



Ambiente & Água - An Interdisciplinary
Journal of Applied Science

ISSN: 1980-993X

ambi-agua@agro.unitau.br

Universidade de Taubaté
Brasil

Maldonado, Luiz Henrique; Wendland, Edson Cezar; de Melo Porto, Rodrigo
Avaliação de métodos de baixo custo para medição de vazão em córregos
Ambiente & Água - An Interdisciplinary Journal of Applied Science, vol. 10, núm. 2, abril-
junio, 2015, pp. 402-412
Universidade de Taubaté
Taubaté, Brasil

Disponível em: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=92838238015>

- Como citar este artigo
- Número completo
- Mais artigos
- Home da revista no Redalyc

redalyc.org

Sistema de Informação Científica

Rede de Revistas Científicas da América Latina, Caribe, Espanha e Portugal

Projeto acadêmico sem fins lucrativos desenvolvido no âmbito da iniciativa Acesso Aberto



Avaliação de métodos de baixo custo para medição de vazão em córregos

doi: 10.4136/ambi-agua.1293

Received: 29 Jan. 2014; Accepted: 16 Mar 2015

Luiz Henrique Maldonado^{1*}; Edson Cezar Wendland²; Rodrigo de Melo Porto²

¹Itaipu Binacional - Foz do Iguaçu, PR, Brasil

²Universidade de São Paulo (USP) - Campus de São Carlos - São Carlos, SP, Brasil

Escola de Engenharia de São Carlos (EESC)

* Autor correspondente: e-mail: lhaldonado@hotmail.com,
ew@sc.usp.br, rodrigo@sc.usp.br

RESUMO

Com o aumento das taxas de poluição e sobre-exploração, a disponibilidade de água em muitas regiões do mundo tem diminuído. Nesse contexto, o gerenciamento quali-quantitativo dos recursos hídricos disponíveis torna-se de primordial importância. Assim, este trabalho objetiva avaliar a aplicabilidade de dois métodos de medição de vazão de baixo custo, porém com precisão adequada: método eletromagnético e método do bueiro. Os métodos foram aplicados em campo (bacia do Ribeirão da Onça), visando à identificação de suas vantagens e desvantagens, tendo como referência o método tradicional de medição de vazão (molinete). Comparando as vazões com medições convencionais, o medidor eletromagnético apresentou um desvio médio de -5%, porém possibilitou a medição de velocidades em condições de turbulência, ocasionadas pelas paredes laterais do canal. O método do bueiro apresentou desvios de vazão de 2,1%, porém apresentou limitações em situações de cheia. Os dois métodos de baixo custo apresentaram bons resultados referente à determinação da vazão, porém é fundamental o conhecimento de suas limitações operacionais.

Palavras-chaves: bueiro, fluviometria, hidrometria, medidor eletromagnético.

Evaluation of low-cost methods for discharge measurements in rivers

ABSTRACT

Increasing rates of pollution and over-exploitation have reduced the availability of water in many regions of the world. In this context, the qualitative and quantitative management of available water resources becomes paramount. Thus, this study evaluated the applicability of two low-cost discharge measurement methods that are adequately precise: the electromagnetic method and the culvert method. The methods were applied in the field (Ribeirão da Onça Basin) in order to assess their advantages and disadvantages with reference to the conventional method of discharge measurement. Compared with the traditional method, the electromagnetic method resulted in a deviation of -5%, but allowed velocity measurements in the turbulent conditions caused by the channel's side walls. The culvert method resulted in discharge deviations of 2.1%; however, it had limitations in high water situations. The two

low-cost methods showed good results in determining the rate of discharge, but it is crucial to understand their operational limitations.

Keywords: culvert, eletromagnetic flowmeter, fluvimetry, hydrometry.

1. INTRODUÇÃO

A água doce é um recurso essencial no uso doméstico, industrial e agrícola. Como o consumo global de água dobra a cada 20 anos, mais de duas vezes a taxa de crescimento da população, e com o aumento das taxas de poluição e sobre-exploração, a disponibilidade de água em muitas regiões do mundo tem reduzido (Borghetti et al., 2004). Nesse contexto, a quantificação e o gerenciamento quali-quantitativo dos recursos hídricos disponíveis tornam-se de primordial importância.

A aquisição de dados fluviométricos depende de campanhas de campo, em geral custosas, e se os procedimentos não forem seguidos de modo correto e rigoroso, os resultados não terão a precisão adequada. Assim, ao longo do tempo, diversos métodos teóricos foram desenvolvidos para suprir a falta de dados básicos (e.g., vazão), como a regionalização de vazão (Tucci, 2001), vazões de referência como a $Q_{7,10}$ (vazão de 7 dias consecutivos em 10 anos) e Q_{90} (vazão com 90% de probabilidade de ocorrer) (Sarmiento, 2007; Vestena et al., 2012), além de outros métodos para estimativa de vazão mínima com poucos dados (Silveira et al., 1998). As vazões de referência são utilizadas como o início de processos de gestão ambiental, com a aplicação de diversos modelos hidrológicos para previsão e simulação de possíveis lançamentos de poluentes (Fan et al., 2013). Estas vazões mínimas de referência também são utilizadas em outorgas para captação de água para abastecimento urbano, segundo Lei Federal nº 9.433/1997. Além disso, a quantificação da vazão em cursos d'água superficiais é uma informação importante para o gerenciamento de recursos hídricos subterrâneos (Wendland et al., 2007; Rabelo e Wendland, 2009).

