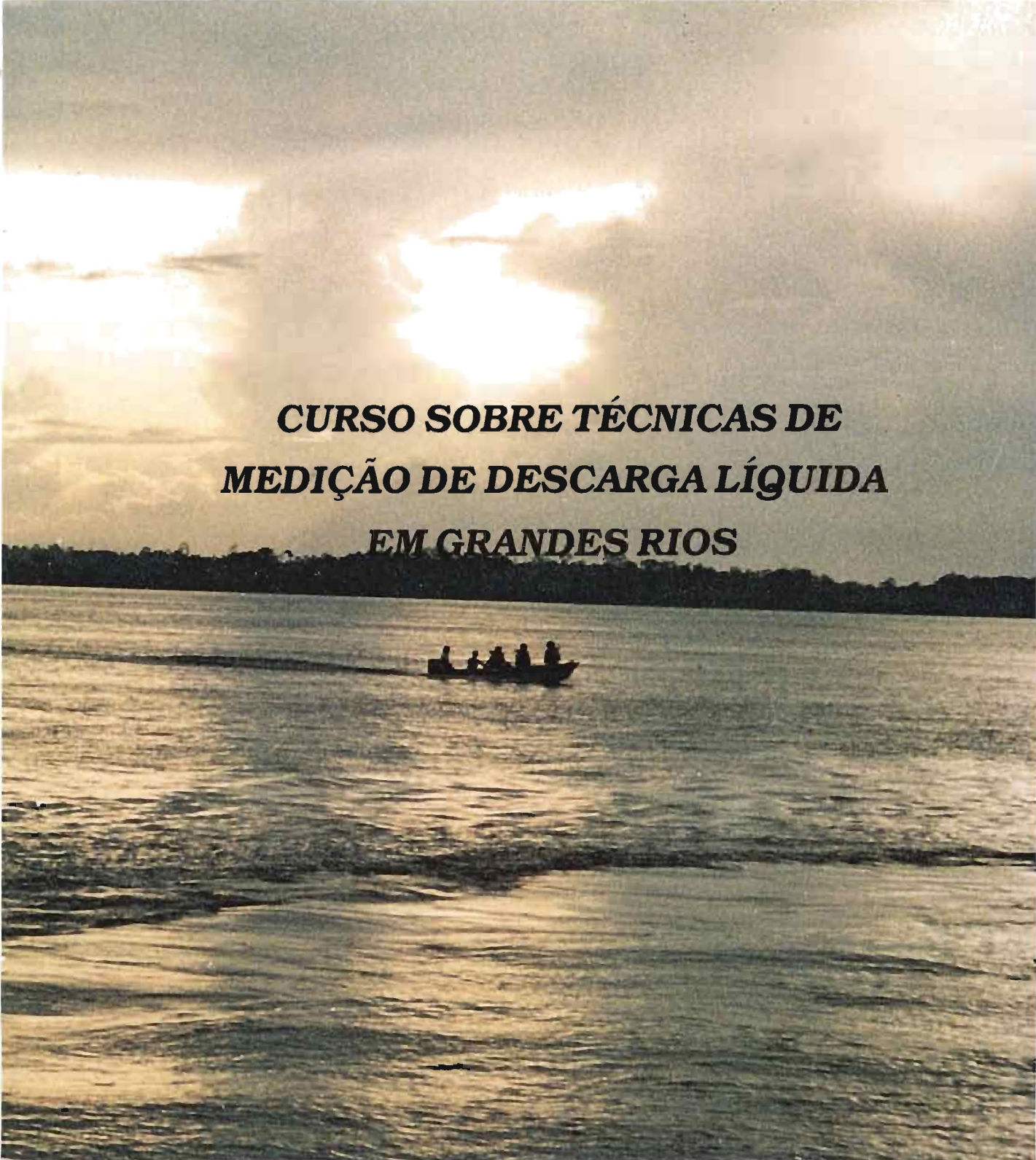


M|M|E | **MINISTÉRIO DAS MINAS E ENERGIA**
D|N|A|E|E | **DEPARTAMENTO NACIONAL DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA**
D C R H | **DIVISÃO DE CONTROLE DE RECURSOS HÍDRICOS**



***CURSO SOBRE TÉCNICAS DE
MEDIÇÃO DE DESCARGA LÍQUIDA
EM GRANDES RIOS***

FICHAS TÉCNICAS

– **Coordenação do Curso**

- Coordenador Geral

Dr. Benedito Eduardo Barbosa Pereira
Diretor da DCRH

- Coordenador Executivo

Dr. Gilbert Jaccon
Consultor DNAEE/ORSTOM – França

- Secretário Executivo

Engº Kazimierz Josef Cudo
DNAEE/DCRH

– **Elaboração**

- Gilbert Jaccon

Consultor DNAEE/ORSTOM/CNPq.

INTRODUÇÃO

As oito Fichas e Seis Anexos que compõem este documento foram preparados para o Curso sobre Técnicas de Medição de Descarga Líquida em Grandes Rios, realizado em Manaus de 04 a 09 de junho de 1984.

As Fichas contêm definições, noções teóricas e roteiros de cálculo, necessários para a compreensão e a boa execução das aulas práticas que deverão constituir a parte principal do Curso. Os Anexos fornecem os programas (para calculadora HP 15C) para o cálculo das medições.

Para maior informação, podem ser consultados os documentos seguintes:

– ECOBATÍMETRO:

RAYTHEON – Model DE 719 – PRECISION SURVEY FATHOMETER DEPTH
RECORDER

Operation and maintenance manual (existe uma tradução em Português
publicada por Hidrologia S.A.).

– Método dos Grandes Rios – Ver documentos publicados por Hidrologia S.A.

– Método do Barco em movimento:

Geological Survey – MEASUREMENT OF DISCHARGE BY THE MOVING – BOAT
METHOD – Book 3.

CH. A11

(existe uma tradução em Português feita pelo Engº Ruy Edy Iglesias da Silveira –
CPRM – SUREG-SP)

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO

FICHA 1 – Vazão: Definição, representação gráfica e símbolos utilizados

FICHA 2 – Medição de velocidade com molinete

FICHA 3 – Medição de profundidade – ecobatímetro

FICHA 4 – Posicionamento do barco com teodolitos

FICHA 5 – Posicionamento do barco com sextante

FICHA 6 – Medição com barco ancorado

FICHA 7 – Medição com barco não ancorado

FICHA 8 – Medição com barco em movimento

ANEXO 1 – Escolha das escalas gráficas

ANEXO 2 – Programa HP para posicionamento do barco com sextante em Manacapuru

ANEXO 3 – Programa HP para o cálculo de uma medição completa pelo método da meia seção

ANEXO 4 – Programa HP para o cálculo de uma medição pelo método dos “grandes rios”

ANEXO 5 – Programa HP para o cálculo de uma medição pelo método do barco em movimento.

"ERRATA"

VÚMERO	LOCALIZAÇÃO	ONDE SE LÊ	LEIA-SE
Verso 1	8ª linha	P	\bar{p}
Verso 6	7ª linha	0,2 pt - 0,4 pt - 0,8 pt	0,2 pt - 0,6 pt - 0,8 pt
	22ª linha	soltar	puxar
6A	7ª e 8ª linha	P_{tk}	$P_{tk} \times p$
Verso 6A	1ª linha	$q_k = \bar{v}_k \cdot p_{tk}$	$q_k = \bar{v}_k \times p_{tk}$
	2ª desenho	PT_1, PT_2, etc	pt_1, pt_2, etc
Ficha 7	Desenho	VLm VLb	$\frac{vlm}{vlb}$
Verso Ficha 7	1ª linha	$\frac{Y_F - Y_I}{t_1}$	$\frac{Y_F - Y_I}{t_1}$
	26ª linha	(até 40). A preci são	(até 40), a precisão
Ficha 8	10ª linha	correspondente	corresponde
	sob o desenho 7ª linha	considerando a constante	considerando <u>con</u> tante
Verso Ficha 8	legenda	$V_m = a N_1 + b$ $V_k = V_m \text{ sen. } \alpha$ $Q_m = \sum_1^n a_k V_k$	$v_m = a N_1 + b$ $v_k = v_m \text{ sen. } \alpha$ $Q_m = \sum_1^n a_k v_k$
	correções <u>f</u> inais 2ª item	de velocidade $K_v = 0,9$	de velocidade $K_v = 0,8$
Anexo 1	11ª linha	1/2, 5, 25, 250..	1/2, 5, 25, 250.
Anexo 2	sob o quadro 6ª linha	$82^{\circ}32'24 = 82,3214$	$82^{\circ}32'24 = 82,3224$
Verso Anexo 2	2ª coluna nº 53	45. 43., 3	45. 30., 3
	Exemplo tes te, 8ª linha	$\alpha 11 \times 31^{\circ}24'$	$\alpha 11 = 31^{\circ}24'$
	10ª linha	$\alpha F_1 = 36^{\circ}51'$	$\alpha F_1 = 36^{\circ}55'$

VAZÃO: DEFINIÇÃO, REPRESENTAÇÃO GRÁFICA E SÍMBOLOS UTILIZADOS

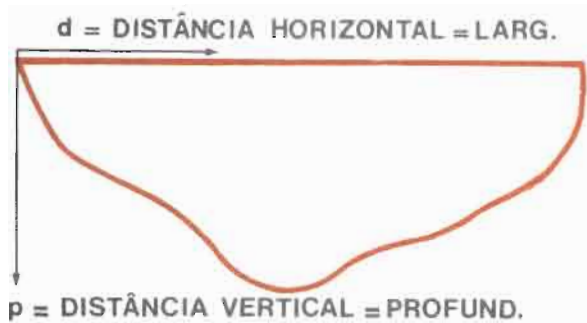
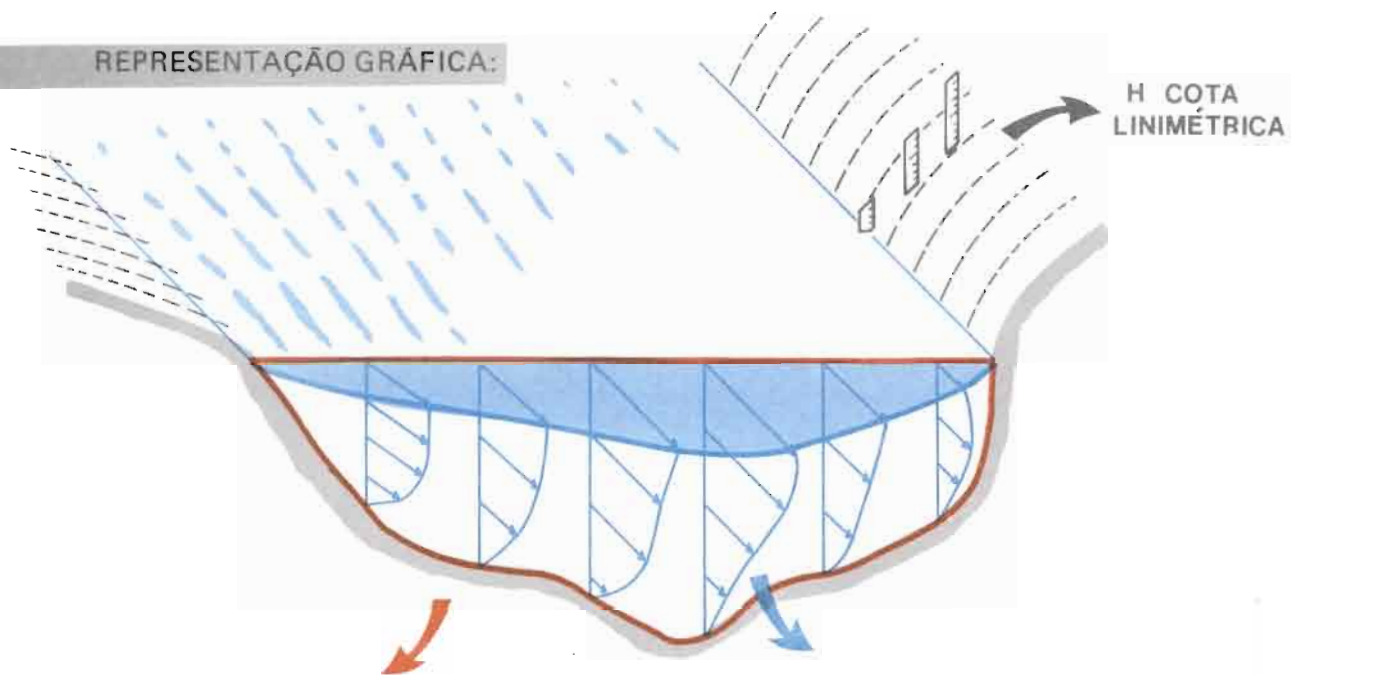
DEFINIÇÃO: A VAZÃO OU DESCARGA INSTANTÂNEA DE UM RIO É O VOLUME D'ÁGUA QUE PASSA ATRAVÉS DE UMA SEÇÃO TRANSVERSAL EM UM SEGUNDO.
EM HIDROMETRIA, ESSA VAZÃO É ASSOCIADA A UMA COTA LINIMÉTRICA "H".

