adotado para verticais. Quando houver uma distribuição uniforme das células perdidas ou inválidas na vertical e/ou na seção transversal, o grau de qualidade da medição pode não ser comprometido. Contudo, caso estes valores estejam agrupados, pode ocorrer a necessidade em substituir a travessia.

- O método de extrapolação para as descargas de topo e fundo devem ser revistos. Caso verificada a necessidade em alterar o método para extrapolação do perfil, o mesmo deverá ser alterado e as razões anotadas no formulário de campo. Velocidade do vento, variação da densidade água com a profundidade e irregularidades no fundo do leito dos rios são as causas mais frequentes de não ajuste a lei de potência do perfil de velocidades. Nestas situações é necessário o uso de técnicas diferentes para a extrapolação da superfície e do fundo.

- Tanto as leituras das réguas, como as medidas de distância devem ser verificadas e corrigidas, se necessário.

Problemas identificados durante as análises das medições devem ser vistos como oportunidade para implementar melhorias nas próximas medições. Caso as características da seção de medição sejam indesejáveis, as medições futuras deverão ser realizadas em local mais apropriado. Quando problemas na condução das embarcações forem detectados, os mesmos deverão ser discutidos com o operador da embarcação para que eles não se repitam futuramente. Caso haja configurações mais precisas para a coleta de dados, elas devem ser discutidas com o chefe da operação.

Indicadores da qualidade dos dados

Indicadores da qualidade dos dados de medição com ADCP não são somente válidos durante o processamen-

to das medições no escritório, mas também são úteis no campo para a seleção dos locais de medição e identificação de problemas e a realização de ajustes necessários durante a coleta dos dados. Segue abaixo, possíveis indicadores da qualidade:

- Grande número de verticais perdidas indica problemas de comunicação entre o ADCP e o computador. O computador pode não estar preparado para receber dados continuamente, ou pode entrar em modo de economia de energia e perder os dados enviados pelo ADCP. A energia do ADCP pode ter sido interrompida ou o cabo de comunicação pode não ter sido fixado firmemente.

- Grande número de verticais com dados inválidos indicam que o ADCP freqüentemente esteve incapaz de medir as velocidades em uma porção da seção transversal. Para uma vertical inválida, o software recebe todos os dados do ADCP, mas não encontra um critério para validar as velocidades medidas. Verticais inválidas podem ser causadas por:

- a) Sinal inválido do bottomtracking (falta de referência da velocidade do barco para o cálculo da velocidade da água).

- b) Descorrelação do pulso acústico devido à turbulência, detritos submersos e peixes, os quais não permitem a medição precisa do efeito Doppler.

- c) Baixa concentração de backscatter, o que pode resultar em insuficiente intensidade do sinal refletido para permitir a medição do efeito Doppler pelo ADCP.

- d) Bloqueio do sinal acústico devido à entrada de ar.

- e) Critério de qualidade dos dados especificado pelo usuário.

- Erro de ambigüidade nas velocidades medidas mostrando picos de velocidade quando comparadas com as velocidades válidas medidas nas proximidades. Tipicamente, este é um problema somente para os instrumentos com sinal broadband, os quais podem ser filtrados durante o pós-processamento.

- A intensidade do sinal refletido deve ser decrescente da superfície até próximo ao fundo, onde haverá um aumento na intensidade do sinal refletido, uma vez que o fundo do rio é melhor refletor da energia acústica que a água.

- Movimentação irregular ou errada do barco cria aceleração horizontal do ADCP, a qual aumenta o ruído na medição da velocidade do barco e pode conduzir uma degradação da qualidade da medição de velocidade da água. A mais comum causa de movimentação irregular do barco é devido a aceleração e desaceleração do motor de popa. A consistência da velocidade do barco durante a travessia é melhor avaliada no gráfico de séries temporais da velocidade da água e do barco.
- Variações rápidas nas séries temporais de pitch e roll indicam que o ADCP está medindo em um ambiente irregular em condições turbulentas, ou que há movimento de pessoas ou equipamentos durante a medição. Inconsistente pitch e roll ao longo da medição podem levar a desconexão do sinal acústico e resultar em várias verticais inválidas.
- Irregularidades nas medições de profundidades pelo bottomtracking conduzem formação de pontas no perfil transversal, as quais podem influenciar na acurácia da descarga e, conseqüentemente, na área da seção transversal. A profundidade utilizada no cálculo da descarga é a média das profundidades de cada um dos transdutores do ADCP. Caso um ou mais dos sinais emitidos é afetado por algum objeto, tal como: um peixe, uma árvore submersa ou detritos, antes ser refletido pelo fundo do rio, ou se o ADCP processa um multi-retorno do pulso de fundo, a profundidade gravada e a área da seção transversal serão afetadas. As funções de pós-processamento do software podem suavizar estas pontas na profundidade do fundo.
- Quando utilizando a sentença GGA de saída do GPS como referência para velocidade da embarcação, a qualidade do sinal de correção diferencial do sistema de posicionamento global influencia a medição do movimento do ADCP, que afeta diretamente a qualidade da medição da velocidade da água pelo ADCP. A integração do DGPS para registrar o movimento do ADCP pode ser usada para evitar erro sistemático associado ao fundo móvel. Contudo sistemas DGPS nem sempre fornecem acurácia na determinação das posições devido a erros de multi-caminhos, mudança de satélites e problemas na recepção de sinal em corpos d'água com vegetação densa ao longo das margens, em vales encaixados e próximos a

pontes. O hidrólogo deve monitorar a qualidade do sinal DGPS, via software, para assegurar que o sinal DGPS não está sendo afetado por estes erros durante a coleta dos dados.

Problemas freqüentemente encontrados nas medições

- Teste de fundo móvel não realizado ou documentado.
- Descarga não ajustada a condição de fundo móvel.
- Seleção de seção de medição imprópria.
- Modo de operação não aplicável as condições de fluxo.
- Velocidade excessiva do barco.
- Distância das margens não medidas.
- Problemas no arquivamento dos dados.
- Extrapolação incorreta dos perfis.
- Falta de teste para diagnóstico do ADCP.
- Falta de ajuste de data e hora
- Falta de preenchimento de formulários de campo.
- Profundidade de instalação do ADCP não medida ou incorreta.

