

## XXIII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS

### **APLICAÇÃO EXPERIMENTAL DA VELOCIMETRIA POR IMAGENS EM LARGA ESCALA NO RIO BANANAL: RESULTADOS E RECOMENDAÇÕES**

*Autor <sup>1</sup> ; João Augusto de Pessoa*

**RESUMO** – A velocimetria por imagens de larga escala, é um método em desenvolvimento que tem como objetivo medir o campo de velocidade de um rio, utilizando imagens sequenciais, mais comumente em vídeo. Se a geometria da seção transversal for conhecida, será possível obter o valor da descarga. Sua adoção possibilita a medição da velocidade superficial não apenas na seção específica, mas de toda a superfície do trecho de interesse do rio, permitindo avaliar através das linhas de fluxo do escoamento, se as condições de fluxo são adequadas para a instalação de uma estação fluviométrica. Este método permite a aquisição da velocidade do escoamento em situações de cheias torrenciais onde não é possível se aproximar da margem do rio (derrubadas de pontes, arrasto das réguas) como também possibilita a utilização em estações fluviométricas sob efeito de maré combinando-se os valores de nível como os de velocidade. O presente trabalho descreve experimentos desta ferramenta realizados no ribeirão Bananal – D.F. e apresenta resultados comparados com a medição tradicional como também as observações do autor sobre sua aplicação em campo.

**ABSTRACT**– Large-scale velocimetry is a method under development that aims to measure the velocity field of a river using sequential images, most commonly in video. If the cross-section geometry is known, the discharge value can be obtained. Its adoption allows the measurement of the surface velocity not only in the specific section, but on the entire surface of the river section of interest, allowing to evaluate through the flow flow lines if the flow conditions are suitable for the installation of a fluviometric station. This method allows the acquisition of the flow velocity in torrential flood situations where it is not possible to approach the river bank (bridge overturns, dragging of the rulers) as well as the use in tidal influenced fluviometric stations, by combining the water level values with the surface velocity. The present work describes a experiment of this tool carried out at Bananal creek - D.F. and presents the comparison with the outcome from the traditional measurement approach. Details of the field application is also commented by the author.

---

<sup>1</sup> Especialista em recursos hídricos da Agência Nacional das Águas, Setor Policial (SPO), Área 5, Quadra 3, Bloco L - Brasília (DF). tel: 61- 2109 55 49, [jpessoa@ana.gov.br](mailto:jpessoa@ana.gov.br)

**Palavras-Chave** – lspiv, velocimetria de larga escala, hidrometria

## INTRODUÇÃO

A velocimetria por imagens de partículas – PIV, tem suas origens nas técnicas da física de visualização de fluxos por fotografias e, devido o seu conceito de fácil assimilação, tem sido utilizada há muito tempo como pode-se constatar nos trabalhos de Fage e Townend (Fage et Townend ,1932). Varios exemplos gráficos de PIV podem ser encontrado no trabalho de Van Dyke (1982).

O avanço nas técnicas de velocimetria tem sido melhorar os resultados quantitativos e automatizar, por análise computacional, a análise das imagens. Uma didática exposição de técnicas de mapeamento de partículas para mecânicas dos fluidos pode ser encontrada em Adrian (1991, 2005).

As primeiras medições em velocimetria por imagem em rios foram realizados por Fujita e Komura (Fujita and Komura, 1994, em japonês). Desde então, pesquisadores expandiram as aplicações do PIV, restritas então em experimentos na escala de laboratórios, para medições de larga escala (LSPIV – large scale image velocimetry) serem feitas no campos durante eventos críticos e até com a participação social da população (Fujita et al., 1998; Muste et al. 2008; Le Coz et al., 2014).

Este método permite realizar, em apenas 20 segundos de vídeo, uma estimativa muito detalhada do campo de velocidade da superfície d'água ao invés de fazer uma medição tradicional de velocidade. A medição tradicional pode demorar uma hora ou mais, dependendo de quão largo é o rio, e durante esse período de tempo, ações de detritos podem impactar as medições como também acontecer mudanças da cota do rio. Vídeos produzidos por residentes locais, noticiários ou apenas outros espectadores, podem ser dados valiosos a serem utilizados em uma situação crítica de enchentes, tempestades, etc.

Esta solução utiliza uma camera de video comum, como a de um celular, e softwares gratuitos apresentando um custo muito baixo se comparado a soluções comerciais de velocimetria sem contato com a água. É importante destacar que a solução não é dependente de software licenciado, o que evita os custos tipicamente altos desse tipo de software e dá mais flexibilidade na aplicação da técnica.

## FUNDAMENTACAO TEORICA

Enquanto a utilização da PIV requer 4 componentes – Visualização do Fluxo, Iluminação, Gravação de imagens e Processamento de Imagens –, ao se aplicar LSPIV, um componente a mais se torna necessário: a orto-retificação das imagens.