RELAÇÃO BÁSICA:

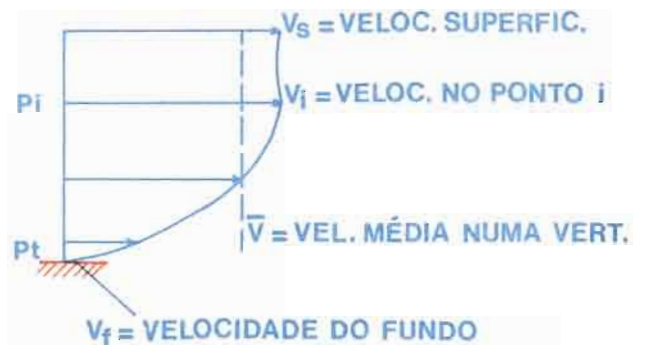
$$Q = \bar{V}.A$$

Q – vazão ou descarga líquida m³/s
 \bar{V} – velocidade média da água m/s
 A – área da seção molhada m²

REPRESENTAÇÃO GRÁFICA:



LARGURA E PROFUNDIDADES SÃO OS TERMOS GEOMÉTRICOS DA VAZÃO



AS VELOCIDADES SÃO OS TERMOS HIDRÁULICOS DA VAZÃO

SÍMBOLOS E NOTAÇÕES

– REFERENTES À SEÇÃO TRANSVERSAL TOTAL (LETRAS MAIÚSCULAS)

Q	vazão total	m^3/s
H	cota linimétrica	cm
A	área da seção molhada	m^2
L	largura total entre as margens	m
D	distância PI-PF	m
$P = A/L$	profundidade média	m
P_M	profundidade máxima	m
$\bar{V} = Q/A$	velocidade média	m/s
V_M	velocidade máxima	m/s
\bar{V}_S	velocidade média superficial	m/s
PI	ponto inicial FIXO utilizado como origem das distâncias horizontais	
PF	ponto final FIXO , situado na margem oposta a PI	
A distância PI-PF é FIXA e determinada por Levantamento Topográfico.		
Os pontos PI e PF materializam no campo o local da seção de medição.		

– REFERENTES A UMA PARTE DA SEÇÃO TRANSVERSAL (LETRAS MINÚSCULAS)

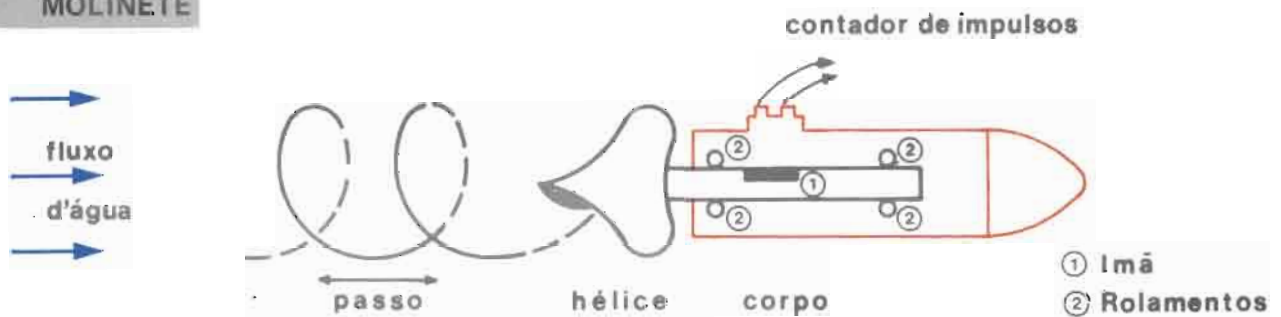
q	vazão UNITÁRIA	m^2/s
a	área entre 2 verticais	m^2
l	distância entre 2 verticais	m
d	distância da vertical ao PI	m
p	profundidade num ponto da vertical	m
p_t	profundidade total numa vertical	m
v_j	velocidade em um ponto da vertical	m/s
v_s	velocidade na superfície	m/s
v_f	velocidade no fundo	m/s
\bar{v}_k	velocidade média na vertical	m/s

– ÍNDICES

- Sendo **n** o número total de verticais na seção de medição, **k** refere-se a uma delas.
- Sendo **m** o número total de pontos na vertical **k**, **i** refere-se a um deles.

MEDIÇÃO DE VELOCIDADE COM MOLINETE

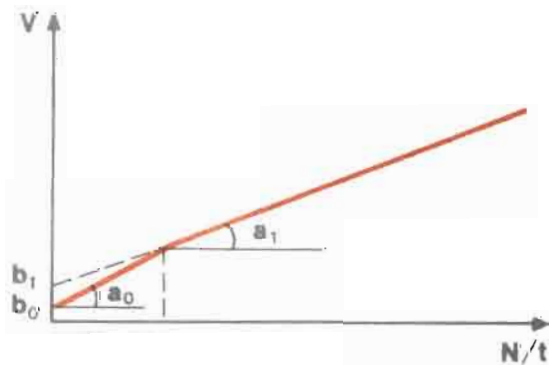
MOLINETE



A velocidade do fluxo d'água é LINEARMENTE proporcional ao número de rotações da hélice N

$$v = a \frac{N}{t} + b$$

- a = passo da hélice
- b = inércia da hélice
- t = duração da medição (em segundos)



PASSOS TEÓRICOS EXISTENTES

- 0,125m — 8 Rotações por segundo se v = 1 m/s
- 0,25m — 4 Rotações por segundo se v = 1 m/s
- 0,50m — 2 Rotações por segundo se v = 1 m/s
- 1,00m — 1 Rotação por segundo se v = 1 m/s

- PASSO REAL** — É sempre diferente do passo teórico (por exemplo 0,2588 no lugar de 0,25)
- pode ser duplo ou triplo para uma mesma hélice (por exemplo 0,2488 para $\frac{N}{t} \leq 1,10$ e 0,2542 para $\frac{N}{t} > 1,10$)
 - É determinado num **CANAL DE AFERIÇÃO** assim como a constante b.
 - A aferição do molinete **DEVE** ser periodicamente **REALIZADA**.

CONTADOR DE IMPULSOS

VÁRIOS TIPOS

- 1 CONTADOR COM SINALIZADOR SONORO
- 2 CONTADOR MECÂNICO TOTALIZADOR
- 3 CONTADOR ELETRÔNICO TOTALIZADOR

FREQÜÊNCIA MÁXIMA DE CONTAGEM

TIPO DE CONTADOR	FREQÜÊNCIA TEÓRICA EM IMPULSOS/SEG.	FREQÜÊNCIA PRÁTICA EM IMPULSOS/SEG.
SONORO	1	0,5
MECÂNICO	10	5
ELETRÔNICO	20	10

Existem também **CONTADORES ELETRÔNICOS DIGITAIS ANALÓGICOS** que fornecem um valor da velocidade num instante determinado (cf. equipamento FICHA 8).

TEMPO

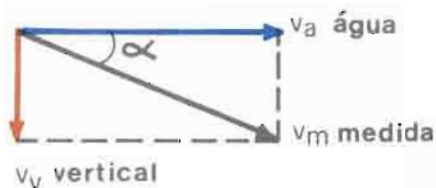
Medido com um cronômetro de precisão 1/10 segundo ou com a base de tempo de 50 até 100 segundos já incluído em vários tipos de contadores de impulsos. O tempo normal da medição varia em função da própria variabilidade temporal da velocidade. em geral $t = 40$ seg. mas pode se elevar até 120 seg.

EQUIPAMENTOS COMPLEMENTARES

- suporte do corpo do molinete (Rabo) + rabete para estabilização e orientação no fluxo d'água.
- haste ou lastro de 30 até 120 kg.
- guincho manual ou elétrico com cabo de suspensão e condutor elétrico.

TIPOS DE MEDIÇÃO

- Com molinete fixo (a vau, ponte ou barco ancorado).
- Com molinete em movimento:
 - Na **vertical MEDIÇÃO POR INTEGRAÇÃO VERTICAL**



$$v_a = \sqrt{v_m^2 - v_v^2}$$

- a velocidade vertical deve ser **CONSTANTE** e **PEQUENA** relativamente a v_a ($\alpha \leq 20^\circ$)
- **NA horizontal**
 - ⇒ com barco não ancorado (movimento no sentido da corrente d'água (cf. FICHA 7).
 - ⇒ com barco em movimento transversal constante (cf. FICHA 8).

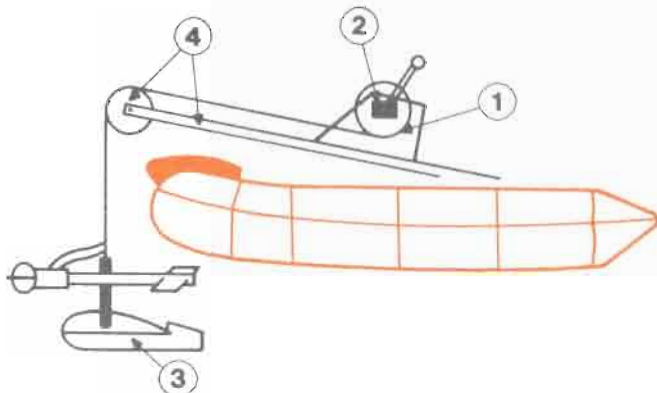
ERROS FREQUENTES

- 1 – MOLINETE DESCALIBRADO.
- 2 – FÓRMULA DO MOLINETE ERRADA (ERRO DE PASSO).
- 3 – MOLINETE NÃO ESTABILIZADO (MOVIMENTOS VERTICAIS E/OU HORIZONTAIS) SEM CORREÇÃO.
- 4 – HÉLICE NÃO ADEQUADA À VELOCIDADE (freqüência dos impulsos excessiva ou insuficiente).

MEDIÇÃO DA PROFUNDIDADE

2 MÉTODOS { LASTRO SUSPENSO + GUINCHO
ECOBATÍMETRO

A – COM LASTRO E GUINCHO



- 1 guincho manual ou elétrico com cabo de aço galvanizado de ϕ 4mm
- 2 contador digital indicando a extensão do cabo desenrolado (precisão teórica de 1cm)
- 3 lastro de ferro ou chumbo de 30, 50 ou 100 kg
- 4 tábua ou lance metálico com polia e grampos de fixação

ERROS FREQUÊNTES:

- na contagem da extensão de cabo desenrolado
AFERIÇÃO PERIÓDICA INDISPENSÁVEL
- arraste do lastro \rightarrow ÂNGULO α medido no campo
 - correção possível no campo utilizando um lastro mais pesado, ou um cabo de ϕ menor;
 - correção da "profundidade medida" P_m quando $\alpha > 10^\circ$

ROTEIRO PARA CÁLCULO DA CORREÇÃO:

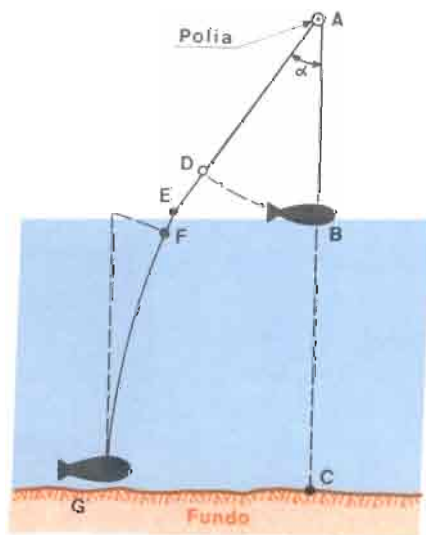
$\Delta_1 = DE =$ excesso de comprimento do cabo no ar
 $\Delta_2 = EF =$ excesso de comprimento do cabo submerso

$$\Delta_1 = AB \left(\frac{1}{\cos \alpha} - 1 \right)$$

$$\Delta_2 = EG (1 - k)$$

$$EG = p_{tm} - AB - \Delta_1$$

(p_{tm} = prof. total medida)



$$p_t \text{ corr} = p_{tm} - \Delta_1 - \Delta_2$$

α°	K	$\frac{1}{\cos\alpha} - 1$	α°	K	$\frac{1}{\cos\alpha} - 1$
10	0,0050	0,015	26	0,0350	0,113
12	0,0072	0,022	28	0,0408	0,133
14	0,0098	0,031	30	0,0472	0,155
16	0,0128	0,040	32	0,0544	0,179
18	0,0164	0,051	34	0,0620	0,206
20	0,0204	0,064	36	0,0698	0,236
22	0,0248	0,079	38	0,0786	0,269
24	0,0296	0,095	40	0,0880	0,305

B – ECOBATÍMETRO

O Ecobatímetro é uma sonda refletora, operando com um feixe sônico de alta frequência (≈ 200 khz). Um transdutor, fixado na lateral do barco, emite um feixe de ondas e recebe aquelas refletidas pelo fundo. O tempo de retorno permite calcular a profundidade, conhecendo a velocidade de propagação das ondas.