PASSO A PASSO (Teledyne RD Instruments Rio Grande)

1. Abrir o Arquivo de medição, selecionar e reprocessar a travessia.

2. Abrir o gráfico Stick ShipTrack.

Visualize as trajetórias de fluxo para diversas profundidades, e para todos os sistemas de referência de velocidade do barco coletados. (caso algum problema seja observado, verifique os gráficos de velocidade de contorno ou intensidade/backscatter).

3. Abrir o gráfico Velocity-Magnitude Contour

Coloque o gráfico em uma escala apropriada. Verifique a quantidade e distribuição das verticais perdidas e/ou inválidas, bem como as células ruins.

4. Abrir a tabela Composite Tabular

Compare o número de verticais inválidas e perdidas com o número total de verticais medidas. Verifique o número de células ruins, se a temperatura da água está coerente com a temperatura medida e/ou esperada, se as estimadas de vazões para as margens são razoáveis e se estão com sinal correto.

5. Abrir a tabela System Parameters

Verifique se os parâmetros configurados no arquivo da medição são os mesmos anotados no formulário de campo e se são compatíveis com as condições de fluxo medidas (frequência, firmware, modos de operação, resolução das células e outros).

6. Abrir o gráfico ProjectedVelocityContour

Pressione a tecla F2 para ajustar o ângulo de projeção das velocidades. Verifique se o ângulo está correto. Utilize o ângulo da primeira travessia como padrão. Ajuste a escala de velocidade adequada. Verifique se há fluxo na direção inversa e avalie sua coerência.

7. Abrir o gráfico Erro Velocity

Procure por erros de ambiguidade, solução com três transdutores. Outliers podem estar relacionados a erros de ambiguidade ou turbulência.

8. Pressione a tecla F3 e verifique os parâmetros de configuração

Aba – DirectCommands

Verifique a configuração apresentada pelo assistente e a digitada pelo usuário. Avalie se a configuração utilizada é correta para o ADCP e condições de fluxo.

Aba – DS/GPS/EH

Verifique se o eco-batímetro está configurado corretamente.

Aba – Discharge

Os métodos de extrapolação e formas das margens estão configurados corretamente. Houve cortes no perfil de velocidades? Por quê? Está documentado? O número de

verticais utilizado na estimativa da velocidade das margens está configurado corretamente.

Aba – Edge Estimates

Verifique se as distâncias de margens estão consistentes com as anotações do formulário de campo e se as estimativas de vazão são razoáveis para a seção de medição.

Aba – Offsets

Verifique se a profundidade do ADCP e a declinação magnética foram digitadas corretamente. Compare com o formulário de campo. No caso de uso de sistema GPS é obrigatória entrada da declinação magnética.

Aba – Processing

Verifique se o método de cálculo da área está correto, se os filtros foram configurados corretamente, se o método de cálculo da salinidade foi configurado corretamente. Compare com os valores registrados no formulário de campo. Evite utilizar a solução com 3 transdutores para a velocidade da água.

Aba – Recording

Verifique se os dados GPS estão sendo registrados. Reveja os comentários de campo.

9. Abrir os gráficos Time Series

Rever todos os gráficos de séries temporais. Compare a velocidade da água com a velocidade do barco. Verifique a ocorrência de movimentos excessivos da embarcação (pitch e roll), constância nos resultados medidos, saltos e grandes flutuações.

10. Verifique o método de extrapolação dos perfis de descarga

Abrir o gráfico Profile Discharge. Calcular uma média entre 10 e 20 verticais. Avaliar se as o extrapolações são coerentes, se necessário modificar o método de extrapolação.

11. Repetir os passos de 1 a 10 para todas as travessias

12. Verificar o conjunto de medições

Abrir os resumos das medições (Tecla F12). Verificar se os desvios de todas as descargas são menores que 5 por cento da média. Verificar se as travessias foram obtidas em pares. Verificar a consistência das medições (valores de área total, largura, velocidade do barco, direção de fluxo, duração, comparação da velocidade do barco com a da água).