A seqüência de procedimentos para a utilização da LSPIV de acordo com Muste et al. (2008) compreende:

- A iluminação, evitando reflexos ou locais mal iluminados que afeta diretamente o rastreamento das imagens;
- A adequação dos traçadores, ou seja, pequenos objetos flutuantes que indicam as linhas de fluxo e a velocidade de deslocamento das partículas de água na superfície. Os traçadores podem ser também espuma ou padrões que se formam devido a turbulência das águas.

Enquanto que o local de gravação é definido pelas condições de iluminação e de traçadores disponíveis, o tamanho da imagem é regulado pela sua resolução e a capacidade de distinguir o movimento através de um par de imagens sequenciais. Em geral, as imagens dos escoamentos são gravadas em um ângulo oblíquo à superfície do rio. Isto exige o processo de orto-retificação que utiliza pontos fixos que permaneçam visíveis mesmo em caso de cheias.

A estimativa de velocidade de cada traçador contido em imagens sequenciais, como nos vídeos, é obtida por meio de uma análise estatística de correlação cruzada das distribuições da intensidade de cinza entre a área de interrogação IA representada por um retângulo roxo na imagem inicial  $I$  e a área de mesmo tamanho na imagem subsequente  $I'$  (Figura 1).

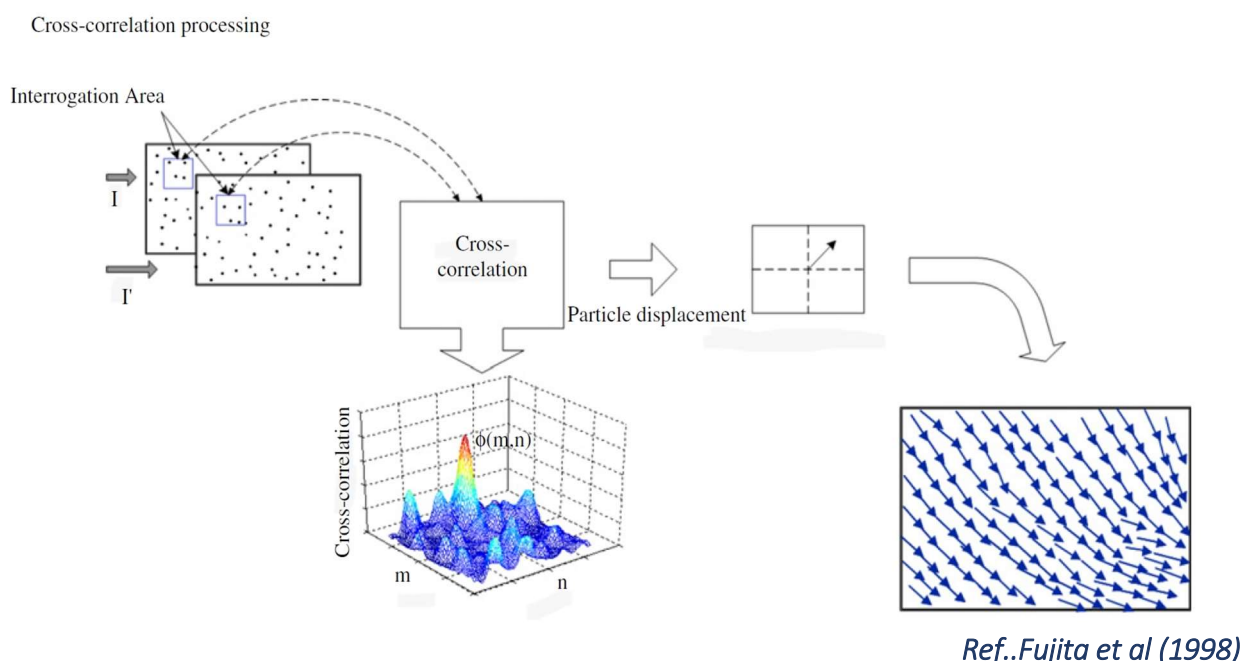


Figura 1: Processo de correlação de imagens

Como observado, a área de interrogação IA, centrada em um ponto  $a_{i,j}$  na imagem  $I$ , é colocada também na imagem que a sucede  $I'$  centrada no ponto  $a_{b,j}$ . Comparando a IA no tempo inicial  $I$ , com as demais IA's da imagem  $I'$ , a correlação cruzada máxima entre as IA's deverá indicar magnitude e

a direção da partícula. Como o intervalo de tempo entre as imagens é conhecido, é estimada a velocidade vetorial instantânea em determinado ponto do campo de velocidade do escoamento.

Para o cálculo de vazão, utiliza-se a velocidade média que é calculada multiplicando-se o valor da velocidade superficial de cada vertical da seção transversal, pelo coeficiente de velocidade média  $c_1$ . O valor comumente adotado de  $c_1$  é 0,85 a exemplo de Shin *et al.*, (2016), Creutin *et al.* (2003), Kim *et al.* (2008), Hauet *et al.* (2008) e Muste *et al.* (2008), sendo este o valor adotado neste trabalho.