CARACTERÍSTICAS

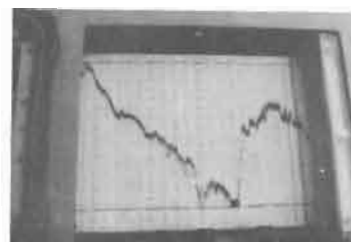
- aparelho leve, portátil, de registro contínuo
- alimentação por bateria de 12 VCC (mínimo 36 Ah)
- 4 escalas de profundidade
 - 0 – 16,5m
 - 15 – 31,5m
 - 30 – 46,5m
 - 45 – 60m
- 4 velocidades do papel
 - 2,5 cm/min.
 - 5,0 cm/min.
 - 7,5 cm/min.
 - 10,0 cm/min.
- PRECISÃO: $\approx 0,5\%$ da profundidade
(10cm para $p_t = 20m$)



CALIBRAÇÃO E AFERIÇÃO

- A calibração do Ecobatímetro deve ser feita antes de qualquer utilização, pelo fato que a velocidade de propagação das ondas varia na faixa 1.400 – 1.520 m/s com a temperatura e a salinidade da água. Usa-se para isso uma placa metálica imersa a várias profundidades conhecidas.
- A aferição posterior a medição deve ser feita pelo mesmo método para verificar a permanência da calibragem.
- A FALTA DE CALIBRAÇÃO DO ECOBATÍMETRO PODE INTRODUIR UM ERRO DE 20 A 25% NO VALOR DA PROFUNDIDADE.

Foto:
Ecograma da seção de medição de manacapuru
(Rio Solimões 7.12. 1983)

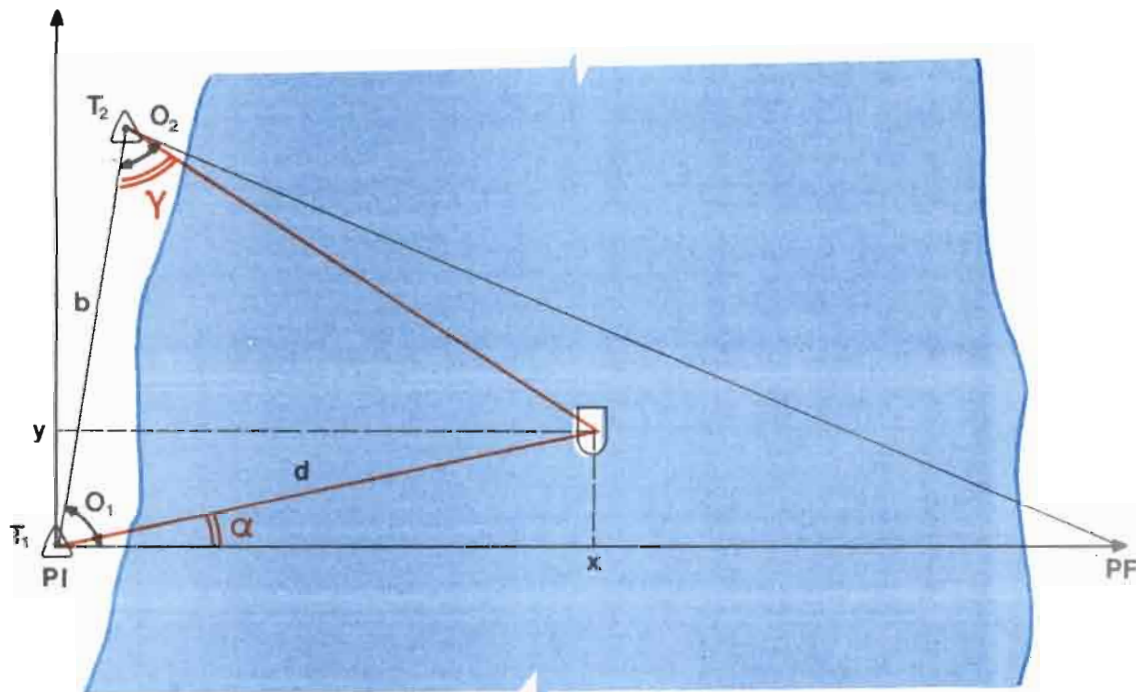


POSICIONAMENTO DO BARCO COM 2 TEODOLITOS

ROTEIRO PARA CÁLCULO DE:

d: distância do barco ao PI,
x,y: coordenadas do barco

DADOS CONHECIDOS	[Antes da medição	[BASE: b = distância T ₁ T ₂ sendo geralmente T ₁ localizado no PI
		ÂNGULOS O ₁ e O ₂		
		Durante a medição		ÂNGULOS α e γ medidos com os teodolitos



$$\frac{d}{\text{Sen } \gamma} = \frac{b}{\text{Sen } (180^\circ - \theta_1 - \gamma + \alpha)}$$

$$d = \frac{b \text{ Sen } \gamma}{\text{Sen } (\theta_1 + \gamma - \alpha)}$$

$$X = d \text{ Cos } \alpha$$

$$Y = d \text{ Sen } \alpha = x \text{ Tg } \alpha$$

NOTAS: — A distância PI PF é determinada a partir da base b e dos ângulos O₁ e O₂

$$\text{PI PF} = b \frac{\text{Sen } O_2}{\text{Sen } (O_1 + O_2)}$$

— A base b deve ter um comprimento suficiente. Recomenda-se $b \cong 1/3$ da distância PI.PF.

POSICIONAMENTO DO BARCO COM SEXTANTE

ROTEIRO PARA CÁLCULO DE:

d: Distância do Barco ao PI, localizado no ponto "O";
 x,y: Coordenadas do Barco

DADOS CONHECIDOS

Antes da medição

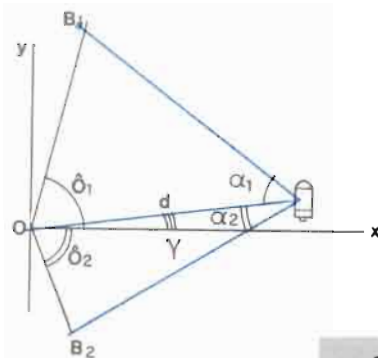
BASES: $b_1 = \overline{OB_1}$; $b_2 = \overline{OB_2}$

ÂNGULOS \hat{O}_1 e \hat{O}_2

Durante a medição

ÂNGULOS α_1 e α_2 medidos

com sextante



$$b_1 \frac{\text{sen } B_1}{\text{sen } \alpha_1} = b_2 \frac{\text{sen } B_2}{\text{sen } \alpha_2} = d$$

CASO 1

$$\begin{aligned} O_1 - \gamma + B_1 + \alpha_1 &= 180^\circ \\ + (O_2 + \gamma + B_2 + \alpha_2 &= 180^\circ) \\ \hline B_1 + B_2 &= \underbrace{360^\circ - (O_1 + O_2 + \alpha_1 + \alpha_2)}_{\theta} \end{aligned}$$

$$B_2 = \theta - B_1$$

$$b_1 \frac{\text{sen } B_1}{\text{sen } \alpha_1} = b_2 \frac{\text{sen } (\theta - B_1)}{\text{sen } \alpha_2}$$

$$\frac{\text{sen } (\theta - B_1)}{\text{sen } B_1} = \underbrace{\frac{b_1}{b_2} \times \frac{\text{sen } \alpha_2}{\text{sen } \alpha_1}}_k$$

$$\frac{\text{sen } \theta \cos B_1 - \text{sen } B_1 \cos \theta}{\text{sen } B_1} = k$$

$$\text{sen } \theta \cotg B_1 - \cos \theta = k$$

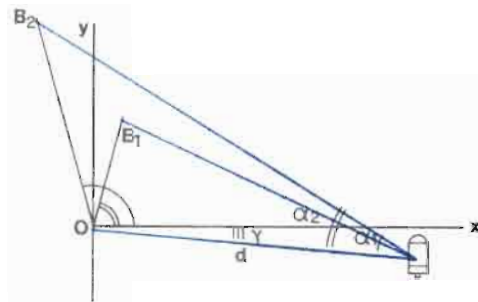
$$\cotg B_1 = \frac{K + \cos \theta}{\text{sen } \theta}$$

$$d = b_1 \frac{\text{sen } B_1}{\text{sen } \alpha_1}$$

$$\gamma = O_1 - (180^\circ - B_1 - \alpha_1) = O_1 + B_1 + \alpha_1 - 180^\circ$$

$$x = d \cos \gamma$$

$$y = d \text{ sen } \gamma = x \text{ tg } \gamma$$



CASO 2

$$\begin{aligned} O_1 + \gamma + B_1 + \alpha_1 &= 180^\circ \\ - (O_2 + \gamma + B_2 + \alpha_2 &= 180^\circ) \\ \hline B_2 - B_1 &= \underbrace{O_1 + \alpha_1 - (O_2 + \alpha_2)}_{\Delta} \end{aligned}$$

$$B_2 = \Delta + B_1$$

$$b_1 \frac{\text{sen } B_1}{\text{sen } \alpha_1} = b_2 \frac{\text{sen } (\Delta + B_1)}{\text{sen } \alpha_2}$$

$$\frac{\text{sen } (\Delta + B_1)}{\text{sen } B_1} = \underbrace{\frac{b_1}{b_2} \times \frac{\text{sen } \alpha_2}{\text{sen } \alpha_1}}_K$$

$$\frac{\text{sen } \Delta \cos B_1 + \text{sen } B_1 \cos \Delta}{\text{sen } B_1} = k$$

$$\text{sen } \Delta \cotg B_1 + \cos \Delta = K$$

$$\cotg B_1 = \frac{K - \cos \Delta}{\text{sen } \Delta}$$

$$d = b_1 \frac{\text{sen } B_1}{\text{sen } \alpha_1}$$

$$\gamma = 180^\circ - (O_1 + B_1 + \alpha_1)$$

$$x = d \cos \gamma$$

$$y = d \text{ sen } \gamma = x \text{ tg } \gamma$$

MEDIÇÃO COM BARCO ANCORADO

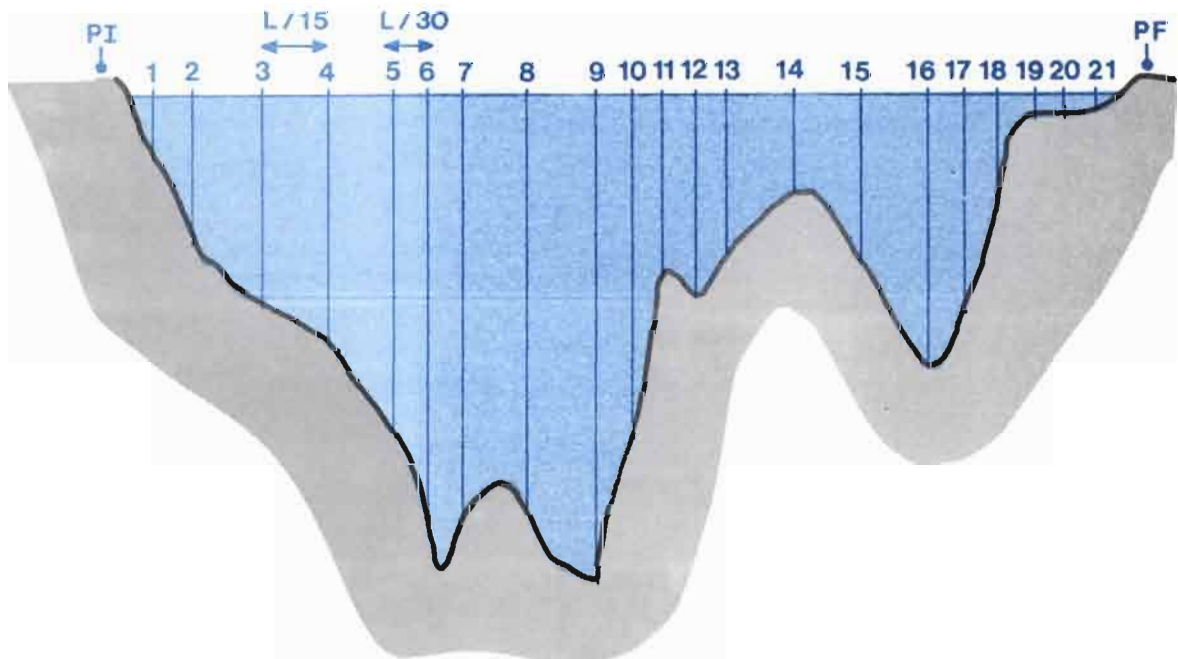
MÉTODO: O barco é ancorado sucessivamente a várias distâncias da margem na seção transversal PI-PF. A velocidade é medida em vários pontos da vertical ou por integração. As distâncias horizontais (margem) são determinadas, no caso de grandes rios, com teodolitos, a partir da margem ou com um sextante. As profundidades são medidas pelo comprimento do cabo desenrolado do guincho e com o ecobatímetro.

POSICIONAMENTO DAS VERTICAIS

– Número recomendado: 10 até 25 verticais dependendo do tamanho do rio.

FATOR PRINCIPAL DE REPARTIÇÃO = GEOMETRIA DA SEÇÃO TRANSVERSAL

– REGRA PRÁTICA: espaçamento = $1/15$ da LARGURA
 + uma vertical na proximidade de cada margem
 + verticais complementares se houver variações bruscas do perfil de fundo.