| FICHA DE MEDIÇÃO DE VAZÃO COM ADCP | | | | | | | |
|---|--------------------|-------------|-------------------|-----------------------------------|----------------------|--|--|
| Técnicos : | | | | Órgão : | | | Pag : |
| Estação : | | | Rio : | | | | |
| Código : | Cota início (cm) : | | Cota final (cm) : | | | | |
| Data : | Hora Início : | | Hora Final : | | | | |
| Número de Série e Patrimônio do ADCP e LapTop | | | | | | | |
| | Marca | Nº de Série | Frequência | Modelo | Hora Relógio Interno | | |
| ADCP | | | | | | | |
| LapTop | | | | | | | |
| Dados do Software de Comunicação e FirmWare do ADCP | | | | | | | |
| Software : | | | | Versão : | | | |
| FirmWare ADCP: | | | | | | | |
| Parâmetros para a realização da medição | | | | | | | |
| Nome Arquivo da medição | | | | Diretório de dados : | | | |
| Arquivo de Config. / Med. : | | | | Executado DumbTerm Inic. | | | Houve erro ? |
| Tensão da rede Alternada : | | | | Executado DumbTerm Fim | | | Houve erro ? |
| Tensão de alimentação do ADCP: | | | | Temperatura da água : | | | |
| Tamanho Cabo ADCP/LapTop : | | | | Baud Rate ADCP/LapTop: | | | |
| Motor na embarcação ligado ? | | | | Gerador ou Bateria ?? | | | |
| Hora Início Medição : | | | | Hora Final da Medição : | | | |
| Dados da configuração | | | | | | | |
| Tamanho da célula (WS) | | | | Distancia em branco (WF) | | | |
| Número de células (WN) | | | | Velocidade ambigua (WV) | | | |
| Profundidade (BX) | | | | Pings do fundo (BP) | | | |
| Pings da água (WP) | | | | Sist. Coordenadas (EX) | | | |
| Profundidade do ADCP (cm) | | | | Modo Água (WM) | | | |
| Resumo das Medições | | | | | | | |
| Margem Inicial | | | | Distancia de Margem : Inicial [m] | | | Final [m] |
| Nº de Ensembles | | | | Lost Ensembles | | | Bad Ensembles |
| % Bad Bins | | | | Vazão Total [m ³ /s] | | | Vazão Medida [m ³ /s] |
| Vazão Medida / Vazão Total [%] | | | | Varição Pich/Roll > 5° ?? | | | Vel. Barco e Água [m/s] |
| Latitude Início | Longitude Início | | Latitude Final | | Longitude Final | | |
| Margem Inicial | | | | Distancia de Margem : Inicial [m] | | | Final [m] |
| Nº de Ensembles | | | | Lost Ensembles | | | Bad Ensembles |
| % Bad Bins | | | | Vazão Total [m ³ /s] | | | Vazão Medida [m ³ /s] |
| Vazão Medida / Vazão Total [%] | | | | Varição Pich/Roll > 5° ?? | | | Vel. Barco e Água [m/s] |
| Latitude Início | Longitude Início | | Latitude Final | | Longitude Final | | |
| Margem Inicial | | | | Distancia de Margem : Inicial [m] | | | Final [m] |
| Nº de Ensembles | | | | Lost Ensembles | | | Bad Ensembles |
| % Bad Bins | | | | Vazão Total [m ³ /s] | | | Vazão Medida [m ³ /s] |
| Vazão Medida / Vazão Total [%] | | | | Varição Pich/Roll > 5° ?? | | | Vel. Barco e Água [m/s] |
| Latitude Início | Longitude Início | | Latitude Final | | Longitude Final | | |
| Margem Inicial | | | | Distancia de Margem : Inicial [m] | | | Final [m] |
| Nº de Ensembles | | | | Lost Ensembles | | | Bad Ensembles |
| % Bad Bins | | | | Vazão Total [m ³ /s] | | | Vazão Medida [m ³ /s] |
| Vazão Medida / Vazão Total [%] | | | | Varição Pich/Roll > 5° ?? | | | Vel. Barco e Água [m/s] |
| Latitude Início | Longitude Início | | Latitude Final | | Longitude Final | | |
| Medição Final | | | | | | | |
| Media Vazões Totais [m ³ /s] | | | | Desvio Padrão [%] | | | Vel média (Q/Área) [m ³ /s] |
| Velocidade Média Água [m/s] | | | | Área [m ²] | | | Largura [m] |

Figura 62: Ficha de medição de vazão com o ADCP





ESTUDO DE
CASO – ESTAÇÃO
MANACAPURU

|  AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS | | FICHA DESCRITIVA DE ESTAÇÃO NO CURSO DA ÁGUA | |  Serviço Geológico do Brasil | |
|---|-----------|--|-----------------------|--|--|
| ESTAÇÃO: Manacapuru | | TIPO: FDSQ | | CÓDIGO: 14100000 | |
| REGIÃO HIDROGRÁFICA | | BACIA: Rio Amazonas | | | |
| RIO: 14001000 - RIO SOLIMÕES | | UF: AM | | MUNICÍPIO: Manacapuru | |
| ENTIDADE COORDENADORA ANA | | ENTIDADE OPERADORA: COHIDRO/RJ | | | |
| ÁREA DE DRENAGEM (km): 2147736,00 | | DRENAGEM GERAL: Rio Amazonas | | | |
| LAT.: 03°18'30" | | LONG.: 60°36'34" | | INST.: GPS GARMIN 12 XL | |
| ALT.(m): | | INST.: | | DATUM: SAD 69 | |
| FOLHA: SA-20-Manaus | | DATUM: | | REF. CART.: Carta do Brasil | |
| ESCALA: 1:1.000.000 | | ANO: 1980 | | | |
| ESTAÇÃO | TIPO | DATA DA INSTALAÇÃO | DATA DA EXTINÇÃO | ENTIDADE OPERADORA | |
| FLUVIOMÉTRICA | F | 06/1972 | | COHIDRO | |
| FLUVIOGRÁFICA | FR | | | | |
| SEDIMENTOMÉTRICA | S | 03/1979 | | COHIDRO | |
| QUALIDADE DAS ÁGUAS | Q | 06/1976 | | COHIDRO | |
| ESTAÇÃO TELEMÉTRICA: <input type="checkbox"/> Sim <input checked="" type="checkbox"/> Não | | | | | |
| DATA DA INSTALAÇÃO: | | | | | |
| LOCALIZAÇÃO: Na margem esquerda do rio Solimões, aproximadamente 54,00 m à montante do Porto-Flutuante. | | | | | |
| ACESSIBILIDADE: De Manaus, por via fluvial, 120 km aproximadamente ou pela travessia de balsa e depois pela rodovia até Manacapuru 90 km. | | | | | |
| DESCRIÇÃO DA ESTAÇÃO (RÉGUAS, LANCES, RRNN, SM, SR, PI, PF, etc.) | | | | | |
| MARGEM: Esquerda | | | | | |
| RÉGUAS: 8 Lances de réguas, de madeira, fixadas a estacas-suporte de madeira de lei, para leituras entre: 4/6,6/8,8/10,10/12,12. | | | | | |
| 400 | 600 | Régua madeira | | | |
| 600 | 800 | Régua madeira | | | |
| 800 | 1000 | Régua madeira | | | |
| 1000 | 1200 | Régua madeira | | | |
| 1200 | 1400 | Régua madeira | | | |
| 1400 | 1600 | Régua madeira | | | |
| 1600 | 1800 | Régua madeira | | | |
| 1800 | 2000 | Régua madeira | | | |
| RRNN: 11 | 20,039m | Cota arbitrária, calota de alumínio chumbada ao centro de um bloco de concreto | | | |
| 12 | 20,334m | Cota arbitrária, calota de alumínio chumbada ao centro de um bloco de concreto | | | |
| RN13 | 20,686 m | Cota arbitrária, calota de alumínio chumbada ao centro de um bloco de concreto | | | |
| RN10 | 20,942 m. | Foi destruída em 23/10/05 | | | |
| SEÇÃO MEDIDORA: +/- 6 km a jusante da seção de réguas | | | | | |
| PROCESSOS DE MEDIÇÃO DE DESCARGA: | | | | | |
| Medição pelo Método dos Grandes Rios. Seção definida por duas estacas de madeira com alvos, PI na margem direita e PF na esquerda distanciados entre si de 3.243,30 m. Horário das observações: Diariamente às 7 e às 17 horas. | | | | | |
| QUALIDADE DE ÁGUA: Temperatura, Turbidez, Ph, OD e Condutividade | | | | | |
| | | | | | |
| Estação: 14100000 | | | REVISADA EM: 9/6/2006 | | |



