



DETERMINAÇÃO DO TEMPO DE COLETA DE DADOS PARA UTILIZAÇÃO DO ADCP SONTEK M9 PARA MEDIÇÕES DE VAZÃO EM MÉTODO ESTACIONÁRIO

Breno Guerreiro da Motta^{1} & Wilson dos Santos Fernandes²*

Resumo – A medição de vazões no Brasil vem gradualmente passando dos métodos convencionais, como os molinetes hidrométricos, para os métodos acústicos, com equipamentos de efeito Doppler. Entretanto, ainda há necessidade de padronização dos procedimentos de medição com estes equipamentos, quanto à metodologia de coleta (movimento ou estacionária), quantidade de travessias, tempos de coleta, parâmetros qualidade das medições e limites de aplicação. Para o caso específico da medição em método estacionário, o tempo mínimo de coleta é uma variável que não apresenta um valor pré-determinado pelos manuais do fabricante. Este trabalho sintetiza coletas realizadas em modo estacionário ao longo de 10 minutos em 12 estações de forma a avaliar o tamanho mínimo amostral associado ao erro na determinação da velocidade média da vertical. Os resultados variaram entre um tempo de coleta de 20 segundos, para um erro de 5%, até um tempo de 300 segundos, para um erro de 1%.

Palavras-Chave – adcp, estacionário, vazão

DETERMINATION OF THE DATA ACQUISITION TIME SPAN FOR THE APPLICATION OF THE STATIONARY METHOD WITH SONTEK'S M9 ADCP FOR FLOW MEASUREMENTS

Abstract – The flow measurements in Brazil are gradually changing from conventional methods, like current meters, to acoustic equipment based on Doppler shift. However, there is still a need to define standard procedures, like the method (moving vessel or stationary), number of transects, time span, measurements quality and application limits. For the stationary measuring method, minimum time span for acquiring data is not a variable that has a predetermined value from the manufacturer. This paper summarizes the stationary data collected over 10 minutes in 12 stations to evaluate the minimum sample size associated with the error in determining the average vertical velocity. Results varied between a 20 seconds for a 5% error and a time of 300 seconds for a 1% error.

Keywords – adcp, stationary, flow

¹ CPRM – Serviço Geológico do Brasil – Superintendência Regional de Belo Horizonte, breno.motta@cprm.gov.br

² UFMG – Universidade Federal de Minas Gerais, wilson@ehr.ufmg.br



INTRODUÇÃO

A rede hidrometeorológica nacional, de responsabilidade da Agência Nacional das Águas - ANA, conta atualmente com equipamentos de medição de vazão acústicos - ADCP em sua operação, que, gradualmente, estão tendo uso prioritário sobre os métodos convencionais, como os molinetes hidrométricos. Para o caso específico da rede operada pela CPRM – Superintendência Regional de Belo Horizonte, os equipamentos acústicos utilizados são, em sua maioria, os ADCP Sontek M9, utilizado no presente trabalho.

Segundo Muste et al. (2004) apesar do uso rotineiro destes equipamentos, há necessidade de serem elaborados procedimentos para padronização das medições de vazão, considerando informações como limitações dos equipamentos, parâmetros de qualidade das medições e pós-processamento. Ressalta-se que ainda há necessidade de padronização, conforme evidenciado em Gamaro (2012).

Os ADCP emitem pulsos sonoros, gerados por transdutores em uma frequência característica de cada aparelho. Estes pulsos são refletidos por partículas em suspensão na água, retornando para o aparelho com sua frequência alterada, devido ao efeito Doppler, proporcional à velocidade relativa entre o ADCP e a água. Estes equipamentos são utilizados mais comumente para medição em movimento, em que este sofre um translado entre as margens em quantidade pares de travessias coletando continuamente informações de velocidades, separadas por verticais que, por sua vez, são divididas em células. A vazão é obtida a partir da integração das diversas células de velocidade obtidas ao longo da seção transversal. Este equipamento pode ser utilizado, também, de forma estacionária, em que o rio é dividido em um número pré-determinado de verticais e o equipamento permanece sobre uma destas, coletando dados durante um período de tempo. Aplica-se a estas verticais os métodos de seção-média ou meia-seção, de forma semelhante ao realizado com os molinetes hidrométricos. (Gamaro, 2012; Sontek, 2014; USGS, 2013).