APLICAÇÃO À SEÇÃO DE MANACAPURU

$L/15 \cong 220\text{m}$

$L/30 \cong 110\text{m}$

- No caso dos grandes rios (caso do Solimões em Manacapuru)
 - Realizar o levantamento do perfil transversal com um ecobatímetro.
 - Aplicar a regra prática acima indicada.
 - Verificar o posicionamento do barco antes de soltar a âncora (usando-se o sextante).
- RECOMENDAÇÕES
 - 1 Ajustar o Alinhamento do Barco na seção PI-PF
 - 2 Posicionar as Verticais de Maneira Homogênea

NÚMERO DE PONTOS POR VERTICAL

- 1 – **MEDIÇÃO COMPLETA:** ao mínimo 6 pontos, igualmente distribuídos na vertical, sendo um perto da superfície e um perto do fundo. Para definir o valor da Razão $\frac{V}{V_{1m}}$ (necessária para o cálculo das medições com barco em movimento FICHA 8), recomenda-se a tomada sistemática da velocidade a 1m de profundidade.
- 2 – **MEDIÇÃO PELO MÉTODO DOS 3 PONTOS**
POSIÇÃO DOS PONTOS: $0,2p_t - 0,4p_t - 0,8p_t$
- 3 – **MEDIÇÃO INTEGRADA:** deve ser feita com um equipamento especial no guincho que permite regular a velocidade de deslocamento do molinete, tanto na descida (freio), como na subida.
A velocidade vertical do molinete deve ser **CONSTANTE** e lenta em relação à velocidade da água: de 5 a 20 cm/seg., para um tempo total de medição necessariamente superior a 100 segundos.

RECOMENDAÇÕES

- A maior dificuldade encontrada durante uma medição com barco ancorado, é de **ANCORAR** o barco na vertical desejada (visto a grande profundidade e a correnteza). Quando a ancoragem do barco é realizada, o tempo importa pouco, visto a lenta variação da cota linimétrica nos grandes rios. Em consequência aconselha-se fazer uma medição completa na descida do lastro (de 6 até 10 tomadas de velocidade) e uma medição integrada na subida do lastro (ou ao contrário, em função do equipamento utilizado).
- É indispensável anotar o ângulo de **ARRASTE** para cada ponto de medição (necessário para Correção de profundidade).
Aconselha-se verificar a profundidade total antes de soltar a âncora, comparando os valores do contador do guincho e do ecobatímetro.

VANTAGENS E INCONVENIENTES

A medição com barco ancorado permite conseguir uma boa precisão (erro relativo inferior a 10%) e ter um excelente conhecimento do rio. É geralmente possível localizar e corrigir os erros acidentais.

O maior inconveniente encontra-se na dificuldade e/ou impossibilidade de ancorar o barco em rios muito profundos ($p_t > 30m$) e no perigo dos materiais hidrotransportados (vegetação, madeira, etc.).

CÁLCULO DAS MEDIÇÕES COM BARCO ANCORADO

PARÂMETROS CALCULADOS : $Q, \bar{V}, A, \bar{P}, \bar{V}_s, \bar{V}/\bar{V}_s$

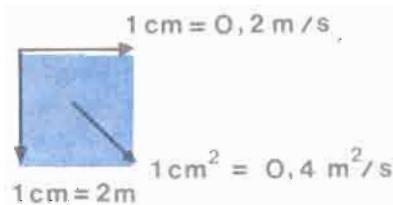
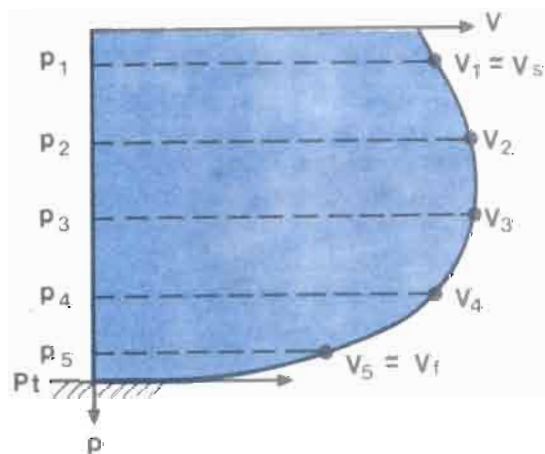
PROCESSOS

1 - GRÁFICO	$\left\{ \begin{array}{l} \text{PARÁBOLAS} \\ \text{ISOTACAS*} \end{array} \right.$	$Q = \int_0^L d\ell \int_0^{P_t} v dp$
		$Q = \int_0^{V^M} dv \int_0^{\ell} p d\ell$
2 - ARITMÉTICO	$\left\{ \begin{array}{l} \text{MEIA SEÇÃO} \\ \text{SEÇÃO MÉDIA} \end{array} \right.$	$Q = \sum_0^n \bar{v}_k \times P_{t_k} \times \frac{d_{k+1} - d_{k-1}}{2}$
		$Q = \sum_0^n \frac{\bar{v}_k + \bar{v}_{k-1}}{2} \times \frac{P_{t_k} + P_{t_{k-1}}}{2} \times (d_k - d_{k-1})$

* não pode ser utilizada se a velocidade média for medida por integração vertical.

PARÁBOLAS

1ª etapa: traçado das parábolas de velocidade e cálculo da descarga unitária por planimetragem.



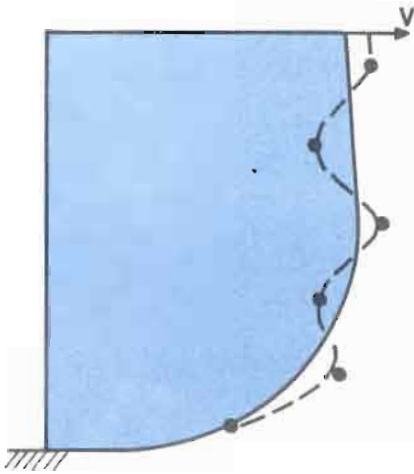
$$q_k = \int_0^{P_{tk}} v_k dp$$

Para o traçado:

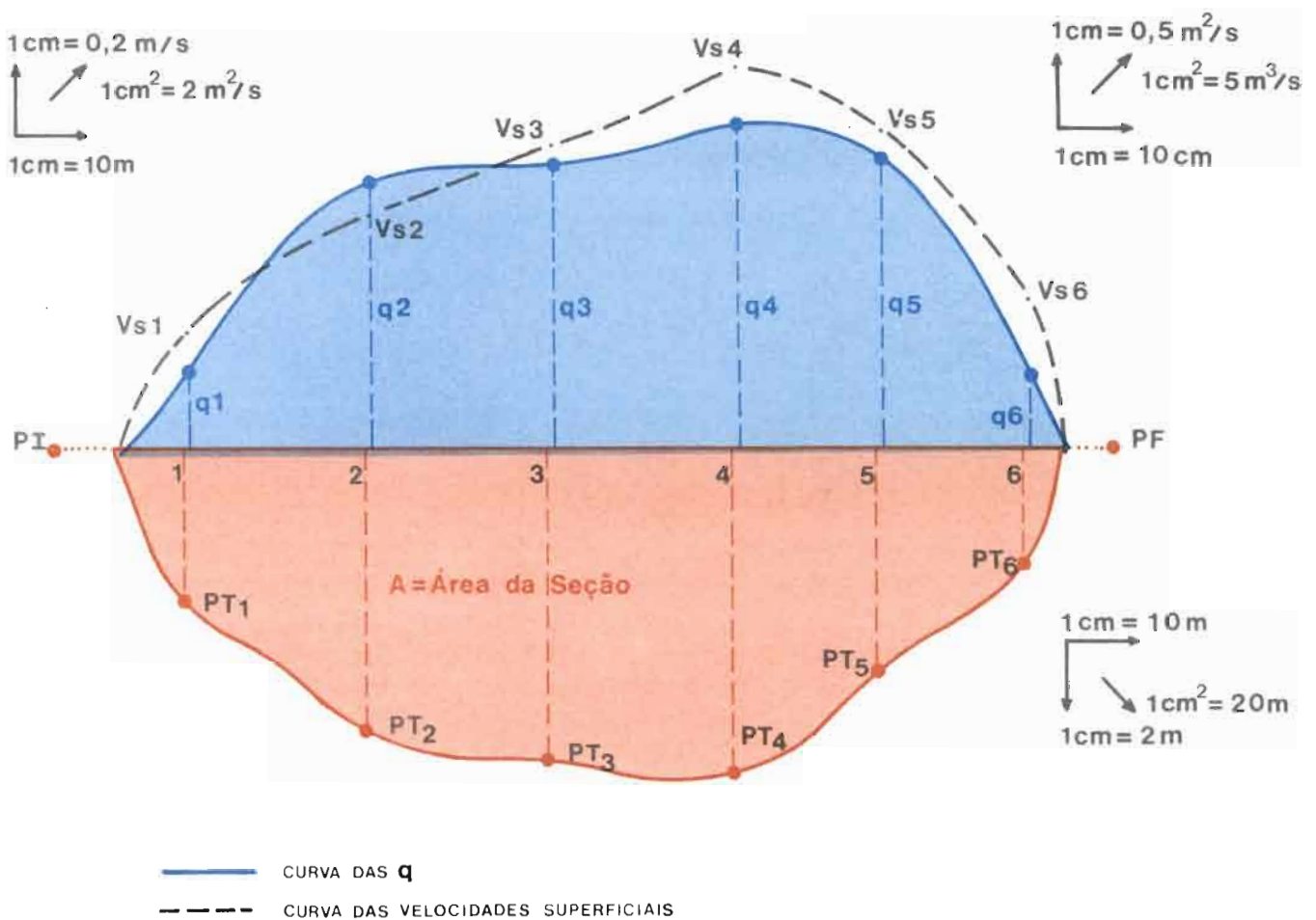
- a velocidade é nula no fundo ($p_i = p_t$), mas vai crescendo rapidamente.
- a velocidade superficial ($p = 0$) pode ser considerada quase igual à v_1 .
- se acontecer uma importante irregularidade nos valores das velocidades, aconselha-se traçar uma curva intermediária como indicado no gráfico seguinte (melhor precisão da planimetragem).

Essa 1ª etapa torna-se inútil no caso de uma medição por integração

$$q_k = \bar{V}_k * p_{tk}$$



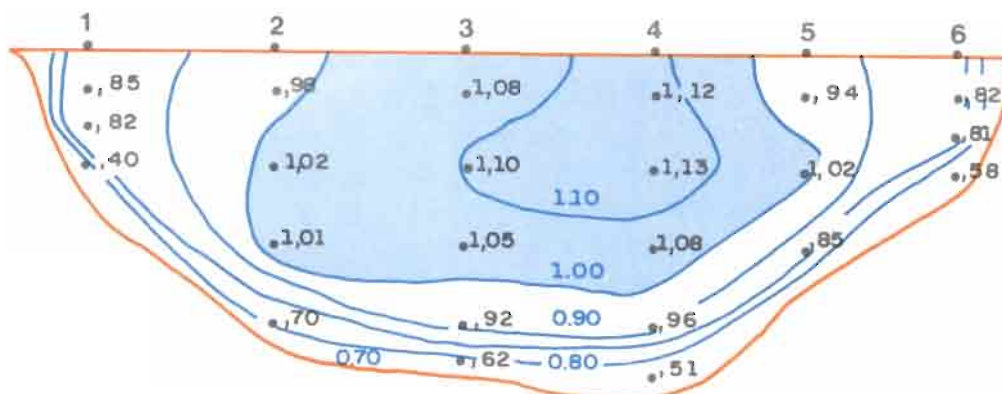
2ª etapa: traçado da curva das descargas unitárias e planimetragem



Aproveita-se geralmente o mesmo gráfico para traçar as curvas das profundidades totais (pt) e das velocidades superficiais, para calcular A e \bar{V}_s após planimetragem.

ISÓTACAS

1ª etapa: traçado da seção transversal, plotagem dos pontos com a velocidade medida e traçado das isóbatas (curvas de igual velocidade), usando o processo de interpolação linear.