Deste modo, torna-se cada vez mais importante o conhecimento do real valor de uma das mais básicas variáveis hidrológicas: a vazão. Os métodos de medição de vazão foram desenvolvidos, inicialmente, a partir do Renascimento, com medições de velocidades superficiais em rios realizadas por Leonardo da Vinci (1452-1519) com flutuadores. No século XVII, Mariotte, baseado nos conceitos anteriores (Lei da Continuidade de “Leonardo da Vinci” e da Hidrodinâmica de “Benedetto Castelli”), aperfeiçoou o funcionamento dos flutuadores nas medições de velocidade para quantificar um escoamento (vazão) (UNESCO et al., 1974).

Como a vazão não pode ser determinada de um modo direto em rios, é necessário estimá-la por intermédio de variáveis possíveis de se medir, como largura e profundidade do canal e velocidade do fluido. O método mais tradicional para a estimativa de vazão é o molinete hidrométrico, equipamento que relaciona rotações do hélice do molinete com a velocidade de escoamento do fluido. Diversos outros métodos podem ser utilizados para estimar a vazão, como os mais modernos (Acoustic Doppler Current Profiler - ADCPs e eletromagnéticos), assim como os estruturais (vertedouros e calhas) e os tipos diversos (volumétricos, flutuador, traçador e radar) (WMO, 2010).

Cada método apresenta vantagens, desvantagens e incertezas. Os métodos baseados no produto das velocidades e áreas apresentam incertezas relativas ao número de velocidades medidas ao longo da profundidade (vertical) e ao longo da seção transversal (erros na ordem de 7,5%, no caso de medições de vazão em 5 verticais, a 1%, para 35 verticais), ao tempo de amostragem de cada velocidade (erros na ordem de 4%, no caso de medições de vazão para um tempo de amostragem de 0,5 min, a 2%, para 3 min), e ao tipo de instrumento utilizado (ISO, 2007).

Dentre todos os métodos para determinação da vazão em escoamento, alguns são pouco usuais devido a motivos como: desconhecimento técnico, custo de implantação, tempo para aplicar a metodologia e determinar a vazão, assim como a qualificação de operadores.

A Bacia do Ribeirão da Onça é uma bacia que vem sendo estudada desde a década de 80 por pesquisadores da Universidade de São Paulo (EESC/USP), principalmente na área de Hidrogeologia. No local, a vazão é obtida por medições esporádicas com o molinete, porém Maldonado e Wendland (2013) aplicaram um dos métodos precisos e de baixo custo para medição de vazão: o vertedor circular móvel. Entretanto, o vertedor circular do tipo móvel apresentou dificuldades operativas, como o tempo para que o estabelecimento de escoamento permanente após sua instalação se estabeleça, além de vazamentos entre o vertedor e a parede de suporte.

Assim, o objetivo do presente trabalho é avaliar a aplicabilidade de dois métodos de baixo custo de medição de vazão na Bacia do Ribeirão da Onça: método eletromagnético e bueiro. O molinete foi utilizado como o método de referência para a avaliação das velocidades e vazões medidas.

Como existem bueiros instalados em diversos pontos nos canais urbanos nos municípios brasileiros, o método dos bueiros, se válido, torna-se prático para se coletar dados quantitativos d'água para possíveis estudos de cheias, inundações e sistemas de alertas. Além disso, estudos hidráulicos facilitam a identificação de onde os medidores tradicionais (*e.g.* molinetes) podem não funcionar corretamente.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Área de estudo

O estudo experimental foi realizado na Bacia-Piloto do Ribeirão da Onça, localizada no município de Brotas-SP, centro-leste do estado de São Paulo, entre os paralelos 22°10' e 22°15' de latitude Sul e entre os meridianos 47°55' e 48°00' de longitude Oeste (Figura 1). O Ribeirão da Onça é um dos formadores do Rio Jacaré-Guaçu, afluente do Rio Tietê pela margem direita, conforme desenho esquemático apresentado na Figura 1. Segundo Mattos et al. (1984) e Preto Filho (1985) a área da bacia é de 65 km², perímetro de 42 km, comprimento axial de 11 km, extensão do curso d'água principal de 16 km, comprimento total dos cursos d'água de 55 km, altitude máxima de 840 m e altitude mínima de 640 m e declividade média de 7,6 m km⁻¹.

