

IV-061 - COMPARATIVO DOS MEDIDORES DE VAZÃO ACÚSTICOS FLOWTRACKER E ADP (S5)

Joãozito Cabral Amorim Júnior⁽¹⁾

Biólogo pela Escola de Ensino Superior São Francisco de Assis (ESFA). Especialista em Ciências Biológicas pelo Centro Universitário Leonardo da Vinci. Técnico Ambiental da Companhia Espírito Santense de Saneamento (CESAN), professor do curso Centro de Tecnologia FAESA. Mestrando em Engenharia Ambiental pela Universidade Federal do Espírito Santo (UFES).

Sheena Rosário da Rocha

Graduanda em tecnologia de gestão ambiental pelo Centro Universitário Leonardo da Vinci.

Endereço⁽¹⁾: Av. Governador Bley, 186, Ed. BEMGE – 3º andar, Centro – Vitória – ES – CEP: 29.010-150 - Tel: (27) 2127-5062 - e-mail: joaozito.amorim@cesan.com.br

RESUMO

– A necessidade de atualização e melhorias na instrumentação e técnica de medição de vazão que nos últimos anos valeu-se de equipamentos e métodos tradicionais, fez com que a busca por novas tecnologias atingisse um patamar de excelência, trazendo a realidade da hidrometria uma nova geração de equipamentos de medição de vazão, os equipamentos acústicos Doppler. Este trabalho tem a finalidade de realizar uma análise comparativa dos resultados de medições de descargas líquidas, obtidos pelos métodos acústicos, utilizando-se os equipamentos FlowTracker - ADV (Velocímetro Acústico Doppler) e o ADP-S5 (Perfilador Acústico Doppler). Para isso foram realizadas medições utilizando os dois métodos no Rio Duas Bocas, a jusante da captação de água bruta, da estação de tratamento de água da Companhia Espírito Santense de Saneamento (CESAN).

PALAVRAS-CHAVE: Medição de vazão, FlowTracker, ADP-S5.

INTRODUÇÃO

A cada dia os recursos hídricos são compreendidos como fontes de valor econômico essencial para a sobrevivência e desenvolvimento dos seres vivos. A preocupação com a preservação do ambiente hídrico nas inúmeras atividades praticadas pelos seres humanos está evoluindo progressivamente. Devido a este fato, é importante que haja um gerenciamento adequado dos potenciais hídricos disponíveis no mundo. Para isso, o conhecimento do regime fluvial é fundamental.

Desde muito cedo na história da hidrometria, o homem vem buscando meios de decifrar as condições naturais dos rios, tanto para sua sobrevivência quanto para o seu uso, Tucci (2003).

Até o início dos anos 80, as medições eram realizadas exatamente iguais às de um século atrás. No entanto, a necessidade de atualização e a busca do resultado mais próximo à realidade, fizeram com que hidrólogos e hidrometristas buscassem utilizar novos métodos e meios para medir e equacionar as medições de vazões.

Com isso, busca-se por melhorias na instrumentação e a nas técnicas de medição, por um uso mais intensivo dos dispositivos de alta velocidade, os quais são computados por tecnologias emergentes que visam um grau elevado de precisão. Para Gamaro (2007) “[...] até os conceitos básicos de hidrometria devem ser revistos e adaptados, embora sem descartá-los, para essas medições”.

Atualmente está ocorrendo uma grande mudança dentro da hidrometria, em função dos novos equipamentos que estão sendo disponibilizados no mercado, os quais visam facilitar o trabalho em campo e aumentar o grau de confiabilidade dos dados pesquisados. A medição de descarga, dentro da hidrometria, é definida como o processo empírico que é utilizado para determinar a vazão de um canal ou curso de água. A vazão de um rio é o volume de água que passa por uma determinada seção transversal por uma unidade de tempo (SANTOS et al., 2001, p.119).

Existem diversos métodos para se determinar a descarga líquida de um curso de água. Em alguns casos, não se faz possível na prática, conhecer a descarga de um dado instante, se tornando medições demoradas e caras (TUCCI, 1993, p.501).

