

## **ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE VELOCÍMETRO ACÚSTICO DE EFEITO DOOPLER E MOLINETE HIDROMÉTRICO: ESTUDO DE CASO NO RIBEIRÃO ESPÍRITO SANTO – JUIZ DE FORA (MG)**

*Vivian Gemiliano Pinto*<sup>1</sup>; *Marconi Fonseca de Moraes* \*<sup>2</sup>; *Celso Bandeira de Melo Ribeiro*<sup>3</sup>

### **Resumo**

Atualmente existem inúmeros equipamentos para a medição de vazão em cursos d'água, tais como molinetes hidrométricos, sensores eletromagnéticos, velocímetros acústicos de efeito doppler (ADV), perfiladores acústicos com efeito doppler, flutuadores, entre outros. O objetivo deste trabalho é comparar os tradicionais molinetes hidrométricos com os ADV. Para tanto foi realizada medição em curso d'água de pequeno caudal, inferior a  $1\text{m}^3\text{s}^{-1}$ , e comparados os resultados obtidos na medição, tempo de execução e custo dos equipamentos. Observou-se que a diferença na vazão medida utilizando-se ambos os processos foi inferior a 2%, o tempo gasto para a medição em campo com o molinete, 57% acima do tempo gasto como o ADV, não se computando o tempo de cálculo das vazões em escritório, que já são fornecidos imediatamente pelo ADV. Em contra partida, a comparação entre os custos do molinete hidráulico e do ADV utilizados indicam que este último custa cerca de 340% do valor do primeiro. Concluindo-se que apesar do tempo de execução com o ADV ser bastante atraente, o seu custo de aquisição pode se tornar um fator limitante.

**Palavras-Chave** – Hidrometria, Medidores de vazão

## **COMPARATIVE ANALYSIS BETWEEN ACOUSTIC DOPPLER VELOCIMETER AND HYDROMETRIC CURRENT METER: A CASE STUDY IN THE RIBEIRÃO ESPÍRITO SANTO – JUIZ DE FORA (MG)**

### **Abstrat**

Currently there are numerous devices for measuring flow in watercourses, such as hydrometric current meter, electromagnetic sensors, acoustic doppler velocimeter (ADV), acoustic doppler current profiler, floats, among others. The objective of this study is to compare the traditional hydrometric current meter with ADV. For this measurement was performed in small watercourse flow, below  $1\text{m}^3\text{s}^{-1}$ , and compared the results obtained in the measurement, run time and equipment costs. It was observed that the difference in measured flow by using both equipments was below 2%, the time taken for the measurement field with the hydrometric current meter, above 57% of the time spent as the ADV, not counting the time of calculation flow rates in office, which are already provided immediately by ADV. However, the comparison between the cost of the current meter and the ADV used indicates that the latter costs approximately 340% of the first. Concluding that despite the runtime with the ADV be quite attractive, your cost may become a limiting factor.

**Keywords** – Hydrometric, Flowmeters

### **INTRODUÇÃO**

Atualmente existem inúmeros equipamentos disponíveis para realizar medições de velocidades em canais abertos, com finalidade de estimar vazões líquidas. Tais equipamentos

<sup>1</sup>Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia do Sudeste de Minas Gerais – Campus Juiz de Fora. E-mail:vivian.pinto@ifsudestemg.edu.br

<sup>2</sup> Universidade Federal de Juiz de Fora, Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental – ESA/UFJF. E-mail: moraescmf@gmail.com.

<sup>3</sup> Universidade Federal de Juiz de Fora, Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental – ESA/UFJF. E-mail:celso.bandeira@ufjf.edu.br

podem ser classificados em função das tecnologias empregadas em: a) mecânicos onde se encontram os molinetes hidrométricos, medidores do tipo Pêndulo e tubos de pitot; b) sensores automáticos, nos quais se encontram os eletromagnéticos, perfiladores acústicos com efeito doppler (Acoustic Doppler Current Profiler – ADCP), velocímetros acústicos com efeito doppler (Acoustic Doppler Velocimeter - ADV) e; c) expeditos, como flutuadores. Contudo, a escolha do tipo de equipamento a ser utilizado em cada situação depende das condições locais, da precisão requerida e dos recursos disponíveis.