Por meio da planimetragem calculam-se as áreas com velocidade superior ou igual a cada isóbatca e estabelece-se a tabela seguinte:

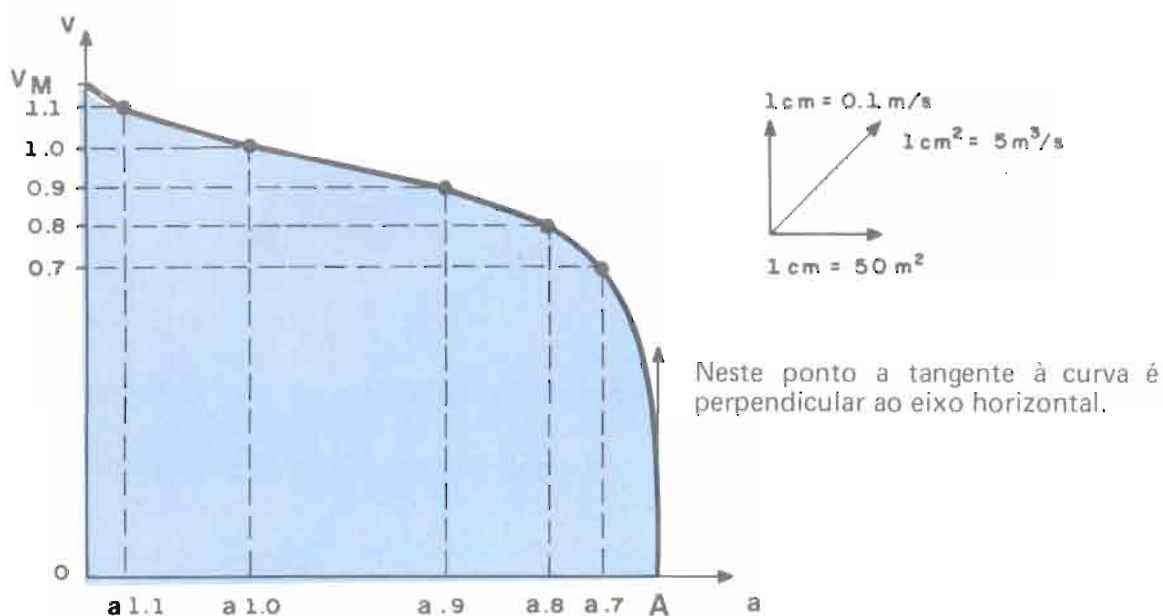
VELOCIDADE

- >0,00 m/s
- >0,70 m/s
- >0,80 m/s
- >0,90 m/s
- >1,00 m/s
- >1,10 m/s
- >1,13 m/s = V_M

ÁREA

- $A \text{ m}^2$ (área total)
- $a_{0,7} \text{ m}^2$
- $a_{0,8} \text{ m}^2$
- $a_{0,9} \text{ m}^2$
- $a_{1,0} \text{ m}^2$ (área colorida)
- $a_{1,1} \text{ m}^2$
- 0 m^2 (zero)

2ª etapa: traçado da CURVA das áreas de igual ou maior velocidade



MÉTODO ARITMÉTICO

1ª etapa: Cálculo da velocidade Média \bar{v}

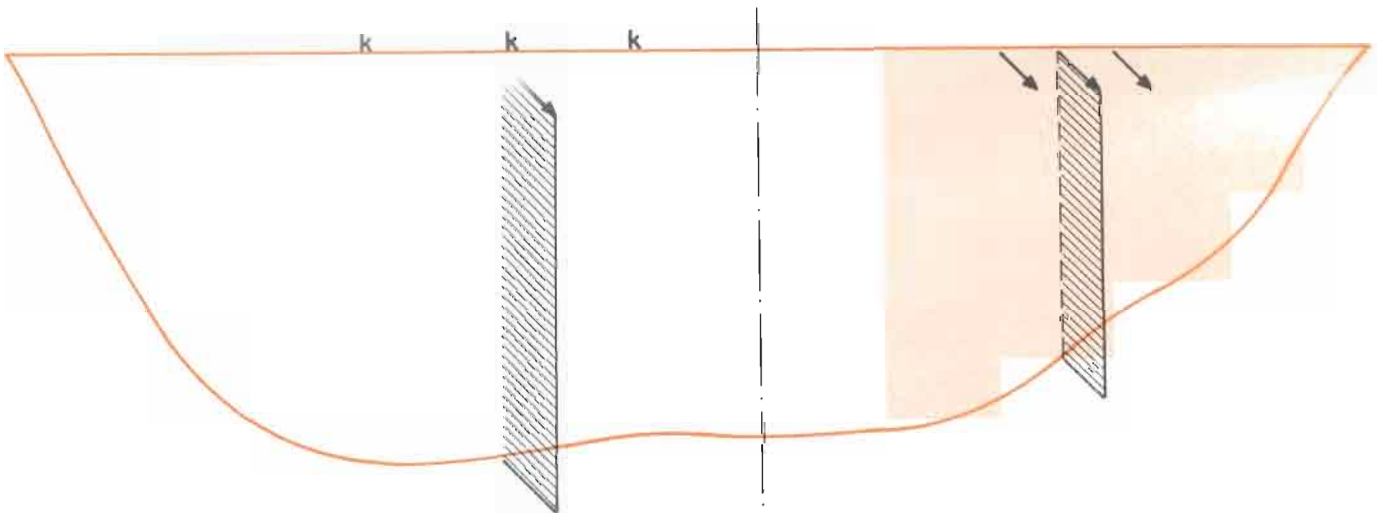
- m pontos
$$\bar{v}_k = \frac{p_1 v_1 + \sum_1^m \frac{v_i + v_{i-1}}{2} (p_i - p_{i-1}) + \frac{3}{4} v_m (p_{tk} - p_m)}{p_t}$$

considerando que $v_s = v_1$ e $v_f = \frac{1}{2} v_n$

- 3 pontos 20%, 60%, 80%
$$\bar{v}_k = \frac{v_{20} + 2 v_{60} + v_{80}}{4}$$

- 2 pontos 20%, 80%
$$\bar{v}_k = \frac{v_{20} + v_{80}}{2}$$

2ª etapa: Cálculo de Q , A , \bar{V}



MEIA SEÇÃO

$$a_k = P_{t_k} \times \frac{(d_{k+1} - d_{k-1})}{2}$$

$$q_k = \bar{v}_k \times a_k$$

$$Q = \sum_1^n q_k$$

$$A = \sum_1^n a_k$$

SEÇÃO MÉDIA

$$a_j = \frac{P_{t_j} + P_{t_{j-1}}}{2} \times (d_j - d_{j-1})$$

$$q_j = \frac{\bar{v}_j + \bar{v}_{j-1}}{2} \times a_j$$

$$Q = \sum_0^n q_j$$

$$A = \sum_0^n a_j$$

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

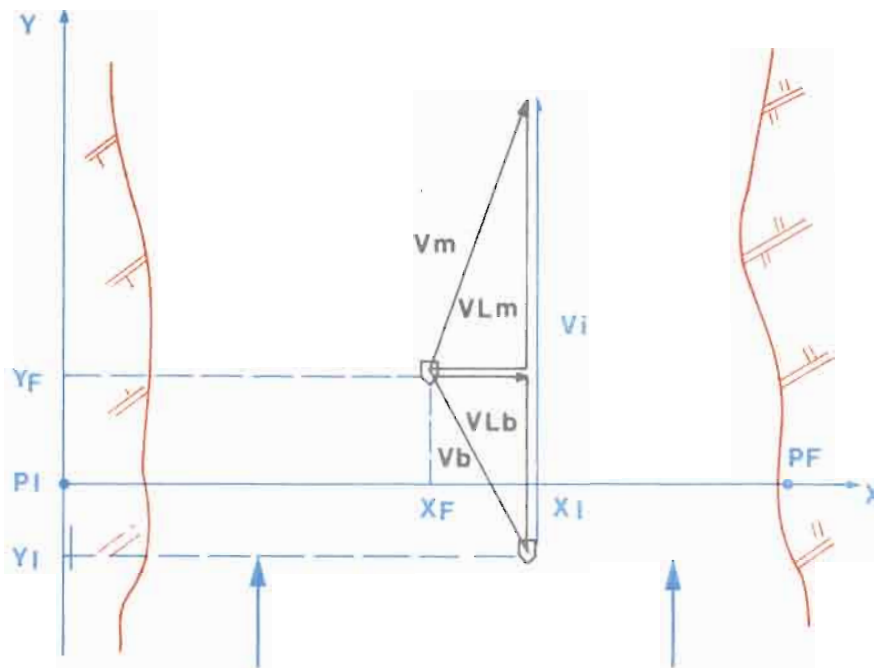
NOTA: Segundo estudo do USGS a partir de 213 medições foi constatado que o método da **MEIA SEÇÃO** é:

- um pouco mais preciso (0,6% mais próximo do valor exato).
- mais rápido em termos de computação.

MEDIÇÃO COM BARCO NÃO ANCORADO (MÉTODO DOS GRANDES RIOS)

- MÉTODO:**
- A medição é feita por verticais sucessivas sem estabilizar o barco para as tomadas de velocidade.
 - A velocidade média é geralmente calculada, usando-se o método dos 2 pontos, sendo a profundidade total (p_t) medida com o ecobatímetro.
 - A velocidade medida pelo molinete é a velocidade do Rio em relação ao barco. A velocidade do barco em relação à terra é calculada a partir da distância percorrida pelo barco durante a tomada de velocidade.
 - O posicionamento do barco é determinado, com 2 teodolitos, no início e no fim de cada tomada de velocidade (veja Ficha 4).

CÁLCULO – Velocidade Pontual – v_i



PI PF	seção da medição
X_t, Y_t	coordenadas do barco no INÍCIO da tomada de velocidade
X_f, Y_f	coordenadas do barco no FIM da tomada de velocidade
v_i	velocidade do rio
v_m	velocidade medida pelo molinete, sendo v_{Lm} o seu componente longitudinal
v_b	velocidade do barco, sendo v_{Lb} o seu componente longitudinal
t_i	duração da tomada de velocidade

$$v_{Lb} = \frac{Y_F - Y_I}{t_i}$$

$$v_{Lm} = \sqrt{v_m^2 - \left(\frac{X_F - X_I}{t_i}\right)^2}$$

$$v_i = v_{Lb} + v_{Lm}$$

– Velocidade Média na Vertical – \bar{v}_k

$$\text{Geralmente } \bar{v}_k = \frac{v_{20\%} + v_{80\%}}{2}$$

– distância da vertical ao PI – d_k

d_k = média aritmética das abscissas X_I, X_F .

$$\text{Geralmente } d_k = \frac{X_{I\ 20\%} + X_{F\ 20\%} + X_{I\ 80\%} + X_{F\ 80\%}}{4}$$

– vazão . Q; área . A e velocidade média – \bar{V}

Calculados pelo método da meia seção (veja Ficha 6b)

- RECOMENDAÇÕES:**
- As tomadas de velocidade devem ser feitas nas proximidades da seção transversal. Para isso recomenda-se iniciar a medida um pouco a montante desta seção, deixando o barco ser arrastado pela corrente. O barco deve voltar à posição inicial para a medida do ponto seguinte.
 - Evitar qualquer mudança de direção ou aceleração do barco durante as tomadas de velocidade.
 - É fundamental que as leituras dos observadores de teodolitos coincidam exatamente com o INÍCIO E FIM de cada tomada de velocidade. O uso do rádio é quase indispensável.
 - A determinação da profundidade na "vertical" deve ser feita com cuidado, visto o permanente deslocamento do barco.

VANTAGENS E INCONVENIENTES

Este método de medição é bastante rápido (3 a 4 vezes que o método com barco ancorado). É mais seguro para os operadores e equipamentos (menor perigo de abaloamento por materiais hidrotransportados) mas, apesar do tempo menor, permite duplicar o número de "verticais" (até 40). A precisão é muito inferior (verticais indefinidas, profundidade imprecisa, velocidade do barco irregular, erros de leitura dos ângulos sem controle imediato possível).

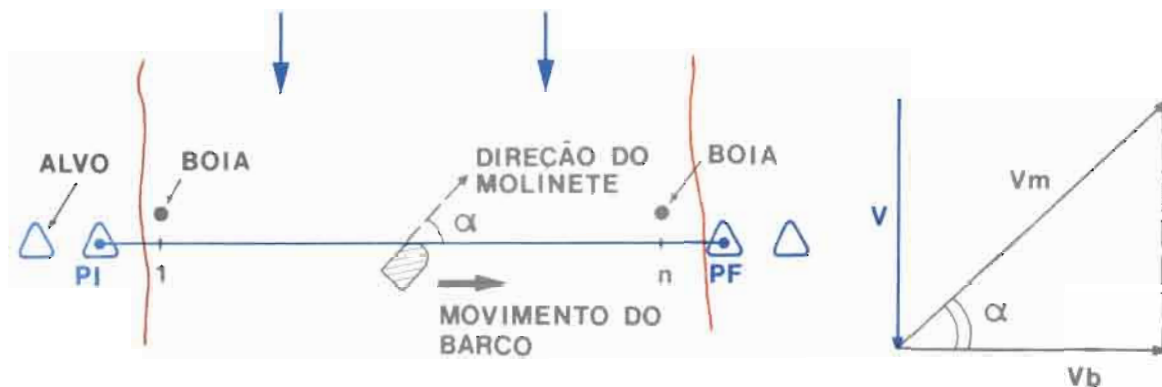
Este tipo de medição deve ser feito com maior atenção porque as possibilidades de errar são numerosas.

MEDIÇÃO COM BARCO EM MOVIMENTO

Este método foi introduzido pelo Geological Survey nos anos 1960 e é conhecido como "MOVING-BOAT" ou "SMOOT" (nome de um dos autores do método).

MÉTODO

- O barco se desloca na seção transversal de maneira constante tanto em velocidade quanto em direção; a distância do percurso é definida com 2 bóias, ancoradas perto das margens.
- 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 e até 40 verticais. A distância entre as verticais correspondente a um "número **CONSTANTE**" de passos de hélice do molinete (ou seja de impulsos registrados pelo contador). Essa distância teórica (ℓ) é escolhida pelo operador entre os cinco disponíveis na faixa (veja EQUIPAMENTOS).



