

# Manual Técnico sobre Medição de Descarga Líquida em Grandes Rios

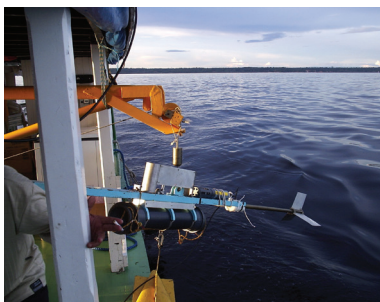


Foto: Paulo Gamaro/Banco de imagens ANA



Foto: Douglas/Banco de imagens ANA



Foto: Prado/Banco de imagens ANA

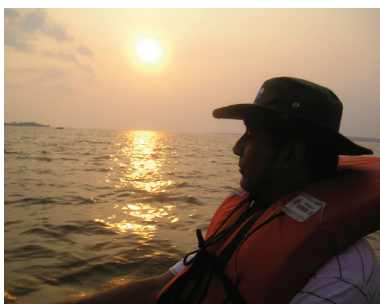


Foto: Solange/Banco de imagens ANA

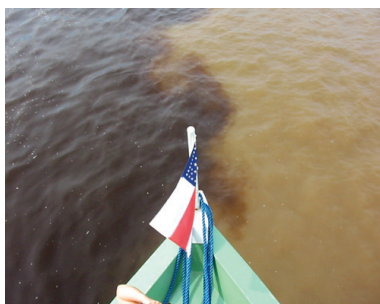


Foto: Marcos/Banco de imagens ANA



Foto: Silvío/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**

M A N U A L T É C N I C O

**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](http://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 tranquilizador.....	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 “ <i>Ville de Paris</i> ” 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 (KI) .....	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



<b>Apresentação</b>	<b>11</b>
<b>1 Medição de Variáveis Hidrológicas</b>	<b>13</b>
1.1 Nível de água	15
1.2 Precipitação	18
<b>2 Levantamentos Topográficos e Batimétricos</b>	<b>21</b>
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
<b>3 Medição de Descarga Líquida</b>	<b>27</b>
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
<b>4 Curva de Descarga Líquida (ou Curva-chave)</b>	<b>35</b>
<b>5 Técnicas de Medição da Descarga Líquida em Grandes Rios</b>	<b>39</b>
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 km<sup>3</sup>/ano, aproximadamente 18% do total disponível no globo terrestre. Apenas o rio Amazonas, que possui uma vazão média de 209.000 m<sup>3</sup>/s, lança no Oceano Atlântico aproximadamente 6.590 km<sup>3</sup>/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**.







1

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.

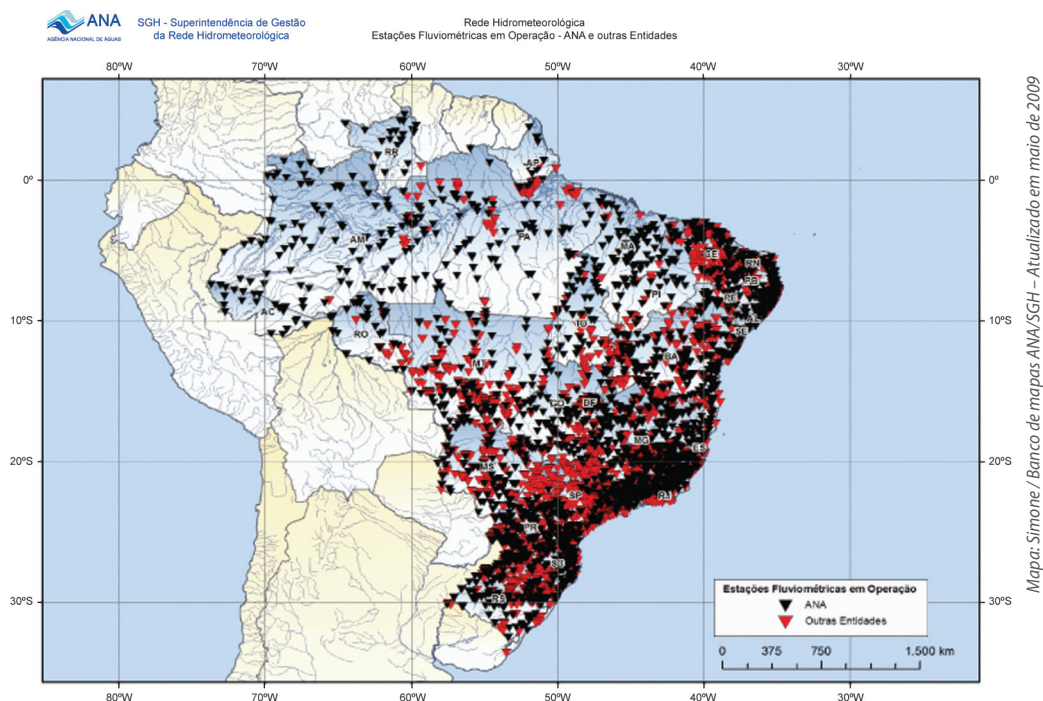
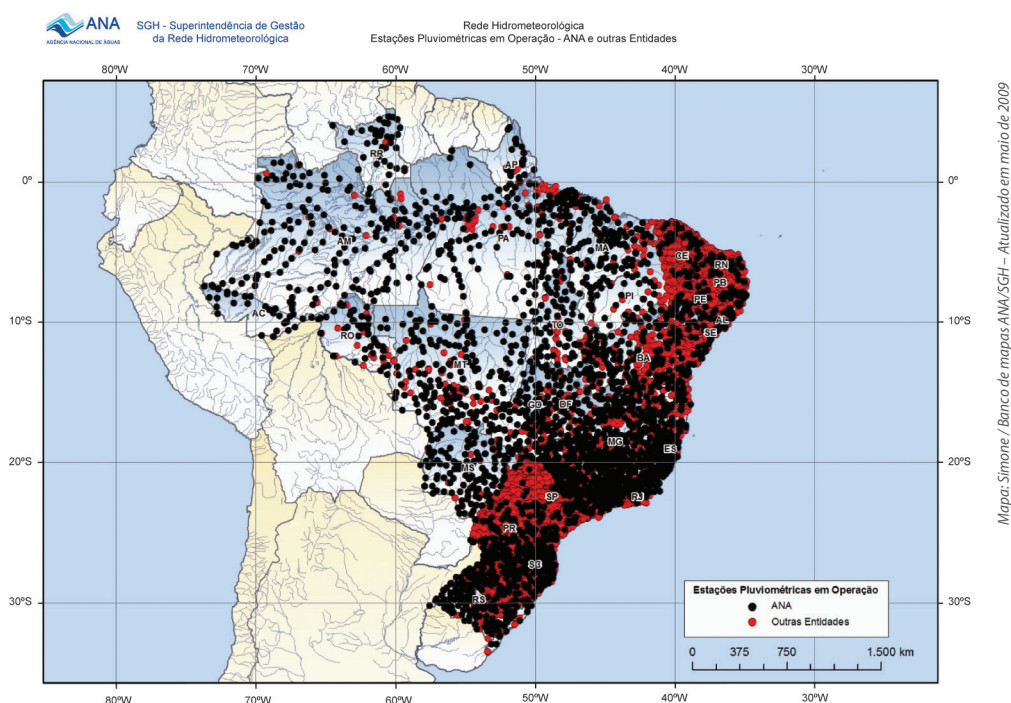


Figura 1: Estações fluviométricas em operação no Brasil.



**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).



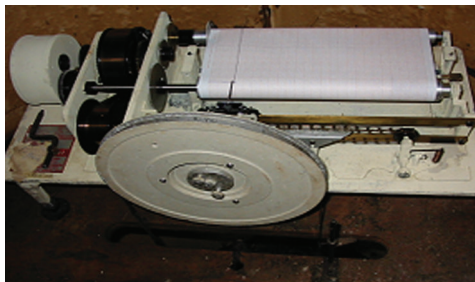


Foto: Bosco / Banco de Imagens ANA



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 cm<sup>2</sup>, 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.

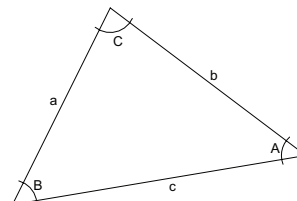
O processo direto consiste em se percorrer a distância a ser medida, verificando o número de vezes que uma unidade de medida linear (metro) cabe dentro do espaço a se medir. O instrumento mais utilizado na medida direta de distância é a trena, sendo que o cabo de aço graduado também é usado com frequência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



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

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

Cabe recordar que:

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

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

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



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 Teodolito<sup>1</sup> ou por um processo eletrônico utilizando-se o distanciômetro.<sup>2</sup>

### 2.1.1 Posicionamento com sextante

Sextante é um instrumento ótico 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.