FICHA DESCRITIVA DE ESTAÇÃO NO CURSO DA ÁGUA



INFORMAÇÕES COMPLEMENTARES

POTOMOGRAFIA: O rio Solimões é assim chamado a partir da confluência dos rios Marañon e Javari. Recebe pela margem direita os rios: Jandiatuba, Jutai, Juruá, Tefé, Coari e Purus e pela margem esquerda os rios: Içá e Japurá

POSIÇÃO EM RELAÇÃO A REDE

MONTANTE: Anamá 14050000

JUSANTE: Jaturana 15030000

CARACTERÍSTICA DO TRECHO:

Regime:

Perene Intermitente
 Efêmero

Conformação:

Retilínio Anastomosado
 Curvo Meandrante

Fundo

Regular Irregular
 Encachoeirado

NATUREZA E INCLINAÇÃO DAS MARGENS

NATUREZA:

ME: Arenosa com vegetação rasteira
MD: Argilosa com vegetação rasteira

INCLINAÇÃO:

ME: Média
MD: Alta

NATUREZA DO LEITO: Areno-argiloso

CONTROLE:

LOCALIZAÇÃO:

DISTÂNCIA (m)

COTA DE TRANSBORDAMENTO (cm) 1880

MARGEM DIREITA

MARGEM ESQUERDA

OBSERVADOR:

NOME: Romário Rosas da Silva

PROFISSÃO: Marceneiro

GRAU DE INSTRUÇÃO: 3a série - 1o Grau

ENDEREÇO: Rua Angelo Figueira, 1936

FONE: (092) 9137-0487

BAIRRO: Correnteza

CEP:

CIDADE: Manacapuru

ESTADO: AM

DISTÂNCIA DA RESIDÊNCIA ATÉ A ESTAÇÃO (m):

MEIO DE COMUNICAÇÃO MAIS PRÓXIMO DA CASA DO OBSERVADOR

DISTÂNCIA DA CASA DO OBSERVADOR (m)

OBSERVAÇÃO:

NA AUSÊNCIA DO OBSERVADOR PROCURAR PO

NOME: Pseu Araújo de Lima

ENDEREÇO: Rua Angelo Figueira, 1936

FONE: (092) 9137-0487

BAIRRO: Correnteza

CEP:

CIDADE: Manacapuru

ESTADO: AM

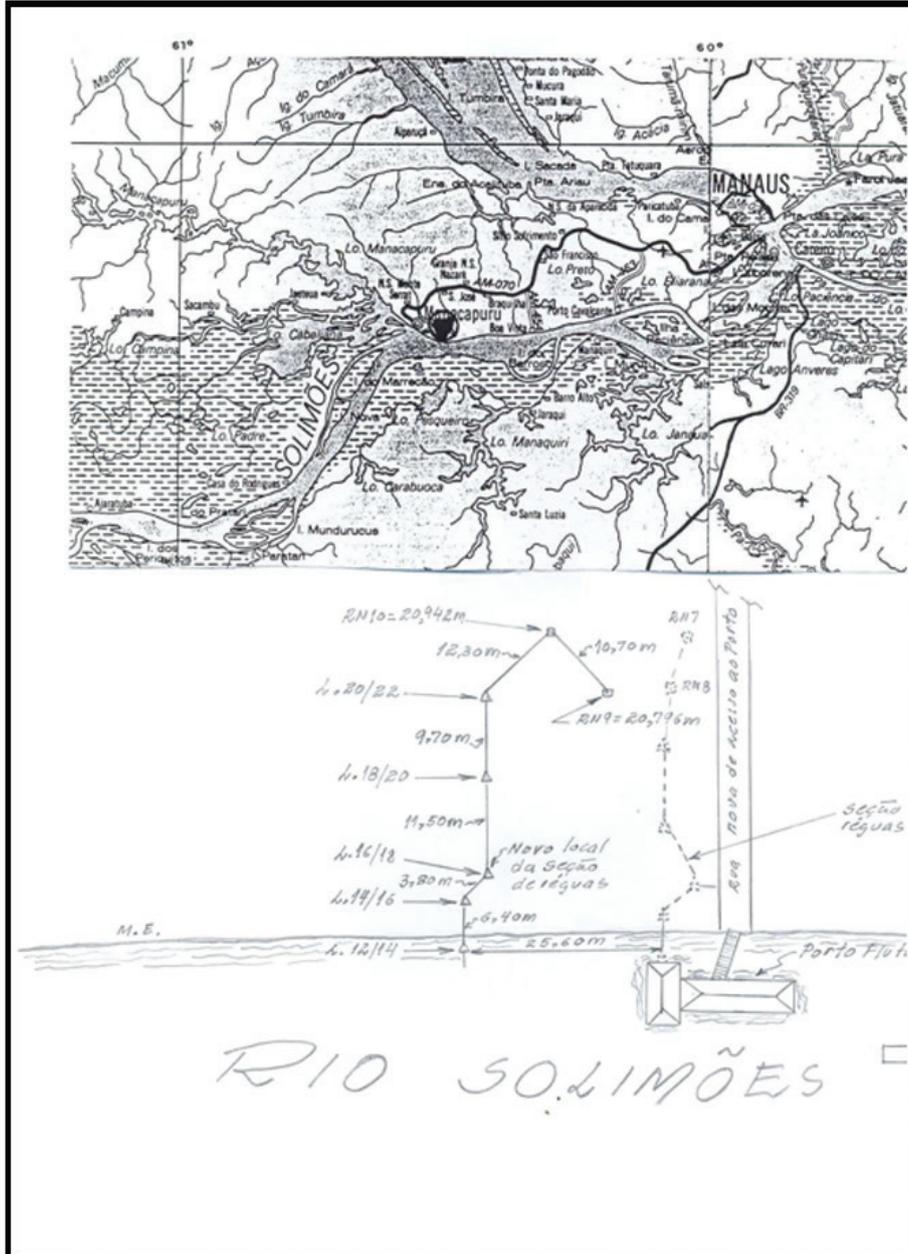
OBSERVAÇÕES:



FICHA DESCRITIVA DE ESTAÇÃO
NO CURSO DA ÁGUA



CROQUI



Estação: 14100000

REVISADA EM: 9/6/2006



FICHA DESCRITIVA DE ESTAÇÃO FORA DO CURSO DA ÁGUA



| ESTAÇÃO: Manacapuru | | CÓDIGO: 0036000 | | TIPO: Pr |
|---|--------------------------|---|---------------------------------|--------------------|
| REGIÃO HIDROGRÁFICA: Amazônica | | BACIA: Rio Amazonas | | |
| ESTADO: AM | | MUNICÍPIO: Manacapuru | | |
| ENTIDADE RESPONSÁVEL: ANA | | ENTIDADE OPERADORA: COHIDRO | | |
| LAT.: -03°18'30" | LONG.: -60°36'34" | INST.: GPS Garmin 12 XL Precisão | DATUM: SAD-69 | |
| ALT.(m): | INST.: | DATUM: | R.CART.: Carta do Brasil | |
| FOLHA: SA-20-Manaus | | ESCALA: 1:1.000.000 | ANO: 1980 | |
| ESTAÇÃO | TIPO | DATA DA INSTALAÇÃO | DATA DA EXTIÇÃO | ENTIDADE OPERADORA |
| PLUVIOMÉTRICA | P | 06/1972 | | COHIDRO |
| PLUVIOGRÁFICA | R | 02/1983 | | COHIDRO |
| EVAPORIMÉTRICA | E | | | |
| CLIMATOLÓGICA | C | | | |
| ESTAÇÃO TELEMÉTRICA: <input type="checkbox"/> Sim <input checked="" type="checkbox"/> Não DATA DA INSTALAÇÃO: | | | | |
| LOCALIZAÇÃO: Na margem esquerda do rio Solimões, a 78,00 m do prédio do Frigorífico Frigopesca. | | | | |
| ACESSIBILIDADE: De Manaus, por via fluvial, aproximadamente 120 km, ou pela travessia de balsa e depois pela rodovia até Manacapuru 90 km. | | | | |
| DESCRIÇÃO: Os aparelhos estão protegidos por um cercado de madeira de lei 3,60 x 2,10 m, com 1,50 m de latura, pintado de branco, com tela, em área plana com boa exposição. Pluviômetro "Ville de Paris", fixado a uma estaca, cravada no solo. Área do bocal receptor 400 cm ² , altura do bocal ao solo 1,50 m. Pluviografo diário, sobre pedestal, fixado ao solo. Área do bocal receptor 200 cm ² , a altura do bocal ao solo 1,50 m. Proveta: 10 mm. | | | | |
| OBSERVADOR: | | | | |
| NOME: Romário Rosa da Silva | | PROFISSÃO: Marceneiro | | |
| GRAU DE INSTRUÇÃO: 3a Série-1o Grau | | | | |
| ENDEREÇO: Rua Angelo Figueira. 1936 | | FONE: (092) 9137-0487 | | |
| BAIRRO: Correnteza | | CEP: | | |
| CIDADE: Manacapuru | | ESTADO: AM | | |
| DISTÂNCIA DA RESIDÊNCIA À ESTAÇÃO: | | | | |
| MEIO DE COMUNICAÇÃO MAIS PROXIMO DA CASA DO OBSERVADOR: | | | | |
| DISTANCIA DA CASA DO OBSERVADOR: | | | | |
| PROPRIETÁRIO: | | | | |
| NA AUSÊNCIA DO OBSERVADOR PROCURAR POR: | | | | |
| NOME: Pseu Araújo de Lima | | | | |
| ENDEREÇO: Rua Angelo Figueira. 1936 | | FONE: | | |
| BAIRRO: Correnteza | | CEP: | | |
| CIDADE: Manacapuru | | ESTADO: AM | | |