O presente trabalho teve como objetivo comparar as medições do FlowTracker com as medições do ADP S5, em uma seção transversal do rio Duas Bocas. O desenvolvimento desse trabalho contou com o apoio e a participação da Companhia de Espírito Santense de Saneamento (CESAN – ES).

MATERIAIS E MÉTODOS

Para a realização deste trabalho, onde constata uma análise comparativa dos resultados de medição de descargas líquidas, obtidos pelos métodos acústicos, faz-se uso dos equipamentos FlowTracker e o ADP S5, baseando-se em manuais de procedimentos operacionais padrão (POP), elaborado pela Companhia Espírito Santense de Saneamento (CESAN) e manuais do fabricante dos equipamentos.

Local do estudo

O rio Duas Bocas nasce da Reserva de mesmo nome que é abastecida pelos rios Panela, Naia-Assú e Pau Amarelo. Apesar da cobertura vegetal e preservação ambiental existente na reserva, sua produção de água é baixa. Mesmo assim, há uma represa da Companhia Espírito Santense de Saneamento (CESAN), no Rio Duas Bocas, que capta água para abastecer algumas comunidades do município de Cariacica, sem contar as captações feitas por agricultores para irrigação de plantações durante o percurso do rio. Antigamente, a Represa de Duas Bocas abastecia toda a região de Vitória. Isso não é mais possível devido ao crescimento populacional da Capital e região, sendo esse o motivo de hoje o rio só abastecer algumas localidades de Cariacica.

A captação de Duas Bocas, localizada a montante do ponto de medição tem como condicionante de outorga, conforme art 3º, manter um fluxo residual de $0,237 \text{ m}^3/\text{s}$. O referencial da vazão para o órgão ambiental (IEMA) é a $Q_{7,10}$. Por tanto, estimamos uma vazão maior que $0,237 \text{ m}^3/\text{s}$, que seria o fluxo residual obrigatório a ser mantida a jusante.

As medições de vazão foram realizadas no ponto a jusante da captação de água da Companhia Espírito Santense de Saneamento (CESAN), no rio Duas Bocas, em sua localização geográfica (24K – 345682E / 7757747N – datum WGS84), conforme figura 1.



Figura 1: Local do estudo reserva Biológica de Duas Bocas.

Medição de vazão a vau

As medições a vau, são realizadas em seções de pequena profundidade, onde não há a necessidade de barco. Nesta seção é instalada uma fita métrica, perpendicular à direção do fluxo primário, que servirá de guia para que o operador esteja alinhado com a seção transversal e para que se saibam as distâncias entre as verticais, bem como a largura total da seção (figura 2).



Figura 2: Medição de vazão a vau, com FlowTracker. (Fonte: Autor)

O FlowTracker é imerso na água, verticalmente, por uma haste graduada, para que se tenha a sondagem de profundidade de cada vertical e são medidas as amostras de velocidade em cada vertical e na profundidade que for conveniente ou necessário.

Para medição de vazão a vau utilizou-se o FlowTracker. Esse tipo de medição consiste em traçar a área da seção transversal e determinar a velocidade média do fluxo nessa seção. Medindo a largura do canal e a profundidade em diversos pontos, formando várias verticais no decorrer da seção, obtém-se a área transversal. Em cada vertical, medindo-se com o FlowTracker determinam-se várias velocidades em diferentes profundidades correspondentes. A velocidade média em cada vertical pode ser então determinada por métodos analíticos (SANTOS et al., 2001). A Tabela 1 mostra o cálculo das velocidades médias em até seis pontos para cada vertical.

Na seção transversal, foram medidas 22 estações com o FlowTracker e foram efetuadas em $0,6 \rightarrow (60\%)$ da profundidade, conforme tabela 1. A profundidade média da seção não ultrapassou de 0,6 m.