O molinete hidrométrico, instrumento destinado a medir mecanicamente a velocidade da água num dado ponto de uma corrente, utiliza a energia cinética da água que passa por uma dada área transformando-a em movimento de rotação de uma hélice. A velocidade média da corrente, nessa área (ponto) é obtida pelo número de rotações por segundo que a hélice gira. Esse procedimento é aplicado a uma seção transversal do curso d'água, onde a mesma é subdividida em subseções, nas quais são determinadas as respectivas vazões líquidas multiplicando-se a área da subseção pela respectiva velocidade de fluxo, conforme ilustrado na Figura 1. A vazão total para a seção transversal é determinada pela soma das descartas de cada subseção.

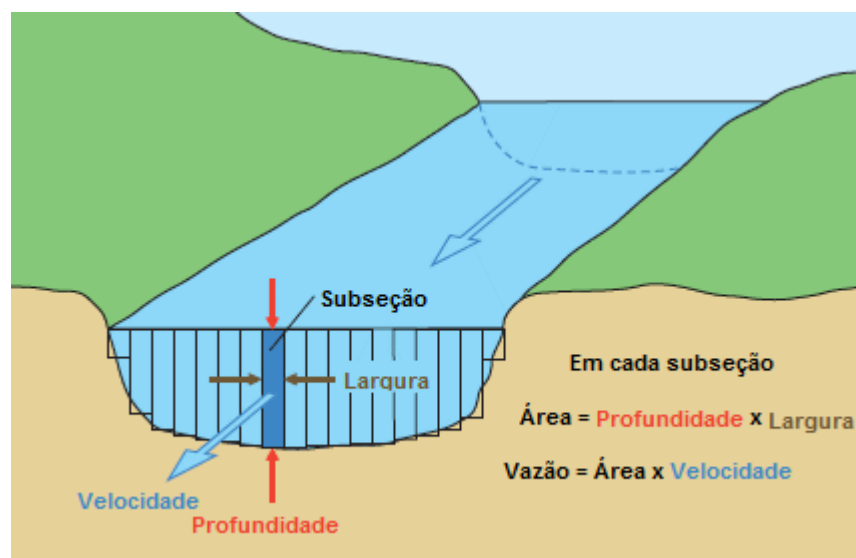


Figura 1 – Procedimento para medição de vazão em uma seção transversal.

Fonte: Adaptada de USGS (2013).

O ADV é capaz de medir as velocidades, ponto a ponto, ao longo da vertical, nas mesmas subdivisões aplicadas na seção transversal, para a aplicação com molinete hidrométrico, apresentadas na Figura 1, com recurso da tecnologia acústica, usando ondas sonoras para sondar velocidades.

Os procedimentos operacionais ao se utilizar ADV são os mesmos utilizados para os molinetes com haste a vau, em termos de medição de largura, número de verticais a serem adotadas, posicionamento de haste e operador. Consequentemente, é limitado a seções de baixa profundidade e velocidade. O aparelho é composto pela haste com bolha que permite controlar a verticalidade, sensor e aparelho indicador das velocidades e vazões obtidas.

Vale ressaltar que a construção de uma base de dados hidrológicos consistente, necessária para um adequado gerenciamento dos recursos hídricos, se faz a partir de técnicas de medição de vazão “in situ”. Assim, diferentes formas de se estimar vazões em campo podem ser comparadas a fim de avaliar as vantagens e desvantagens das mesmas, no auxílio à aquisição de informações em campo.

Neste sentido, este trabalho tem como objetivo comparar duas formas de estimar vazões em um curso d’água natural de pequeno caudal, inferior a  $1\text{m}^3\text{s}^{-1}$ , localizado no município de Juiz de Fora, a saber: o molinete hidrométrico e o velocímetro acústico com efeito doppler.

## METODOLOGIA

Para a comparação entre a utilização do molinete hidrométrico e do ADV foram realizadas medições no dia 28 de janeiro de 2013 em um ribeirão que compõe a Sub-bacia do Ribeirão do Espírito Santo, localizada no município de Juiz de Fora, Minas Gerais. A seção utilizada possui área de drenagem de cerca de  $40\text{ km}^2$ , como apresentado na Figura 2.

