

# MEDIÇÕES DE DESCARGA LÍQUIDA: MÉTODO CONVENCIONAL x MÉTODO ACÚSTICO. COMPARAÇÃO DE RESULTADOS

Irani dos Santos<sup>1</sup>, Júlio Gomes<sup>1</sup> e Homero Buba<sup>2</sup>

**Resumo** - Na tentativa de acompanhar a evolução que vem acontecendo no processo de aquisição de dados hidrológicos, o presente trabalho faz uma comparação entre medições de descarga líquida realizadas pelos métodos convencional com molinete e acústico com ADCP. Os resultados apresentados não indicaram tendenciosidade devido ao uso do ADCP. Destaca-se as facilidades técnicas e operacionais do uso do método acústico.

**Abstract** - Trying to follow the development that has happened in hydrological data acquisition, this article presents a comparison of discharge measurements produced by conventional method, using the current meter, and acoustic method, using the ADCP. The results didn't indicate bias with the use of the ADCP. Technical and operational facilities of the use of the ADCP are emphasized.

**Palavras-chave** - medição de vazão, método convencional, método acústico, ADCP

## INTRODUÇÃO

Atualmente, um dos campos que mais tem evoluído em Hidrologia é o de aquisição de dados hidrológicos. Especificamente, no caso de medições de descarga líquida, o método convencional, que utiliza o molinete hidrométrico, têm sido complementado pelo método acústico, que baseado no conceito do efeito *Doppler*, permite a obtenção de descargas líquidas de modo consideravelmente mais rápido e seguro. No presente artigo, são apresentados os resultados de algumas campanhas de medição de vazão pelo método acústico, realizadas pela Companhia Paranaense de Energia (COPEL) em postos fluviométricos de algumas bacias do estado do Paraná. Os resultados obtidos são analisados em relação a campanhas simultâneas com o método convencional e em relação às curvas chaves existentes nos postos fluviométricos.

## MÉTODOS PARA MEDIÇÃO DE DESCARGA LÍQUIDA

### Método Convencional

O método convencional de medição de descarga líquida, conhecido como área-velocidade, consiste na utilização de um molinete hidrométrico para a determinação da velocidade e na representação da seção transversal, segundo um número adequado de verticais. O número de verticais de medição de velocidades e profundidades varia entre 20 e 25 e depende basicamente da largura do rio na seção de medição.

O número de pontos de medição da velocidade em cada vertical depende do método de medição. Segundo Carvalho (1976), adota-se, por hipótese, que a distribuição de velocidades na vertical apresenta valores nulos próximo ao leito e cresce rapidamente até um valor praticamente constante. Essa distribuição teórica permite um menor número de amostras por vertical.

No presente artigo, as medições convencionais foram obtidas através do método dos "dois pontos" ou método americano, onde mede-se somente dois pontos na vertical: um a 20% da profundidade total e outro a 80%. Para profundidades inferiores a um metro, mede-se apenas um ponto, situado a 60% da profundidade. O posicionamento das verticais foi definido utilizando-se cabo de aço nas seções com até 200 m de largura. Para seções com largura superior a 200 m, o posicionamento das verticais foi obtido através de um distanciômetro.

Para o cálculo da vazão, adotou-se o método da meia-seção, descrito em Carvalho (1976). No referido método, supõe-se que a velocidade média em cada vertical representa a velocidade média em uma área retangular parcial. A largura do retângulo é dada pela distância entre o ponto médio da vertical em análise e da vertical anterior e o ponto médio da vertical em análise e da vertical posterior. A altura do

<sup>1</sup> Centro de Hidráulica e Hidrologia Professor Parigot de Souza, Convênio COPEL/UFPR, Caixa Postal 1309, CEP 80001-970, Curitiba, PR, Fone: (041) 366-2020 (r. 6312), Fax: (041) 266-2935

<sup>2</sup> Companhia Paranaense de Energia (COPEL), Rua Padre Agostinho, 3500, CEP 80710-000, Curitiba, PR, Fone: (041) 331-4133, Fax: (041) 335-7788, e-mail: irani@cch.copel.br - julio@cch.copel.br - homero@mail.copel.br

retângulo é dada pela distância entre a superfície da água e o fundo na vertical em análise, ou seja, é a própria profundidade medida.