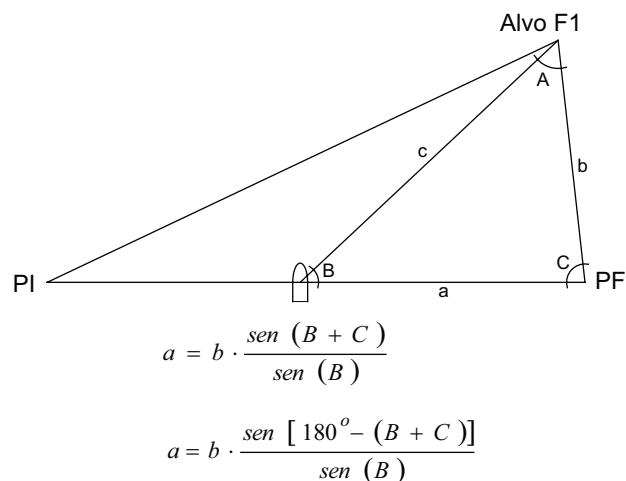


Figura 14: Parâmetros para o cálculo da posição da vertical B.

<sup>1</sup> 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.

<sup>2</sup> 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 ( $\alpha$ ) 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

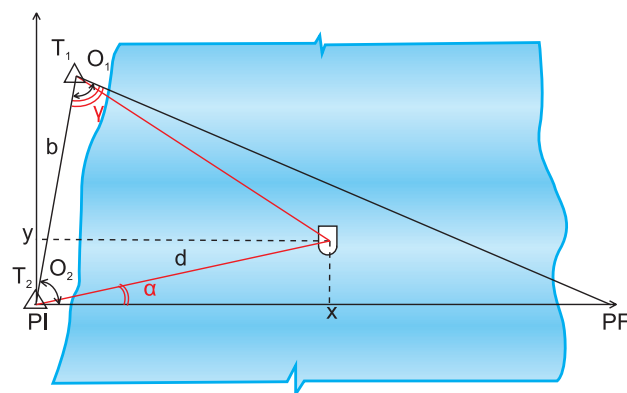


Foto: Fabrício / Banco de Imagens ANA

**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  $\alpha$  e  $\gamma$ .



**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:

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

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

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

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

calculados em função dos ângulos  $\alpha$  e  $\gamma$ , 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:

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

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 / Banco de imagens ANA



Foto: Maurício / Banco 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

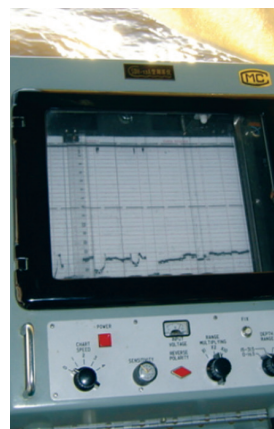
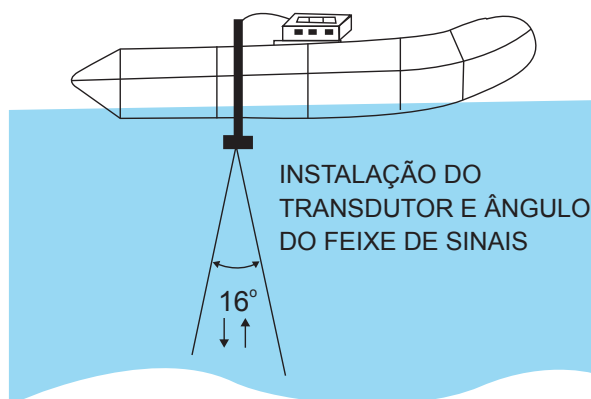


Foto: Maurício/Banco de imagens ANA

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



Fonte: Fichas técnicas DNAAE, 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 <sup>2</sup>	---
perímetro molhado	X	m	---
raio hidráulico	R	m	$R = A/X$
largura superficial	L	m	---
profundidade média	$P_{\text{méd}}$	m	$P = A/L$
profundidade máxima	$P_{\text{máx}}$	m	---
cota linimétrica	h	cm	---
ponto inicial da seção transversal	PI	---	---
ponto final da seção transversal	PF	---	---
distância entre PI e PF	D	m	---

*Continua*

Continuação

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

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 <sup>3</sup> /s	---
vazão em um segmento da seção	$q_i$	m <sup>3</sup> /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 <sup>2</sup> /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

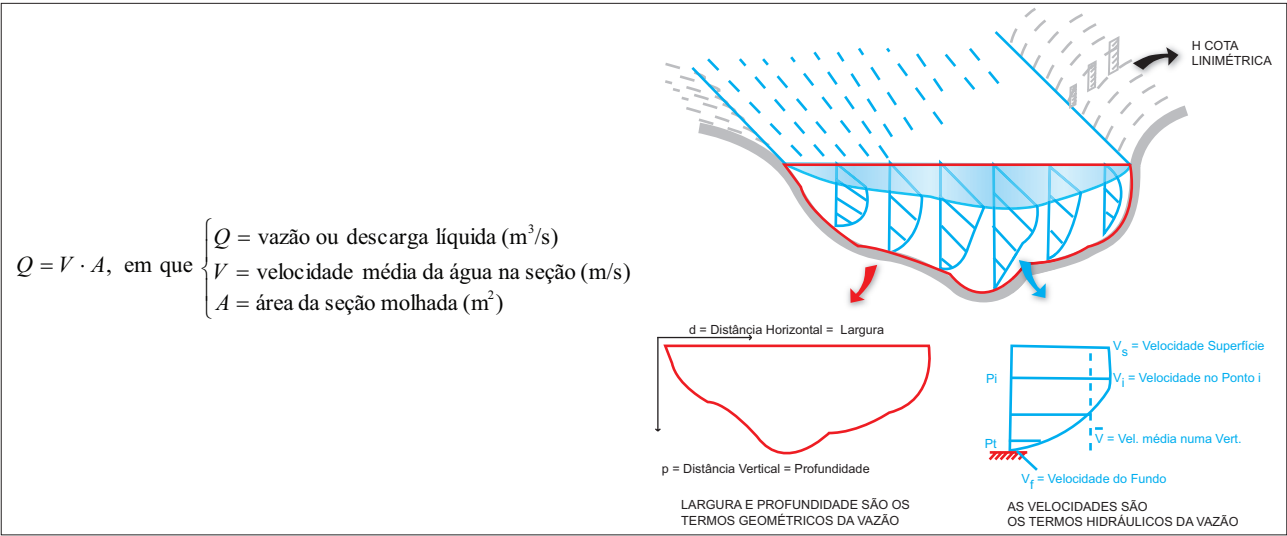
semidistâncias das verticais adjacentes, fornece a vazão parcial (vazão na área de influência da vertical analisada), cuja soma destas parcelas será a Vazão Total na seção.

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	$Vm = V_{0,6}$	0,15 – 0,6
2	0,2 e 0,8 p	$Vm = (V_{0,2} + V_{0,8})/2$	0,6 – 1,2
3	0,2; 0,6 e 0,8 p	$Vm = (V_{0,2} + V_{0,6} + V_{0,8})/4$	1,2 – 2,0
4	0,2; 0,4; 0,6 e 0,8 p	$Vm = (V_{0,2} + V_{0,4} + V_{0,6} + V_{0,8})/6$	2,0 – 4,0
6	S; 0,2; 0,4; 0,6; 0,8 p e F	$Vm = [Vs + 2(V_{0,2} + V_{0,4} + V_{0,6} + V_{0,8}) + Vf]/10$	> 4,0

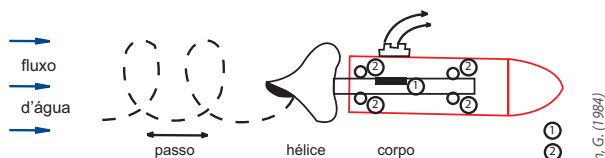
\* Observação: VS – velocidade média na superfície e VF – velocidade no fundo do rio.

Fonte: JACCON G. (1984)

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:

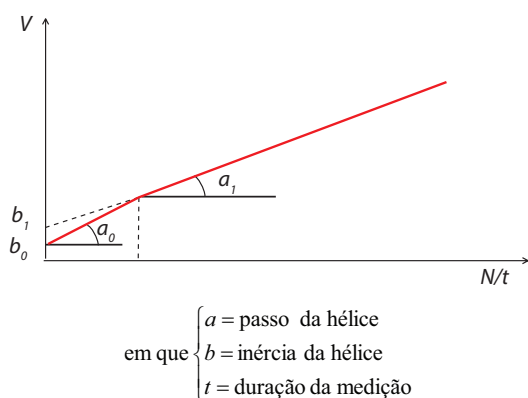
$$V = a \cdot \left( \frac{N}{t} \right) + b, \text{ em que } \begin{cases} a = \text{passo da hélice (constante - função da hélice do molinete)} \\ b = \text{inércia da hélice (constante - função da hélice do molinete)} \\ t = \text{duração da medição} \\ N = \text{número de rotações da hélice} \end{cases}$$

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.



**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  $V = 1 \text{ m/s}$
- 0,25 m ----- 4 rotações por segundo se  $V = 1 \text{ m/s}$
- 0,50 m ----- 2 rotações por segundo se  $V = 1 \text{ m/s}$
- 1,00 m ----- 1 rotação por segundo se  $V = 1 \text{ m/s}$

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.