O tempo de coleta necessário para a coleta em modo estacionário, a fim de se obter uma velocidade representativa, foi estudado por diversos autores, como López *et al.* (2000) que sugeriram um tempo de 4 minutos devido a turbulência, Droz *et al.* (1998) um tempo de 5 minutos, Gonzales-Castro *et al.* (2000) que calcularam um erro quadrático médio de 13% a 18% para um tempo de amostragem de 5 minutos, reduzindo para um erro de 2% a 3% em um tempo de amostragem de 30 minutos e Muste *et al.* (2004) estabelece um tempo superior a 7 minutos, para se manter o erro de uma única célula inferior a 5%.

Na documentação correspondente ao equipamento M9 (Sontek, 2014 p.130), não há definição específica sobre o tempo de coleta necessário, citando-se apenas que esta deve ser feita em um período de tempo suficiente para se reduzir erros causados por variáveis ambientais ou temporais do escoamento. Entretanto, há menção à recomendação que geral do USGS, em que a coleta não deve ter um intervalo de coleta inferior a 40 segundos.

Este trabalho apresenta a coleta de velocidades médias de verticais realizadas durante um período de 10 minutos com o equipamento ADCP Sontek M9 em modo estacionário e a correlação entre o tempo de coleta e os erros esperados na inferência das velocidades.



DADOS E METODOLOGIA

Foram selecionadas 12 estações pertencentes à rede hidrometeorológica nacional, operada pela CPRM SUREG-BH, com características de velocidades e profundidades distintas, para que fossem feitas as coletas estacionárias com o equipamento ADCP M9. As estações estão relacionadas a seguir: Cachoeira dos Óculos (56539000), Cachoeira Grande (55370000), Carlos Chagas (55630000), Carmo do Cajuru (40150000), Dom Cavati (56935000), Fazenda Rio do Sul (55380000), Itapebi Jusante (54950000), Jacinto (54780000), Pinhões (41260000), Ponte BR-040 Prata (42365000), Ponte BR-101 (55241000) e Raul Soares Montante (56484998).

O equipamento ADCP M9 foi configurado com o firmware 3.00, conforme recomendações da USGS (2015), e a bússola calibrada em cada um dos locais conforme procedimentos apresentados por Mueller (2012). Por uma característica do equipamento, as configurações de pulso são realizadas automaticamente durante a medição, variando entre frequências de 1000kHz ou 3000kHz e o tipo de processamento, de acordo com as condições da Tabela 1.

Tabela 1. Características do Sontek M9 (adaptado de USGS,2013)

Frequência em kHz (Modo)	Profundidade Máxima (m)	Velocidade Relativa Máxima (m/s)	Altura Mínima da Célula (m)	Desvio Padrão em 1 segundo (m/s)
1.000 (IC ¹)	39,3	19,50	0,50	0,09
1.000 (HD ²)	4,8	0,39	0,06	n/d ³
3.000 (IC ¹)	4,8	19,5	0,10	0,09
3.000 (HD ²)	1,5	0,39	0,02	n/d ³

¹Processamento por pulso incoerente. ²Processamento por pulso coerente. ³Dados não fornecidos pelo fabricante.

Em todas as estações foi instalado um cabo transversal ao rio e o M9 afixado junto ao barco em sua prancha Hydroboard. Após uma travessia de reconhecimento, o equipamento foi mantido estático na vertical de maior profundidade pelo período aproximado de 10 minutos, obtendo um total de 600 coletas da mesma vertical, uma vez que o equipamento retorna uma vertical por segundo.

Os dados obtidos foram avaliados com relação a sua qualidade, especialmente quanto ao não deslocamento de posição do ADCP no rio. Os dados aceitos foram extraídos em formato ASCII para sua avaliação e ajuste à uma distribuição de probabilidades. Foi realizada também uma análise gráfica da média das velocidades ao longo do tempo, obtidas conforme Equação 1, visando compreender a convergência das coletas para a velocidade, sendo feito o mesmo para o desvio padrão das velocidades, com equacionamento semelhante.

$$\bar{V}_t = \frac{\sum_{i=1}^t V_i}{n_t} \quad (1)$$

Onde: \bar{V}_t - Velocidade média no tempo t, em m/s; V_i - Velocidade “instantânea” no tempo t, em m/s; n_t - número de pulsos até o tempo t.

