

INVESTIGAÇÃO DO EFEITO DE FUNDO MÓVEL EM MEDIÇÕES DE VAZÃO NO SUB-MÉDIO SÃO FRANCISCO

Miguel A. S. Cidreira^{1} & Andrea S. Fontes² & Fernando Genz³ & Osvalcélcio M. Furtunato³*

Resumo – O artigo tem como objetivo investigar a ocorrência do Efeito do Fundo Móvel em medições de vazão no sub-médio do rio São Francisco, através da comparação entre medições convencionais (molinete) e acústicas (ADP M9 - BT) e (ADP M9 – DGPS). Foram realizadas medições em sete estações fluviométricas no período de cheia da bacia, em janeiro de 2012. Os resultados apresentaram uma grande semelhança entre os valores de vazão obtidos pelo método convencional e (ADP M9) com DGPS acoplado. As medições acústicas com uso da referência Bottom Tracking se mostraram até 13% inferiores aos outros métodos de medição, indicando a ocorrência do Efeito do Fundo Móvel e ressaltando a necessidade de aplicação de procedimentos para mensuração do efeito e consequente correção das vazões obtidas pelo (ADP M9 - BT).

Palavras-Chave – hidrometria, medições acústicas, fundo móvel.

MOVING BED EFFECT IN FLOW MEASUREMENTS IN SUB-EAST SAN FRANCISCO

Abstract – The article investigate the occurrence of the moving bed in acoustic flow measurements in river basin São Francisco by comparing conventional measurements (mechanical flowmeters) and acoustic (ADP M9 - BT) and (M9 ADP - DGPS). Measurements were performed in seven monitoring stations in January 2012. Period of high flows in the basin. The results showed a great similarity between the flow values obtained by the conventional method and (M9 ADP - DGPS). Acoustic measurements using the reference Bottom Tracking were up to 13% less than other methods of measurement, indicating the occurrence of the Moving Bed and the need for implementation of procedures for measurement and subsequent correction of the effect of flow rates obtained by (ADP M9 - BT).

Keywords – hydrometric, acoustic measurements, moving bed.

^{1*} Pesquisador em Geociências – CPRM / Sureg-SA e Mestrando MAASA – Universidade Federal da Bahia. miguel.cidreira@cprm.gov.br.

² Professora Adjunta II do Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas, Universidade Federal do Recôncavo da Bahia. andreafontes@ufrb.edu.br

³ Pesquisador da FAPESB associado ao Depto de Engenharia Ambiental, Escola Politécnica/UFBA. fgenz@pq.cnpq.br

⁴ Pesquisador em Geociências – CPRM / Sureg-SA. osvalcelio.furtunato@cprm.gov.br.

INTRODUÇÃO

O crescente aumento das demandas por água, decorrente do crescimento populacional e da intensificação das atividades humanas verificados nas últimas décadas, somado ao comprometimento da qualidade, em decorrência da poluição, tendem a intensificar conflitos entre os diferentes usuários da água.

Tendo em vista essa realidade, cresce o interesse pelo uso adequado da água e, conseqüentemente, ampliam-se as necessidades de obtenção de dados hidrológicos para a realização de estudos relacionados à Gestão dos Recursos Hídricos.

Uma das atividades mais importantes e trabalhosas na caracterização da disponibilidade hídrica de uma bacia hidrográfica consiste na medição de vazão dos rios, que indica de forma direta o potencial hídrico do manancial, sendo de grande importância para os processos de Gestão dos Recursos Hídricos.

As medições de vazão em rios são realizadas a partir da determinação da velocidade média de escoamento do fluido numa seção de área conhecida. Para tanto, existem diferentes métodos, sendo os mais comumente utilizados em operação de redes de monitoramento hidrológico no País, os chamados de Métodos Convencionais (Molinete Hidrométrico).

Apesar de muito difundido, o Método Convencional consiste numa tarefa árdua, que necessita de bastante capacidade física dos envolvidos na sua execução, seja nos processos de ancoragem das embarcações, bem como no processo de movimentação do molinete e do lastro, sendo na maioria das vezes muito demorada.

Com o advento tecnológico, o desenvolvimento de equipamentos mais sofisticados e de resposta mais rápida para a medição de vazão vêm se tornando cada vez mais comum. Com base nesses aspectos, um equipamento que se destaca é o Perfilador de Corrente Acústico por Efeito Doppler (ADCP ou ADP), inicialmente utilizado em estudos oceanográficos, de correntes marinhas. Esse equipamento passou a ser adaptado para utilização em rios, gerando a possibilidade de obter medições mais rápidas, aumentando a produtividade das equipes de campo que atuam na operação das estações, o que futuramente possibilitaria a ampliação da cobertura de redes de monitoramento.