Tabela 1 - Tabela de cálculo das velocidades médias nas verticais pelo Método Detalhado

Nº de pontos	Posição na vertical em relação à profundidade (m)	Cálculo da velocidade média na vertical (m/s)	Prof. (m)
1	0,6p	$\bar{v} = v_{0,6}$	0,15 - 0,6
2	0,2p e 0,8p	$\bar{v} = (v_{0,2} + v_{0,8}) / 2$	0,6 - 1,2
3	0,2p; 0,6p e 0,8p	$\bar{v} = (v_{0,2} + 2v_{0,6} + v_{0,8}) / 4$	1,2 - 2,0
4	0,2p; 0,4p; 0,6p e 0,8p	$\bar{v} = (v_{0,2} + 2v_{0,4} + 2v_{0,6} + v_{0,8}) / 6$	2,0 - 4,0
6	S; 0,2p; 0,4p; 0,6p; 0,8p e F (*)	$\bar{v} = (v_s + 2(v_{0,2} + v_{0,4} + v_{0,6} + v_{0,8}) + v_f) / 10$	> 4,0

(*) S = superfície; F = fundo

Citada por SANTOS et al., 2001.

Praticamente, o número de verticais deve ser tal que a vazão média em cada vertical não ultrapasse 10% da vazão média total da seção. A Tabela 2 mostra algumas distâncias recomendadas entre as verticais. Foi adotada para este trabalho as distâncias entre as verticais em 0,4m, devido a extensão do rio Duas Bocas que é de 5,95m.

Tabela 2 - Distâncias recomendadas entre as verticais

Largura do canal (m)	Distância entre as verticais (m)
< 3,0	0,30
3,0 à 6,0	0,50
6,0 à 15,0	1,00
15,0 à 30,0	2,00
30,0 à 50,0	3,00
50,0 à 80,0	4,00
80,0 à 150,0	6,00
150 à 250,0	8,00
> 250,0	12,00

Citada por SANTOS et al., 2001

Para o cálculo de vazão, foi adotado o método da meia-seção, Carvalho (1976). O método supõe que a velocidade média de cada vertical é também a velocidade média de uma área retangular parcial. Essa área é calculada por metade da distância da vertical em análise em relação à vertical anterior, mais metade da distância até a próxima vertical, multiplicando-se pela profundidade medida. Portanto, a vazão de cada setor é dada por: área do setor X velocidade média da vertical e a vazão total da seção é o somatório das vazões de todos os setores.

FlowTracker – ADV

O FlowTracker ou ADV (velocímetro acústico Doppler) é um medidor *bistático* de velocidade pontual que se utiliza do efeito Doppler para medir a velocidade da água. *Bistático* se refere aos sensores: o sensor que envia a energia acústica não é o mesmo que recebe o retorno do eco, diferentemente dos medidores acústicos Doppler mais conhecido como os ADCPs e ADPs. Isto é uma grande vantagem, pois pode medir bem perto do transmissor (~10cm), em uma área chamada volume de amostragem (Figura 3).

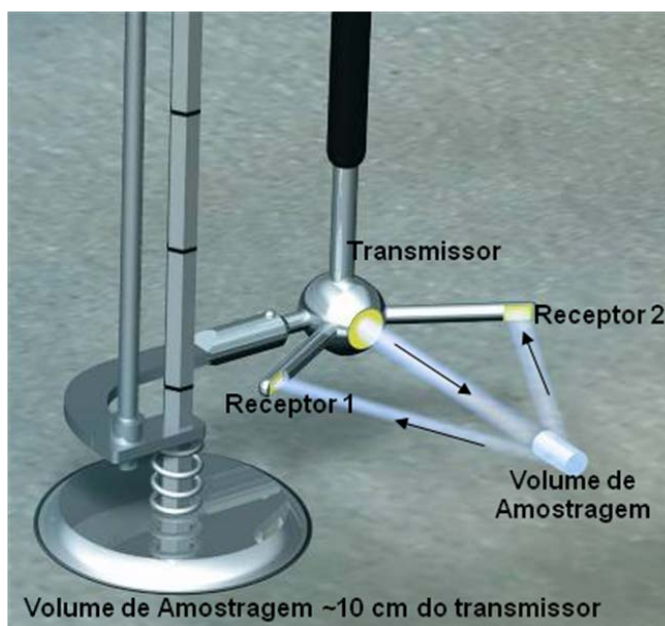


Figura 3 – Configuração do FlowTracker 2D (fonte: SONTEK).