CÓDIGO 00360001

DATA: 7/04/2006

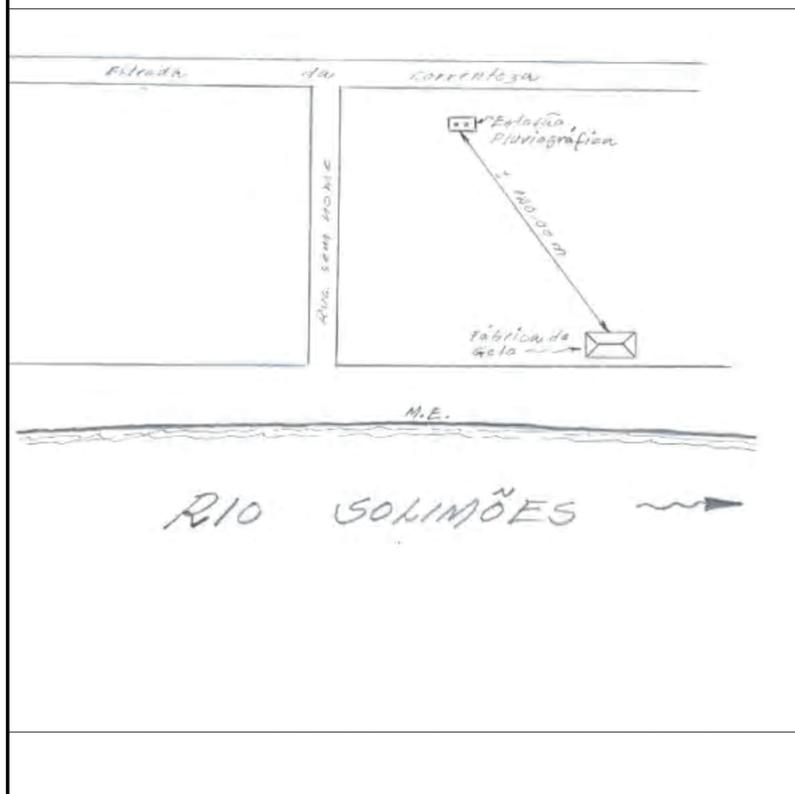


**FICHA DESCRITIVA DE ESTAÇÃO
FORA DO CURSO DA ÁGUA**



| EQUIPAMENTOS | | | | | |
|-------------------------|------------------|----------|--------------|-------------|-----------------|
| Espécie | Nº do Patrimônio | Nº série | Proprietário | Em operação | Data instalação |
| Pluviômetro Ville Paris | | | CPRM | sim | 28/6/1972 |
| Pluviógrafo | | | CPRM | sim | 28/2/1983 |

CROQUI:



CÓDIGO 00360001

DATA: 7/04/2006



Ficha de Inspeção de Plataforma de Coleta de Dados (PCD)



| | | | |
|---------------------|---------------------------|-----------------------|---------------------|
| Código: | 14100000 | Nome da Estação: | MANACAPURU |
| Nome do Rio: | RIO SOLIMÕES/AMAZONAS | Entidade Responsável: | ANA(1) |
| Entidade Operadora: | COHIDRO (100) | Unidade: | RIO DE JANEIRO (19) |
| Equipe (Técnicos): | Marcelo Wangler de Ávila; | Roteiro: | 08 |
| | | Convênio: | Sivam |

Tipo de Inspeção: Manutenção

| INFORMAÇÕES GERAIS | | | | | | | |
|---|---------------------|--|-----------------------|--------------------------------|-----------------|----|-------|
| Data inicial: | 25/09/2007 | Hora a inicial: | 08:00:00 | Cota da régua Inicial: | 1872 | | |
| Data final: | 25/09/2007 | Hora a final: | 16:30:00 | Cota da régua final: | 1870 | | |
| Acesso à PCD:: | Bom | Limpeza da PCD: | Bom | Condição do cercado/abrigo: | | | |
| Existe cercado/abrigo? | Nao | Condição do suporte (PCD): | Regular | Exposição do Pluviômetro: | Bom | | |
| Existe suporte (PCD)? | Sim | Condição do display: | Regular | Instalação do sensor de nível: | Ruim | | |
| Existe pluviômetro? | Sim | | | | | | |
| Existe display? | Sim | | | | | | |
| Existe sensor de nível? | Sim | | | | | | |
| Tipo de sensor de nível: | Pressao Druck (20m) | | | | | | |
| Comprimento do cabo do sensor de pressão? | 70m | | | | | | |
| Existe sensor de qualidade de água? | Nao | Instalação do sensor de qualidade de água: | | | | | |
| Existe modem? | Nao | Condição do modem: | | | | | |
| SITUAÇÃO ENCONTRADA | | | | | | | |
| PCD encontrada em: | Stop Mode | Arquivo de retirada de dados: | Retrieve 14100000.txt | | | | |
| Configuração do Parâmetros | | | | | | | |
| Data (MM/DD/YYYY): | 09/25/2007 | Hora (24h)(GMT): | 11:36:40 | Pluviômetro (mm): | 0,00 | | |
| Cota Display (cm): | 0 | FS Install Press: | 0 | Encod. (S=1, N=0): | Nao | | |
| Press. (S=1, N=0): | Sim | Cota Install (cm): | 65035 | | | | |
| Parâmetros de Transmissão | | | | | | | |
| Station ID: | 14100000 | Plataform ID: | 32117 | Transmit Channel: | 3 | | |
| Fist Transmit Time: | 00:00:01 | Transmit Interval: | 00:03:23 | Program 555: | 555 SIVAM250900 | | |
| Firmware Version: | 609 | Assembler Version: | 4,1 | | | | |
| Force Scan (PCD em Run Mode) | | | | | | | |
| Sensor de Pressão: | 65035 | Corrente do Painel Solar: | 14 | Umidade Interna: | 58 | | |
| Tensão de Painel Solar: | 13,30 | Temperatura Compensação: | 29 | Tensão da Bateria (12V): | 12,46 | | |
| Temperatura da Água: | 200,00 | Pluviômetro (mm): | 0,00 | Cota Sensor de Pressão: | 0 | | |
| Cota Encoder: | | Direção do Vento: | | Velocidade do Vento: | | | |
| Radiação Solar: | | Cota do Display: | 0 | | | | |
| Valores do Display (PCD em Run Mode) | | | | | | | |
| 0: | 1: | 2: | 3: | 4: | 5: | 6: | 7: |
| | | | | | | | 8: |
| Lembrete: Tampar e desconectar o painel solar, colocar a PCD em Stop Mode e desconectar a bateria | | | | | | | |
| Tensão da bateria de 12V (V): | 12,59 | Tensão da bateria de 3V (V): | 3,29 | | | | |
| SITUAÇÃO DEIXADA | | | | | | | |
| Configuração dos Parâmetros | | | | | | | |
| Alterou-se alguma configuração dos parâmetros (PCD em STOP Mode): | Sim | | | | | | |
| Data (MM/DD/YYYY): | 09/29/2007 | Hora (24h)(GMT): | 20:16:59 | Pluviômetro (mm): | 0,00 | | |
| Cota Display (cm): | 1870 | FS Install Press: | 340 | Encod. (S=1, N=0): | Nao | | |
| Press. (S=1, N=0): | Sim | Cota Install (cm): | 1870 | | | | |
| Parâmetros de Transmissão | | | | | | | |
| Alterou-se alguma configuração dos parâmetros (PCD em STOP Mode): | Sim | | | | | | |
| Station ID: | 14100000 | Plataform ID: | 32117 | Transmit Channel: | 3 | | |
| Fist Transmit Time: | 00:00:01 | Transmit Interval: | 00:03:23 | Program 555: | 555 SIVAM250900 | | |
| Firmware Version: | 609 | Assembler Version: | 4,1 | | | | |
| Force Scan (PCD em Run Mode) | | | | | | | |
| Sensor de Pressão: | 340 | Corrente do Painel Solar: | 22 | Umidade Interna: | 31 | | |
| Tensão de Painel Solar: | 13,53 | Temperatura Compensação: | 33 | Tensão da Bateria (12V): | 12,46 | | |
| Temperatura da Água: | 3,10 | Pluviômetro (mm): | 0,00 | Cota Sensor de Pressão: | 1870 | | |
| Cota Encoder: | | Direção do Vento: | | Velocidade do Vento: | | | |
| Radiação Solar: | | Cota do Display: | 1870 | | | | |
| Valores do Display (PCD em Run Mode) | | | | | | | |
| 0: | 1870,00 | 1: | 12,40 | 2: | 13,31 | 3: | 21,00 |
| | | 4: | 0,00 | 5: | 16,18 | 6: | 0,00 |
| | | 7: | 22,00 | 8: | 31,00 | | |
| Tensão da bateria de 12V (V): | 12,59 | Tensão da bateria de 3V (V): | 3,29 | | | | |