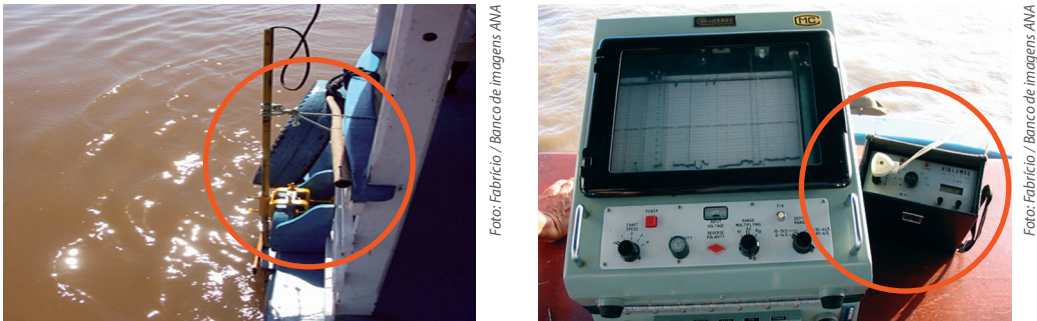
O aparelho registra todas as rotações do molinete, ajustado para emitir um impulso a cada revolução. Esses impulsos acionam um contador (eletromecânicos ou eletrônicos) acoplado a um cronômetro de contagem regressiva. Ajusta-se o tempo desejado para a medição (em geral 40 segundos), posiciona-se o molinete (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.



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



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



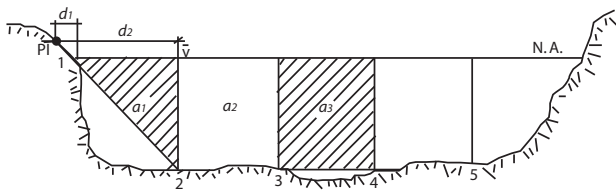
### 3.3 Métodos de cálculo: seção média e meia seção

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:

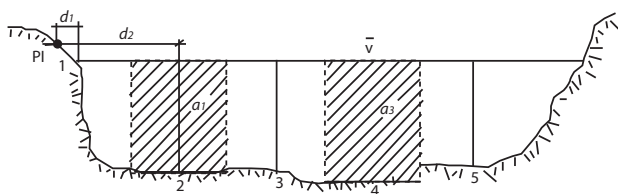
$$L = d_n - d_1$$

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:

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



4

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).

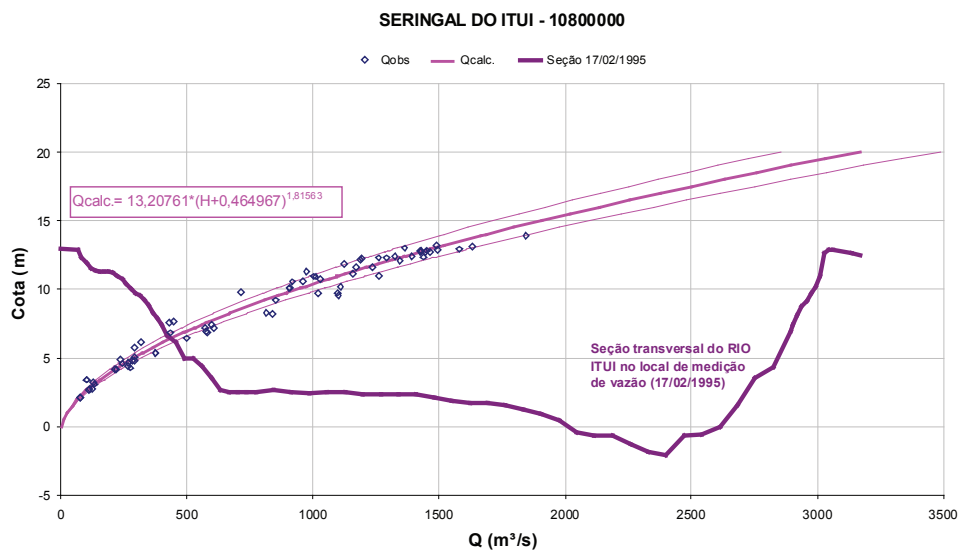


Figura 27: Curva de descarga de controle único

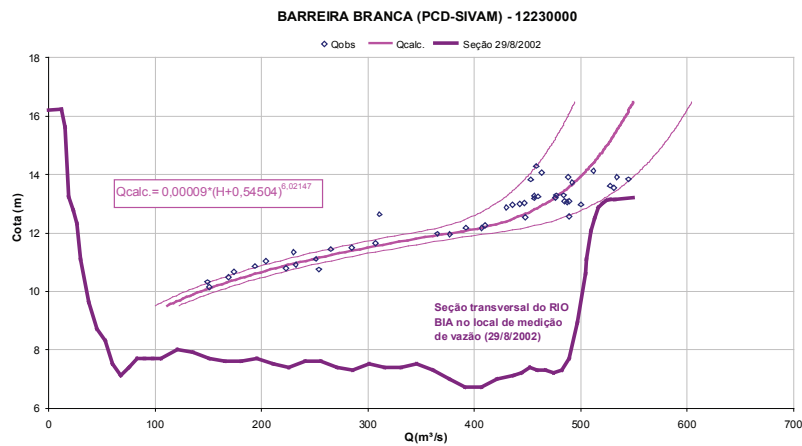


Figura 28: Curva de descarga com mudança de controle.

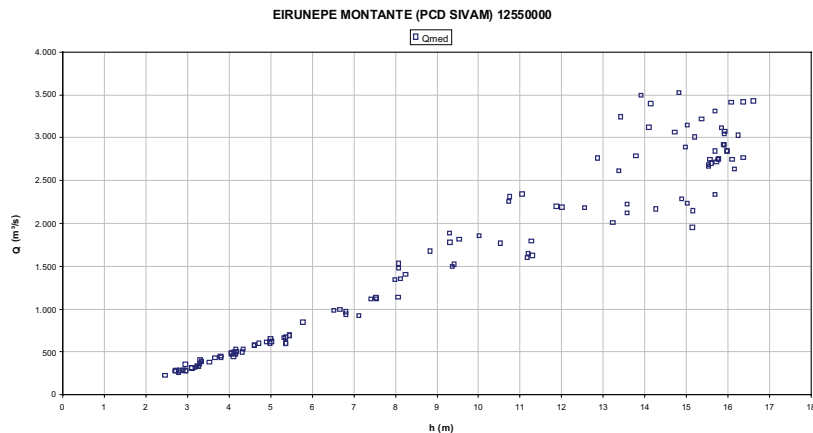


Figura 29: Medições de descarga indicando curva de descarga em laço.

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

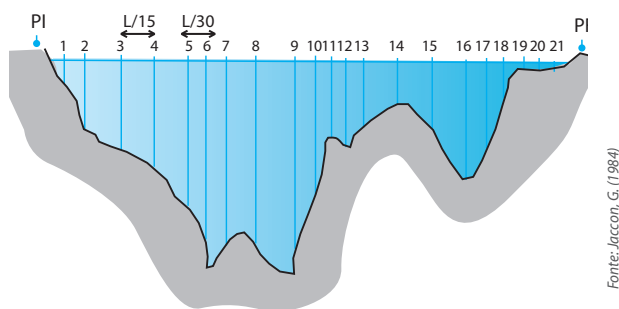
A medição utilizando o Método do Barco Ancorado é realizada de forma sucessiva, ou seja, a várias distâncias da margem, dividindo a seção transversal em trechos, dentro do alinhamento *PI - PF* (Ponto Inicial e Final) (Figura 30).

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.



**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.



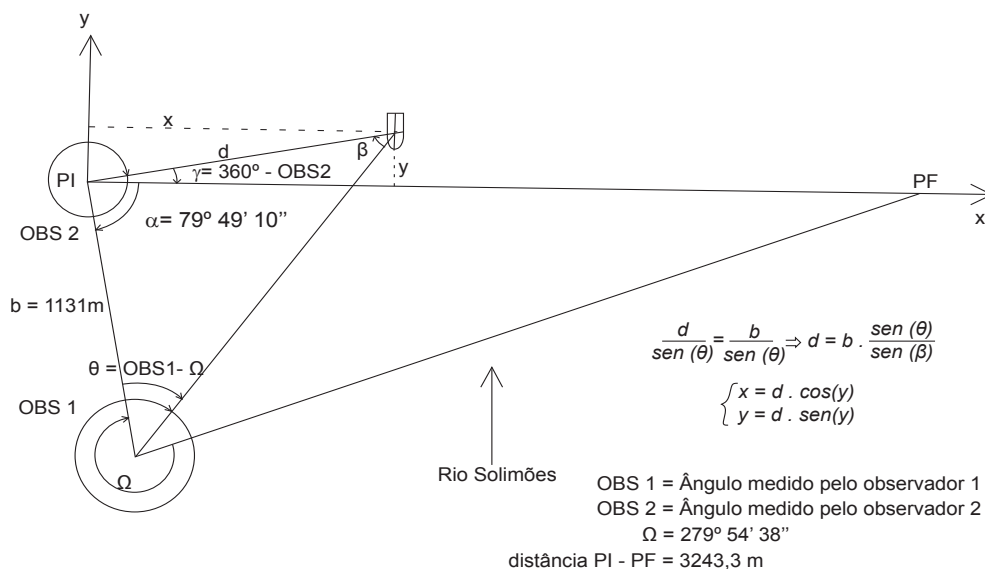
O maior problema deste método encontra-se na dificuldade ou na impossibilidade de ancorar o barco em rios muito profundos (profundidades > 30m) e no risco de acidentes de colisão com materiais flutuantes (vegetação, madeira etc.).