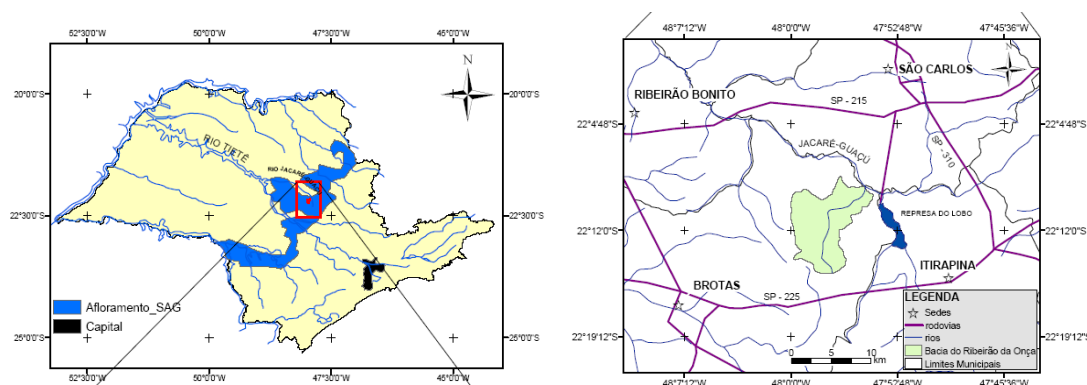


Figura 1. Localização da Bacia do Ribeirão da Onça.

Fonte: modificado de Barreto (2006).

No local de estudo há uma fazenda produtora de frutas cítricas e cana de açúcar e o Ribeirão da Onça é utilizado como fonte de água para irrigação da agricultura.

2.2. Equipamentos

2.2.1. Molinete

O método mais usual para estimativa de vazão baseia-se em medições de velocidade em vários pontos da seção transversal de um corpo d'água com o molinete hidrométrico (Santos et al., 2001). As velocidades medidas são multiplicadas pelas respectivas áreas de influência para obter a vazão. Para medir velocidades, o equipamento é dotado de um hélice e de um contador de giros. Para o experimento foi utilizado um molinete com eixo horizontal da JCTM, modelo MLN-7, calibrado para medir velocidades entre 0,02 e 6 m s⁻¹. Para cada revolução do hélice do molinete, um impulso é transmitido, acionando o contador de impulsos (eletromecânico ou eletrônico), acoplado a um cronômetro de contagem regressiva. Foi adotado o tempo de 30 segundos (valor mínimo recomendado pela ISO 748 de 2007) para a contagem do número de rotações do molinete. O número de rotações está relacionado com a velocidade por uma curva de calibração, expressa pelas equações:

$$v = 0,24729696.N + 0,03765296 \text{ para } N < 0,7186 \quad (1)$$

$$v = 0,29204954.N + 0,00549455 \text{ para } N \geq 0,7186 \quad (2)$$

em que:

v : é a velocidade (m s⁻¹) no ponto a ser coletado e

N : é o número de rotações por segundo.

A velocidade em um ponto resultou da média de três amostragens consecutivas. Aplicando o método da meia seção (Santos et al., 2001), obtém-se a vazão do escoamento (ISO, 2007). As estimativas de vazão utilizando o molinete hidrométrico no Ribeirão da Onça (Figura 2) foram realizadas no período entre 09/11/2007 e 21/11/2008, totalizando dezoito coletas para análise comparativa de vazão com o método do bueiro.

No dia 26/02/2009, foi realizada medições de velocidades com o molinete hidrométrico em onze verticais ao longo da seção transversal. Em cada vertical foram medidas velocidades a cada 10% da profundidade para a análise comparativa de velocidades com o medidor eletromagnético. Todos os procedimentos para coletar as velocidades foram baseados na ISO 748 (ISO, 2007).



Figura 2. Medições de vazão com molinete no Ribeirão da Onça na seção de medição, em duas possíveis situações: com o operador à jusante do equipamento e sobre uma passarela.

As velocidades medidas em cada ponto em 26/02/2009 foram adimensionalizadas para a análise comparativa em perfis, dividindo-se cada velocidade medida de forma pontual pela velocidade média da seção. A velocidade média é obtida pela razão entre a vazão total e a área molhada total.

2.2.2. Bueiro

Segundo Cirilo et al. (2011), os bueiros são estruturas hidráulicas construídas em pontos baixos dos vales, que permitem a passagem de água em três condições hidráulicas: escoamento livre (canal), afogamento a montante (orifício) e submergência de ambas extremidades (conduto forçado). Quando o bueiro se comporta como um canal, podem ocorrer três condições hidráulicas (Henderson, 1966): controle a montante (em regime fluvial), controle a jusante (em regime fluvial) e controle a jusante (em regime torrencial).