### **Método Acústico**

O método acústico fundamenta-se no efeito *Doppler* para, principalmente, determinação do perfil de velocidade da corrente e, por consequência, cálculo da descarga líquida total. As medições pelo método acústico foram realizadas utilizando-se o aparelho ADCP (*Acoustic Doppler Current Profile*). O referido aparelho utiliza técnicas de sensoriamento remoto, através do efeito *Doppler*, para medição de vazão. A velocidade do escoamento é calculada a partir de sinais acústicos enviados pelo aparelho e refletidos pelas partículas sólidas naturalmente presentes na água. Em Gordon (1989), descreve-se o funcionamento básico do ADCP, que consiste em emitir pulsos acústicos ao longo de feixes estreitos em uma frequência conhecida. A diferença das frequências dos sons emitidos e refletidos é proporcional a velocidade relativa entre o barco e as partículas imersas na água.

Como apresentado em Gordon (1989), o som é refletido, primeiramente, pelo zooplâncton e por pequenas partículas de sedimento em suspensão. Na frequência de 1200 kHz, a dimensão dominante das partículas em suspensão é cerca de 0,2 mm. Partículas desta dimensão tendem a se mover junto com a água, fornecendo uma estimativa da velocidade do fluxo. O equipamento básico é composto de: um **transdutor**, responsável pela emissão dos pulsos acústicos e pela detecção do som refletido pelas partículas sólidas; um **processador**, responsável pela coleta e armazenamento das leituras e um **deck box**, responsável pela interface entre o processador, um microcomputador e a alimentação. Pode-se acoplar um microcomputador ao processador para acompanhamento das medições em tempo real.

No processo de medição, a seção transversal é dividida em células de dimensões  $\Delta z$  (profundidade) e  $\Delta L$  (largura). A dimensão  $\Delta L$  é função da velocidade do barco. A medida efetuada pelo ADCP é uma média sobre cada elemento de área definido por  $\Delta z$  e  $\Delta L$ . Gordon (1989), discute as principais fontes de erros das medições de descarga líquida no uso do ADCP, destacando a necessidade de utilização de funções de extrapolação para representação da parcela de vazão junto à superfície, às margens e ao leito do rio.

### **COMPARAÇÃO ENTRE AS MEDIÇÕES COM O ADCP E PELO MÉTODO CONVENCIONAL**

Em 15 estações fluviométricas foram realizadas medições simultâneas de vazões com o ADCP e com método convencional, apresentadas na Tabela 1. Procurou-se realizar as medições pelos dois métodos sempre nas mesmas seções transversais. Destaca-se que nas campanhas com o ADCP são feitas cerca de 10 travessias, cada uma resultando em uma medição. Assim, nas medições com o ADCP, para comparação com as medições convencionais e com as vazões das curvas de descarga, determinou-se a cota e a vazão média de cada campanha. Esta simplificação não introduz erros já que, para as estações analisadas, a variação de cotas durante as medições foi muito pequena.

Para avaliação dos resultados obtidos, procurou-se analisar as diferenças relativas (desvios) entre as vazões medidas pelo método convencional e pelo ADCP. Dois testes estatísticos foram aplicados: a) para a média dos desvios e b) para correlação entre os desvios e alguma característica das medições. As características analisadas foram: vazão, área da seção, profundidade média, velocidade média e porcentagem da vazão medida pelo ADCP em relação à vazão total. Os resultados dos testes indicaram que a hipótese de média dos desvios igual a zero é aceita para um nível de significância de 5%. Para o mesmo nível de significância, a hipótese de correlação nula entre os desvios e cada uma das características das medições também situou-se na região de aceitação.