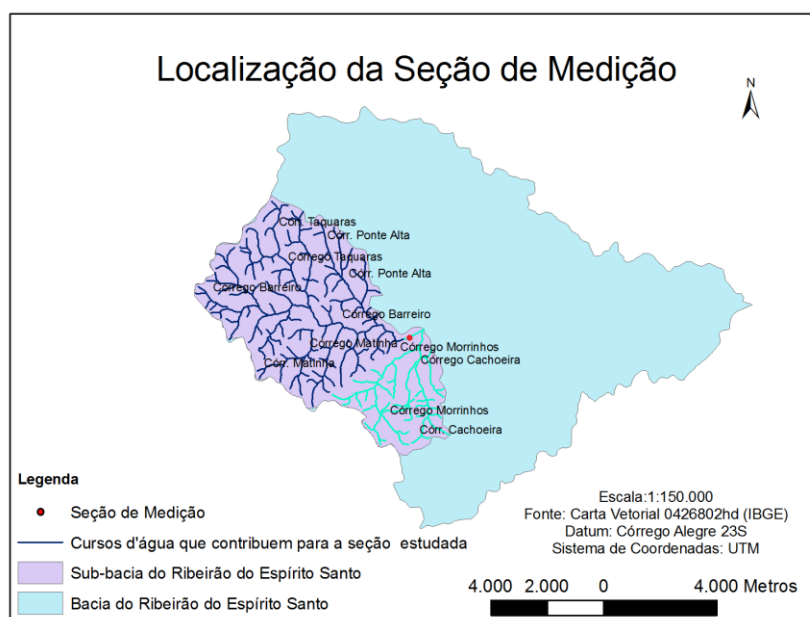


Figura 2 – Localização da Seção de Medição.

O Ribeirão Espírito Santo, que se constitui em um importante manancial de abastecimento da cidade de Juiz de Fora, é um afluente da margem direita do rio Paraibuna, na Zona da Mata mineira e este por sua vez deságua na margem esquerda no rio Paraíba do Sul.

O local de medição da seção transversal foi escolhido por apresentar uma profundidade máxima de 1 m, uma vez que a haste do ADV permitia medição em profundidade máxima de 1,20 m e a haste a vau do molinete de 2 m. A Figura 3 mostra a seção estudada, cujas coordenadas UTM X e Y são respectivamente: 649464 m e 7601250 m.

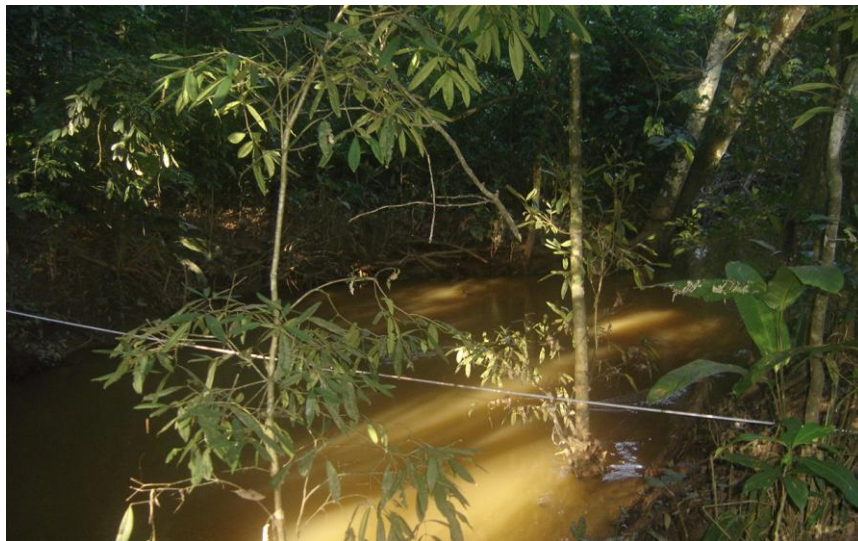


Figura 3 – Seção utilizada para medição.  
Fonte: Acervo Próprio.

O ADV utilizado foi o FlowTracker, que é um medidor de velocidade bistático Doppler. É denominado Bistático porque transdutores acústicos diferentes são usados como transmissores e receptores. Sendo que estes últimos são montados para focar uma distância fixa, de aproximadamente 10 cm da sonda. A intersecção do feixe determina o local do volume a ser amostrado (SonTek, 2009) como pode ser observado na Figura 4.