A velocidade é medida da seguinte maneira: o transmissor gera um pulso curto de som, em uma frequência conhecida. O som viaja através da água pelo feixe do transmissor, como o pulso passa através do volume de amostragem, volume de amostra, o som é refletido em todas as direções pelo material particulado (sedimento, pequenos organismos). Uma porção da energia refletida viaja de volta através do feixe do receptor. O sinal refletido é amostrado pelos receptores acústicos. O FlowTracker mede a mudança de frequência para cada receptor. O efeito Doppler é proporcional a velocidade das partículas através dos vetores do receptor e do transmissor. A linha central *bistática* está localizada entre as linhas que recebem e transmitem o sinal. Sabendo-se a orientação relativa das linhas *bistáticas*, o FlowTracker pode calcular a velocidade da água. O processamento pulso a pulso coerente providencia o melhor desempenho possível de qualquer equipamento com tecnologia Doppler.

Dois pulsos de sons separados são enviados, por uma retardação de tempo. Cada receptor mede a fase do retorno do sinal para cada pulso. A mudança de fase, dividida pela retardação do tempo é proporcional a velocidade. Por conta da natureza da medição de fase, o sistema tem uma limitação de velocidade máxima inerente (± 5 m/s).

Perfilador Acústico Doppler (ADP – S5)

O ADP – S5, é um sistema projetado para medir vazões fluviais, profundidades, batimetria, dentre outras funções, desde uma embarcação em movimento ou estacionário. O S5 possui um sistema de cinco feixes, com quatro feixes de perfil e um feixe vertical (Figura 4), possuindo um alcance de até 5m de profundidade. Esses feixes são distribuídos em duas frequências diferentes: possui quatro transdutores de medição de velocidade de 3,0 MHz e os dados de profundidade são fornecidos por um feixe acústico vertical de 1,0 MHz, funcionando como um ecobatímetro.

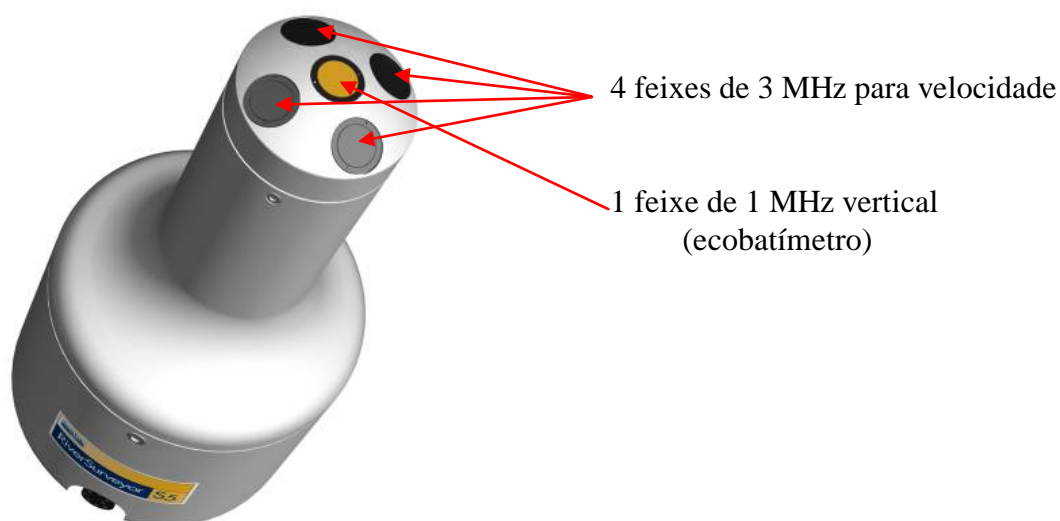


Figura 4 – Configuração do ADP – S5 (fonte: SONTEK).

