

CIÊNCIA E TECNOLOGIA

MEDIÇÃO DE VAZÃO COM ADCP* ~ PRIMEIROS RESULTADOS NA BACIA AMAZÔNICA

*CORRENTÔMETRO ACÚSTICO POR EFEITO DOPPLER

* Jean Loup Guyot
** Sylvio Christino da Conceição

*** Valdemar Santos Guimarães
**** João Bosco Rondon dos Santos
***** Reginaldo Simões Longuinhos

Resumo

Com o objetivo de testar o equipamento ADCP (correntômetro acústico com efeito Doppler), recentemente adquirido para o programa HiBAM (Hidrologia da Bacia Amazônica, convênio DNAEE/CNPq/ORSTOM), foi desenvolvida uma campanha de medição de descarga líquida no rio Amazonas.

Introdução

Com a presença de um engenheiro da empresa fornecedora do equipamento (RDI, San Diego, USA), essa primeira campanha serviu igualmente para o treinamento do pessoal técnico do DNAEE/CPRM, incorporando essa nova tecnologia na operação da rede hidrométrica do DNAEE.

Essa operação beneficiou a logística do *Curso Internacional de Medição de Descarga Líquida em Grandes Rios*, organizado pelo DNAEE/OMM, com a participação da CPRM, em Manacapuru, Amazonas, no período de 8 a 16 de setembro de 1994. Os resultados obtidos com o ADCP puderam assim ser comparados com os valores obtidos através dos métodos usualmente utilizados, durante o referido curso.

O Equipamento ADCP

O ADCP de grande amplitude transmite impulsos sonoros na água. As partículas dispersas na água refletem os impulsos para o equipamento, o qual capta seu eco. Assim como o eco retorna do fundo da coluna d'água, o equipamento recebe diferentes respostas de eco

correspondentes a diferentes profundidades, o que permite formar perfis verticais com a informação recebida.

O movimento das partículas na água em relação ao equipamento faz com que ocorram modificações na frequência do eco. O equipamento mede essas frequências, o efeito Doppler, como uma função da profundidade, obtendo a velocidade da água em mais de 128 níveis diferentes de profundidade. Para se tentar, através de métodos tradicionais, reproduzir as medições realizadas com esse equipamento seriam necessários cerca de 128 molinetes posicionados verticalmente e ligados, em série, por um mesmo cabo (Figura 1).

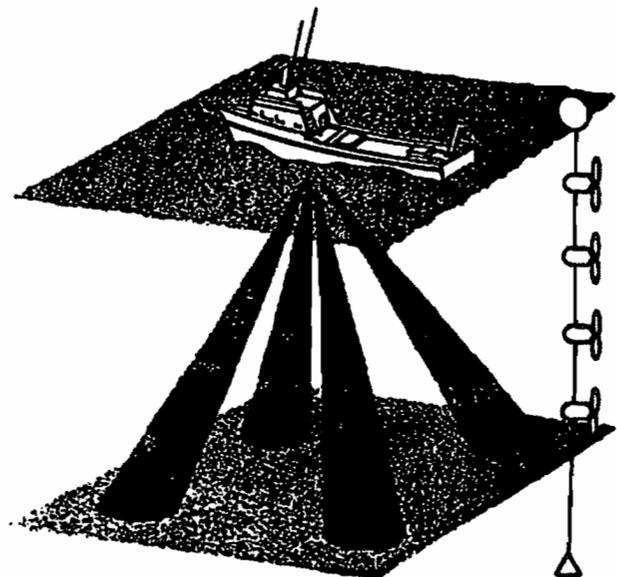


Figura 1 – Ilustração da operação com ADCP

* Eng. Hidrólogo - ORSTOM
** Eng. Hidrólogo - Superintendência Regional da CPRM em Belém
*** Eng. Hidrólogo - DNAEE
**** Hidrotécnicos - DNAEE

O ADCP de grande amplitude possui ainda outras funções, bastante úteis: registra seu próprio movimento em relação ao fundo do rio, a altitude acima do fundo, bem como registra o perfil de intensidade do eco do material em suspensão (RDI, 1989).

O ADCP comprado pelo projeto HiBAm (DNAEE/ORSTOM) corresponde à versão de 300 KHz, para poder medir profundidades de até 120 m, em rios com alta concentração de sedimentos. Esse equipamento foi instalado em barco da CPRM, Superintendência Regional de Belém, especialmente preparado para essa campanha.

Para se ter uma idéia da eficiência do equipamento, uma medição de vazão do rio Solimões, em Manacapuru (com 3200 m de largura), foi efetuada em 28 minutos, representando um número de 460 verticais, com medição da velocidade a cada 2 m de profundidade. Na mesma seção de Manacapuru, uma medição de vazão pelo *Método dos Grandes Rios* levaria, pelo menos, 8 horas, medindo 2 pontos em cada uma das 20 verticais.