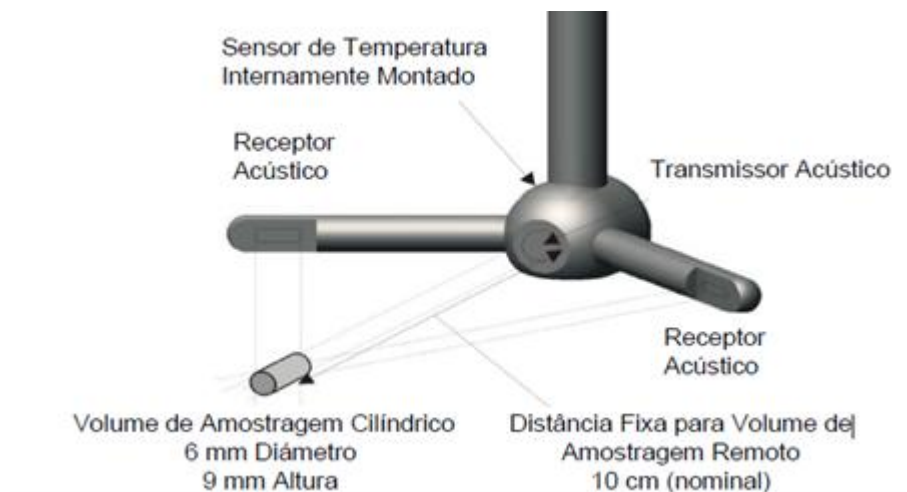


Figura 4 – Sonda bidimensional de amostragem por efeito doppler  
Fonte: SonTek (2009).

O Flow Tracker é composto por controlador e sonda que contem os elementos acústicos usados para medir a velocidade, como apresentado na Figura 5.



Figura 5 - Componentes do Flow Tracker  
 Fonte: SonTek (2009).

Para a medição de vazão no curso d'água, tanto com o molinete hidrométrico quanto com o ADV foi necessária a colocação de uma fita métrica ligando uma margem a outra na seção a ser medida. O eixo X do ADV ficou perpendicular à fita métrica; a fita vermelha (que marca o braço receptor) ficou virada rio-acima. Como pode ser observado na Figura 6.

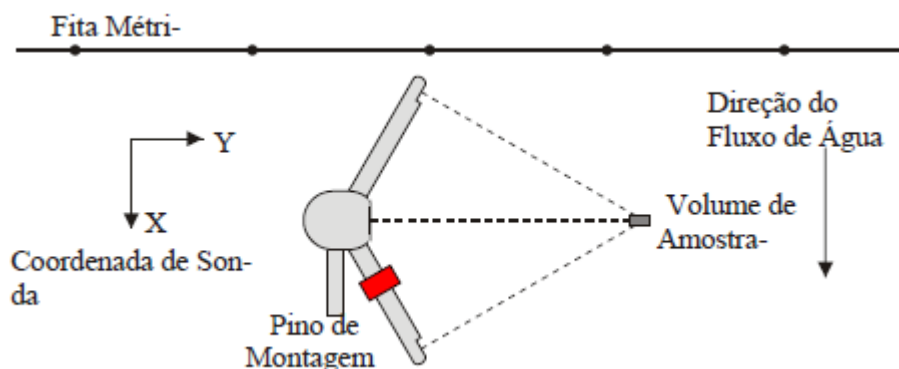


Figura 6 – Posicionamento do ADV para medição  
 Fonte: (SonTek, 2009).

Testes em laboratório com tanques de reboque indicaram que a sonda do ADV e seu suporte criam distúrbios no fluxo, os quais podem ter um pequeno impacto (aproximadamente 1,0%) na velocidade medida. Neste contexto, várias agências governamentais independentes investigaram se o movimento da água em um rio ou canal mostra o mesmo distúrbio observado nos tanques de reboque. Algumas agências concluíram que não existem dados suficientes para suportar a aplicação de uma correção em medições típicas em rios e canais. Entretanto, outras concluíram que uma correção deve ser usada. Ainda não existe um consenso da melhor maneira de lidar com a presença de distúrbio para coleta de dados em campo (SonTek, 2009). Sendo assim, neste trabalho não se aplicou nenhuma correção para o distúrbio de fluxo.