No caso do Ribeirão da Onça, o bueiro funciona como um canal circular, com controle a montante (regime fluvial) (Figura 3). Para esta condição, com mudança de regime fluvial para torrencial na entrada do bueiro, o cálculo da vazão baseia-se no valor da energia crítica (E_c), que corresponde à carga hidráulica (h) a montante (Henderson, 1966):

$$Q = 1,503 \cdot E_c^{1,9} \cdot D^{0,60} \cdot \left(\frac{S_0}{0,4} \right)^{0,05} \quad (3)$$

em que:

Q : é a vazão ($\text{m}^3 \text{s}^{-1}$),

D : é o diâmetro do bueiro (m) e

S_0 : é a declividade de fundo do bueiro ($0,025 \text{ m m}^{-1}$).



Figura 3. Vista dos bueiros: de montante e de jusante, respectivamente.

Para determinar a carga hidráulica, foi instalado um limnígrafo à montante do bueiro (Figura 4). Além disso, foi instalado um transdutor de pressão no limnígrafo em uma cota arbitrária para coletar o nível d'água, de forma automática a cada quinze minutos.



Figura 4. Instalação do limnígrafo a montante do bueiro.

Como o transdutor de pressão mede uma coluna d'água acima dele, foi realizado o nivelamento topográfico entre o limnígrafo e a geratriz de fundo na entrada de cada bueiro, para que o valor informado pelo equipamento corresponda à carga hidráulica de forma direta.

A cada quinze dias eram realizadas visitas ao local e, a partir de leituras manuais, as leituras do sensor de pressão no limnígrafo (E_c da Equação 3) foram verificadas e determinadas as vazões (Q) a partir da Equação 3.

2.2.3. Equipamento Eletromagnético

O método eletromagnético para medição de velocidade baseia-se na Lei de Faraday, na qual um condutor, no caso a água, ao se movimentar cruzando um campo magnético, produzirá uma corrente elétrica (Turnipseed e Sauer, 2010). A variação do campo magnético criado pelo escoamento induz uma força eletromotriz proporcional à velocidade do fluxo d'água, Equação 4 (Marsh-McBirney, 2003).

$$E = constant \cdot B \cdot L \cdot v \quad (4)$$

em que:

E: é a força eletromotriz induzida (Volts),

B: é o campo magnético (Tesla),

L: é a distância entre os sensores (metros) e

v: é a velocidade (m s^{-1}).

Para a medição das velocidades, a partir da força eletromotriz (E), foi utilizado o equipamento modelo Flo-Tote3 (FT3) (Figura 5), fabricado por Mash-McBirney. O equipamento foi calibrado na fábrica, não sendo necessária a verificação da Equação 4.

O medidor eletromagnético foi testado em laboratório (Maldonado e Wendland, 2013) em comparação com um micromolinete, apresentando desvios de velocidade de 3 a 5%, justificando sua utilização no Ribeirão da Onça.

No dia 26/02/2009 foram realizadas medições de velocidades na seção transversal nos mesmos pontos onde foram realizadas as medições de velocidades com o molinete, para fins comparativos. O procedimento de coleta foi baseado na ISO 748 (ISO, 2007).



Figura 5. Medidor de velocidade eletromagnético (sensor verde). O cilindro branco contém o *datalogger* e baterias. A figura da direita apresenta o posicionamento do sensor no ribeirão.

3. RESULTADOS

3.1. Comparação entre as vazões medidas no bueiro e com o molinete

Entre 09/11/2007 e 21/11/2008 foram realizadas dezoito (18) medições de vazão com o molinete e pelo método do bueiro (Tabela 1), com valores mínimos e máximos de 0,52 e 2,09 $\text{m}^3 \text{s}^{-1}$, respectivamente.

A vazão medida de 2,09 $\text{m}^3 \text{s}^{-1}$ (Tabela 1) não foi considerada, pois sendo a primeira medição de vazão, foi realizada em uma seção à jusante da ponte, local verificado como inapropriado em função do estrangulamento da seção (menor área), menor número de verticais, assim como altas velocidades. Considerando o hidrograma obtido pela Equação 3, a vazão de 1,39 $\text{m}^3 \text{s}^{-1}$ (nº 1) corresponde a um período de recorrência de 43 anos (ou probabilidade de 2,32% de ocorrer).