De acordo com Gamaro (2003) os ADP's se tornam uma ferramenta muito importante, sendo necessário definir os procedimentos mínimos de operação, visando à padronização do seu uso, bem como, o entendimento dos possíveis problemas associados aos resultados obtidos com as medições de vazão, especialmente o Efeito de Fundo Móvel (EFM), que ocorre em função do processo natural de transporte de sedimentos junto ao leito dos rios, afetando os pulsos acústicos dos ADPs, podendo resultar em medições de vazão subestimadas.

Na tentativa de contribuir para o entendimento da interferência do EFM nas medições de vazões e conseqüentemente melhorar a confiabilidade das informações, o presente trabalho tem como objetivo investigar a presença do Efeito de Fundo Móvel no trecho médio da bacia do rio São Francisco, por meio de análise comparativa entre as medições de vazão realizadas pelo Método Convencional (Molinete Hidrométrico) e pelo Método Acústico (ADP-M9 Sontek), na campanha de cheia de janeiro de 2012.

As atividades foram desenvolvidas no âmbito da Operação da Rede Básica Nacional de Monitoramento Hidrológico (ANA – Agência Nacional de Águas / CPRM – Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais), na área de atuação da SUREG-SA – Superintendência Regional de Salvador e representa a fase inicial de Pesquisa de Mestrado, desenvolvida no MAASA – Mestrado em Meio Ambiente, Águas e Saneamento, da Escola Politécnica da Universidade Federal da Bahia.

REFERENCIAL TEÓRICO

Medição de Vazão - Método Convencional

Conforme apresentado por Harte e Kiah (2009) as medições de vazão realizadas em rios pelo método chamado de convencional consistem na determinação de duas grandezas: (i) velocidade de escoamento da água e (ii) área da seção onde se processa o escoamento.

Desta forma, o método também é conhecido como Área x Velocidade, e consiste na utilização de um molinete hidrométrico para a determinação da velocidade; e na representação da seção transversal, a partir da batimetria realizada com lastro e guincho hidrométrico. Segundo Santos et al. (2001), a quantidade de verticais mínimas para a determinação de velocidades e profundidades, representativas da seção transversal, varia entre 20 e 25.

Medição de Vazão - Método Acústico

O Método Acústico utiliza os Perfiladores Acústicos Doppler, também conhecidos como ADCP's (do inglês "Acoustic Doppler Current Profilers") RDI (1989), ou ADPs "Acoustic Doppler Profilers" SONTEK (2010). De acordo com Oberg e Muller (2007), esses equipamentos atuam com a mesma intenção verificada nos processos convencionais de medição de vazão: (i) determinação da velocidade de escoamento da água e (ii) determinação da área da seção transversal onde se processa o escoamento do fluido.

Os ADP's, de acordo com Mustea et al. (2004), emitem pulsos acústicos com que refletem nas partículas em suspensão carregadas pela água, com eco recebido pelo próprio ADP, permitindo determinar a velocidade relativa água / barco, assumindo que a velocidade de deslocamento das partículas em suspensão é igual a do fluido que as transporta.

Os pulsos acústicos que se chocam com o leito do rio irão refletir e serão recebidos pelo equipamento, permitindo a realização da batimetria e conseqüentemente a determinação da área onde se processa o escoamento, possibilitando o cálculo da vazão.

Uma medição de vazão pelo Método Acústico consiste num conjunto de travessias, realizadas de forma consecutiva, que devem se aproximar de um valor médio, que representará o resultado final da medição. Desta forma, a determinação da velocidade de deslocamento do barco, em relação a um referencial fixo se faz necessária para obter a velocidade da água.

De acordo com Dinehart e Burau (2005), o sinal emitido para o leito do rio pode ser utilizado com este propósito, adotando a premissa de que o leito do rio é estático. Esse tipo de referencial é chamado de "*Bottom Tracking*" – (BT). Porém, em rios com leito argilo / arenoso, o BT pode ser afetado em função do transporte de sedimentos junto ao fundo do rio.