O S5 mede a vazão fazendo uma transição automática entre *BroadBand* (Pulso coerente) e *NarrowBand* (pulso incoerente). O pulso coerente é um pulso relativamente curto, gravando o retorno do sinal, e apenas transmite um segundo pulso curto quando o primeiro não é mais detectável. O instrumento mede a diferença de fase (*Phase*) dos dois retornos e usa isso para calcular o efeito Doppler. Já o Pulso incoerente é um sistema que transmite um pulso único relativamente longo. Ouve a reflexão do som nas partículas na água e mede a mudança de frequência entre a transmissão e recepção do sinal. Esta mudança de frequência é o efeito Doppler que é usado para calcular a velocidade das partículas ao longo do feixe acústico.

Com tudo, os perfiladores Doppler utilizam-se da variação que ocorre na frequência de uma onda quando ocorre movimento relativo entre o emissor e o receptor (efeito Doppler) para medir a velocidade da água e, posteriormente, a vazão. Na verdade, o equipamento mede a velocidade de partículas suspensas no fluxo (sedimentos, plâncton, etc.), que refletem parte das ondas emitidas.

O seu ajuste automático do tamanho das células, o faz progredir do raso a águas profundas, para otimizar o desempenho e a resolução. Ampliando ainda mais a sua habilidade de medir continuamente em condições fluviais dinâmicas (figura 5).

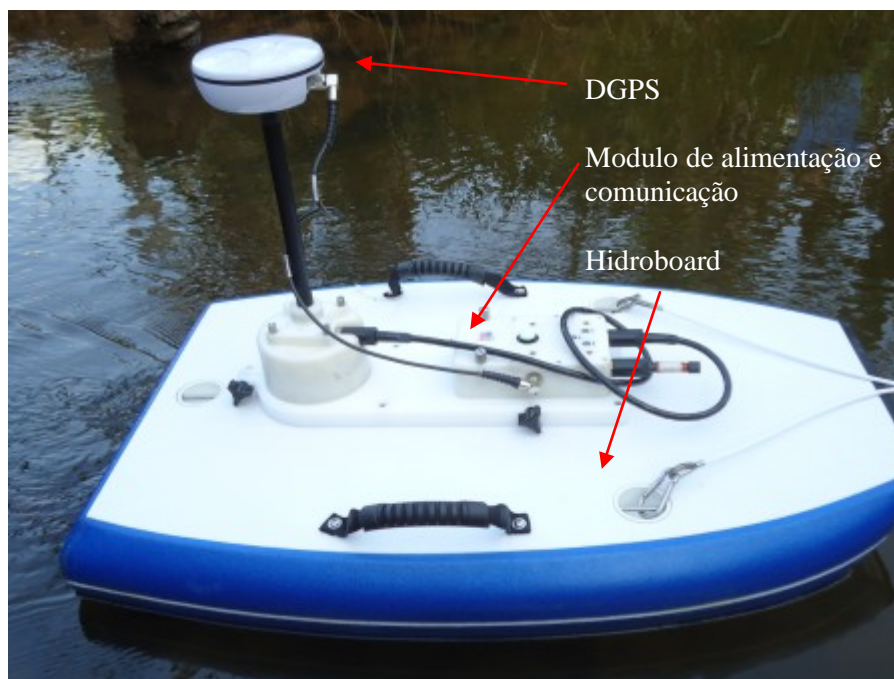


Figura 5 – ADP – S5 (Fonte: Autor).

O perfilamento consiste em deslocar o barco (*hidroboard*) de uma margem para outra finalizando o processo de medição de vazão após os dados serem analisados instantaneamente pelo ADP, em velocidades menores que a da água, movimentar-se na mesma velocidade da correnteza, pois, se a velocidade do barco for maior que a correnteza, pode ocorrer alguns erros de leitura (figura 6).



Figura 6: Perfilamento acústico no rio Duas Bocas (Fonte: Autor).

Para cada medição, foram realizadas quatro travessias, de ida e de volta, obtendo uma vazão média em cada medição. O cálculo da vazão total de cada medição foi realizado automaticamente pelo software RiverSurveyor desenvolvido pela própria Sontek.