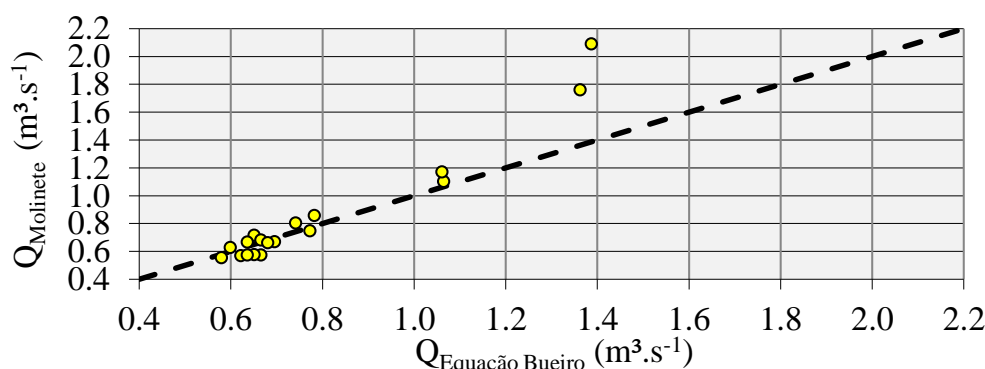
Tabela 1. Vazões medidas com o molinete hidrométrico e estimadas pela equação do Bueiro (Equação 3) no Ribeirão da Onça.

Nº	Data	Q (m³ s⁻¹)		Desvio (%)	Nº	Data	Q (m³ s⁻¹)		Desvio (%)
		Molinete	Equação				Molinete	Equação	
1	09/11/2007	2,09	1,39	-34	10	10/04/2008	0,80	0,74	-7
2	21/11/2007	0,55	0,58	5	11	30/04/2008	1,76	1,36	-23
3	06/12/2007	1,10	1,06	-3	12	14/05/2008	0,71	0,65	-9
4	19/12/2007	0,67	0,70	4	13	28/05/2008	0,57	0,62	10
5	09/01/2008	0,57	0,67	16	14	25/06/2008	0,68	0,67	-2
6	23/01/2008	0,57	0,65	13	15	11/07/2008	0,57	0,64	11
7	28/02/2008	0,75	0,77	4	16	24/07/2008	0,63	0,60	-4
8	12/03/2008	1,17	1,06	-9	17	08/08/2008	0,66	0,68	3
9	27/03/2008	0,86	0,78	-9	18	22/08/2008	0,66	0,64	-4

Considerando as medições de vazão com molinete como referência, o desvio médio de vazão estimada pelo bueiro foi de 2,1%, com desvios máximos entre +16 e -34%. Em situações de cheia, com vazões medidas pelo molinete acima de 1,7 m³ s⁻¹, o método do bueiro sistematicamente subestima as vazões (Figura 6). No entanto, nessas condições o erro pode estar associado ao método do molinete, tendo em vista as dificuldades de realização das medições em situação de risco (velocidade máxima de 1,8 m s⁻¹).

Para as baixas vazões, o método dos bueiros superestima as vazões em até 16%, como na medição de número 5, para uma vazão de 0,57 m³ s⁻¹ ou período de recorrência de 1,2 anos.

Como o método baseia-se na geometria e na declividade do bueiro (valores constantes na Equação), e na carga hidráulica (única variável), o método é de fácil implementação e baixo custo, permitindo a estimativa da vazão em modo contínuo.

**Figura 6.** Comparação das vazões estimadas pela equação de bueiro e pelo molinete hidrométrico.

A partir da comparação apresentada (Tabela 1 e Figura 6), a metodologia para determinação de vazão por intermédio da equação de bueiros adequou-se ao local, mesmo com os desvios de vazão em situações hidrológicas extremas, e pode ser aplicada para a determinação do escoamento superficial da Bacia.

3.2. Comparação entre as vazões medidas com o Eletromagnético e com o Molinete

No dia 26/02/2009 foram realizadas medições de velocidade com o medidor eletromagnético e com o molinete hidrométrico na seção (3,0 m de largura e 0,75 m de profundidade) de medição de vazão, no Ribeirão da Onça. Com o molinete, as velocidades foram medidas a cada 10% da profundidade, em 11 verticais, ao longo da largura da seção transversal (Figura 7). O equipamento eletromagnético mediu a velocidade nas mesmas verticais, porém em três pontos por vertical (20, 60 e 80% da profundidade), pois a bateria do equipamento não permitiu medir velocidades a cada 10% da profundidade, o que totalizou 33 pontos de coletas de velocidade para comparação entre molinete e eletromagnético.

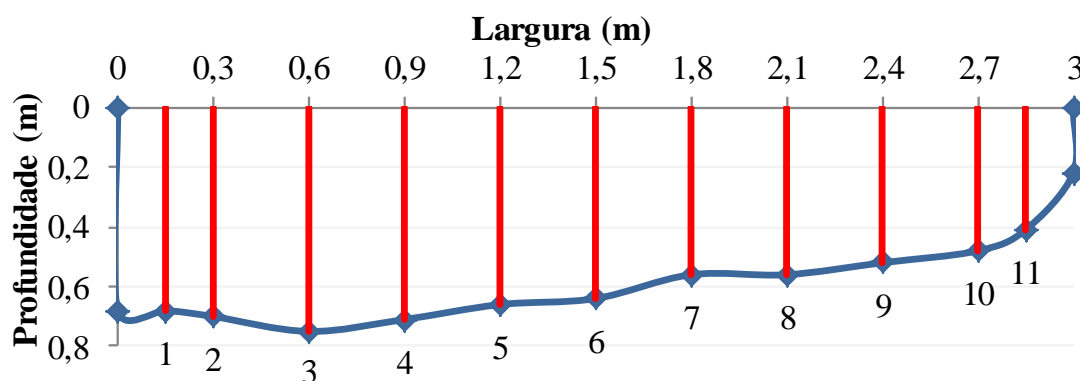


Figura 7. Perfil batimétrico e verticais (1 a 11), nas quais foram realizadas as medições de velocidade.