Segundo Heyman (2013), o transporte de sedimentos é um processo natural das bacias hidrográficas, podendo ocorrer em suspensão, com partículas sólidas sendo carregadas pela água, ou junto ao leito, através de escorregamento ou saltos do material mais pesado que se deposita no fundo dos rios. Nestes casos, a ocorrência de transporte de sedimentos de fundo interfere na resposta (eco) do pulso acústico emitido para o leito.

De acordo com Oberg e Muller (2007), o retorno do sinal emitido pelo ADP, após se chocar com o fundo, deveria retornar com frequência diferente da emitida, somente em função do deslocamento do barco em relação ao fundo estático, o que acaba não ocorrendo de fato, gerando medições submetidas ao EFM, que geralmente apresentam resultados inferiores ao que de fato está ocorrendo no rio.

Fong e Monismith (2004) indicam que o EFM ocorre nas condições onde o material de fundo está se movendo, ou seja, sendo transportado e os ADP's acabam por confundi-lo com o próprio leito do rio, podendo haver interferência na determinação da velocidade do barco em relação ao fundo, o que por sua vez, interfere na determinação da velocidade de escoamento da água e conseqüentemente no valor de vazão que é obtido de maneira subestimada. Tornando necessário, de acordo com Gamaro (2003), proceder com a correção dessa parcela.

Outro tipo de referencial também pode ser utilizado para determinar a velocidade de deslocamento do barco e conseqüentemente, a velocidade da água e a vazão. Os ADP's podem ser acoplados a Sistemas de GPS Diferencial (DGPS). A velocidade de deslocamento do barco será medida através das coordenadas obtidas pelo DGPS e não mais pelo retorno do sinal emitido para o fundo.

De acordo com Wagner e Mueller (2011) a falta da qualidade de sinal do DGPS em vários locais do globo terrestre; a distribuição dos satélites em órbita, gerando uma cobertura não uniforme da superfície da Terra; condições climáticas afetando a qualidade do sinal dos DGPS; a presença de obstáculos nos locais de medição, gerando interferência na recepção do sinal do DGPS; a troca constante de satélites durante as medições são fatores que podem limitar os resultados obtidos em medições de vazão com ADP's e DGPS acoplado.

Todos esses fatores, de acordo com Gamaro (2003), reforçam a necessidade de aprimoramento das técnicas de medição e dos procedimentos para verificação e correção do EFM, em rios onde a dinâmica fluvial favoreça a ocorrência de transporte de sedimentos de fundo.

ÁREA DE ESTUDO

As atividades foram desenvolvidas no trecho médio do rio São Francisco, que compreende o oeste do estado da Bahia e representa a maior das subdivisões de planejamento da bacia, percorrendo grande área de clima semiárido, com intenso processo erosivo do solo e das margens do rio, com a utilização das estações de monitoramento hidrológico da Rede Básica Nacional, operadas pela CPRM / SUREG-SA.

METODOLOGIA

Estações Fluviométricas

Na campanha de medição de vazão realizada, no período de cheia da bacia, em janeiro de 2012, foram utilizadas sete estações fluviométricas conforme apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1 – Estações Fluviométricas utilizadas

Estação	Código	Nome	Rio	Latitude (S)	Longitude (W)	Altitude (m)	Área de Drenagem (km ²)
01	45480000	Bom Jesus da Lapa	São Francisco	13°15'25"	43°26'21"	420	271000
02	46035000	Gameleira	São Francisco	12°57'07"	43°22'47"	413	309000
03	46105000	Paratinga	São Francisco	12°41'48"	43°13'35"	413	314000
04	46150000	Ibotirama	São Francisco	12°10'57"	43°13'23"	408	323000
05	46360000	Morpará	São Francisco	11°33'30"	43°16'57"	399	345000
06	46902000	Boqueirão	Grande	11°21'19"	43°50'44"	401	46400
07	46870000	Fazenda Porto Limpo	Preto	11°14'08"	43°56'58"	414	22000

As estações de número 01 a 05 estão situadas no rio São Francisco, em trecho com intenso processo erosivo, proveniente de grande atividade agrícola e desmatamento das margens do rio.