Adicionalmente, a Figura 1 apresenta a correlação entre as vazões medidas pelo ADCP e pelo método convencional. Testou-se estatisticamente o coeficiente angular da reta de regressão. A hipótese adotada foi a de que o mesmo fosse igual a 1, que representa igualdade entre as medições. Novamente, para um nível de significância de 5%, a hipótese adotada situou-se na região de aceitação. Destaca-se que o número de medições simultâneas ainda é pequeno (15 medições).

### **COMPARAÇÃO ENTRE MEDIÇÕES DE DESCARGA E CURVAS DE DESCARGA**

Os dados utilizados são referentes a 48 campanhas de medição de vazão com ADCP, apresentadas na Tabela 1, realizadas em 22 estações fluviométricas localizadas nas bacias dos rios Tibagi, Ivaí e Iguaçu. Para avaliação dos resultados obtidos, procedeu-se como no item anterior, procurando analisar as diferenças relativas (desvios) entre as vazões medidas pelo método convencional e as vazões fornecidas pelas curvas chave das estações fluviométricas. Os resultados dos testes estatísticos indicaram que a hipótese de média dos desvios igual a zero é aceita para um nível de significância 5%. Para o mesmo nível de significância, foi aceita a hipótese de correlação nula entre os desvios e as variáveis: vazão, área da seção e velocidade média. Quanto à profundidade média e à porcentagem da vazão medida pelo ADCP

em relação à vazão total, a hipótese de correlação igual a zero foi rejeitada ao nível de significância de 5%. Os valores de coeficiente de correlação (r) calculados, respectivamente, foram: -0,312 e -0,315, que sugerem que quanto maiores, a profundidade média e a porcentagem da vazão medida pelo ADCP em relação a vazão total, menores os desvios. Adicionalmente, a Tabela 2 apresenta os desvios das medições de vazão pelo método convencional e pelo ADCP em relação às vazões fornecidas pelas curvas de descarga dos postos analisados.

### **COMPARAÇÃO DE MEDIÇÕES DE VAZÃO PELO MÉTODO CONVENCIONAL E COM ADCP EM UMA SEÇÃO ATÍPICA**

A estação fluviométrica Salto Caxias (65975000), devido às características geológicas da região, não oferece as condições hidráulicas ideais para a instalação de uma seção de medição através do método convencional. Entretanto, instalou-se em 01/10/1976, a referida estação em função dos estudos relativos à U. H. Salto Caxias. Nesta estação, a última mudança de controle ocorreu na cheia de maio/junho de 1983, assim, houve a necessidade de determinação de uma nova relação cota x descarga, utilizando-se medições convencionais realizadas após 1983.

Nos anos de 1996 e 1997, foram realizadas 17 campanhas, totalizando 123 medições com ADCP, obtendo-se valores de vazões sistematicamente menores que as vazões obtidas através da curva-chave do período mais recente. Nestas medições, verificou-se que a seção apresenta pontos de refluxo, além de componentes de velocidade com desvios horizontais não perpendiculares à seção e desvios verticais.

Pelas características dos métodos, o método convencional tende a superestimar as velocidades neste tipo de seção, pois não identifica a direção do escoamento. Já o ADCP considera as componentes de velocidades perpendiculares a seção medida, corrigindo também os desvios verticais. A Figura 2 apresenta uma comparação entre as medições convencionais, realizadas entre 08/1983 e 12/1995, e as medições com o ADCP.

### **CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES**

O método acústico apresenta vantagens técnicas e operacionais em relação ao convencional para uma ampla faixa de condições, tendo eliminado algumas sérias limitações dos molinetes, como a não identificação da direção das velocidades. Para profundidades pequenas, entretanto, continua sendo indispensável o método convencional, em função do decréscimo da porcentagem de vazão diretamente medida pelo ADCP em relação à vazão total, o que influi na qualidade dos resultados.