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

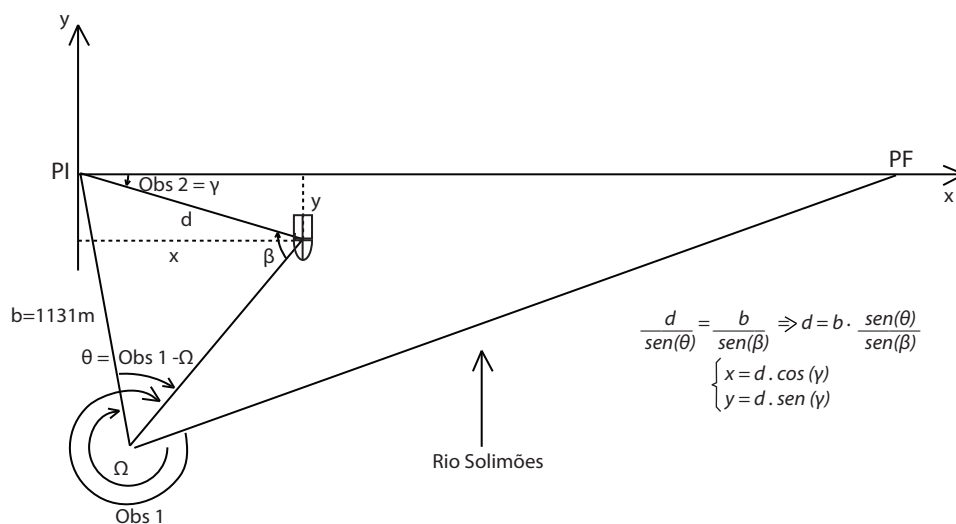
cada vertical, sendo as coordenadas determinada a partir dos ângulos medidos nos dois teodolitos. A fim de exemplificar o cálculo da vazão pelo método do barco ancorado, serão apresentadas, a seguir as Figuras 32 e 33 e as Tabelas 5, 6, 7 e 8 utilizadas para obtenção da vazão líquida, bem como a Figura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

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

Vertical	Obs 2				Obs 1				Profundidade Total
	(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

[illegible]

Valor calculado

Valor digitado

Valor fixo

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

Base	$\Omega$ (Const Obs 1)	$\alpha$ (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		$\beta$		Distância
	dec	dec	dec	rad	dec	rad	dec	rad	(m)
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)	(m)	(m)		(s)	(m/s)
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	Profundidade de medição	Veloc.	Veloc. média	Largura	Área	Vazão
	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	2,389			6.866,8947
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	0,452			277,8747
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 (m³/s)	87.889,164
	Área total(m²)	78.924,928
	Vmédia (m/s)	1,114
Velocidade integrada	Vazão total (m³/s)	88.708,423
	Área total(m²)	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

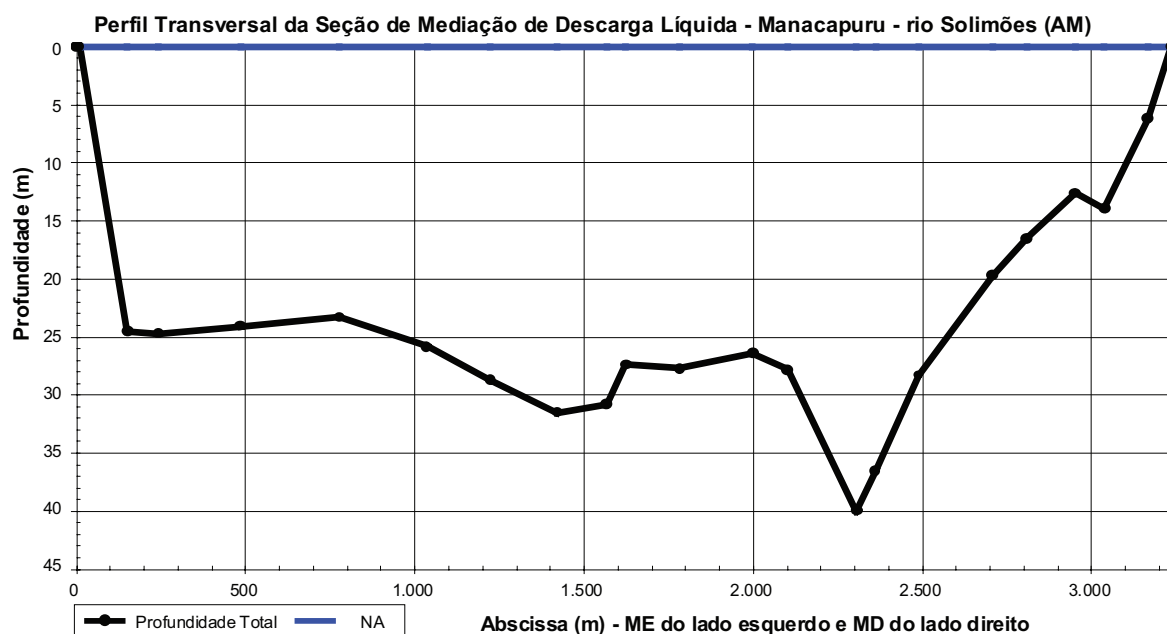


Figura 34 : Perfil transversal da seção obtida pelo Método Barco Ancorado.

## 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  $PI$  ( $\gamma$ ) e Alvo 2 ( $\theta$ ). 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).

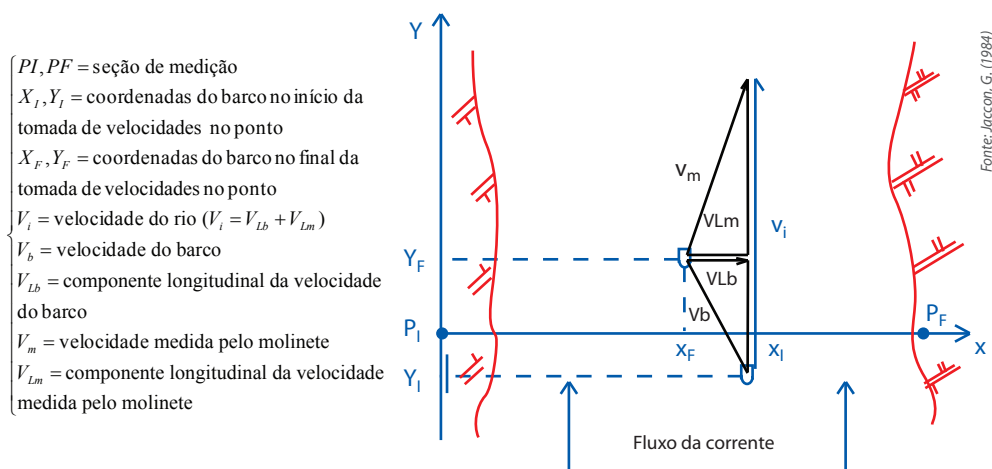


Figura 35: Parâmetros para cálculo da vazão pelo método dos grandes rios.



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 abaloamento 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.

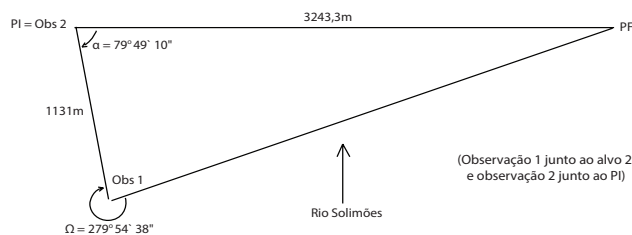
Os deslocamentos transversais e longitudinais superiores a 20 m e 10 m, respectivamente, influem decisivamente na precisão do método, uma vez que podem ocorrer variações bruscas de profundidade e, nesses casos, os pontos de tomada de velocidades a 20% e 80% da profundidade total passam a ser indefinidos. 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	$\Omega$ (Const Obs 1)	$\alpha$ (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	γ = Obs 2 corregido				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	Real				Início				Final			
	(m)	(m)				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 <sub>i</sub>	X <sub>f</sub>	Y <sub>i</sub>	Y <sub>f</sub>			
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	$\Delta Y$ (m)	$\Delta X$ (m)	$V_m$ (m/s)	$V_{Lb}$ (m/s)	$V_{Lm}$ (m/s)	$V_i$ ( $V_{Lm} + V_{Lm'}$ ) (m/s)	$V_{média}$ (m/s)	Largura (m)	Área (m²)	Vazão (m³/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 (m³/s)	104.982,466
Área total (m²)	85.617,836
$V_{média}$ (m/s)	1,226