- A velocidade é medida num único ponto da vertical, geralmente a 1m de profundidade. Essa velocidade (v_m) é a soma vetorial da velocidade (v) do Rio, normal à seção transversal e da velocidade de (v_b) do barco com as margens.

$$v = v_m \operatorname{sen} \alpha$$

- A distância (ℓ_b) percorrida pelo barco entre duas verticais é calculada a partir de ℓ , distância teórica, considerando a constante.

$$\ell_b = \ell \operatorname{cos} \alpha$$

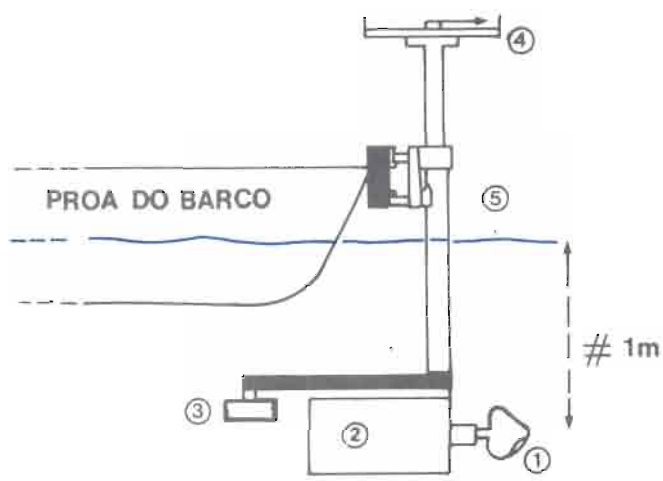
O método de medição com barco em movimento é:

- Completo no que se refere ao termo geométrico da vazão (seção molhada).
- Parcial no que se refere ao termo hidráulico da vazão (velocidade medida a 1m de profundidade, ou seja, somente na superfície).

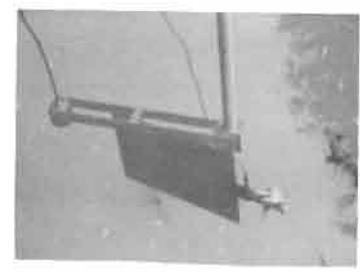
EQUIPAMENTOS

São utilizados os equipamentos específicos seguintes:

- um eixo vertical é fixado na proa do barco com um leme que orienta sempre o molinete na direção da corrente (foto 1). Um indicador de direção permite ler o valor do ângulo α .
- O molinete (passo teórico 0,125) gera 24 impulsos em cada revolução, recebidos por um contador que apresenta o valor instantâneo de impulsos por segundo (foto 2) e, por consequência, permite calcular a velocidade instantânea. O contador seleciona também as verticais de medição. Quando o número de impulsos totaliza o valor pré-escolhido (correspondendo à distância teórica ℓ) 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
- 4 medidor de ângulo
- 5 eixo fixado na proa do barco.

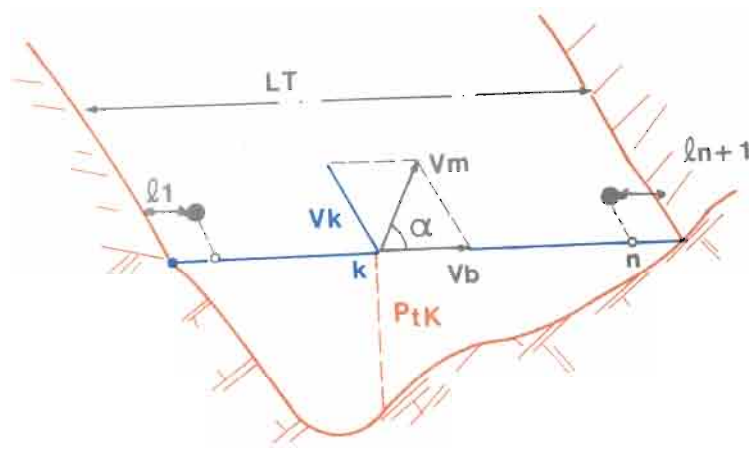


Distâncias teóricas disponíveis

Faixa	nº de impulsos	distância em m *
1	1.024	5,3
2	2.048	10,7
3	4.096	21,3
4	8.192	42,7
5	16.384	85,3

*Para um passo teórico de 0,125m

CÁLCULO



$$V_m = a N_i + b$$

a, b, constante do molinete

N_i , impulsos por segundo

$$V_k = V_m \sin \alpha$$

$$l_k = l \cos \alpha$$

$$L_m = l_1 + \sum_2^n l_k + l_{n+1}$$

$$A_m = \sum_1^n \frac{l_k + l_{k+1}}{2} \times P_{tk}$$

$$Q_m = \sum_1^n a_k V_k$$

Correções Finais:

1º de largura $K_L = \frac{L_T}{L_m}$

2º de velocidade $K_v = 0,9$ até $1,0$ dependendo do posto e da cota.

$A = A_m \times K_L$

$Q = Q_m \times K_L \times K_v$

OBSERVAÇÕES PRÁTICAS

- 1 – A medição se inicia na primeira bóia. Nessa vertical 1, recomenda-se fazer uma tomada de velocidade e de profundidade assim como do ângulo α . Se não for possível, a velocidade será estimada a 3/4 daquela medida na vertical 2.
- 2 – A distância (l_n) entre a penúltima vertical e a segunda bóia não corresponde em geral a uma distância teórica l inteira, mas somente a uma fração desta. Quando o barco passa na frente da 2ª bóia, o operador dá uma ordem de fim de medição: velocidade, profundidade e ângulo são levantados e a marca registrada neste instante no papel do ecobatímetro permite avaliar o valor da fração.
- 3 – Uma medição completa consta de 6 até 10 travessias sucessivas, sendo cada vez alternada a origem da medição e por consequência as distâncias l_1 e $l_n + 1$.
- 4 – É geralmente difícil, nos grandes rios, definir uma seção transversal **RIGOROSAMENTE**, perpendicular à direção da corrente d'água. Isso implica numa 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 6 valores (3 na ida e 3 na volta), sendo eliminados os resultados extremos.

RECOMENDAÇÕES – Aferição periódica do molinete e do contador de impulsos.

- O ângulo α deve ficar o mais constante possível entre 2 verticais e não sair da faixa $35^\circ - 55^\circ$.
- O número de verticais recomendado pelos autores do método (30 a 40) parece suficiente quando as condições de operação são boas. Um número superior só pode melhorar a precisão: maior o número de verticais, mais a medição se aproxima de um processo integrado.
- O uso de uma calculadora programável reduz muito o tempo de cálculo (veja anexo 5). O cálculo pode (deveria?) ser feito no barco durante a medição.

VANTAGENS E INCONVENIENTES

○ método é rápido, seguro e não exige nenhum equipamento nas margens (ponto muito importante quando as margens são alagadas).

○ maior inconveniente reside na baixa precisão dos valores medidos.

ESCOLHA DAS ESCALAS GRÁFICAS

A escala escolhida para representar num gráfico uma grandeza qualquer deve permitir uma plotagem rápida e segura. Alguns valores de escalas respondem a este critério, alguns outros ao contrário se tornam quase impraticáveis.

DEFINIÇÃO: escala 1/100 significa que uma unidade no gráfico (por exemplo 1cm) representa 100 unidades reais (no caso 100cm).

ESCALAS

ÚTEIS | 1/1, 10, 100, 1000 ... BASE
 | 1/2, 20, 200, 2000 ...
 | 1/5, 50, 500 ...

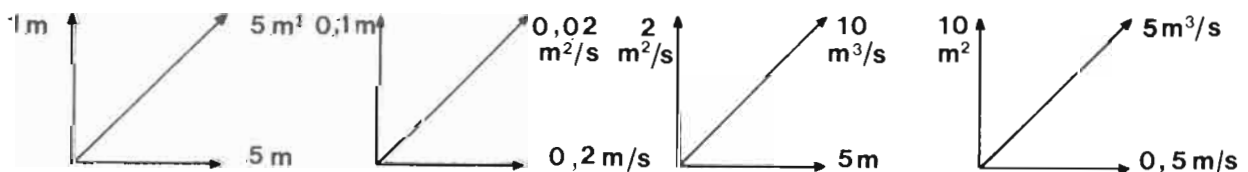
DESACONSELHADOS, MAS POSSÍVEIS | 1/2, 5, 25, 250 ...
 | 1/4, 40, 400 ...

"PROIBIDOS" | 1/3 - 1/6 - 1/7 - 1/8 - 1/9
 | 1/12,5 - 1/15 ...

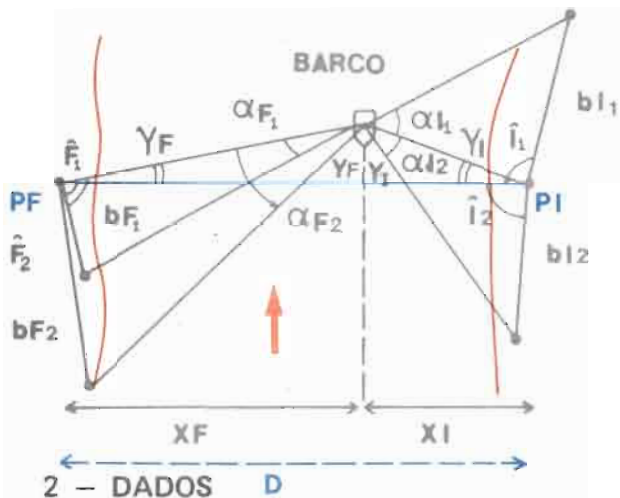
DETERMINAÇÃO DA ESCALA

- 1 - Definir a amplitude da grandeza a representar
 ex: 7m 1,2m/s 270m²
- 2 - Intervalo máximo útil no papel
 ex: 10cm 40cm
- 3 - Testar a escala de base (1/1, 1/10, 1/100 etc. ...) e ajustar.

REPRESENTAÇÃO SIMPLES



PROGRAMA HP PARA O CÁLCULO DAS COORDENADAS DO BARCO UTILIZANDO O SEXTANTE EM MANACAPURU



1 - FÓRMULAS

Veja Ficha 5

$$X_I + X_F = D \quad \text{distância PI PF}$$

$$Y_I \cong Y_F$$

$$\Delta x \% = \frac{(X_I + X_F) - D}{D} \times 100$$

Δx deve ser inferior a 1%

2 - DADOS D

Constantes armazenadas nas memórias antes de rodar o programa TECLA [STO]		Variáveis por ordem de entrada TECLA [R/S]	Resultados por ordem de saída TECLA [R/S]
D	[STO] 0	αI_1 [R/S]	Y_I [R/S] X_I
b_{I1}	[STO] 1	αI_2 [R/S]	
b_{I2}	[STO] 2	αF_1 [R/S]	
b_{F1}	[STO] .1		
b_{F2}	[STO] .2	αF_2 [R/S] Y_F X_F $X_I + X_F$ Δx	
\hat{i}_1	[g] → [H] [STO] 3		
\hat{i}_2	[g] → [H] [STO] 4		
\hat{F}_1	[g] → [H] [STO] .3		
\hat{F}_2	[g] → [H] [STO] .4		

3 - OPERAÇÃO

PRELIMINAR: ENTRADA DO PROGRAMA (veja lista no verso)

[ON], **[g]** **[P/R]** Teclar o programa, executar o exemplo-teste para verificação.

PARA CALCULAR X e Y

1 - **[ON]** Entrar com todas as constantes nas memórias (ordem de entrada sem importância) - chegar ao final (ângulos em graus, minutos, segundos $82^{\circ}32'24'' = 82,3214$ as teclas **[g] → [H]** permitem transformá-los em graus decimais).

2 - **[f]** **[B]** αI_1 **[R/S]** αI_2 **[R/S]** ⇒ LER Y_I **[R/S]** X_I **[R/S]**

αF_1 **[R/S]** αF_2 **[R/S]** ⇒ LER Y_F **[R/S]** X_F **[R/S]**

$X_I + X_F$ **[R/S]** Δx **[R/S]**

3 - Continuar em 2 para outro cálculo.