Os testes estatísticos não mostraram tendenciosidade das vazões medidas com o ADCP em relação ao método convencional. Destaca-se que o número de campanhas simultâneas realizadas é ainda pequeno.

Em uma seção atípica (Salto Caxias), onde as condições são desfavoráveis para medição com molinetes, o ADCP permitiu que se realizasse um grande número de medições, inclusive, de modo inédito, com vazões muito altas, que dificilmente seriam medidas pelo método convencional, permitindo obter a curva de descarga e a sua extrapolação com maior segurança.

### **AGRADECIMENTOS**

Às equipes de hidrometristas da SUDERHSA e da COPEL, pela dedicação no rotineiro trabalho de realização das campanhas de medição de vazão convencionais e com o ADCP.

### **REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

- CARVALHO, N. O. Medição de descarga líquida com molinete. In: **Saneamento**. Rio de Janeiro, out./dez., p. 260-266. 1976.
- GORDON, R. L. Acoustic measurement of river discharge. In: **Journal of Hydraulic Engineering**. Vol. 115, No. 7, July, p. 925-936. 1989.

Tabela 1- Campanhas de Medição de Descarga

Código	Nome da Estação	Data	Cota (m)	Vazão (m <sup>3</sup> /s) (1)	Vazão (m <sup>3</sup> /s) (2)	Vazão (m <sup>3</sup> /s) (3)	Porcentagem medida pelo ADCP	Área (m <sup>2</sup> )	Profundidade Média (m/s)
64.465.000	Tibagi	14/10/96	2,25	361	353	398	74	458	4,18
64.491.000	Barra Rib. das Antas	17/10/96	3,30	421	429	448	80	322	5,03
64.498.550	São Gerônimo	18/10/96	2,60	453	442	448	80	340	5,43
64.506.001	Chácara Ana Cláudia	18/10/96	3,22	412	450	446	83	990	7,10
64.655.000	Ubá do Sul	15/10/96	3,26	NR	1283	1281	85	1362	8,52
64.660.500	Vila Rica	15/10/96	3,01	NR	1479	1400	72	972	4,18
64.675.002	Porto Bananeiras	16/10/96	2,14	1055	1165	1188	71	1084	4,20
64.685.000	Porto Paraíso do Norte	16/10/96	3,88	1189	1347	1338	71	935	4,13
65.035.000	Porto Amazonas	04/09/96	1,96	120	109	108	55	170	2,33
		30/01/97	4,92	NR	354	352	77	384	4,15
65.060.000	S. Mateus do Sul	18/03/97	2,30	NR	164	140	68	230	3,07
65.100.000	Rio Negro	03/04/97	1,11	NR	41	44	60	80	1,49
		05/09/96	3,26	155	147	143	68	202	3,36
		28/01/97	5,49	NR	235	257	80	353	4,41
65.175.000	Divisa	03/04/97	1,53	NR	95	87	64	192	2,77
		05/09/96	3,42	252	239	222	77	333	4,30
		06/02/97	5,96	NR	488	460	82	542	6,15
65.208.000	Pontilhão	31/03/97	0,95	NR	16	16	65	88	2,65
		02/08/96	1,29	NR	21	22	66	100	2,85
		03/02/97	5,13	NR	116	122	82	300	3,90
65.220.000	Fluviópolis	01/04/97	1,05	NR	202	202	52	415	1,97
		02/08/96	1,26	NR	255	258	58	455	2,16
		27/06/96	2,16	498	521	524	67	650	3,05
		17/04/96	2,33	NR	587	574	67	690	3,22
		03/02/97	4,20	NR	1206	1180	78	1140	4,20
65.255.000	Irineópolis	01/08/96	2,32	NR	303	300	55	414	2,24
		26/06/96	3,89	679	691	690	70	731	3,92
		05/02/97	6,20	NR	1347	1390	80	1300	6,84
65.310.000	União da Vitória	01/04/97	2,04	NR	262	245	67	690	2,80
		31/07/96	2,43	NR	394	370	68	790	3,20
		18/04/96	3,35	NR	710	688	73	1020	4,05
		25/06/96	3,72	839	876	832	75	1110	4,42
		13/03/96	3,78	NR	882	857	72	1130	4,50
		17/11/96	4,03	NR	871	960	77	1200	4,70
65.285.000	Santa Clara	09/12/96	0,77	NR	67	60	53	250	2,25
		21/03/97	0,93	NR	96	88	57	265	3,39
65.960.000	Águas do Verê	15/04/97	0,76	NR	45	45	72	480	3,35
		08/01/97	1,16	NR	167	167	72	540	3,73
65.962.000	Flor da Serra	15/04/97	0,76	NR	47	47	43	265	1,72
		08/01/97	1,27	NR	201	201	52	343	2,18
65.986.000	Estreito Novo	07/05/96	2,68	NR	1301	1156	55	2050	2,44
		20/08/96	3,05	1444	1596	1540	61	2273	2,62
65.987.000	Porto Capanema	07/05/96	2,54	NR	1310	1400	86	4570	10,39
		20/08/96	2,68	1454	1457	1576	86	4681	10,60
65.993.000	Salto Cataratas	09/05/96	1,00	NR	1225	1180	75	3700	4,32
		22/08/96	1,04	1442	1359	1284	75	3740	4,36
		09/04/97	1,04	NR	1254	1284	90	3740	4,36
		10/04/97	1,06	NR	1403	1336	77	3765	4,40