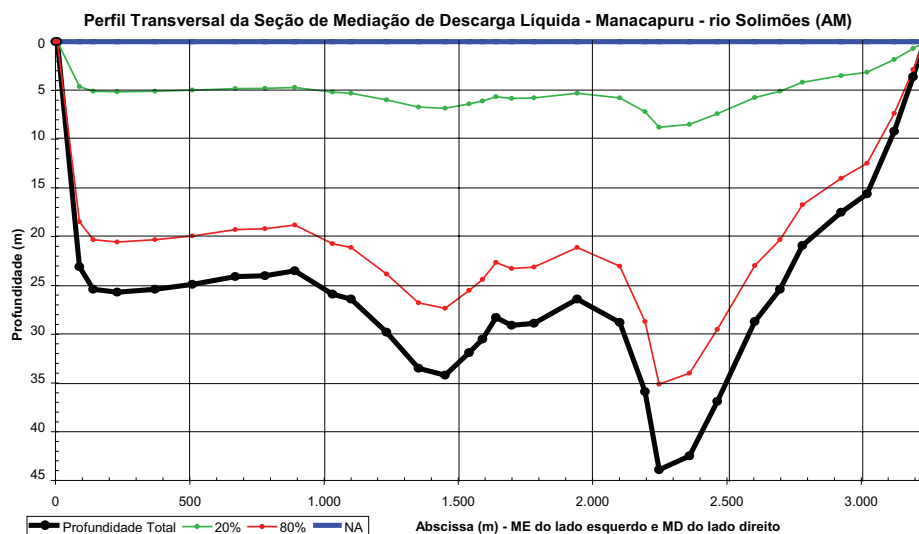


Figura 39: Perfil transversal da seção de medição pelo método dos grandes rios

### 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.

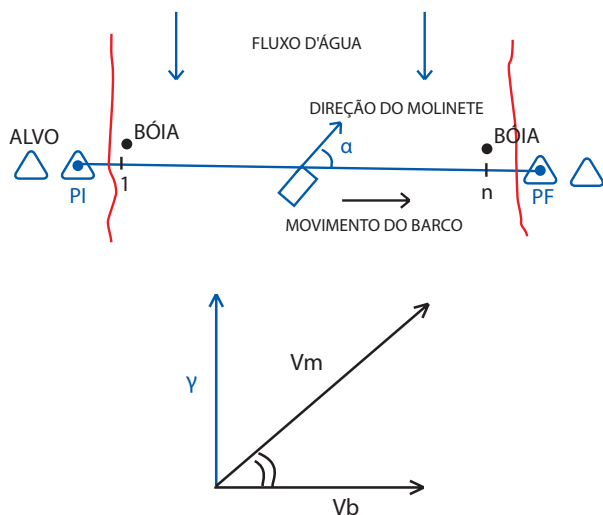
Os resultados obtidos em medições realizadas com o Método de Smoot estão na faixa de 5% de diferença em relação aos demais métodos convencionais, desde que sejam utilizadas seções cuidadosamente selecionadas e que o deslocamento do barco sobre a seção transversal de medição seja previamente demarcado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

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

Figura 40: Medição de vazão pelo método Smoot.



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 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).

$$V_c = V \cdot K_v$$

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

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

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

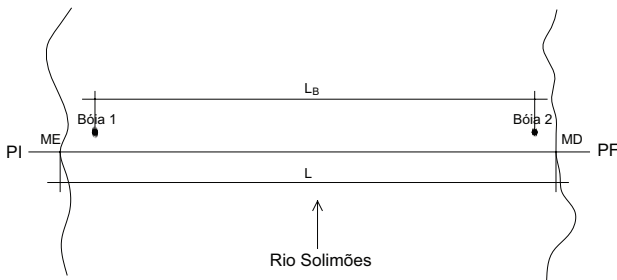


A distância percorrida pelo barco, entre duas verticais, é calculada a partir de uma distância teórica (constante) que é a função do molinete. Essa distância deve ser corrigida em função do ângulo do molinete, conforme a expressão a seguir, obtendo a distância projetada ao longo da seção transversal.

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

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

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

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

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

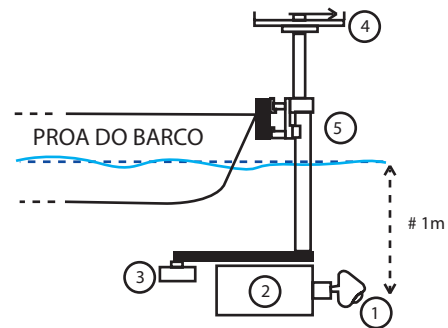
$$A_{real} = A \cdot K_L \quad \text{e} \quad Q_{real} = Q \cdot K_L$$

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  $\alpha$ ;
- 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  $\alpha$ . 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  $\alpha$  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

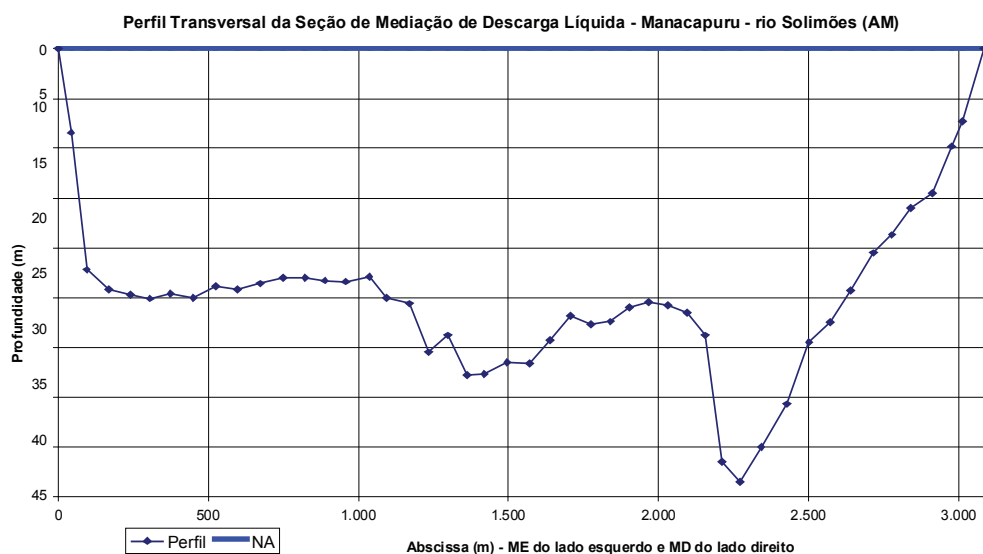
Valor calculado      Valor medido      Valor fixo

**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 (m²)	Descarga (m³/s)	Vel. Méd. (m/s)	Prof. Méd. (m)
Nº		( $L_T$ )		( $A_T \cdot K_L$ )	( $Q_T \cdot K_L$ )	( $V_T$ )	(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 ( $\sigma$ )	Coef. de Var. das Descargas $C_v$ (%)
MD-ME	1926,5	1,8
ME-MD	460,9	0,4



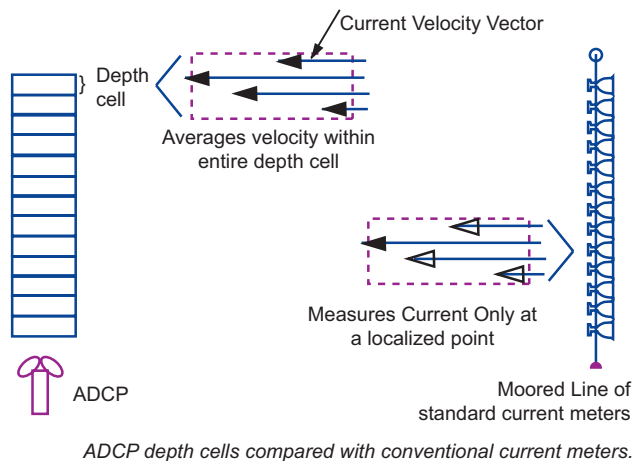
**Figura 45:** Perfil transversal da seção de medição pelo Método Smoot.

## 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.

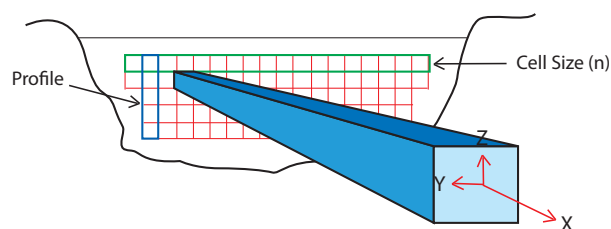


Figura 47: Mapeamento da seção transversal pelo ADCP/ADP

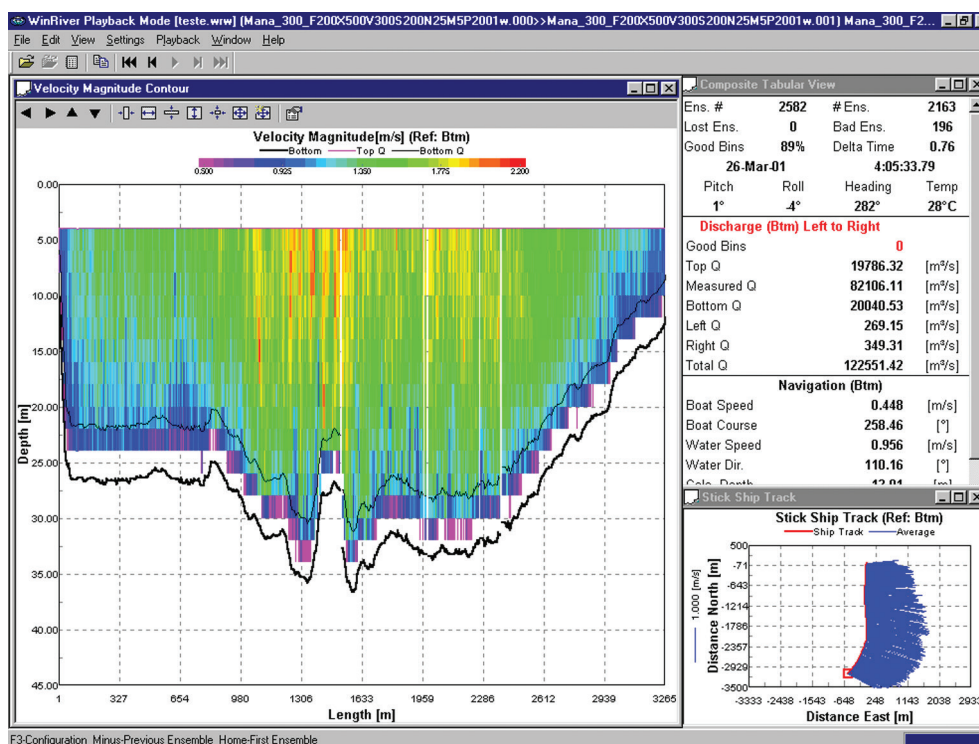


Figura 48: Tela do Programa WinRiver (RDI Instruments – fabricante do ADCP)