Avaliação dos Resultados

Durante o Curso Internacional de Medição em Grandes Rios (DNAEE/OMM), as medições no rio Solimões, em Manacapuru, foram realizadas segundo diferentes métodos clássicos e com o equipamento ADCP. Os resultados obtidos (Tabela 1) mostram que o erro na medição com o ADCP foi menor que 1%. Para os métodos convencionais, o desvio observado

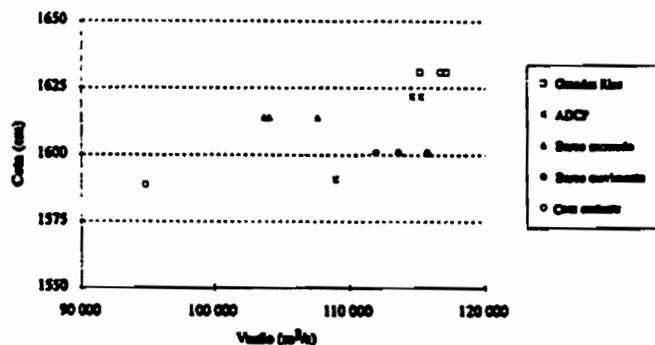


Figura 2 – Medições de descarga líquida do rio Solimões, em Manacapuru

corresponde, de fato, ao erro de cálculo das vazões pelos diversos métodos. Esse erro é mais elevado que aquele do método do ADCP, que representa efetivamente duas medidas distintas.

Uma comparação mais eficiente dos resultados obtidos pelos diferentes métodos não foi possível, devido à grande variação do nível do rio registrada durante essas medições (42 cm, em 5 dias). Os valores obtidos pela técnica do barco ancorado foram muito baixos, sendo que a equação do molinete utilizado provavelmente não estava correta (Figura 2). Com o método do barco não-ancorado posicionado com sextante e integração vertical das velocidades, obteve-se um resultado subestimado.

Medição dos Rios Solimões, Negro, Amazonas, Madeira, Trombetas e Balanço de Descarga nas Confluências

Após a realização do Curso Internacional de Medição em Grandes Rios, uma campanha de

Data	Método	Cota (cm)	Vazão (m³/s)	Desvio (%)	Vazão Média (m³/s)
11/09/94	Barco não-ancorado com teodolitos (Grandes Rios)	1.631	117.150	1.7	116.340
			115.170		
			116.700		
12/09/94	Correntômetro acústico com efeito Doppler (ADCP)	1.622	114.590	0.6	114.920
13/09/94	Barco ancorado	1.614	103.700	3.8	105.140
			107.650		
			104.080		
14/09/94	Barco em movimento (Moving Boat)	1.601	113.570	3.3	113.730
			115.700		
			111.930		
15/09/94	ADCP	1.591	108.940	-	-
15/09/94	Barco não-ancorado com sextante	1.589	94.850	-	-

Tabela 1 – Medições de descarga líquida do rio Solimões, em Manacapuru

Data	Local de Medição	Vazão (m ³ /s)	Desvio (%)	Vazão Média (m ³ /s)
12/09/94	Rio Solimões em Manacapuru	114.590		
		115.250	0.6	114.920
15/09/94	Rio Solimões em Manacapuru	108.940	-	-
17/09/94	Rio Negro em Manaus	49.090		
		50.160	2.2	49.625
19/09/94	Rio Negro em Manaus	46.240		
		46.690	1.0	46.465
19/09/94	Rio Solimões em ilha dos Mouras	98.920	-	-
19/09/94	Paraná do Careiro	11.930		
		12.370	3.6	12.150
19/09/94	Rio Amazonas no encontro das águas	133.880		
		133.890	0.0	133.885
20/09/94	Rio Madeira na foz	5.990		
		5.890	1.7	5.940
20/09/94	Rio Amazonas em Itacoatiara	152.830		
		147.650	3.4	150.240
21/09/94	Rio Trombetas em Oriximiná	4.460		
		4.580	2.7	4.520

Tabela 2 - Medições de descarga líquida com ADCP, setembro de 1994

medição de descarga líquida foi realizada de Manaus até Óbidos. Os resultados obtidos estão apresentados na Tabela 2.

Na medida do tempo disponível, várias medições foram realizadas em cada seção e os resultados mostram que o desvio é sempre inferior a 4%. Esse valor é, na realidade, variável e depende do modo de calibração do ADCP. Os melhores resultados foram obtidos com o equipamento configurado com células de profundidade de 2 m.