(1) - Metodo Convencional; (2) - ADCP; (3) - vazão da curva de descarga

NR - Não foram realizadas campanhas simultâneas

Tabela 2 - Comparação dos desvios (%) da vazão obtida pelo ADCP e pelo método convencional em relação à curva-chave

Código da Estação	Vazão (m <sup>3</sup> /s) (1)	Vazão (m <sup>3</sup> /s) (2)	Vazão (m <sup>3</sup> /s) (3)	Desvio de (1) em relação à curva-chave	Desvio de (2) em relação à curva-chave
64465000	361	353	397	-9,0	-11,2
64491000	421	429	447	-5,7	-3,8
64498550	453	442	448	1,1	-1,3
64506001	412	450	446	-7,6	0,9
64675002	1055	1165	1206	-12,5	-3,4
64685000	1189	1347	1338	-11,2	0,6
65035000	120	109	108	10,7	0,6
65100000	155	147	143	8,1	2,7
65175000	252	239	222	13,7	7,7
65220000	498	521	537	-7,3	-2,9
65255000	679	691	609	-1,6	0,1
65310000	839	876	832	0,9	5,3
65986000	1444	1596	1522	-5,1	4,9
65987000	1454	1457	1538	-5,5	-5,3
65993000	1442	1359	1284	12,3	5,8

(1) método convencional; (2) ADCP; (3) curva-chave da estação

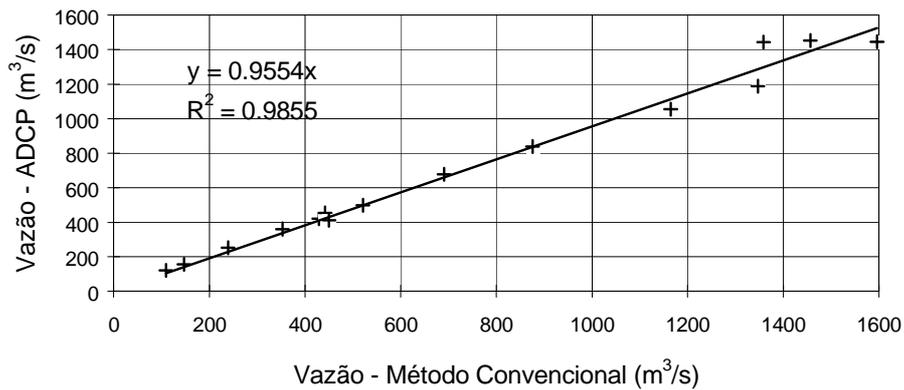


Figura 1 - Correlação entre os valores de vazão medidos pelo método convencional e pelo ADCP