Foram avaliados para cada uma das estações o erro relativo da velocidade média ao longo do tempo em relação a velocidade média obtida ao término da coleta, Equação 2. Para os dados coletados, o tempo foi avaliado como sendo aquele necessário para que o erro calculado ficasse inferior aos valores pré-estabelecidos de 5,0%, 2,5% e 1,0%.



$$e_t = \frac{\overline{V}_t - \overline{V}}{\overline{V}} \quad (2)$$

Onde: e_t - erro em relação à média; \overline{V}_t - velocidade média no tempo t, em m/s; \overline{V} - velocidade média, em m/s.

Posteriormente, foi aplicado o teste de aderência de Filliben, que verifica a hipótese nula de normalidade dos dados através do coeficiente de correlação linear entre as observações e os quantis teóricos, expresso na Equação 3. Para o nível de significância de 5% tem-se o valor crítico de r de 0,9870 para a distribuição normal (Naghetini e Pinto, 2007).

$$r = \frac{\sum_{i=1}^N (xi - \overline{x})(wi - \overline{w})}{\sqrt{\sum_{i=1}^N (xi - \overline{x})^2 \sum_{i=1}^N (wi - \overline{w})^2}} \quad (3)$$

Onde: r – coeficiente de correlação linear; xi – quantis observados; \overline{x} - média dos quantis observados x; wi – quantis teóricos; \overline{w} - média dos quantis teóricos.

As probabilidades empíricas dos quantis observados foram calculadas com base na posição de plotagem de Blom, conforme equação 4, recomendada para distribuição normal.

$$qi = \frac{i - \frac{3}{8}}{N + \frac{1}{4}} \quad (4)$$

Onde: qi – probabilidade do quantil observado de ordem i; i – ordem crescente do quantil; N – número de dados da amostra.

Após a conclusão de que os dados coletados em todas as estações são normalmente distribuídos, foi determinado o tempo de coleta necessário, Equação 5, para um nível de significância de 5% e erros estabelecidos anteriormente. A média e o desvio padrão foram estimados pelos dados amostrais coletados em cada uma das estações.

$$n = \left(\frac{Z_{\alpha/2} \cdot \sigma}{E} \right)^2 \quad (5)$$

Onde: n - tamanho da amostra; $Z_{\alpha/2}$ - parâmetro da distribuição normal; σ - desvio padrão, em m/s; E - erro esperado, em m/s.

Os tempos obtidos por este equacionamento foram avaliados com relação à presença de outliers, removendo dados inferiores ou superiores à 1,5 vezes a amplitude interquartis, em relação ao primeiro e terceiro quartis, respectivamente.

RESULTADOS

A Figura 1 e a Figura 2 apresentam um exemplo de resultado obtido, sendo a velocidade média medida para cada vertical ao longo do tempo e perfis de velocidade coletados, na estação Dom Cavati (56935000). A Figura 3 apresenta o histograma das velocidades, com a sobreposição da curva de distribuição normal, para a média e variância da coleta.

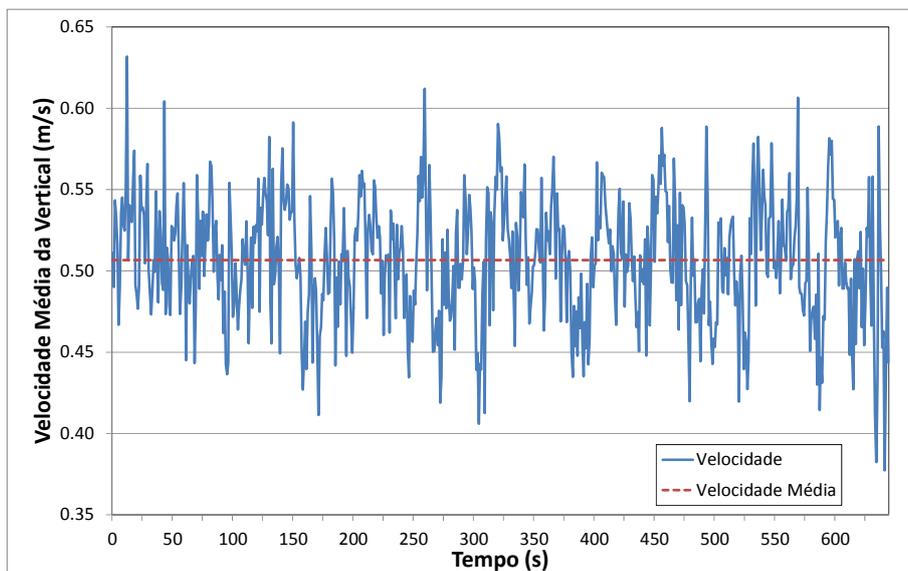


Figura 1 – Velocidades médias da vertical coletada em Dom Cavati (56935000)