RESULTADOS E DISCURSSÃO

A captação de Duas Bocas, localizada a montante do ponto de medição tem como condicionante de outorga, conforme art 3º, manter um fluxo residual de $0,237 \text{ m}^3/\text{s}$. O referencial da vazão para o órgão ambiental (IEMA) é a $Q_{7,10}$. Por tanto estimamos uma vazão maior que $0,237 \text{ m}^3/\text{s}$, que seria o fluxo residual obrigatório a ser mantida a jusante.

Foram realizados quatro conjuntos de medições simultâneas Flowtracker e o ADP-S5 no rio Duas Bocas, as vazões médias da sessão transversal medidas foram comparadas pelos dois equipamentos de forma a evidenciar em que situações ocorrem as maiores diferenças (Tabela 3).

Na seção transversal, foram medidas 22 estações com o FlowTracker e foram efetuadas em uma medição à $0,6 \rightarrow (60\%)$ da profundidade, conforme tabela 1. A profundidade média da seção não ultrapassou de $0,6 \text{ m}$.

Tabela 3: Resumo das medições realizadas.

Data	FlowTracker			ADP (S5)			Diferença Vazão (%)
	Área (m^2)	Velocidade média (m/s)	Vazão (m^3/s)	Área (m^2)	Velocidade média (m/s)	Vazão (m^3/s)	
16/05/11	3,06	0,292	0,894	2,9	0,323	0,920	2,78
07/06/11	2,76	0,282	0,659	2,7	0,270	0,677	2,66
10/06/11	2,80	0,285	0,640	2,6	0,264	0,657	2,59
14/06/11	2,12	0,219	0,465	2,0	0,251	0,477	2,60

Pode-se observar, na tabela 3, que as áreas medidas no ADV são superior ao do ADP, isso pelo fato de o perfilador possuir áreas não medidas como: a distância do transdutor e o nível de água, as margens e o fundo. Em relação à vazão medida, não houve muita diferença, pois a variação em porcentagem foi inferior a 5%, por tanto, não seria significativo.

A figura 7 mostra os perfis de velocidade da seção transversal, bem como a profundidade e o trajeto, pode-se observar também as áreas não medidas pelo ADP (superfície, fundo e margens), estas áreas são calculados por extrapolação.

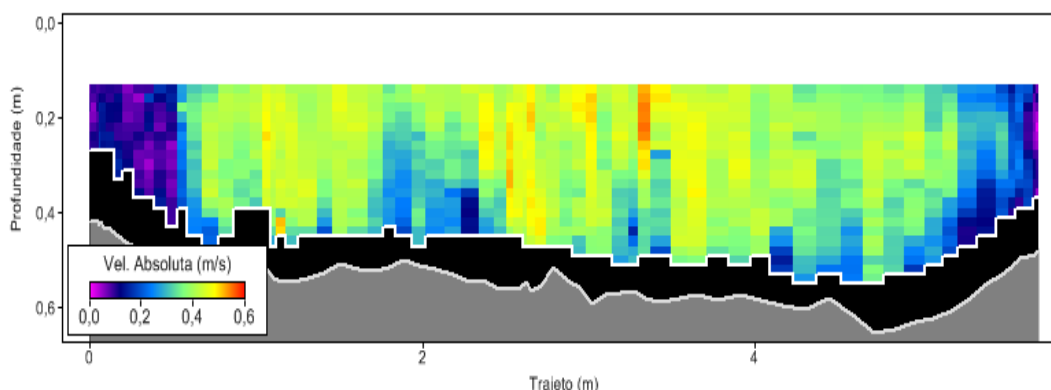


Figura 7: Perfil de velocidade da seção medida com o ADP S5 (Fonte: Autor).

O desvio padrão e o coeficiente de variação foram calculados para saber a variação e repetibilidade nas vazões medidas pelo FlowTracker e o S5. As vazões médias obtidas mostraram coeficientes de variação, ao redor de 1,9%, o que indica boa repetibilidade e equivalência quanto à vazão, conforme tabela 4. Por tanto, as vazões obtidas pelos dois aparelhos acústicos atendem a portaria de outorga, no qual, condiciona uma vazão residual a jusante da captação de água superior a $0,237 \text{ m}^3/\text{s}$.