| TESTE VIA TELONICS (PCD em Run Mode após 1º hora cheia) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--|------------------------------|---|-----|-----------|--|-------------|----|---------------|----|---------|----|----------|----|--------------|----|----------|----|----------------|----|-----------|----|--|--|---------|----|--|--|---------|----|--|--|---------|----|--|--|-----------|----|
| 1ª Tela do Telonics: | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| SITUAÇÃO PATRIMONIAL DOS EQUIPAMENTOS | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Tipo de PCD: 555 ES - 13S | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Nº de Série: | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| PCD: 1393 | Encoder: | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Antena: 5198A1238 | Display: 550 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Painel Solar: F9911241560385 | Sensor de Qualidade de Água: | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Pluviômetro: 3448 | Modem: | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Sensor de Pressão: | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| VERIFICAÇÃO DOS EQUIPAMENTOS (PCD em Stop Mode) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Testes com multímetro | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| <table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">Sensores:</th> <th colspan="2">Fusíveis:</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Pluviômetro</td> <td>OK</td> <td>10A - Bateria</td> <td>OK</td> </tr> <tr> <td>Pressão</td> <td>OK</td> <td>5A - SYS</td> <td>OK</td> </tr> <tr> <td>Painel Solar</td> <td>OK</td> <td>5A - SDI</td> <td>OK</td> </tr> <tr> <td>Cabo da Antena</td> <td>OK</td> <td>5A - GOES</td> <td>OK</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td>1A - F1</td> <td>OK</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td>1A - F2</td> <td>OK</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td>2A - F3</td> <td>OK</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td>1/8A - F4</td> <td>OK</td> </tr> </tbody> </table> | | Sensores: | | Fusíveis: | | Pluviômetro | OK | 10A - Bateria | OK | Pressão | OK | 5A - SYS | OK | Painel Solar | OK | 5A - SDI | OK | Cabo da Antena | OK | 5A - GOES | OK | | | 1A - F1 | OK | | | 1A - F2 | OK | | | 2A - F3 | OK | | | 1/8A - F4 | OK |
| Sensores: | | Fusíveis: | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Pluviômetro | OK | 10A - Bateria | OK | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Pressão | OK | 5A - SYS | OK | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Painel Solar | OK | 5A - SDI | OK | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Cabo da Antena | OK | 5A - GOES | OK | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | 1A - F1 | OK | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | 1A - F2 | OK | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | 2A - F3 | OK | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | 1/8A - F4 | OK | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Observações | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| A PCD FOI ENCONTRADA EM STOP MODE. O SENSOR FOI ENCONTRADO ARREBENTADO. O PLUVIÔMETRO ESTAVA ENTUPIDO. TIVEMOS DÚVIDAS SOBRE AS CONDIÇÕES DO DISPLAY ENTÃO RESOLVEMOS TROCÁ-LO. | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| SERVIÇOS REALIZADOS | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Pagamento ao zelador: Período de : a no valor de : | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Substituição da bateria (12V): | Sim | Graxa de silicone: | Sim | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Substituição da bateria (3V): | Sim | Substituição do firmware: | Sim | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Substituição da sílica (PCD): | Sim | Substituição do programa: | Nao | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Substituição da sílica (Sensor): | Sim | Mudança Data/Hora: | Sim | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Limpeza dos equipamentos: | Sim | Limpeza do sensor de qualidade de água: | Nao | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Limpeza do sensor de pressão: | Sim | Teste Via Telonics: | Nao | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Outros Serviços Realizados | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| FOI PINTADA A PLATAFORMA. FOI REALIZADA LIMPEZA DOS EQUIPAMENTOS E INSTALADO SENSOR DE PRESSÃO NOVO. FOI INSTALADO NOVO DISPLAY E AS BATERIAS FORAM TROCADAS. FOI RESOLVIDO PROBLEMA DE EXCESSO DE INCLINAÇÃO DO PAINEL SOLAR | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| PRÓXIMA VISITA | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Equipamentos que devem ser substituídos ou levados na próxima visita | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Bateria 12V Bateria 3V Sílica da PCD Sílica do sensor de pressão Outros: | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| PRÓXIMA VISITA | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1-Verificar o nº do sensor de pressão que foi deixado na estação. 2- O sensor de pressão com nº 7710, foi enviado somente a caixa dissecante, necessita fazer Boletim de Ocorrência. | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| PCD deixada em: Run Mode | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