PROGRAMA PARA HP15C

VISOR			VISOR			VISOR		
Linha	Código	INTRODUÇÃO	Linha	Código	INTRODUÇÃO	Linha	Código	INTRODUÇÃO
000			040	23	SIN	080	44. 7	STO 7
1	42.21.12	f LBL B	1	20	X	1	45 6	RCL 6
2	1	1	2	31	R/S	2	23	SIN
3	8	8	3	45 7	RCL 7	3	20	X
4	0	0	4	45 6	RCL 6	4	31	R/S
5	44. 0	STO 0	5	24	COS	5	45 7	RCL 7
6	45.40. 0	RCL + 0	6	20	X	6	45 6	RCL 6
7	45.30. 3	RCL - 3	7	44 9	STO 9	7	24	COS
8	45.30. 4	RCL - 4	8	31	R/S	8	20	X
9	44 5	STO 5	9	45. 3	RCL .3	9	31	R/S
010	45 3	RCL 3	050	45.30. 4	RCL - .4	090	45.40. 9	RCL + 9
1	45.30. 0	RCL - 0	1	44 5	STO 5	1	31	R/S
2	44 6	STO 6	2	45 0	RCL 0	2	45 0	RCL 0
3	31	R/S	3	45.43. 3	RCL - .3	3	34	x $\frac{z}{y}$
4	43 2	g \rightarrow H	4	44 6	STO 6	4	43 15	g Δ %
5	44.30. 5	STO - 5	5	31	R/S	5	3	R/S
6	44.40. 6	STO + 6	6	43 2	g \rightarrow H	6	4332	g RTN
7	23	SIN	7	44.40. 5	STO + 5			
8	44 7	STO 7	8	44.30. 6	STO - 6			
9	31	R/S	9	23	SIN			
020	43 2	g \rightarrow H	060	44 7	STO 7			
1	44.30. 5	STO - 5	1	31	R/S			
2	23	SIN	2	43 2	g \rightarrow H			
3	45.10. 7	RCL \div 7	3	44.30. 5	STO - 5			
4	45.20. 1	RCL x 1	4	23	SIN			
5	45.10. 2	RCL \div 2	5	45.10. 7	RCL \div 7			
6	45. 5	RCL 5	6	45.20. 1	RCL x .1			
7	24	COS	7	45.10. 2	RCL \div 2			
8	40	+	8	45 5	RCL 5			
9	45 5	RCL 5	9	24	COS			
030	23	SIN	070	30	-			
1	10	\div	1	45 5	RCL 5			
2	15	1/x	2	23	SIN			
3	43 25	g TAN ⁻¹	3	10	\div			
4	44.40. 6	STO + 6	4	15	1/x			
5	23	SIN	5	43 25	g TAN ⁻¹			
6	45.10. 7	RCL \div 7	6	44.30. 6	STO - 6			
7	45.20. 1	RCL x 1	7	23	SIN			
8	44 7	STO 7	8	45.10. 7	RCL : 7			
9	45 6	RCL 6	9	45.20. 1	RCL x .1			

EXEMPLO - TESTE

1 - DADOS

Constantes: D = 3.200m
 $b_{F1} = 740m$ $b_{F2} = 620m$
 $b_{I2} = 840m$ $b_{F2} = 1.055m$
 $I_1 = 92^{\circ}55'29''$ $F_1 = 81^{\circ}49'52''$
 $I_2 = 88^{\circ}07'25''$ $F_2 = 84^{\circ}53'41''$

MEDIÇÕES EM CAMPO

1 $\alpha_{I1} = 31^{\circ}24'$ $\alpha_{F1} = 17^{\circ}40'$
 $\alpha_{I2} = 34^{\circ}43'$ $\alpha_{F2} = 28^{\circ}31'$

2 $\alpha_{I1} = 17^{\circ}11'$ $\alpha_{F1} = 36^{\circ}51'$
 $\alpha_{I2} = 19^{\circ}56'$ $\alpha_{F2} = 52^{\circ}52'$

2 - OPERAÇÃO E RESULTADOS

3.200 STO 0
 740 STO 1 840 STO 2
 620 STO -1 1.055 STO .2
 92.5 529 [g] \rightarrow H STO 3
 88.0 725 [g] \rightarrow H STO 4
 81.4 952 [g] \rightarrow H STO 3
 84.5 341 [g] \rightarrow H STO 4

[f] [E] - - 87,075
 31,24 [R/S] - 0,521
 34,43 [R/S] Y_I - 49,822
 [R/S] X_I - 1.204,056
 [R/S] - 98,169
 17,40 [R/S] - 0,303
 28,31 [R/S] Y_F - 47,934
 [R/S] X_F - 2.005,770
 [R/S] $X_I + X_F$ - 3.209,826
 [R/S] Δ_x % - 0,307

[f] [E] - - 87,075
 17,11 [R/S] - 0,295
 19,56 [R/S] Y_I - 13,892
 [R/S] X_I - 2.346,964
 [R/S] - 98,169
 36,55 [R/S] - 0,601
 52,52 [R/S] Y_F - 29,349
 [R/S] X_F - 919,888
 [R/S] $X_I + X_F$ - 3.266,852
 [R/S] Δ_x % - 2,089

NOTA:
 1ª medição - barco situado a 49m a jusante da seção ($y > 0$) e a 1.200m do PI (Δx correto)
 2ª medição - leituras do sextante provavelmente erradas ($\Delta_x > 1\%$).

- PROGRAMA HP PARA O CÁLCULO DE UMA MEDIÇÃO COMPLETA PELO MÉTODO DA MEIA SEÇÃO

1 - FÓRMULAS $v_i = a \frac{N_i}{t_i} + b$ a e b são as constantes do molinete

$$\bar{v}_k = \frac{p_1 v_1 + \sum_{i=2}^m \frac{v_i + v_{i-1}}{2} (p_i - p_{i-1}) + 3/4 v_n (p_{tk} - p_m)}{p_{tk}}$$

$$a_k = p_{tk} \times \frac{(d_{k+1} - d_{k-1})}{2}$$

$$q_k = a_k \times \bar{v}_k$$

$$A = \sum_{k=1}^n a_k$$

$$Q = \sum_{k=1}^n q_k$$

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

i = índice de um dos m pontos na vertical

k = índice de uma das n verticais

2 - DADOS

Constantes armazenadas nas memórias antes de rodar o programa TECLA STO	Variáveis por ordem de entrada TECLA R/S	Resultados por ordem de saída TECLA R/S
a STO 0	Na, distância PI - 1ª margem	v_k n VEZES
b STO 1	$\left. \begin{array}{l} l_k \\ p_i \\ N_i \\ t_i \\ p_{tk} \end{array} \right\} \begin{array}{l} m \text{ vezes} \\ n \text{ vezes} \end{array}$	Ao final
	Nb, distância PI - 2ª margem	Q vazão total A área da seção \bar{V} velocidade média L largura \bar{P} prof. média

3 - OPERAÇÃO

PRELIMINAR: ENTRADA DO PROGRAMA (veja lista ao verso)

ON **gP/R** teclar o programa
executar o exemplo-teste para verificação

PARA UMA MEDIÇÃO

- ON** ENTRAR AS CONSTANTES DO MOLINETE
a **STO** 0 , b **STO** 1
- fjC** Na **R/S**
- l_1 **R/S** e sucessivamente p_j **R/S**, N_i **R/S**, t_i **R/S**
(um contador visualiza o valor de i)
- no fim da vertical **GTO** 4 **R/S** , p_{tk} **R/S** → ler no visor \bar{v}_k .
Teclar **R/S** . Aparece no visor o valor k + 1:
se $k + 1 \leq n$ prosseguir no item 3
se $k + 1 > n$ prosseguir no item 4
- GTO** 5 **R/S** Nb **R/S**
Ler os Resultados, teclando **R/S** cada vez.

PROGRAMA PARA HP 15C

VISOR		INTRODUÇÃO	VISOR		INTRODUÇÃO	VISOR		INTRODUÇÃO
Linha	Código		Linha	Código		Linha	Código	
000			040	31	R/S	080	45.30. 2	RCL - 2
1	42.21.13	f LBL C	1	42. 4. 8	f x \approx 8	1	31	R/S
2	31	R/S	2	16	CHS	2	45 ,1	RCL . 1
3	44 2	STO 2	3	45.40. 8	RCL + 8	3	34	x \approx y
4	44 6	STO 6	4	44 25	STO 1	4	10	\div
5	0	0	5	32 8	GSB 8	5	22 13	GTO C
6	44 3	STO 3	6	42. 4. 9	f x \approx 9	6	42.21. 8	f LBL 8
7	44 4	STO 4	7	45.40. 9	RCL + 9	7	31	R/S
8	44 ,0	STO .0	8	2	2	8	36	ENTER
9	44 ,1	STO .1	9	10	\div	9	31	R/S
010	44 ,2	STO .2	050	45.20.25	RCL x 1	090	10	\div
1	42.21. 1	f LBL 1	1	44.40.,0	STO +.0	1	45.20. 0	RCL x 0
2	1	1	2	45 4	RCL 4	2	45.40. 1	RCL + 1
3	44.40. 3	STO + 3	3	22 3	GTO 3	3	43 32	g RTN
4	44 4	STO 4	4	42.21. 4	f LBL 4	4	42.21. 9	f LBL 9
5	45 3	RCL 3	5	31	R/S	5	45 7	RCL 7
6	31	R/S	6	42. 4. 8	f x \approx 8	6	45.30 5	RCL - 5
7	44 7	STO 7	7	16	CHS	7	2	2
8	1	1	8	45.40. 8	RCL + 8	8	10	\div
9	45 3	RCL 3	9	45.20. 9	RCL x 9	9	45.20. 8	RCL x 8
020	43.30. 5	g TEST 5	060	3	3	100	44.40.,1	STO + 1
1	22 2	GTO 2	1	20	x	1	45.20.,0	RCL x .0
2	32 9	GSB 9	2	4	4	2	14.40. 2	STO + 2
3	42.21. 2	f LBL 2	3	10	\div	3	43.32	g RTN
4	45 7	RCL 7	4	45.40.,0	RCL +. 0			
5	42. 4. 6	f x \approx 6	5	45.10. 8	RCL \div 8			
6	42. 4. 5	f x \approx 5	6	44 ,0	STO .0			
7	0	0	7	31	R/S			
8	44 ,0	STO .0	8	22 1	GTO 1			
9	45 4	RCL 4	9	42.21. 5	f LBL 5			
030	31	R/S	070	31	R/S			
1	44 8	STO 8	1	44 7	STO 7			
2	32 8	GSB 8	2	32 9	GSB 9			
3	44 9	STO 9	3	45 ,2	RCL . 2			
4	45.20. 8	RCL x 8	4	31	R/S			
5	44 ,0	STO .0	5	45 ,1	RCL . 1			
6	42.21. 3	f LBL 3	6	31	R/S			
7	1	1	7	10	\div			
8	44.40. 4	STO + 4	8	31	R/S			
9	45 4	RCL 4	9	45 7	RCL 7			

EXEMPLO - TESTE

1 - DADOS

equação do molinete $v = 0,2588 \frac{N}{T} + 0,007$

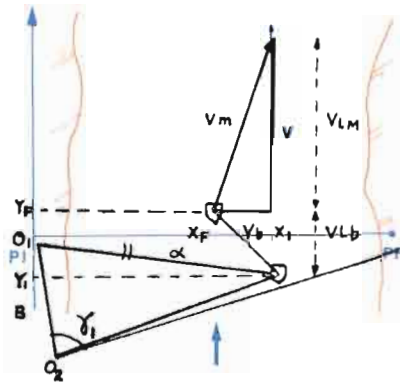
Nº Vert.	Dist. ao PI	Sondagem	Prof. Molinete	Nº de Rotações	Tempo
ME 1	5,20 8,30	0 3,20	0,5	148	40,8
			1,5	141	40,5
			2,5	139	41,3
			3,0	89	42,6
2	12,60	2,30	0,5	185	47,1
			1,0	156	40,4
MD	14,80		2,0	145	42,3

2 - OPERAÇÃO E RESULTADOS

0,2588	STO 0	0,2598
0,007	STO 1	0,007
	f LC	0,007
5,2	R/S	1,000
8,3	R/S	1,000
0,5	R/S 148	R/S 40,8
1,5	R/S 141	R/S 40,5
2,5	R/S 139	R/S 41,3
3	R/S 89	R/S 42,6
	GTO 4	R/S 5,000
3,2	R/S	v ₁ 0,854
	R/S	2,000
12,6	R/S	1,000
0,5	R/S 185	R/S 47,1
1	R/S 156	R/S 40,4
2	R/S 145	R/S 42,3
	GTO 4	R/S 4,000
2,3	R/S	v ₂ 0,944
	R/S	3,000
	GTO 5	R/S 3,000
14,8	R/S	Q 17,161
	R/S	A 19,315
	R/S	V 0,888
	R/S	L 9,800
	R/S	P 2,012

NOTA: em laranja - índice k
em azul - índice i
em cinza - RESULTADOS.

PROGRAMA HP PARA O CÁLCULO DE UMA MEDIÇÃO PELO MÉTODO DOS "GRANDES RIOS" (2 PONTOS: 20% E 80%)



B = distância entre os 2 teodolitos O_1 e O_2

1 - FÓRMULAS

- coordenadas do barco X, Y (veja Ficha 4)
- velocidade $V_m = a \frac{N_i}{t_i} + b$ a, b constantes do molinete
- velocidade do barco $V_{Lb} = \frac{Y_F - Y_i}{t_i}$ (componente long.)
- velocidade medida $V_{LM} = \sqrt{\frac{V^2_m (X_F - X_i)^2}{t_i}}$ (componente longitudinal)
- $V_i = V_{Lb} + V_{Lm}$
- velocidade média $\bar{V}_k = \frac{V_{20\%} + V_{80\%}}{2}$
- distância ao PI $d_k = \frac{X_{120\%} + X_{F20\%} + X_{180\%} + X_{F80\%}}{4}$
- Cálculo de Q e A pelo método da meia-seção (veja Ficha 5b)

2 - DADOS

Constantes armazenadas nas memórias antes de rodar o programa TECLA(S) (STO)	Variáveis por ordem de entrada TECLA(R/S)	Resultados por ordem de saída TECLA(R/S)
a (STO) 0	Na distância PI - 1ª margem	X_i, X_f (V_i durante 1 seq.)
b (STO) 1	$\alpha 1$	2 vezes)
B (STO) 2	$\gamma 1$	d_k
$\theta 1 = P_F O_1 O_2$ (STO) 3	αF 2 vezes n vezes	\bar{V}_k
$\theta 2 = P_1 O_1 P_F$ (STO) 4	γF	Ao final:
	N_i	Q vazão total
	t_i	A área da seção
	P_t	\bar{V} velocidade média
	N_b distância PI - 2ª margem	

3 - OPERAÇÃO

PRELIMINAR: Entrada do Programa (veja lista no verso)

ON **g** **PR** **f** **Clear PRGM**

teclar o programa executar o exemplo-teste para verificação.