As velocidades medidas com o instrumento eletromagnético a 60% de profundidade (0,6p, sendo p a profundidade) foram, em média, 5,2% inferiores às velocidades medidas com o molinete (Figura 8). Nas verticais próximas às laterais do canal houve dispersão de resultados, devido à turbulência provocada pelas paredes. Na vertical de número um (1), o medidor eletromagnético indicou velocidades 20% maiores que o molinete. Na vertical de número onze (11), o medidor eletromagnético indicou velocidades negativas, condição não detectada pelo molinete. Os desvios nas verticais próximas às laterais também foram encontradas analisando os desvios nos pontos 0,2p, 0,6p e 0,8p (Figura 9).

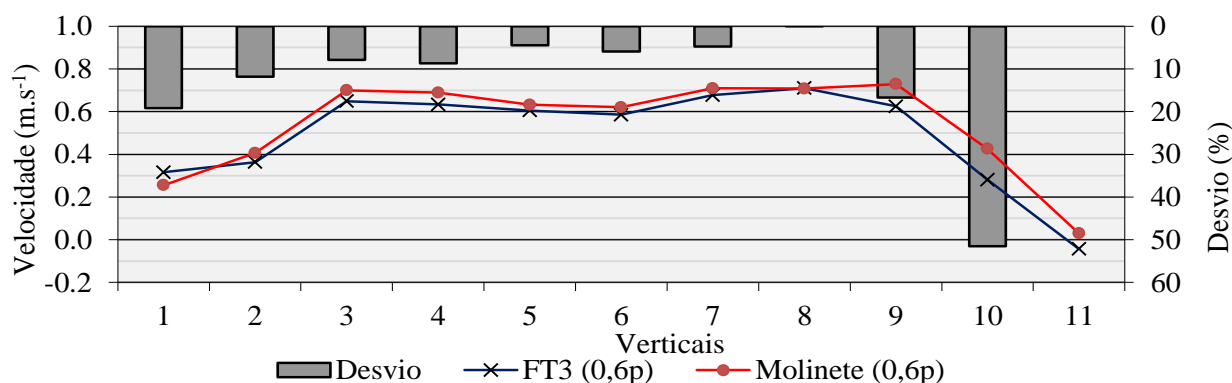


Figura 8. Velocidades médias medidas a 60% de profundidade (0,6p), com o medidor eletromagnético (FT3) e molinete. O desvio foi calculado usando a medição do molinete como referência.

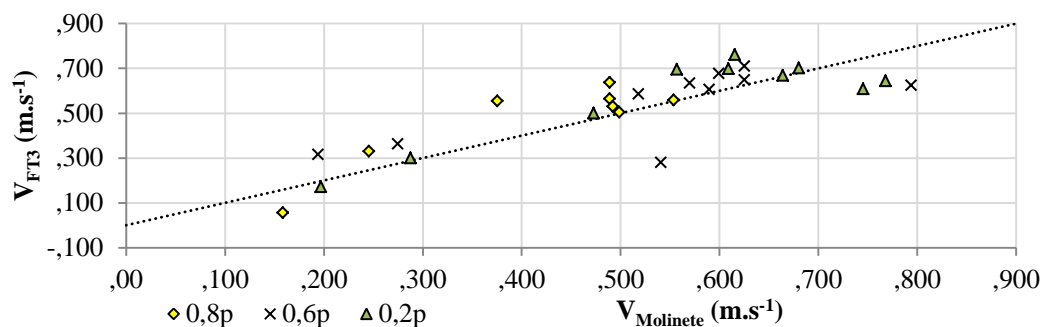


Figura 9. Velocidades medidas com o medidor Eletromagnético (VFT3) e Molinete (Vmolinete) para os pontos a 80% (0,8p), 60% (0,6p) e 20% (0,2p) para as 11 verticais.

As velocidades medidas em diferentes profundidades em cada vertical foram plotadas em quatro perfis ao longo da largura da seção (Figura 10) para verificar se o perfil de escoamento no ribeirão é do tipo logarítmico ou potencial, e se há ocorrência de turbulência.