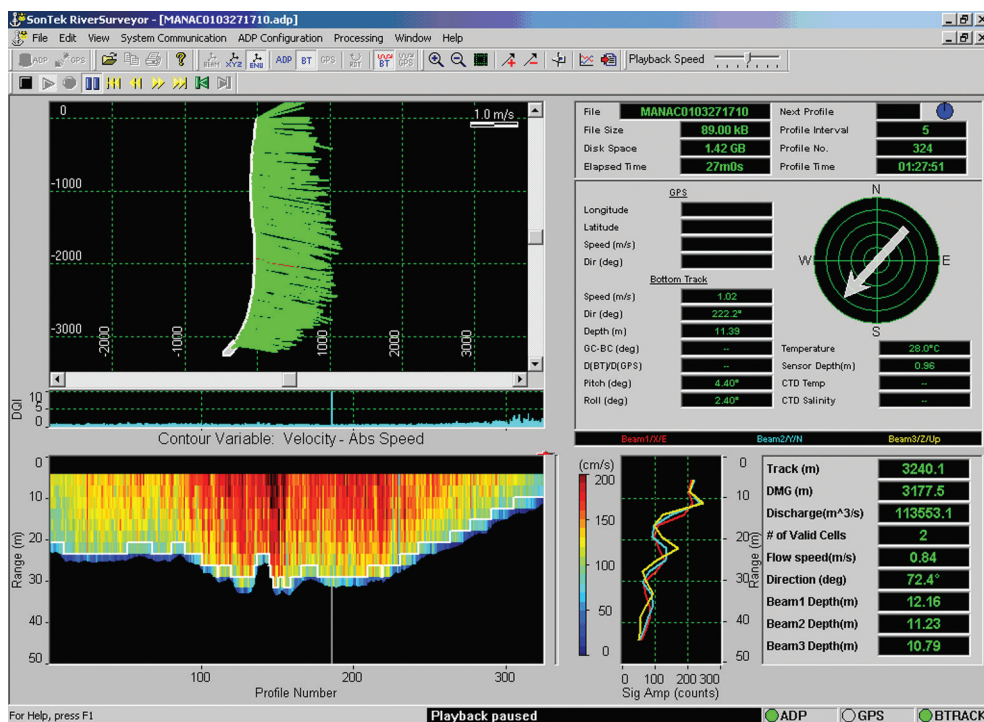


Figura 49: Tela do Programa River Surveyor (Sontek – fabricante do ADP)

### 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*.

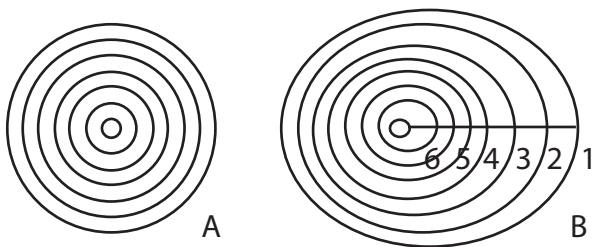


Figura 50: Ondas A – Fonte Estacionária e B – Fonte em Movimento

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.

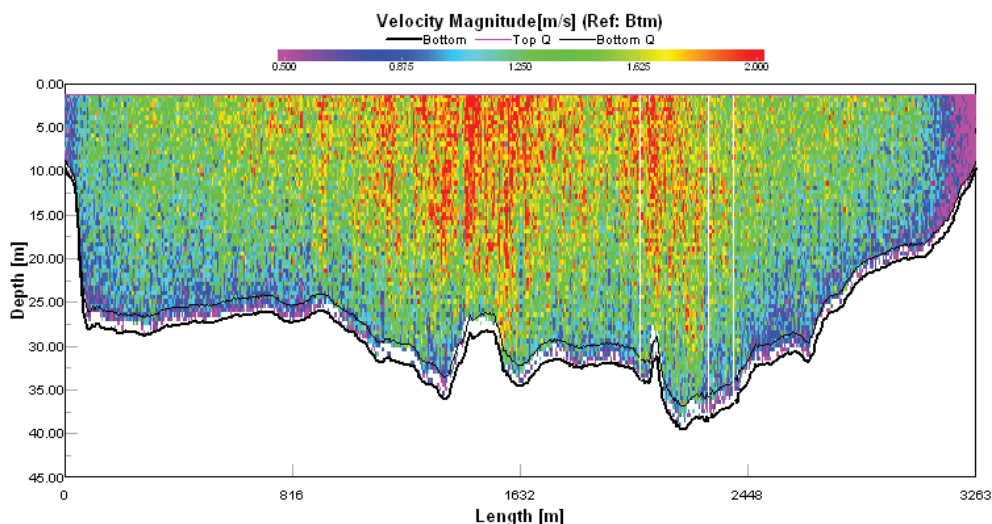
Um perfil leva menos de um segundo para ser obtido pelo equipamento, levando a medição de vazão com ADCP rápida. Para uma seção de 3,2 km de largura, como a de Manacapuru, no Rio Solimões, a travessia com o ADCP leva apenas 20 minutos, e uma medição com métodos de barco ancorado precisa de mais de um 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

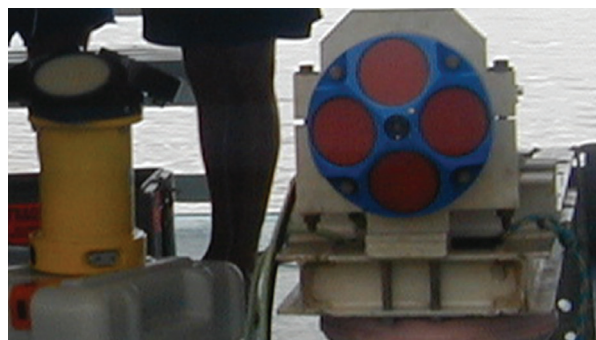


Foto: Paulo Gamara / Banco de imagens ANA

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

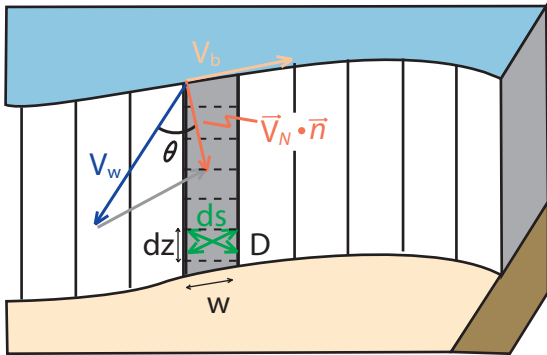


em relação à superfície, fixado ao lado da embarcação por uma estrutura de alumínio.

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).

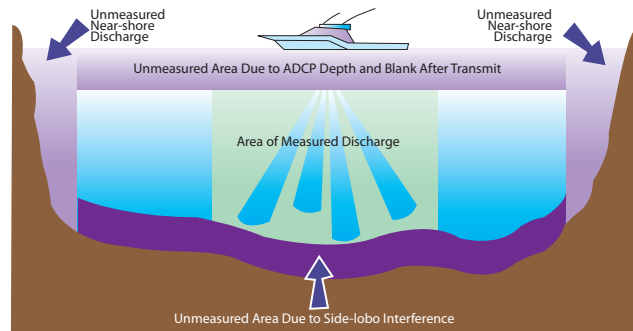
Descrevendo o esquema a seguir, tem-se:



$V_b$  = 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

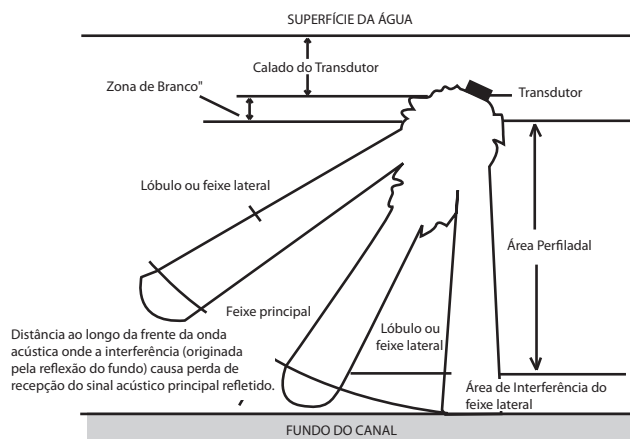
O mesmo transdutor é usado para transmitir e receber a energia acústica, sendo necessário decorrer certo intervalo de tempo após a transmissão do pulso para que a recepção se torne possível. Esse intervalo constitui um “branco” após a transmissão, durante o qual uma distância é percorrida pelo som. Essa 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).