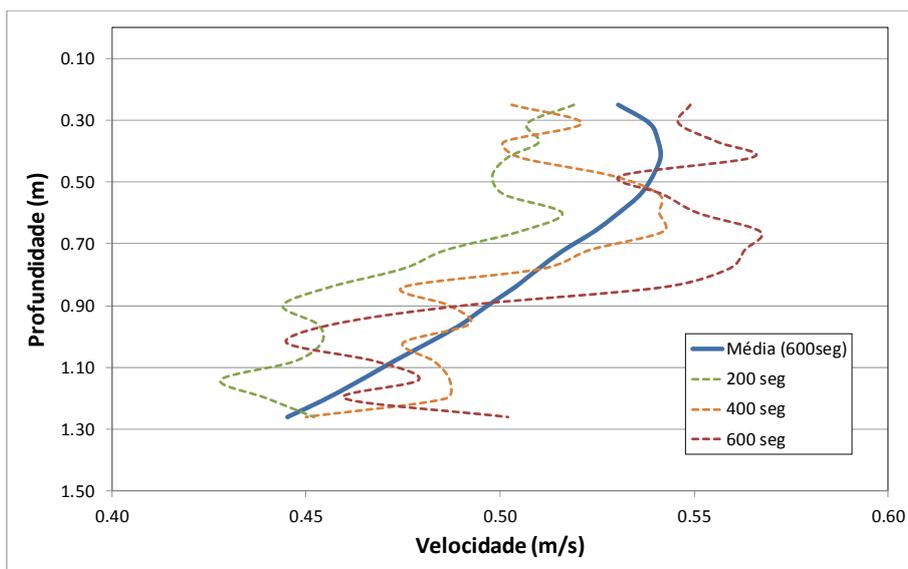


Figura 2 – Perfis de velocidades “instantâneos” e perfil de velocidades médio de 10 minutos

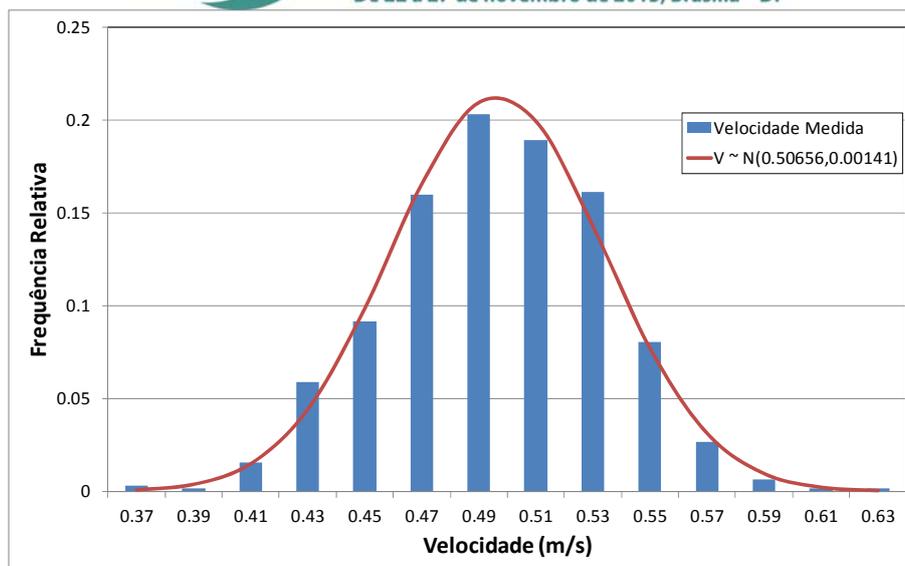


Figura 3 – Análise do ajuste da distribuição normal as velocidade médias da vertical em Dom Cavati (56935000)

A Figura 4 representa a média da velocidade ao longo do tempo e do desvio padrão, que convergiram, respectivamente, para 0,507 m/s e 0,038m/s.