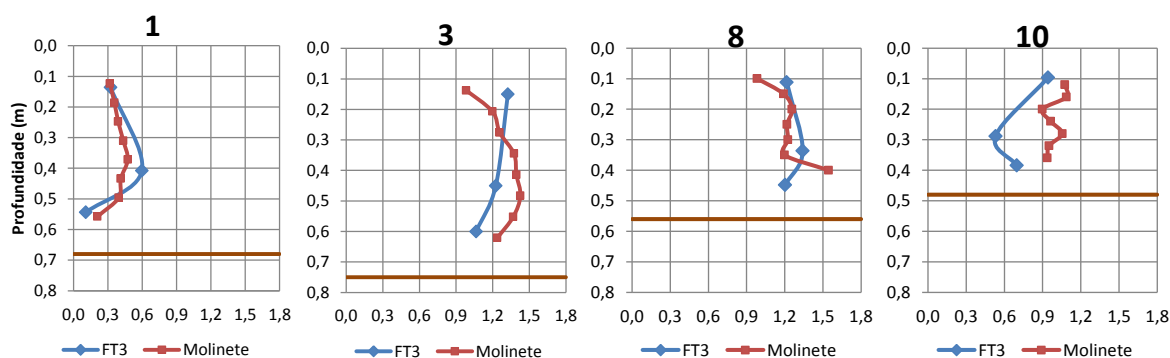


Figura 10. Perfis de velocidade obtidos com o molinete e eletromagnético (FT3) para as verticais 1, 3, 8 e 10. O eixo das abcissas representa as velocidades adimensionais e o eixo das ordenadas representa a profundidade (m).

Considerando as verticais apresentadas na Figura 10, verifica-se que a vertical de número três (3) apresentou características de perfil potencial/logarítmico (teórico) com diminuição de velocidades próximo às superfícies da lâmina d'água. Entretanto, nas verticais de números um (1), oito (8) e dez (10) verificaram-se variações das velocidades, como:

- vertical de número um (1) e oito (8): desvios de velocidades em 60% próximo do leito. Nesta região, em função da proximidade do leito, há uma turbulência maior da água aumentando a imprecisão do molinete;

- vertical de número dez (10): velocidades com mais de 50% de desvios entre equipamentos, indicativo de que o vetor de velocidade não esteja perpendicular à seção.

Plotando todas as velocidades medidas ao longo da seção transversal em forma de linhas, ou isotáquias (Figura 11), nota-se que as maiores velocidades localizam-se entre as verticais a 1,5 e 2,5 metros da margem direita, área não centralizada na seção, fator indicativo de canal não uniforme. Esta condição indica que as velocidades não são perpendiculares à seção e como o molinete não mede o ângulo do vetor velocidade e não o corrige, resultam em velocidades superestimadas. Em contrapartida, o medidor eletromagnético corrige este problema, tornando-o mais confiável nas medições em locais de maior turbulência.

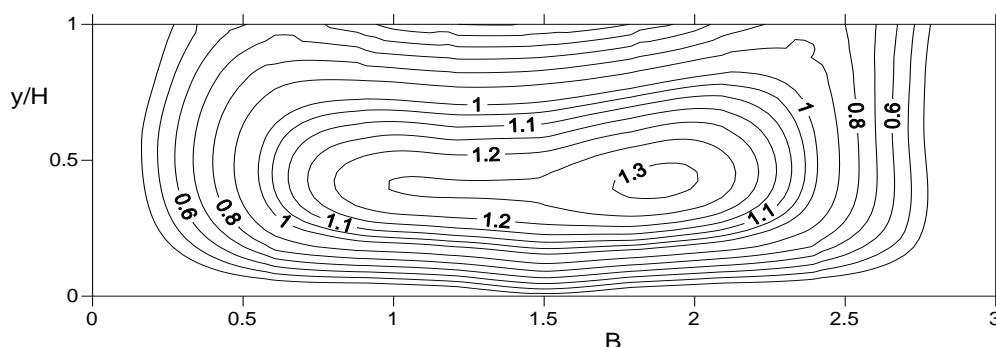


Figura 11. Isolinhas de velocidade (isotáquias) para a seção no Ribeirão da Onça.

4. CONCLUSÕES

A avaliação de métodos de baixo custo para a quantificação do escoamento em cursos d'água revelou que o método do bueiro apresentou um desvio médio de vazão de 2,1%. Embora o desvio tenha sido menor que o do método eletromagnético, as vazões foram subestimadas em situações de cheias e superestimadas em situações de estiagem. Com o medidor eletromagnético, o desvio médio de velocidade foi de 5%, porém com a vantagem de se poder realizar medições em pontos de maior turbulência e se estimar a direção da corrente d'água, o que o torna mais preciso e real que o molinete.

Assim, os dois métodos foram validados, porém devem-se conhecer suas limitações, para que seja possível obter valores de vazão confiáveis para uma melhor gestão dos recursos hídricos, como: emissão de outorgas, determinação de valores de referência, modelagens hidrológicas e parâmetros qualitativos.