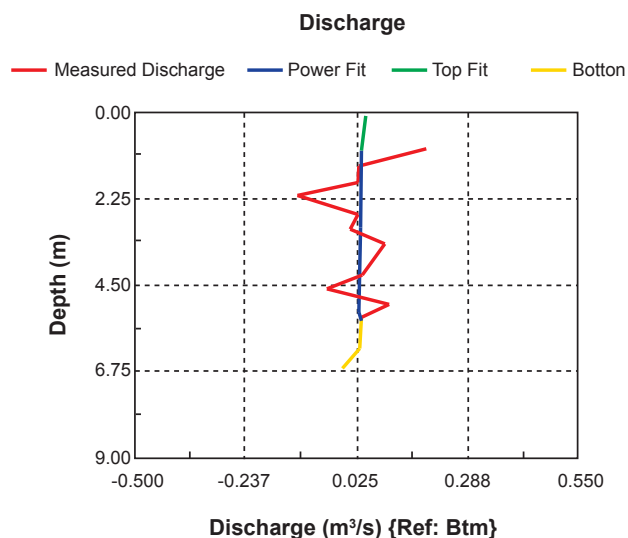


**Figura 56:** Fontes de interferência e forma do sinal emitido por cada transdutor do ADCP

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.

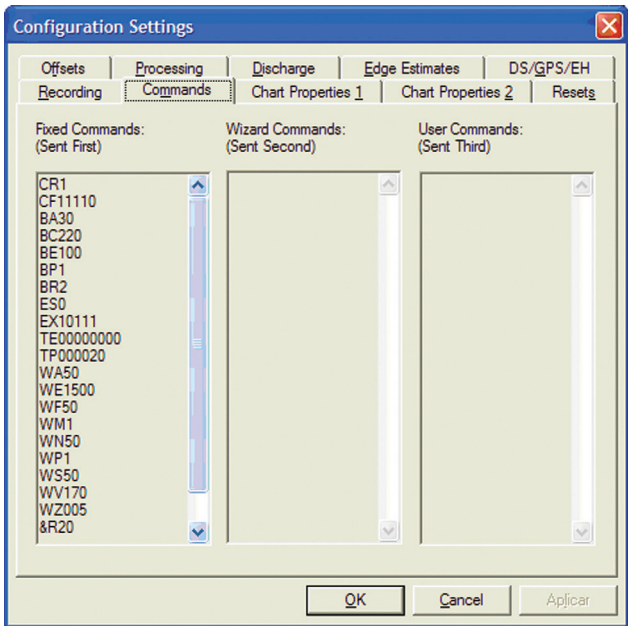


Figura 58: Tela de configuração inicial do Programa WinRiver (ADCP)

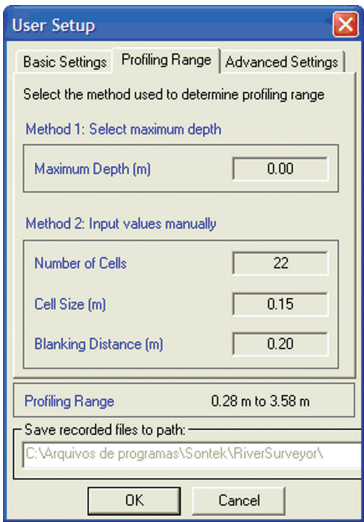


Figura 60: Configuração inicial do River Surveyor da Sontek

Command	Choise	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
- Localizar 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 disso, 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 testes 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 à 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. Aguardar 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 frequentemente 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 descorrelação 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 frequentemente 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 Projected Velocity Contour**

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 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 [m³/s]		Vazão Medida [m³/s]	
Vazão Medida / Vazão Total [%]				Variação Pitch/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 [m³/s]		Vazão Medida [m³/s]	
Vazão Medida / Vazão Total [%]				Variação Pitch/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 [m³/s]		Vazão Medida [m³/s]	
Vazão Medida / Vazão Total [%]				Variação Pitch/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 [m³/s]		Vazão Medida [m³/s]	
Vazão Medida / Vazão Total [%]				Variação Pitch/Roll > 5° ??		Vel. Barco e Água [m/s]	
Latitude Início		Longitude Início		Latitude Final		Longitude Final	
Medição Final							
Media Vazões Totais [m³/s]				Desvio Padrão [%]		Vel média (Q/Área) [m³/s]	
Velocidade Média Água [m/s]				Área [m²]		Largura [m]	

Figura 62: Ficha de medição de vazão com o ADCP









6

ESTUDO DE  
CASO – ESTAÇÃO  
MANACAPURU

 <b>AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS</b>		<b>FICHA DESCRITIVA DE ESTAÇÃO NO CURSO DA ÁGUA</b>		 <b>Serviço Geológico do Brasil</b>	
<b>ESTAÇÃO:</b> Manacapuru <b>REGIÃO HIDROGRÁFICA:</b> <b>RIO:</b> 14001000 - RIO SOLIMÕES		<b>TIPO:</b> FDSQ <b>UF:</b> AM <b>MUNICÍPIO:</b> Manacapuru		<b>CÓDIGO:</b> 14100000 <b>BACIA:</b> Rio Amazonas	
<b>ENTIDADE COORDENADORA:</b> ANA <b>ÁREA DE DRENAGEM (km):</b> 2147736,00 <b>LAT.:</b> 03°18'30" <b>LONG.:</b> 60°36'34" <b>INST.:</b> GPS GARMIN 12 XL <b>ALT.(m):</b> <b>INST.:</b> <b>DATUM:</b> SAD 69 <b>FOLHA:</b> SA-20-Manaus		<b>ENTIDADE OPERADORA:</b> COHIDRO/RJ <b>DRENAGEM GERAL:</b> Rio Amazonas <b>DATUM:</b> <b>REF. CART.:</b> Carta do Brasil <b>ESCALA:</b> 1:1.000.000 <b>ANO:</b> 1980			
<b>ESTAÇÃO</b>	<b>TIPO</b>	<b>DATA DA INSTALAÇÃO</b>	<b>DATA DA EXTINÇÃO</b>	<b>ENTIDADE OPERADORA</b>	
FLUVIOMÉTRICA	F	06/1972		COHIDRO	
FLUVIOGRÁFICA	FR				
SEDIMENTOMÉTRICA	S	03/1979		COHIDRO	
QUALIDADE DAS ÁGUAS	Q	06/1976		COHIDRO	
<b>ESTAÇÃO TELEMÉTRICA:</b> <input type="checkbox"/> Sim <input checked="" type="checkbox"/> Não <b>DATA DA INSTALAÇÃO:</b>					
<b>LOCALIZAÇÃO:</b> Na margem esquerda do rio Solimões, aproximadamente 54,00 m à montante do Porto-Flutuante.					
<b>ACESSIBILIDADE:</b> De Manaus, por via fluvial, 120 km aproximadamente ou pela travessia de balsa e depois pela rodovia até Manacapuru 90 km.					
<b>DESCRIÇÃO DA ESTAÇÃO (RÉGUAS, LANCES, RRNN, SM, SR, PI, PF, etc.)</b> <b>MARGEM:</b> Esquerda <b>RÉGUAS:</b> 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 <b>RRNN:</b> 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 <b>SEÇÃO MEDIDORA:</b> +/- 6 km a jusante da seção de réguas <b>PROCESSOS DE MEDIÇÃO DE DESCARGA:</b> 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. <b>QUALIDADE DE ÁGUA:</b> Temperatura, Turbidez, Ph, OD e Condutividade					
Estação: 14100000 <span style="float: right;">REVISADA EM: 9/6/2006</span>					