O molinete utilizado foi da marca Newton, com hélice de 12,5 cm de diâmetro, calibrado em 26 de outubro de 2012. A equação da hélice para determinação da velocidade, para número de rotações por segundo superior a 0,5366, como foi o caso da seção estudada é apresentada na equação (1).

$$V = -0,01492817 + 0,28513762 \times N \quad (1)$$

Sendo  $V$  a velocidade em metros por segundo e  $N$ , o número de rotações por segundo da hélice.

Tanto para medição com o Flow Tracker quanto com o molinete foram adotados tempo de medição de 40 segundos e sentido de medição da direita para a esquerda orientando-se de frente para jusante, visando manter a uniformidade nos procedimentos de campo, possibilitando assim a comparação posterior dos resultados.

Adotou-se como método de cálculo para ambos os equipamentos o Método da Meia Seção por ser o mais utilizado entre as entidades que trabalham com hidrometria no Brasil (Santos, *et al.*, 2001). Na seção escolhida foram fixadas verticais equidistantes 1 m, ou seja, espaçadas igualmente ao longo da largura de 1 m, pois as variações em perfil e distribuições de velocidades eram graduais ao longo da seção transversal.

Além da determinação das velocidades por verticais, vazão da seção e tempos de medição, foram levantados, em agosto de 2012, os preços dos equipamentos utilizados.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A seção estudada possui largura de 6,39 m, profundidade média de 0,42 m e área de 2,7 m<sup>2</sup>, como pode ser observado na Tabela 1.

Tabela 1 – Comparação entre as características da seção estudada utilizando-se o molinete hidrométrico e o ADV.

Características	ADV	Molinete
Velocidade Média (m s <sup>-1</sup> )	0,354884	0,361268
Área (m <sup>2</sup> )	2,713	2,71425
Vazão (m <sup>3</sup> /s)	0,9628	0,979922
Profundidade (m)	0,42457	0,424484
Largura (m)	6,39	6,39

A velocidade média e consequentemente a vazão medida por meio do molinete foram 1,7% maiores que as medidas com o ADV, o que indica uma boa coerência nos resultados.

A Tabela 2 apresenta as velocidades medidas utilizando-se o molinete hidrométrico e o ADV, considerando-se que a localização de cada ponto é dada a partir da margem direita.

Tabela 2 – Resultados de velocidade e vazão obtidos com o molinete hidrométrico e com o ADV.

Localização (m)	Profundidade (m)	Área subseção (m <sup>2</sup> )	Molinete Hidráulico			ADV		
			Velocidade (m s <sup>-1</sup> )	Vazão (m <sup>3</sup> s <sup>-1</sup> )	Percentual da vazão	Velocidade m s <sup>-1</sup>	Vazão m <sup>3</sup> s <sup>-1</sup>	Percentual da vazão
1,26	0,65	0,735	0,2963	0,2177	22,21	0,2957	0,2172	22,56
2,26	0,52	0,52	0,4080	0,2122	21,65	0,4337	0,2255	23,42
3,26	0,44	0,44	0,5126	0,2255	23,02	0,4711	0,2073	21,53
4,26	0,56	0,56	0,4033	0,2258	23,05	0,3859	0,2161	22,44
5,26	0,43	0,458	0,2156	0,0987	10,07	0,2112	0,0967	10,04

As velocidades medidas com ambos os equipamentos foram bastante próximas como pode ser observado na Figura 7. Com exceção da segunda vertical, a 2,26 m da margem direita, em que a velocidade calculada a partir da medição com o molinete foi inferior à medida pelo ADV, nas demais medições, o molinete indicou velocidades superiores, variando de 0,2% a 8,1% a mais que o ADV. A menor variação foi registrada no ponto mais profundo e a maior no ponto de maior velocidade.