6.1 Fotos

6.1.1 Estação fluviométrica



Foto: Fabrício / Banco de imagens ANA



Foto: Maurício / Banco de imagens ANA



Foto: Fabrício / Banco de imagens ANA



Foto: Maurício / Banco de imagens ANA

Figura 63: Estação fluviométrica de Manacapuru (Código 14100000)

6.1.2 Estação pluviométrica



Foto: Matheus / Banco de imagens ANA



Foto: Matheus / Banco de imagens ANA

Figura 64: Estação Pluviométrica de Manacapuru (Código 00360001)

6.1.3 Estação telemétrica



Foto: Maurício / Banco de imagens ANA

Figura 65: Estação Telemétrica de Manacapuru (Código 14100000)

6.1.4 Seção de medição de descarga líquida



Foto: Fabrício / Banco de imagens ANA



Foto: Maurício / Banco de imagens ANA



Foto: Matheus / Banco de imagens ANA



Foto: Fabrício / Banco de imagens ANA



Foto: Maurício / Banco de Imagens AINA

Figura 66: Alvos da seção de medição de descarga líquida da Estação Manacapuru

6.2 Curva-chave

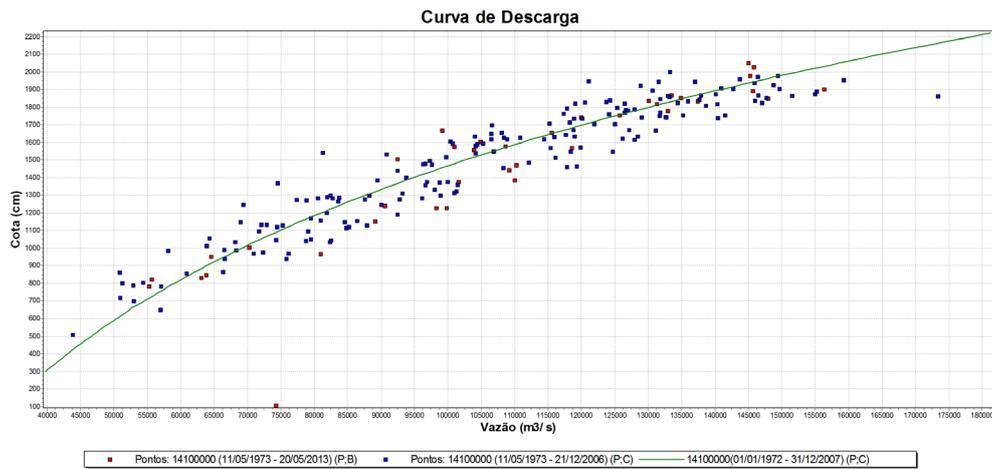


Figura 67: Curva-chave da Estação Fluviométrica de Manacapuru (Código 14100000)





REFERÊNCIAS

FILIZOLA, N. P.; GUIMARÃES, V. S.; GUYOT, J. L. **Medição de vazão em grandes rios: uso do perfilador doppler acústico de corrente.** O Estado das Águas no Brasil – 1999: Perspectivas de gestão e informação de recursos hídricos. Brasília: SIH/ANEEL; SRH/MMA; MME, 1999. p. 197-212.

GUIMARÃES, V. S.; FILIZOLA, N. P.; OLIVEIRA, E.; GUYOT, J. L.; CALLÈDE, J. **O uso do ADCP para medição de vazão e estimativa do fluxo de sedimentos nos grandes rios da Bacia Amazônica.** In: XII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS. Vitória-ES, 1997, 8 p.

GUYOT, J. L.; CONCEIÇÃO, S. C.; GUIMARÃES, V. S.; LONGUINHOS, R. Medição de vazão com ADCP. Primeiros resultados na bacia Amazônica. **A Água em Revista**, 3(4), p. 26-30, 1995.

GUYOT, J. L.; FILIZOLA, N.; GUIMARÃES, V.. Amazon suspended sediment yield measurements using an acoustic doppler current profiler. First results. **In Hydrology in the Humid Tropic Environment**, IAHS, Kingston, nov. 1996 (1997).

JACCON G. **Curso sobre Técnicas de Medição de Descarga Líquida em Grandes Rios.** Brasília: Departamento Nacional de Águas e Energia Elétrica/MME, 1984.

MUELLER, D. **Use of acoustic Doppler instrument for measuring discharge in streams with appreciable Sediment transport.** American Society of Civil Engineers, 2002.

MUELLER, D.; WAGNER, C.R.; **Measuring Discharge with Acoustic Doppler Current Profilers from a Moving Boat.** USGS, Techniques and Methods 3A-22, 2009, 72p. Disponível em: <<http://pubs.water.usgs.gov/tm3a22>>

MORLOCK S. E. **Evaluation od Acoustic Doppler Current Profiler Measurements of River Discharge.** USGS, WRI Report 95-4218, Indiana, 1996. 37 p.

RDI. **Acoustic Doppler current profilers.** Principles of operation: a practical primer. Publ. RDI, San Diego, 1989. 36 p.

SILVA, C.D.A. AVILA, M.W. **Plano de Monitoramento Hidrológico para a Bacia do Rio São João – RJ;** Projeto apresentado a Escola de Engenharia Ambiental e Sanitária do Centro Universitário da Cidade - Rio de Janeiro, 2012, 126p.

SANTOS, I.; FILL, H. D.; SUGAI, M. R. V. B.; BUBA, H.; KISHI, R. T.; MARONE, E.; LAUTERT, L. F. C. **Hidrometria Aplicada.** Curitiba: Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento – LACTEC, 2001. 372 p.

SIMPSON, M. R. **Discharge measurements using a Broad band acoustic Doppler current profiler,** United States Geological Survey – USGS, Open File Report 01-1, 2001.

SIMPSON, M. R., OLTMANN, R. N. **Discharge – measurement system using an acoustic doppler current profiler with applications to large rivers and estuaries.** United States Geological Survey (USGS), Supply Paper 2395, 1993. 33 p.

USGS – United States Geological Survey **Instructor Presentations Training Course by Muller David.** USA: Estes Park, CO, 2002.