A estação 06 – Boqueirão é a última estação de monitoramento no rio Grande antes da confluência com o rio São Francisco no município de Barra, drenando afluentes da margem esquerda do rio São Francisco, no seu trecho médio, incluindo as regiões dos municípios de Luís Eduardo Magalhães e Barreiras, com atividades de cultivo agrícola, em especial a soja, algodão e milho, vem alterando a cobertura vegetal nativa da bacia e aumentando os processos erosivos e de transporte de sedimento. A estação 07 – Fazenda Porto Limpo é a última estação de monitoramento do rio Preto, antes da confluência com o rio Grande, e apesar de estar situada num rio com menor carga de sedimentos, foi escolhida por representar o escoamento proveniente de grande parcela da bacia, incluindo as regiões dos Municípios de Formosa do Rio Preto e Santa Rita de Cássia, grandes produtores agrícolas da região.

Medição de Vazão

As medições de vazão convencionais foram obtidas através do método simplificado, com tomada de velocidade de escoamento da água somente em dois pontos em cada vertical de amostragem: um a 20% da profundidade total e outro a 80%. Para profundidades inferiores a um metro, a velocidade foi medida num ponto único, situado a 60% da profundidade. Foi utilizado um molinete hidrométrico de concha, de eixo vertical, fabricante Gurley, com lastro de 30 kg e guincho hidrométrico, instalados em embarcação alugada para realização das medições. O posicionamento das verticais foi definido utilizando-se cabo de aço graduado na estação Fazenda Porto Limpo e nas demais estações, por possuírem largura superior a 200 m, foi utilizado Estação Total FOIF para medição da distância.

Para a realização das medições de vazão acústicas foi utilizado o equipamento ADP M9 de fabricação da SONTEK, com Sistema de GPS Geodésico acoplado ao perfilador instalado na embarcação e Sistema RTK – “*Real Time Kinematic*”, com link de rádio, instalado na margem dos rios, para transmissão de correção de coordenadas em tempo real. Em cada medição acústica foi realizado um conjunto de pelo menos cinco travessias, para a obtenção do valor médio de vazão. Nesta etapa foi utilizado barco de alumínio modelo Chata, de 4,20 m de comprimento, com motor de popa de 15hp e suporte em aço para o ADP. Para visualização das travessias e processamento das medições foi utilizado software “*River Surveyor Live*”. SONTEK (2010).

Em cada estação, as medições de vazão (convencionais e acústicas) foram realizadas sempre no mesmo dia e na mesma seção de medição, com exceção da estação de Gameleira, onde a medição acústica foi realizada em seção transversal próxima ao cais, cerca de 400 metros a montante da seção de medição convencional, por representar maior segurança para a realização das travessias e na estação de Boqueirão, com medição realizada em seção situada cerca de 300 metros a jusante da seção normal, pois apresentava margem com área sem vegetação de grande porte, ideal para instalação do Sistema RTK, para correção de coordenadas.

As atividades foram iniciadas com a realização da medição convencional. Ao término desta etapa, foram realizadas as medições acústicas com referência BT e DGPS, acontecendo de forma simultânea, ou seja, o ADP M9 permite, para cada travessia, obter os resultados da medição para os dois referências, uma vez que a aquisição dos dados ocorre ao mesmo tempo.

RESULTADOS

A Tabela 2 apresenta o resultado das medições de vazão realizadas na campanha de janeiro de 2012, na bacia do rio São Francisco. Em cada uma das estações fluviométricas foram realizadas medições pelos métodos: (1) – Convencional (molinete hidrométrico), (2) – ADP M9 (DGPS) e (3) ADP M9 (BT), permitindo obter os valores de: (Q) – Vazão, (A) – Área, (V) – Velocidade Média da água, (L) – Largura do rio e (P) – Profundidade média do rio.

Tabela 2 – Medições de vazão – Resumo de Descarga

Estacao	Nome	Data	Cota (cm)	Método	Q (m³/s)	A (m²)	V (m/s)	L (m)	P (m)
01	Bom Jesus da Lapa	24/01/12	695	1	6842	6184	1,106	869,3	7,11
				2	6831	5946	1,148	885,9	6,73
				3	5995	5470	1,096	822,3	6,65
02	Gameleira	25/01/12	716	1	6602	5819	1,135	748,6	7,72
				2	6462	3852	1,558	361,1	10,67
				3	5994	3857	1,676	361,0	10,70
03	Paratinga	26/01/12	694	1	6243	4779	1,306	668,1	7,15
				2	6347	5208	1,219	639,1	8,14
				3	5965	5200	1,147	635,1	8,19
04	Ibotirama	27/01/12	702	1	6391	4846	1,319	613,6	7,90
				2	6318	4752	1,330	612,7	7,75
				3	5945	4748	1,252	611,8	7,76
05	Morpará	30/01/12	786	1	5822	5737	1,015	840,4	6,83
				2	5846	5843	1,001	836,8	6,98
				3	5422	5810	0,933	832,1	6,61
06	Boqueirão	03/02/12	203	1	325,0	481,2	0,675	176,0	2,73
				2	318,3	420,0	0,758	141,7	2,97
				3	314,9	420,0	0,751	141,5	2,97
07	Fazenda Porto Limpo	02/02/12	138	1	110,4	180,0	0,613	51,8	3,47
				2	110,3	174,0	0,635	52,9	3,28
				3	108,4	173,0	0,625	52,8	3,28