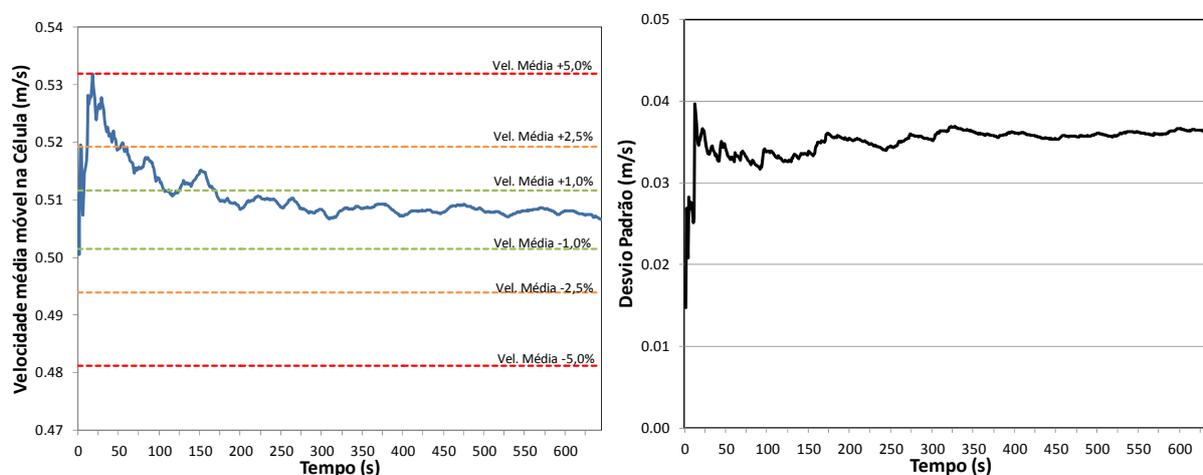


Figura 4 – Velocidade média e desvio padrão da vertical em Dom Cavati ao longo do tempo

Os dados coletados para as demais estações apresentam comportamento semelhante às figuras apresentadas anteriormente e seus valores de velocidade média e desvio padrão, além da profundidade e tipo processamento, estão apresentados na Tabela 2.

Tabela 2. Resumo dos Resultados Obtidos para as Estações

Estação	Configuração	Profundidade Total (m)	Velocidade Média (m/s)	Desvio Padrão (m/s)
Cach. dos Óculos	1MHz HD	1,61	1,009	0,081
Cach. Grande	1MHz HD	1,49	0,536	0,034
Carlos Chagas	3MHz HD	0,89	0,474	0,028
Carlos Chagas	3MHz IC	2,61	1,098	0,083



Estação	Configuração	Profundidade Total (m)	Velocidade Média (m/s)	Desvio Padrão (m/s)
Carmo do Cajuro	1MHz HD	1,66	0,134	0,011
Dom Cavati	1MHz HD	1,58	0,507	0,038
Faz. Rio do Sul	1MHz HD	1,43	0,629	0,028
Itapebi Jusante	1MHz HD	1,60	0,573	0,030
Jacinto	3MHz IC	3,04	0,712	0,048
Pinhões	1MHz HD	1,71	0,912	0,064
Ponte BR-040	3MHz HD	1,05	0,553	0,040
Ponte BR-101	3MHz HD	1,24	0,340	0,058
Raul Soares Montante	1MHz HD	2,06	0,669	0,062
São Francisco	3MHz IC	4,08	0,738	0,040

Avaliando-se as médias móveis de cada estação, considerou-se os tempos necessários para obter erros inferiores aos estabelecidos. Foram calculados os tamanhos de amostra necessários para cada um dos resultados apresentados na Tabela 2. Os gráficos box-plot destes resultados são apresentados na Figura 5.