Tabela 4: Dados do desvio padrão e coeficiente de variação nas amostras realizadas.

Data	FlowTracker	ADP (S5)	D.P.	C.V. (%)
	Vazão (m ³ /s)	Vazão (m ³ /s)		
16/05/11	0,894	0,920	0,018	2,00
07/06/11	0,659	0,677	0,013	1,91
10/06/11	0,640	0,657	0,012	1,85
14/06/11	0,465	0,477	0,009	1,86

D.P.: Desvio Padrão / C.V.: Coeficiente de Variação

CONCLUSÃO

Os equipamentos apresentaram bons resultados e pouca variação na vazão medida. O ADP-S5, apresenta vantagens sobre o ADV, pois ele mede em profundidades mais rasas e mais profundas. Isso faz com que ele seja um equipamento muito versátil, podendo medir desde escoamento laminar, até velocidades altas e com turbulência.

O S5 ao invés de estimar os perfis de velocidade através das velocidades pontuais obtidas em algumas profundidades de cada vertical (como ocorre com o ADV), perfila toda a coluna d'água, gerando perfis reais. De forma resumida, os medidores Doppler dividem cada vertical (*ensemble*) em várias células (*bins* ou *cells*), dentro das quais é medido um grande número de velocidades pontuais, sendo muito mais detalhada que a medição com ADV. Da mesma forma, o perfil topobatimétrico da seção fluviométrica não é interpolado, e sim medido, reduzindo a incerteza relativa à área molhada no cálculo da vazão.

Já o ADV possibilita, também, que ele seja usado em laboratórios para calibração de modelos hidráulicos, devido a sua acurácia.

Ao comparar as áreas acumuladas e principalmente as vazões acumuladas ao longo da seção do rio, observou-se que os dados do ADP ficam muito próximos do ADV. Portanto, a diferença entre o ADV e o ADP pode ser resultado das condições de medição em campo. Com o ADV foi realizada medição a vau, podendo haver interferência do operador no fluxo de água medido.

A seção onde foram realizadas as medições não possui ainda uma estação fluviométrica (régua ou limnógrafo), fomos guiados pela vazão residual da outorga. A seção de régua já esta sendo providenciada pela companhia de saneamento, bem como sua instalação.

Contudo, nesta avaliação os equipamentos apresentaram resultados muito bons. Uma vez que os valores do coeficiente de variação são muito próximos, indicando boa repetibilidade nos resultados de vazão. Sendo assim, atendendo também a condicionante de outorga.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. CARVALHO, N. O. (1976). "Medição de descarga líquida com molinete" in Saneamento, Rio de Janeiro, out./dez. 1976, pp. 260-266.
2. GAMARO, P. E. M. (2007). Medidores de Vazão Acústica Doppler. Foz do Iguaçu: ANA. (Apostila do III curso de medidores de vazão acústica Doppler, ministrada no curso da Agência Nacional das águas e da Itaipu Binacional).
3. NBR 13403/1995/A - Medição de vazão em efluentes líquidos e corpos receptores – Escoamento Livre, p.5-7.
4. SANTOS, I.; GOMES, J.; BUBA, H. (1997). "Medições de descarga líquida: método convencional x método acústico. Comparação dos resultados". In anais do Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 1997,12., Vitória.: ABRH.

5. SANTOS, I.; FILL, H.D.; SUGAI, M.R.V.B.; BUBA, H.; KISHI, R.T.; MARONE, E.; LAUTER, L.F. (2001). Hidrometria Aplicada. Curitiba: Instituto de Tecnologia e Desenvolvimento, 2001.
6. SONTEK/YSI (2007). "FlowTracker Handheld ADV" Technical Documentation.
7. SONTEK/YSI (2009). "RiverSurveyor ADP S5/M9" Technical Documentation.
8. TUCCI, C. E. M. (1993). Hidrologia: Ciência e Aplicação. Porto Alegre: Editora UFGRS, 944 p.