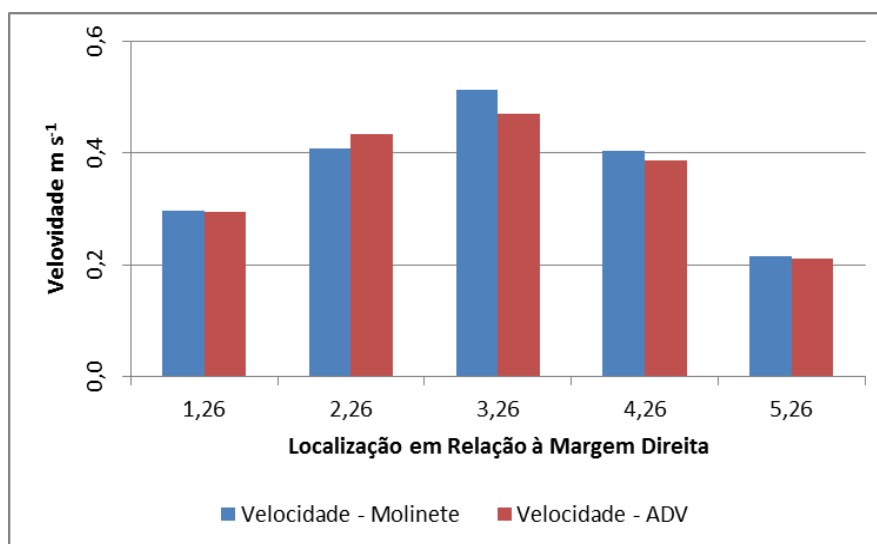


Figura 7 – Velocidades medidas com o molinete hidrométrico e com o ADV.

Apesar das vazões em ambas as medições terem sido bastante próximas com diferença inferior a 2%, a diferença nas velocidades medidas no ponto de maior velocidade suscita a uma investigação mais criteriosa das possíveis diferenças que podem ser identificadas na utilização dos dois equipamentos.

Quanto ao tempo de execução das medições, a equipe gastou 55 minutos na medição com molinete e 35 minutos na medição com o ADV. É importante ressaltar que apesar de a equipe haver sido treinada para a utilização dos equipamentos, não se tratou de equipe eminentemente de campo, experiente no manuseio de tais equipamentos. Além do trabalho em campo com o ADV ter sido 36% mais rápido que o trabalho com o molinete, as medições com o molinete ainda requerem um trabalho de escritório que é dispensado com o uso do ADV, já que este fornece todos os cálculos de velocidade e vazão imediatamente à medição.

Quanto aos custos dos equipamentos, conforme cotação realizada em agosto de 2012, obtidas de empresas representantes das marcas utilizadas, apurou-se que o ADV na configuração utilizada custava R\$ 49.113,02 e o molinete hidrométrico com contador de pulsos e haste a vau de 2 m custava R\$ 14.730,00, ou seja, o custo do molinete completo representava cerca de 30% do custo do ADV, o que tende a desestimular a utilização deste último.

## CONCLUSÃO

Os resultados das medições de velocidades e vazões tanto com o molinete hidrométrico quanto com o ADV foram muito próximos, sendo as medições com o molinete 1,7% acima daquelas realizadas com o ADV. A menor diferença entre a medição com o ADV e o molinete se deu no ponto de maior profundidade e a maior diferença no ponto de maior velocidade da água.

Apesar das medições terem gerado valores muito próximos, os resultados sinalizam para análises com maior número de repetição de medições, uma vez que no ponto de velocidade mais elevada a diferença de medição entre os equipamentos atingiu 8,1%.

O ADV proporcionou um tempo de coleta de dados em campo consideravelmente inferior ao molinete, além de não exigir trabalhos posteriores de escritório, uma vez que fornece todos os dados planilhados e apresentados também em gráficos. Contudo o custo do equipamento é muito alto em relação ao molinete, inibindo sua utilização.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais - FAPEMIG pelo apoio financeiro a execução do projeto.

## REFERÊNCIAS

CUNHA, P. N. (2010). Medição de Caudis em Rios. Métodos Tradicionais versus Novos Equipamentos. Porto: *Dissertação de Mestrado*. Universidade do Porto. Portugal. 116p.

SANTOS, I. D., FILL, D. H., MARTHA, S. R., BUBA, H., KISHI, R. T., MARONE, E., LAUTERT, L. F. (2001). *Hidrometria Aplicada*. Curitiba: LACTEC - Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento. 372p.

SONTEK. (2009). *Manual do Usuário do ADV de Mão do FlowTracker Versão Firmware 3.7*. San Diego: SonTek/YSI. 34p.

USGS . (2013). *How Streamflow is Measured*. Acesso em 18 de Abril de 2013, disponível em United States Geological Survey: <http://ga.water.usgs.gov/edu/streamflow2.html>