Um balanço de vazões pôde ser calculado nas confluências dos rios Solimões-Negro e Amazonas-Madeira. Os resultados obtidos (Tabela 3) indicam claramente que as medições com o ADCP têm uma precisão notável para esses tipos de rios (desvio 1,5%).

Uma pane ocorrida no equipamento ADCP não permitiu efetuar a série de testes inicialmente prevista para Óbidos, considerada como a estação hidrométrica de referência da bacia

Amazônica. Essa pesquisa será realizada posteriormente.

Análise da Informação Fornecida pelo ADCP

A primeira imagem produzida pelo programa TRANSECT (Figura 3), fornecido pela RDI com o ADCP, indica o caminhamento do barco, a direção e intensidade das velocidades medidas a 5,6 m de profundidade, o que corresponde à primeira célula medida numa configuração estabelecida para 2 m por célula, sendo que a direção do norte magnético é indicada no alto do gráfico. O segundo gráfico representa o perfil transversal do campo das velocidades, com a margem esquerda, à esquerda e a margem direita, à direita. Esse gráfico exibe a distribuição das velocidades horizontais na seção, utilizando, originalmente, uma escala de cores passando do azul, para as mais fracas velocidades, ao vermelho para as mais fortes. O terceiro gráfico mostra um perfil transversal do rio, mas representa a distribuição da energia absorvida pelo meio (*relative backscatter*). Esse valor é uma função dos teores de matérias em suspensão.

	Vazão (m ³ /s)	Desvio (%)
Rio Negro + rio Solimões	145.385	
Parana do Careiro + rio Amazonas	146.035	0.4
Parana do Careiro + rio Amazonas + rio Madeira	151.975	
Rio Amazonas em Itacoatiara	150.240	1.1

Tabela 3 - Balanço de vazões nas confluências

A seção de medição no rio Solimões em Manacapuru

(Figura 3) mostra um canal profundo, denominado *canal do Moacyr*, bem conhecido dos hidrólogos que trabalham na região Amazônica. A distribuição das velocidades é regular, com um máximo no centro da seção, e os valores mais fracos no fundo e próximos das margens. Os materiais em suspensão apresentam uma distribuição horizontal, com os mais fortes teores no fundo, o que confirma os resultados das amostragens anteriores.

A medição no *rio Negro em Manaus* foi a primeira, porque as fracas velocidades observadas impediam até aquela data as medidas de descarga líquida com molinete. A seção de medição apresenta igualmente uma parte estreita e mais profunda, como a de Manacapuru. Se a distribuição das velocidades é normal, aquelas dos materiais em suspensão apresentam um máximo na margem esquerda, podendo corresponder à dos afluentes da cidade de Manaus.

A medição no *rio Solimões em ilha dos Mouras* foi também a primeira, já que essa seção não se presta para uma medição clássica, devido à presença de ilhas e de paranás. Esse fato não apresenta obstáculo à utilização do ADCP, sobre uma seção não-retilínea e permite a medição da descarga líquida do rio. A seção apresenta dois canais já individualizados a montante da ilha dos Mouras. A distribuição dos materiais em suspensão é comparável aquela observada em Manacapuru.

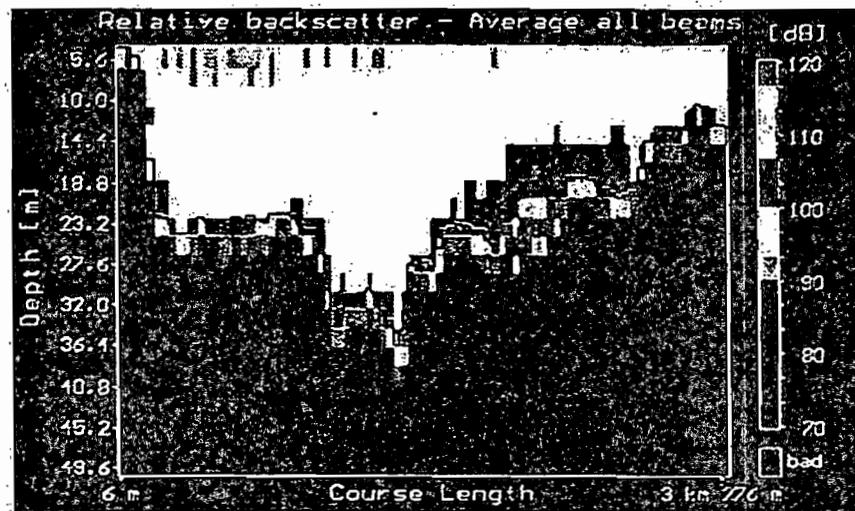
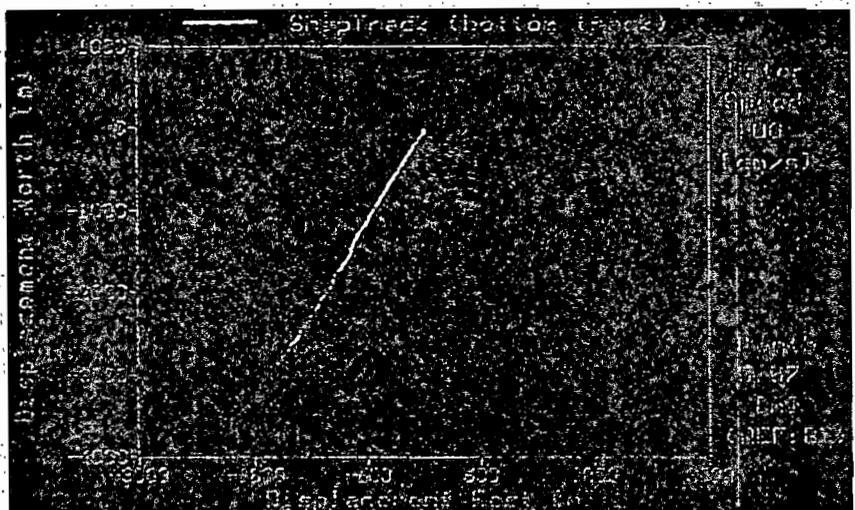