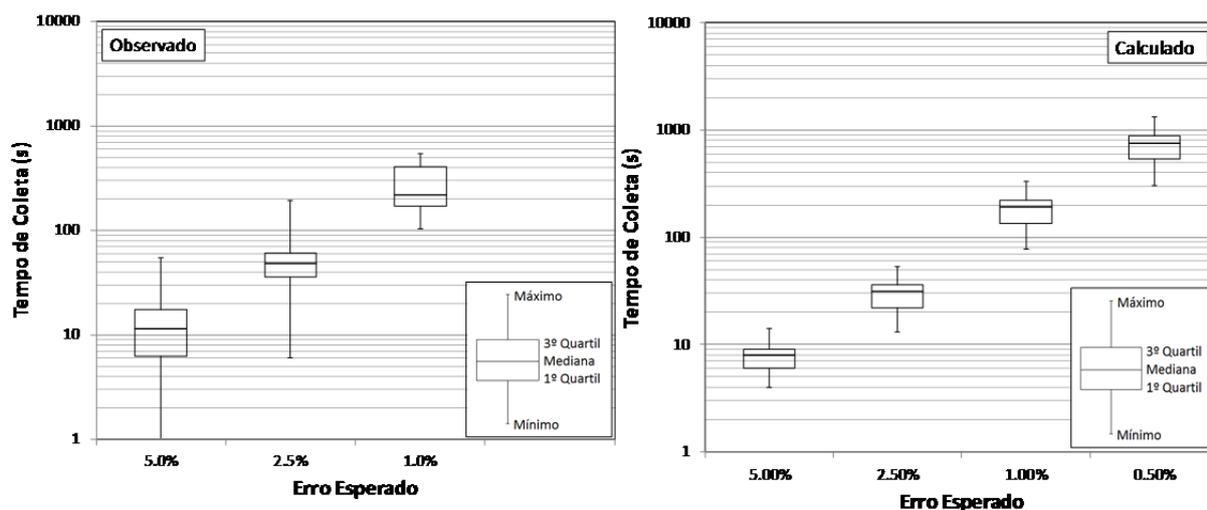


Figura 5 – Diagramas box-plot do tempo de coleta para os dados observados e para o tamanho de amostra calculado

A determinação do tempo mínimo de permanência, calculado para obtenção de velocidades representativas de verticais coletadas com o ADCP M9, teve valores de medianas de 8 segundos para um erro de 5,0%, 31 segundos para 2,5%, 190 segundos para 1,0% e 750 segundos para 0,5%.

Estes valores obtidos são condizentes com o tempo mínimo da recomendação geral do USGS, de 40 segundos, e sugere, com os resultados aqui expostos, um erro esperado de 2,5% na determinação da velocidade média da vertical.

CONCLUSÃO

A escolha do tempo de amostragem é uma parcela fundamental do processo de medição através do método estacionário. Os resultados aqui apresentados corroboram os tempos pré-observados na literatura.



Esperava-se uma curva assintótica mais característica nos gráficos de velocidade média e desvio padrão, em vista da quantidade de amostras. Sugere-se que sejam realizados trabalhos complementares com coletas de 30 minutos, visando uma melhor compreensão do processo de convergência da velocidade média e desvio padrão.

REFERÊNCIAS

DROZ, C.L., LÓPEZ, F., PRENDES, H. (1998). *Análisis de mediciones de velocidades y caudales com un ADCP em el río Paraná*. In *Anais do XVII Congresso Nacional de Agua y II Simposio de Recursos Hídricos del Cono Sur*, Vol. 2, Santa Fe, Argentina.

GAMARO, P.E. (2012). *Medidores Acústicos Doppler de Vazão*. Itaipu Binacional. Foz do Iguaçu – PR.

GONZALES-CASTRO, J. OBERG, K. DUNCKER, J. (2000). *Effect of temporal resolution on the accuracy of ADCP measurement*. Joint Conf. on Water Resources Engineering and Water Resources Planning and Management. Minneapolis, EUA.

LÓPEZ, F., GARCIA, C. M., DROZ, C. L, PRENDES, H. (1998). In *Anais do XVIII Congreso Lationamericano de Hidráulica*, Oaxaca, Mexico.

MUELLER, D.S. (2012). *Best Practice for Calibrating SonTek RiverSurveyor M9/S5 Compass*. USGS Hydroacoustics Guidances. 3p.

MUSTE, M. YU, K., PRATT, T.C., ABRAHAM, D. (2004). *Practical aspects of ADCP data use for quantification of mean river flow characteristics. Part II: Fixed-vessel measurements*. *Flow Measurement and Instrumentation* 15, 17-28.

NAGHETTINI, M.C., PINTO, E.J.A. (2007). *Hidrologia Estatística*. CPRM, 2007.

SONTEK (2014). *RiverSurveyor S5/M9 System Manual Firmware 3.80*. 191p.

USGS (2013). *Measuring discharge with acoustic doppler current profiler from a moving boat*. U.S. Geological Survey Techniques Book 3 chapter A22, 95p.

USGS (2015). Disponível em: <<https://hydroacoustics.usgs.gov/movingboat/m9s5.shtml>>. Acessado em 10/05/2015.