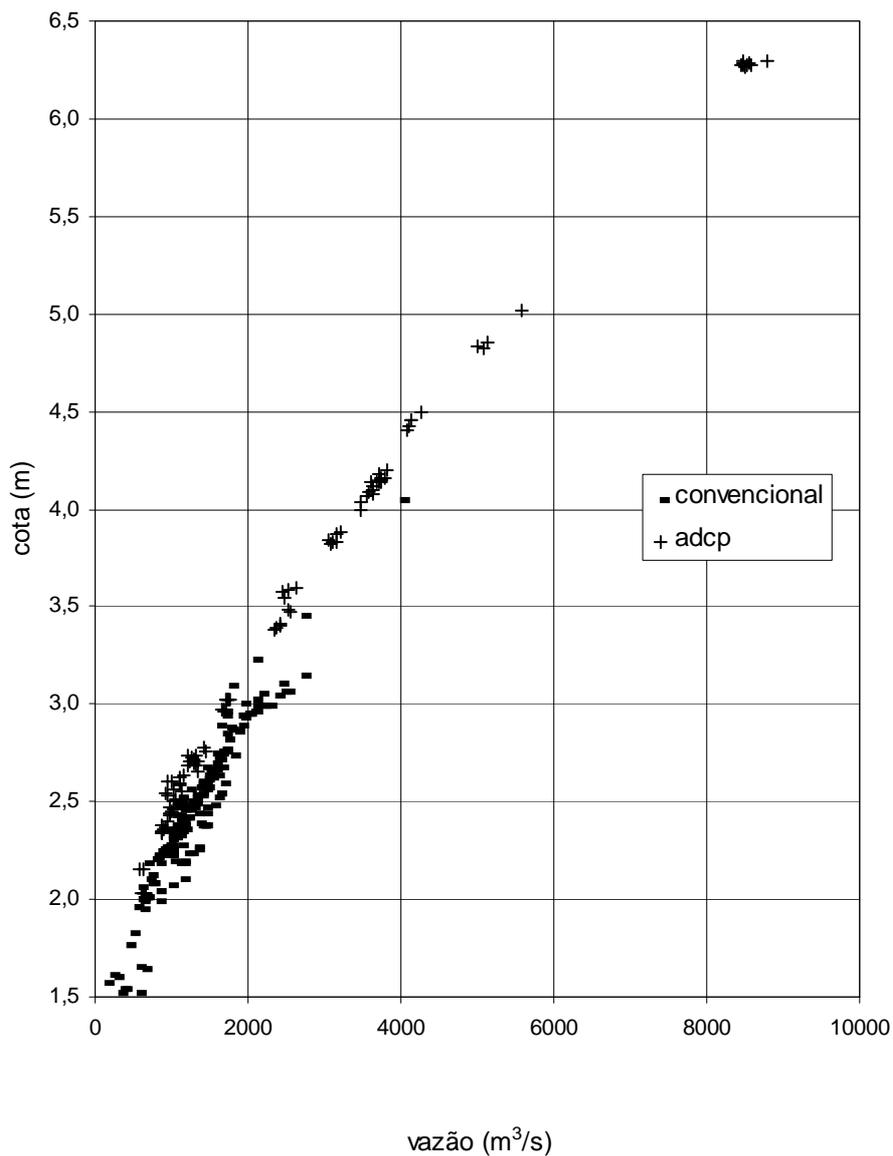


Figura 2 - Medições pelo ADCP e pelo método convencional na Estação Salto Caxias (65975000)