As vazões medidas no rio São Francisco (estações 01 a 05), com valor médio de 6.400 m³/s, superam a vazão média histórica para o referido mês, que não ultrapassa 4.500 m³/s. Para a estação 06, situada no rio Grande o valor obtido para a vazão é da mesma grandeza da média histórica mensal, 330 m³/s. No rio Preto, estação 07, a vazão medida é um pouco inferior ao valor médio histórico para o referido mês, cerca de 120 m³/s.

Na Figura 01 são apresentadas as diferenças percentuais entre os diferentes métodos de medição, para os valores de vazão, em cada estação fluviométrica.

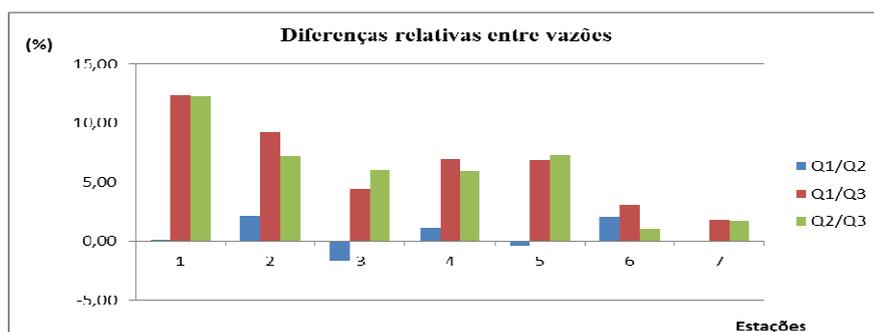


Figura 1 – Diferenças relativas entre vazões

Verifica-se que as medições realizadas pelo método acústico, com utilização do referencial DGPS, apresentaram resultados muito semelhantes aos obtidos nas medições convencionais. A maior diferença verificada entre estes dois métodos aconteceu na estação 02 – Gameleira, onde a medição com molinete apresentou valor 2,12% superior à medição realizada com o ADP M9 (DGPS). Para as demais estações, os resultados das diferenças relativas entre as vazões vão se alternando, ora o método convencional apresenta resultados superiores, ora inferiores, se comparado ao ADP M9 (DGPS), porém, com diferenças inferiores a verificada na estação 02, indicando uma grande compatibilidade entre os resultados.

As vazões obtidas pelo método acústico, com referencial BT, nas estações 01 a 05 (rio São Francisco) foram sempre menores, se comparadas aos outros dois métodos: convencional e acústico DGPS, o que pode indicar a ocorrência do EFM. Os valores elevados de velocidade de escoamento da água, superiores a 1,0 m/s e a composição granulométrica do material de fundo para o trecho estudado, tipicamente argilo / arenosa, também são fatores que contribuem para a ocorrência do EFM e conseqüente redução das vazões obtidas com ADP M9 (BT).

Na estação 01 – Bom Jesus da Lapa, a medição ADP M9 (BT) foi 13% menor se comparada aos outros dois métodos. Em Gameleira, estação 02, o resultado da medição (BT) apresentou-se 9% menor. Nas estações 04 e 05, Ibotirama e Morpará, respectivamente, as medições com uso do “*Bottom Tracking*” foram aproximadamente 7% menores. Na estação 03 – Paratinga, a diferença foi de 5% para menos.

Para as estações do rio Grande e do rio Preto, os três tipos de medição de vazão apresentaram resultados bastante semelhantes. As velocidades de escoamento da água foram menores se comparadas às estações do rio São Francisco, com valor em torno de 0,65 m/s. Somado a este fator, uma menor carga de sedimentos, também contribuiu para redução do EFM e conseqüente aproximação das medições. Nas estações 06 – Boqueirão e 07 – Fazenda Porto Limpo, os valores de vazão (BT) não apresentaram diferenças significativas com relação aos outros dois métodos de medição. Chegando a 3% na estação 06 e 1,8% na estação 07.

CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Os resultados de vazão obtidos pelo ADP M9 (BT), inferiores aos demais métodos, indicam a presença do EFM nas estações do rio São Francisco, para as condições de escoamento verificadas na campanha de medição de janeiro de 2012. As medições realizadas com o BT, mesmo com a possibilidade da ocorrência do EFM, não devem ser descartadas, uma vez que não se tem garantia da qualidade do sinal DGPS, devido aos diferentes fatores que podem interferir na recepção do sinal dos satélites. O EFM, afetando os resultados das medições acústicas (BT) nas estações do rio São Francisco, reforça a necessidade de aplicação de procedimentos para mensuração do efeito e conseqüente correção das vazões obtidas pelo ADP M9 (BT).

Os resultados de vazão obtidos na estação 06 – Boqueirão, do rio Grande e 07 – Fazenda Porto Limpo, no rio Preto, apresentando grande semelhança entre os três diferentes métodos de medição, não refutam a possibilidade de ocorrência do EFM, para condições onde o escoamento ocorra com valores de velocidade da água mais elevados em comparação aos apresentados nesta campanha de medição.

As medições acústicas (BT) e (DGPS) apresentaram valores de Área da seção transversais bastante próximos. As diferenças observadas em comparação ao método convencional (molinete) podem ser resultado do maior número de verticais de amostragem de profundidade realizadas no método acústico, gerando um melhor detalhamento do leito do rio, em comparação com a batimetria

simplificada realizada pelo método convencional. Os valores reduzidos de vazão obtidos pelo método acústico (BT), em comparação aos demais métodos, são decorrentes, basicamente, da determinação subdimensionada da velocidade da água, em função da ocorrência do EFM, uma vez que as demais grandezas (área, largura e profundidade) são bastante semelhantes entre os métodos de medição.

É necessário continuar com a investigação da ocorrência do EFM no trecho médio da bacia do rio São Francisco, com a realização de outras campanhas de medição de vazão, em diferentes regimes de escoamento. Recomenda-se em trabalhos futuros buscar identificar quais condições de escoamento e em que tipo leito (granulometria) o EFM tem potencial de ocorrer, permitindo escolher melhor a técnica de medição a ser utilizada em determinada situação nos postos analisados.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- DINEHART R.L., BURAU J.R. (2005). Repeated surveys by acoustic Doppler current profiler for flow and sediment dynamics in a tidal river. *Journal of Hydrology* 20, pp.1–21.
- FONG, D. A., MONISMITH, S. G. (2004). Evaluation of the Accuracy of a Ship-Mounted, Bottom-Tracking ADCP in a Near-Shore Coastal Flow. In *Environmental Fluid Mechanics Laboratory*. Stanford University. California, pp. 135-157.
- GAMARO, P. E. M. (2003). Compensações das vazões medidas com ADCP em seções com fundo móvel. In *Anais do XV Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos*, Curitiba. Nov. 2003.
- HARTE, P. T., KIAH, R. G. (2009). Measured river leakages using conventional streamflow techniques: the case of Souhegan River, New Hampshire, USA. *Hydrogeology Journal* 17, pp. 409-424.
- HEYMAN, J. F. (2013). Statistics of bedload transport over steep slopes: Separation of time scales and collective motion. *Geophysical Research Letters* 40, pp. 128–133.
- MUSTEA, M. et al. (2004). Practical aspects of ADCP data use for quantification of mean river flow characteristics; Part II: fixed-vessel measurements. *Flow Measurement and Instrumentation* 15, pp. 17–28.
- OBBERG, K., MUELLER, D. (2009). Validation of Streamflow Measurements Made with Acoustic Doppler Current Profilers. *Journal of Hydraulics* 133, pp. 1421–1432,
- RD Instruments. (1989). Acoustic Doppler Current Profilers. *Principles of operation: a practical primer*. San Diego – California. 36 p.
- SANTOS, I. et al. (2001). *Hidrometria Aplicada*. ITD Curitiba – PR, 327 p.
- SONTEK. (2010). *Apresentação dos medidores acústicos modelos M9 e S5*. Treinamento para usuários dos equipamentos, Itacimirim – BA. 15 p.
- WAGNER, C. R., MUELLER, D. S. (2011). Comparison of bottom-track to global positioning system referenced discharges measured using an acoustic Doppler current profiler. *Journal of Hydrology* 401, pp. 250–258.