Em função da facilidade e baixo custo, sugere-se a aplicação do método de bueiro em canais urbanos, para uso em sistemas de alerta em municípios.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores manifestam seu agradecimento à CAPES (bolsa de mestrado) e ao CNPq (fomento) pelo suporte financeiro que viabilizou o desenvolvimento do projeto de pesquisa.

6. REFERÊNCIAS

- BARRETO, C. E. A. G. **Balanço hídrico em zona de afloramento do sistema Aquífero Guarani a partir de monitoramento hidrogeológico em bacia representativa**. 2006. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2006.
- BORGHETTI, N. R. B.; BORGHETTI, J. R.; ROSA FILHO, E. F. **Aquífero Guarani: a verdadeira integração dos países do Mercosul**. Curitiba: Maxigráfica, 2004.
- CIRILO, J. A.; BAPTISTA, M. B.; COELHO, M. M. L. P.; MASCARENHAS, F. C. B. **Hidráulica aplicada**. 2. ed. Porto Alegre: ABRH, 2011.
- FAN, F. M.; COLLISCHON, W.; RIGO, D. Modelo analítico de qualidade de água acoplado com Sistema de Informação Geográfica para simulação de lançamentos com duração variada. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 18, n. 4, 2013. <http://dx.doi.org/10.1590/S1413-41522013000400008>
- HENDERSON, F. M. **Open channel flow**. 3. ed. New York: The Macmillan Company, 1966.

- INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION – ISO. **748 Hydrometry**: Measurement of liquid flow in open channels using current-meters or floats. Geneva, 2007.
- MALDONADO, L. H.; WENDLAND, E. C. Aplicação de medidores de vazão não-convencionais em rios: eletromagnético e vertedor circular. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS - SBRH, 20., 2013, Bento Gonçalves. **Anais...** Rio de Janeiro: ABES, 2013.
- MARSH-McBIRNEY. **Operation-using the Flo-Tote3 Flowmeter System**. Loveland, 2003.
- MATTOS, A.; RIGHETTO, A. M.; CONTIN NETO, D.; POMPÊO, C. A. **Relações hidrológicas e hidrometeorológicas em bacia experimental na região de afloramento do Aquífero Botucatu**. São Carlos: Departamento de Hidráulica e Saneamento; EESC-USP, 1984. Relatório apresentado à FAPESP.
- PRETO FILHO, V. O. **Implantação de uma bacia experimental para estudos hidrogeológicos e hidrometeorológicos**. São Carlos: Departamento de Hidráulica e Saneamento; EESC-USP, 1985. Primeiro relatório semestral jan-ago., apresentado à FAPESP. 16p.
- RABELO, J. L.; WENDLAND, E. Assessment of groundwater recharge and water fluxes of the Guarani Aquifer System, Brazil. **Hydrogeology Journal**, v. 17, p. 1733-1748, 2009. <http://dx.doi.org/10.1007/s10040-009-0462-y>
- SANTOS, I. dos; FILL, H. D.; SUGAI, M. R. V. B.; BUBA, H.; KISHI, R. T.; MARONE, E.; LAUTERT, L. F. **Hidrometria aplicada**. Curitiba: ITD, 2001.
- SARMENTO, R. Estado da arte da vazão ecológica no Brasil e no Mundo. Relatório segundo Edital n. 5 do ano de 2006, PROJETO 704BRA2041. Geneva: UNESCO, 2007.
- SILVEIRA, G. L.; TUCCI, C. E. M.; SILVEIRA, A. L. L. Quantificação de vazão em pequenas bacias sem dados. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 3, n. 3, p. 111-131, 1998.
- TUCCI, C. E. M. **Hidrologia: ciência e aplicação**. 2. ed. Porto Alegre: UFRGS, 2001.
- TURNIPSEED, D. P.; SAUER, V. B. Discharge measurements at gaging stations. In: UNITED STATES. Geological Survey. **Techniques and Methods**. Book 3, chap. A8. Washington, 2010. 87 p.
- UNITED NATIONS EDUCATIONAL, SCIENTIFIC AND CULTURAL ORGANIZATION - UNESCO; WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION - WMO; INTERNATIONAL ASSOCIATION OF HYDROLOGICAL SCIENCES - IAHS. **Three century of scientific hydrology 1674-1974**. Paris, 1974.
- VESTENA, L. R.; OLIVEIRA, E. D.; CUNHA, M. C.; THOMAS, E. L. Vazão ecológica e disponibilidade hídrica na bacia das Pedras, Guarapuava-PR. **Revista Ambiente & Água**, v. 7, n. 3, 2012. <http://dx.doi.org/10.4136/ambi-agua.840>
- WENDLAND, E.; BARRETO, C.; GOMES, L. Water balance in the Guarani Aquifer outcrop zone based on hydrogeologic monitoring. **Journal of Hydrology**, v. 342, n. 34, p. 261-269, 2007. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhydrol.2007.05.033>
- WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION – WMO. **Manual on Stream Gauging**. Vol 1, Fieldwork. Geneva, 2010.