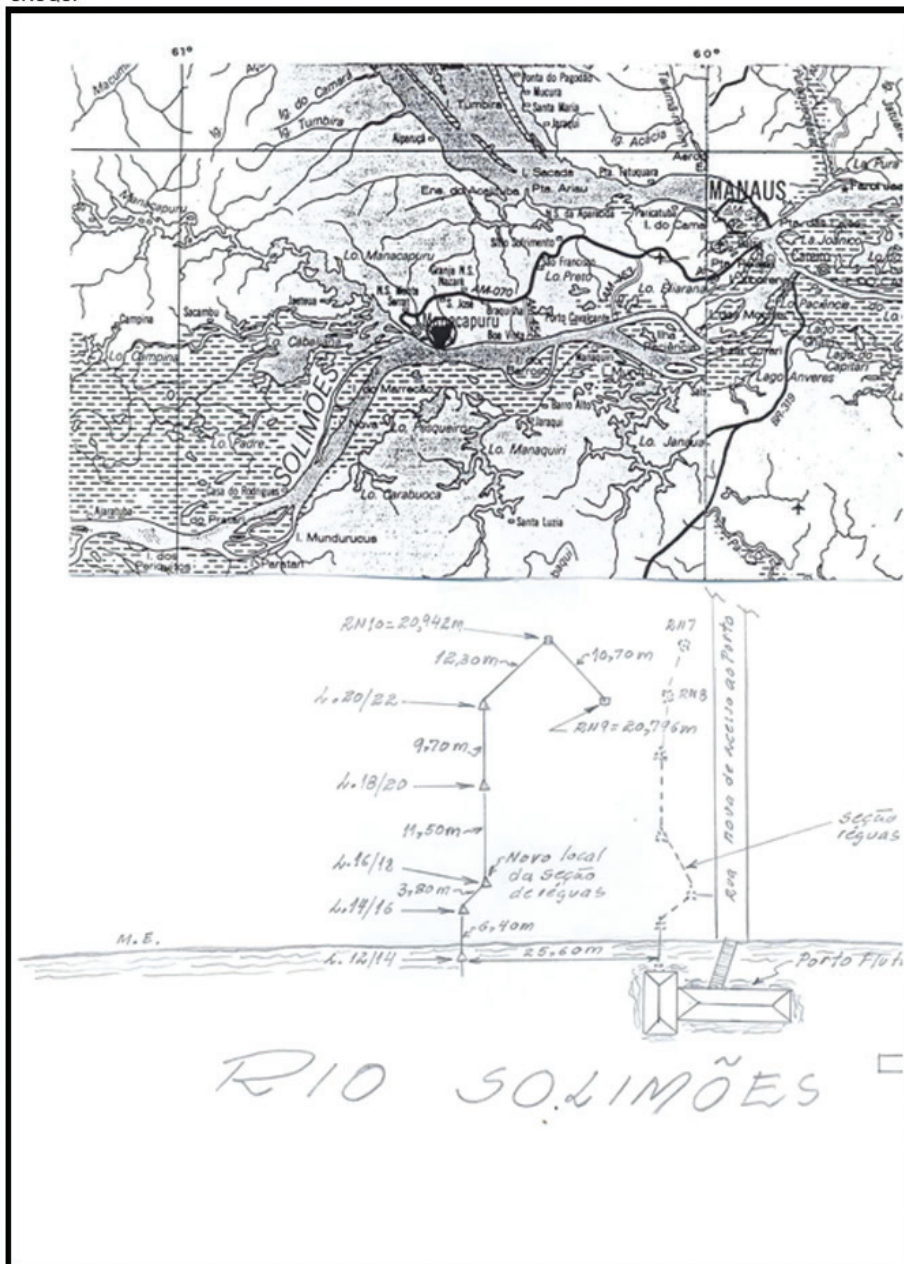
REVISADA EM: 9/6/2006



# 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 EXTINÇÃO	ENTIDADE OPERADORA
PLUVIOMÉTRICA	P	06/1972		COHIDRO
PLUVIOGRÁFICA	R	02/1983		COHIDRO
EVAPORIMÉTRICA	E			
CLIMATOLÓGICA	C			

**ESTAÇÃO TELEMÉTRICA:** ☐ Sim ☒ 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<sup>2</sup>, altura do bocal ao solo 1,50 m. Pluviógrafo diário, sobre pedestal, fixado ao solo. Área do bocal receptor 200 cm<sup>2</sup>, 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 PRÓXIMO DA CASA DO OBSERVADOR:**  
**DISTÂNCIA 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:	06
		Convênio:	Sivam

Tipo de Inspeção: Manutenção

INFORMAÇÕES GERAIS			
Data inicial:	25/09/2007	Hora inicial:	08:00:00
Data final:	26/09/2007	Hora final:	16:30:00
Acesso à PCD:	Bom	Limpeza da PCD:	Bom
Existe cercado/abrigo?	Nao	Condição do cercado/abrigo:	
Existe suporte(PCD)?	Sim	Condição do suporte (PCD):	Regular
Existe pluviômetro?	Sim	Exposição do Pluviômetro:	Bom
Existe display?	Sim	Condição do display:	Regular
Existe sensor de nível?	Sim	Instalação do sensor de nível:	Ruim
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
Cota Display (cm):	0	FS Install Press:	0
Press. (S=1, N=0):	Sim	Cota Install (cm):	65035
Pluviômetro (mm):	0,00	Encod. (S=1, N=0):	Nao

Parâmetros de Transmissão			
Station ID:	14100000	Platform ID:	32117
First Transmit Time:	00:00:01	Transmit Interval:	00:03:23
Firmware Version:	609	Assembler Version:	4.1
Transmit Channel:	3	Program 555:	555 SIVAM 250900

Force Scan (PCD em Run Mode)			
Sensor de Pressão:	65035	Corrente do Painel Solar:	14
Tensão de Painel Solar:	13,30	Temperatura Compensação:	29
Temperatura da Água:	200,00	Pluviômetro (mm):	0,00
Cota Encoder:		Direção do Vento:	
Radiação Solar:		Cota do Display:	0
Umidade Interna:	58	Tensão da Bateria (12V):	12,46
Cota Sensor de Pressão:	0	Velocidade do Vento:	

Valores do Display (PCD em Run Mode)							
0:	1:	2:	3:	4:	5:	6:	7:

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):	09/26/2007	Hora (24h)(GMT):	20:16:58
Cota Display (cm):	1870	FS Install Press:	340
Press. (S=1, N=0):	Sim	Cota Install (cm):	1870
Pluviômetro (mm):	0,00	Encod. (S=1, N=0):	Nao

Parâmetros de Transmissão			
Alterou-se alguma configuração dos parâmetros (PCD em STOP Mode): Sim			
Station ID:	14100000	Platform ID:	32117
First Transmit Time:	00:00:01	Transmit Interval:	00:03:23
Firmware Version:	609	Assembler Version:	4.1
Transmit Channel:	3	Program 555:	555 SIVAM 250900

Force Scan (PCD em Run Mode)			
Sensor de Pressão:	340	Corrente do Painel Solar:	22
Tensão de Painel Solar:	13,53	Temperatura Compensação:	33
Temperatura da Água:	3,10	Pluviômetro (mm):	0,00
Cota Encoder:		Direção do Vento:	
Radiação Solar:		Cota do Display:	1870
Umidade Interna:	31	Tensão da Bateria (12V):	12,46
Cota Sensor de Pressão:	1870	Velocidade do Vento:	

Valores do Display (PCD em Run Mode)							
0:	1:	2:	3:	4:	5:	6:	7:
1870,00	12,40	13,31	21,00	0,00	18,18	0,00	22,00

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:			
<b>SITUAÇÃO PATRIMONIAL DOS EQUIPAMENTOS</b>			
Tipo de PCD: 555 ES - 13S			
Nº de Série:		Nº de Série:	
PCD: 1393		Encoder:	
Antena: 5198A1238		Display: 550	
Painel Solar: F9911241560385		Sensor de Qualidade de Água:	
Pluviômetro: 3448		Modem:	
Sensor de Pressão:			
<b>VERIFICAÇÃO DOS EQUIPAMENTOS (PCD em Stop Mode)</b>			
Testes com multímetro			
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
<b>Observações</b>			
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.			
<b>SERVIÇOS REALIZADOS</b>			
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
<b>Outros Serviços Realizados</b>			
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.			
<b>PRÓXIMA VISITA</b>			
Equipamentos que devem ser substituídos ou levados na próxima visita			
Bateria 12V			
Bateria 3V			
Sílica da PCD			
Sílica do sensor de pressão			
Outros:			
<b>PRÓXIMA VISITA</b>			
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 ANA

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

6.2 Curva-chave

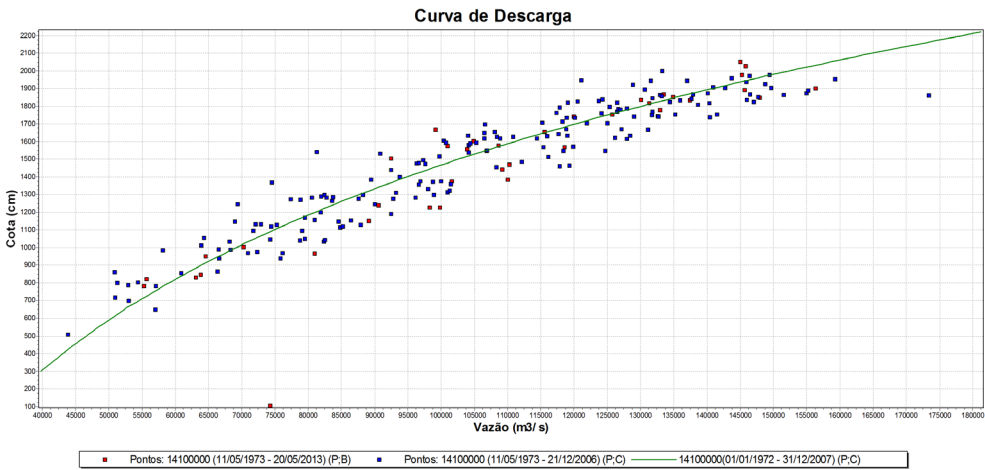


Figura 67: Curva-chave da Estação Fluviométrica de Manacapuru (Código 14100000)





## 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.