Figura 3 – Seção de medição no rio Solimões, em Manacapuru (15/09/1994 - 108,930 m³/s)

A medição efetuada no Paraná do Careiro mostrou uma certa turbulência, visível tanto no gráfico das velocidades, quanto no dos materiais em suspensão.

O fundo relativo ao ponto de *encontro das águas* do rio Negro e do rio Solimões, a jusante de Manaus, é particularmente demonstrativo no que concerne à distribuição dos materiais em suspensão. A margem esquerda (rio Negro) apresenta teores de sedimentos mais fracos que o da margem direita (rio Solimões). A mistura das águas é retardada pela existência de dois canais distintos em profundidade. A distribuição das velocidades mostra muito bem que o escoamento do rio Solimões é mais rápido que o do rio Negro.

A medição no *rio Madeira* foi realizada no período da estiagem (velocidades baixas). A seção apresenta igualmente um buraco como em Manacapuru. Os materiais em suspensão, em pouca quantidade, distribuem-se igualmente segundo um gradiente vertical, com os mais fortes teores observados junto ao fundo do rio.

A seção do *rio Amazonas em Itacoatiara*, situada na saída de uma curva, é particularmente profunda e estreita. O gráfico de distribuição das velocidades mostra que as velocidades mais fortes são registradas na margem esquerda e, na margem direita, as velocidades são negativas, devido a uma zona de remanso. Contudo, não impediu que o programa TRANSECT calculasse a verdadeira descarga líquida do rio Amazonas. Os mais fortes teores dos materiais em suspensão foram observados perto da zona de remanso.

O gráfico do *rio Trombetas em Oriximiná* mostrou novamente o fenômeno de mistura das águas de origens diferentes. Na margem direita, as águas carregam os sedimentos do rio Nhamundá e, na margem esquerda, notam-se as águas mais claras do rio Trombetas.

Conclusão

Os primeiros resultados obtidos com o ADCP, no rio Amazonas e seus principais formadores, são muito interessantes para os estudos hidrológicos em curso. O ADCP demonstrou ser uma ferramenta notável para a medição das velocidades e das descargas líquidas dos rios da bacia Amazônica.

Os dados relativos à observação da energia absorvida são importantes aos estudos de distribuição do material em suspensão na seção de medição. Nas próximas experiências, será enfatizada a calibração dessa informação com um amostrador pontual de sedimentos.

Referências Bibliográficas

- GUYOT, J.L.; GUTMARÃES V.; RONDON, J.B.S.; LONGUINHOS, R.S.; DA CONCEIÇÃO S. 1994. Primeira campanha de medições de vazão com ADCP (correntômetro com efeito Doppler) no rio Amazonas. Publ. HiBAm, Brasília, 29 p.
- RDI. 1989. Acoustic doppler current profilers. Principles of operation : a practical primer. Publ. RDI, San Diego, 36 p.

Guyot Jean-Loup, Christino da Conceição S., Santos
Guimaraes V., Rondon dos Santos J.B., Simoes Longuinhos R
Medição de vazão com ADCP : primeiros resultados na bacia
Amazonica : correntometro acustico por efeito Doppler
A Agua em Revista, 1995, (4), p. 26-30.