PARA UMA MEDIÇÃO

- 1 - **ON** entrar as 5 constantes conforme tabela acima
- 2 - Na **f** **D** aparece 1.000 no visor
- 3 - Teclar sucessivamente $\alpha 1, \gamma 1, \alpha F, \gamma F, N_i, t_i$ (o visor indica 0.2 para o ponto 20% e 0,8 para o ponto 80%).
- 4 - Ao fim da vertical **GTO** 4 **R/S** ler d_k
R/S \Rightarrow ler \bar{V}_k, P_{tk} **R/S** \Rightarrow ler o valor $K + 1$
Prosseguir no item 3 se tiver mais verticais ($K \leq n$) ou no item 5 se $K = n + 1$
- 5 - **GTO** 5 **R/S**, N_b **R/S**
ler os resultados, teclando **R/S** cada vez

NOTA: PODE APARECER NO VISOR A MENSAGEM "ERROR ϕ ":

Isso indica que a quantidade $V^2_m - \frac{(X_F - X_i)^2}{t_i}$ é negativa.

\Rightarrow verificar os ângulos α e γ (\rightarrow a velocidade de barco não deveria ser superior a V_m). Aconselha-se neste caso eliminar a vertical.

PROGRAMA PARA HP 15 C

VISOR		INTRODUÇÃO		VISOR		INTRODUÇÃO		VISOR		INTRODUÇÃO	
Linha	Código			Linha	Código			Linha	Código		
000				040	45.10.25	RCL ÷ 1		080	45.2	RCL	2
1	42.21.14	f	LBL D	1	43.11	x²		1	31	R/S	
2	44.6		STO 6	2	30	√		2	45.1	RCL	1
3	0		0	3	11	√x		3	31	R/S	
4	44.1		STO .1	4	45.4	RCL .4		4	10	+	
5	44.2		STO .2	5	45.10.25	RCL ÷ 1		5	43.32	g	RTN
6	44.9		STO 9	6	40	+		6	42.21.6	f	LBL 6
7	42.21.11	f	LBL 1	7	42.31	f	PSE	7	31	R/S	
8	0		0	8	44.40.0	STO +.0		8	43.2	g	- H
9	44.0		STO 0	9	48	.		9	44.25	STO	1
010	44.5		STO .5	050	6			090	31	R/S	
1	1		1	1	45.40.6	RCL +.6		1	43.2	g	- H
2	44.40.9		STO +.9	2	44.6	STO .6		2	23	SIN	
3	45.9		RCL 9	3	22.2	GTO 2		3	43.36	g	LST x
4	31		R/S	4	21.21.4	f	LBL 4	4	45.40.3	RCL +.3	
5	48		-	5	44.5	RCL .5		5	45.30.25	RCL - 1	
6	2		2	6	4	4		6	23	SIN	
7	44.6		STO .6	7	10	+		7	10	+	
8	42.21.2	f	LBL 2	8	31	R/S		8	45.20.2	RCL x 2	
9	32.6		GSB 6	9	44.7	STO 7		9	45.25	RCL	1
020	44.4		STO .4	060	1			100	24	COS	
1	45.25		RCL 1	1	45.9	RCL 9		1	20	x	
2	44.3		STO .3	2	43.30.5	g	TEST 5	2	42.4.25	f	x > I
3	44.40.5		STO +.5	3	22.3	GTO 3		3	25	TAN	
4	32.6		GSB 6	4	32.9	GSB 9		4	45.20.25	RCL x 1	
5	45.30.4		RCL - 4	5	42.21.3	f	LBL 3	5	43.32	g	RTN
6	44.4		STO .4	6	45x7	RCL 7		6	42.21.9	f	LBL 9
7	45.25		RCL 1	7	42.4.6	f	x > I	7	45.7	RCL 7	
8	44.40.5		STO +.5	8	42.4.5	f	x > I	8	45.30.5	RCL - 5	
9	44.30.3		STO - 3	9	45.0	RCL .0		9	2	2	
030	45.25		RCL 1	070	2			110	10		
1	31		R/S	1	10	-		1	45.20.8	RCL x 8	
2	36		ENTER	2	44.7	STO .7		2	44.40.1	STO +.1	
3	31		R/S	3	31	R/S		3	45.20.7	RCL x 7	
4	44.25		STO 1	4	44.8	STO 8		4	44.40.2	STO + 2	
5	10		-	5	22.1	GTO 1		5	43.32	g	RTN
6	45.20.0		RCL x 0	6	42.21.5	f	LBL 5				
7	45.40.1		RCL + 1	7	31	R/S					
8	43.11	g	x²	8	44.7	STO 7					
9	45.3		RCL .3	9	32.9	GSB 9					

EXEMPLO-TESTE

1 - DADOS

Equação do molinete $V = 0.2588 \frac{N}{T} + 0.007$
 $B = 824,52$ $O_1 = 97^{\circ}19'45''$
 $O_2 = 68^{\circ}41'20''$

Nº Ver.	INICIO		FIM		P ₁	P ₂	N	T
	α	γ	α	γ				
ME 1	323 m do P1							
	0°19'	30°26'	0°31'	30°25'	23	20%	225	40.0
	0°30'	31°13'	-0°26'	31°03'		80%	122	40.1
2	0°51'	36°32'	-0°06'	36°23'	27.4	20%	341	42.1
	0°31'	37°12'	0°09'	37°22'		80%	241	40.2
MD			857 m do P1					

2 - OPERAÇÃO E RESULTADOS

0.2588	STO 1	0.007	STO 1	
824.52	STO 2	97.1945	STO 3	-97.329
		68.4120	STO 4	-68.689
	323	F D		-0.000
	R/S			-0.200
0.19	CHS R/S			-0.317
30.26	R/S			-530.569
0.31	R/S			-0.517
30.25	R/S			524.257
225	R/S 40 R/S			-(1.646)² - 0.800
0.30	R/S			-0.500
31.13	R/S			-542.607
0.26	CHS R/S			-0.433
31.03	R/S			545.769
122	R/S 40.1 R/S			-(0.569)² - 1.400
	GTO 4 R/S			535.800
	R/S			d ₁ V ₁ - 1.108
23	R/S			-0.4
	R/S			-0.450
0.51	R/S			-0.850
36.32	R/S			-671.186
0.06	CHS R/S			-0.100
36.23	R/S			677.779
341	R/S 42.1 R/S			-(1.833)² - 0.800
0.31	R/S			-0.517
37.12	R/S			-693.120
0.09	R/S			-0.150
37.22	R/S			702.144
241	R/S 40.2 R/S			-(1.433)² - 1.400
	GTO 4 R/S			686.057
	R/S			-V ₂ - 1.833
27.4	R/S			-1.000
	GTO 5 R/S			3.000
857	R/S			O - 11808.507
	R/S			A - 8575.598
	R/S			V - 1.377

NOTA: em azul em cinza
 * velocidade V₁ (1° no visor)

PROGRAMA HP PARA O CÁLCULO DE UMA MEDIÇÃO PELO MÉTODO DO "BARCO EM MOVIMENTO".

1 – FÓRMULAS

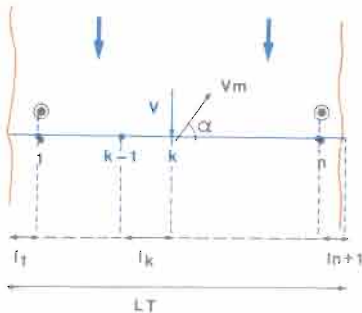
– $v_m = a N_i + b$
 a e b constantes do molinete
 N_i número de impulsos

– $v = v_m \text{ Sen} \alpha$

– $\ell_k = \ell \text{ Cos} \alpha$
 ℓ = distância teórica (cf. Ficha 8)

– Cálculo de Q e A pelo método da meia seção + correções finais (veja Ficha 8):

$$\left\{ \begin{array}{l} K_L = \frac{L_T}{\sum \ell_k} = \text{correção de largura} \\ K_v = \text{correção de velocidade} \end{array} \right.$$



2 – DADOS

Constantes armazenadas nas memórias antes de rodar o programa TECLA STO	Variáveis por ordem de entrada TECLA R/S	Resultados por ordem de saída TECLA R/S
a STO 0 b STO 1 L_T STO 2 ℓ STO 3 K_v STO 4	ℓ_1 distância bóia-margem α P_t N_i } n vezes ℓ_{n+1} distância bóia-margem	Contador indicando o número da vertical Ao final: K_L comp. de largura Q vazão total A área da seção \bar{v} \bar{v}_{1m} vel. média 1m

3 -- OPERAÇÃO

PRELIMINAR: Entrada do Programa (veja lista no verso)
ON, **gP/R**, **fClear PRGM** → teclar o programa executar o exemplo-teste.

PARA UMA MEDIÇÃO

- 1 – **ON** entrar as 5 constantes conforme tabela acima
- 2 – ℓ_1 **fE** → aparece 1.000 no visor
- 3 – teclar sucessivamente α , P_t , N_i de cada vertical – Ao fim do cálculo aparece no visor o índice da vertical seguinte
- 4 – Quando aparecer no visor o valor n+1, teclar **GTO** 5 **R/S** e a seguir ℓ_{n+1} **R/S**.
 Ler os resultados, teclando **R/S** cada vez.

PROGRAMA PARA HP 15 C

VISOR			VISOR			VISOR		
Linha	Código	INTRODUÇÃO	Linha	Código	INTRODUÇÃO	Linha	Código	INTRODUÇÃO
000	//////	//////////	030	45.20.,2	RCLx.2	060	44.25	STO 1
1	42.21.15	f LBL E	1	2	2	1	31	R/S
2	44 4	STO 5	2	10	÷	2	45 ,0	RCL .0
3	44 8	STO 8	3	44.40. 9	STO+ 9	3	45.20.25	RCL x 1
4	0	0	4	45.20. 6	RCLx 6	4	45.20. 4	RCL x 4
5	44 7	STO 7	5	44.40.,0	STO+0	5	31	R/S
6	44 9	STO 9	6	42.21. 2	f LBL 2	6	44 ,0	STO .0
7	44 ,0	STO .0	7	45 25	RCL 1	7	45 9	RCL 9
8	44 ,1	STO .1	8	44 ,2	STO .2	8	45.20.25	RCL x 1
9	42.21. 1	f LBL 1	9	45 ,3	RCL .3	9	31	R/S
010	1	1	040	45.20. 0	RCLx 0	070	44 9	STO 9
1	44.40.,1	STO+.1	1	45.40. 1	RCL+ 1	1	10	÷
2	45 ,1	RCL .1	2	45 4	RCL .4	2	31	R/S
3	31	R/S	3	23	SIN	3	45 7	RCL 7
4	43 2	g→H	4	20	x	4	45 ,1	RCL .1
5	44 ,4	STO .4	5	44 6	STO 6	5	1	1
6	31	R/S	6	44.40. 7	STO+ 7	6	30	÷
7	44 25	STO 1	7	22 1	GTO 1	7	10	÷
8	31	R/S	8	42.21. 5	f LBL 5	8	43 32	g RTN
9	44 ,3	STO .3	9	31	R/S			
020	1	1	050	44.40. 8	STO + 8			
1	45 ,1	RCL .1	1	45.40. 5	RCL + 5			
2	43.30. 5	g TEST 5	2	2	2			
3	22 2	GTO 2	3	10	÷			
4	45 ,4	RCL .4	4	45.20.,2	RCL x.2			
5	24	COS	5	44.40. 9	STO + 9			
6	45.20. 3	RCL x3	6	45.20. 6	RCL x 6			
7	44.40. 8	STO+ 8	7	44.40.,0	STO + 0			
8	42. 4. 5	f x = 5	8	45 2	RCL 2			
9	45.40. 5	RCL+ 5	9	45.10. 8	RCL - 8			

EXEMPLO - TESTE

1 - DADOS

Equação do molinete $v = 0,0054 N_i + 0,0237$
 $L_T = 210m$ $L = 89m$ $K_v = 0,95$

α^0	P_i m	N_i	OBS.
46	15	500	$L_1 = 50m$
38	21	600	1ª bóia
42	18	480	2ª bóia $L_n = 35m$

2 - OPERAÇÃO E RESULTADOS

0,0054 [STO] 6 0,0237 [STO] 1
 210 [STO] 2 89 [STO] 3 0,95 [STO] 4

50 [TE] - 1,000
 46 [R/S] 15 [R/S] 500 [R/S] - 2,000
 38 [R/S] 21 [R/S] 600 [R/S] - 3,000
 42 [R/S] 18 [R/S] 480 [R/S] - 4,000
 [GTO] 5 [R/S] - 4,000
 35 [R/S] K_1 - 0,945
 [R/S] Q - 5620,185
 [R/S] A - 3076,950
 [R/S] V - 1,827
 [R/S] V_{1m} - 1,906

NOTA: em laranja → índice k
 em cinza → resultados