O coeficiente de velocidade média torna-se a chave para se obter uma estimativa adequada de vazão. Para isso são necessárias algumas medições como a descrita neste trabalho a fim de que o coeficiente esteja bem ajustado.

## METODOLOGIA

Os procedimentos necessários para a obtenção do campo de velocidades de uma superfície líquidas são apresentados a seguir:

### Definição dos freeware a serem utilizados

a) PIVLab (<https://pivlab.blogspot.com/>) este software cria uma matriz de vetores de deslocamento entre um par de imagens sequenciais no tempo. b) RIVeR (<http://riverdischarge.blogspot.com/p/tutorial.html>) utiliza resultados de deslocamentos da velocimetria de imagens em imagens oblíquas (capturadas na margem do rio, por exemplo) ortoretificando-as e obtendo as magnitudes das velocidades superficiais do escoamento. Através do RIVeR é também possível extrair de imagens de vídeo, a configuração da região de análise no processamento de imagem assim como gerar os campos de velocidades superficiais dos escoamentos para depois compará-los com os dados obtidos em campo de maneira tradicional.

### Determinação do local de testes.

O experimento aqui apresentado foi realizado em Brasília/DF, no rio Bananal, nos meses de setembro e outubro, época de seca estando os rios em recessão. Neste período a água do rio se torna translúcida fazendo-se necessário o uso de traçadores. O traçador permite a visualização do campo de velocidades em águas translúcidas além de suprimir efeitos indesejáveis como reflexos na superfície do fluxo como mostrado na Figura 2 abaixo.



Figura 2: Utilização de folhas secas para visualização do campo de velocidades do fluxo.

Pode-se observar à jusante do trecho, reflexos da vegetação periférica criando vetores de velocidades desordenados em todas as direções. À montante, os traçadores induzem a visualização do campo de velocidades do fluxo, eliminando os ruídos.

#### **Determinação do traçador a ser utilizado.**

Para a determinação do traçador foi utilizado o canal de aferição do Departamento de Eng. Civil e Ambiental da Universidade de Brasília – UNB, para a escolha inicial do traçador mais adequado., para tanto foram testados o óleo naturalmente contido na água do canal, serragem, folhas secas coletadas na jardinagem do campus e folhas secas picotadas. Este último foi selecionado por ser biodegradável, de fácil obtenção, de se manter na superfície do rio sem se espalhar pela influência de vento fraco (escala de Beaufort) e pela capacidade de rapidamente se espalhar na superfície quando lançada ao rio.

Os experimentos com os traçadores também foram úteis para os primeiros testes das variáveis de análise dos softwares envolvidos, promovendo uma positiva familiarização com a metodologia.

#### **Obtenção das imagens em campo**

Durante as filmagens do rio utilizou-se além de uma câmera fotográfica amadora Coolpix aw130, câmeras de celulares antigos, como o modelo lg-leon-h342ft. Apesar da perceptível diferença na qualidade visual, todas as câmeras reproduziram o campo de velocidade, mesmo em condições ruins de iluminação.

No entanto, alguns pontos são importantes notar. A baixa iluminação pode causar uma pixelização da imagem principalmente em câmeras de celulares e, com isso, impossibilitar a obtenção de um campo de velocidades principalmente na margem oposta em que se estiver filmando. Portanto, recursos de filmagem em baixa iluminação podem fazer a diferença quando o curso do rio estiver sob mata densa.

A resolução da imagem é importante, quanto maior melhor. Caso afete o desempenho de processamento dos computadores estas poderão ter sua resolução diminuídas posteriormente. Adicionalmente, o campo visual das câmeras dos celulares geralmente é maior do que as das máquinas fotográficas e isso pode ser especialmente útil ao filmar os fluxos de rios da margem.

De maneira geral, a turbidez das águas do rio dispensa o uso de traçadores. Caso seja necessário seu uso, os traçadores devem ser espalhados sobre a superfície do fluxo pois, neste caso, a ausência de traçadores significa ausência de dados.

A presença de imagens fixas estranhas ao fluxo afetará o cálculo do campo de velocidade. A Figura 3, mostra o efeito da trena utilizada para a medição da secção transversal.



Figura 3: Efeito da trena no campo de velocidades ao redor

Cabe notar que, neste método, o campo de velocidade não é gerado por um modelo numérico guiado por uma equação governante, mas a partir da medição direta do deslocamento de padrões ao longo do fluxo. Por esta razão, os vetores de velocidade que não estão influenciados pela interpolação dos pontos do grid ao longo da fita, e poderão ser considerados nos cálculos de velocidade do fluxo.

Reflexos na superfície podem auxiliar ou prejudicar a medição do campo de velocidades. Reflexos cíclicos na superfície hídrica alteram o campo de velocidade. Na Figura 4 podemos observar o campo de velocidades em sentido oposto ao deslocamento do fluxo, e das folhas.

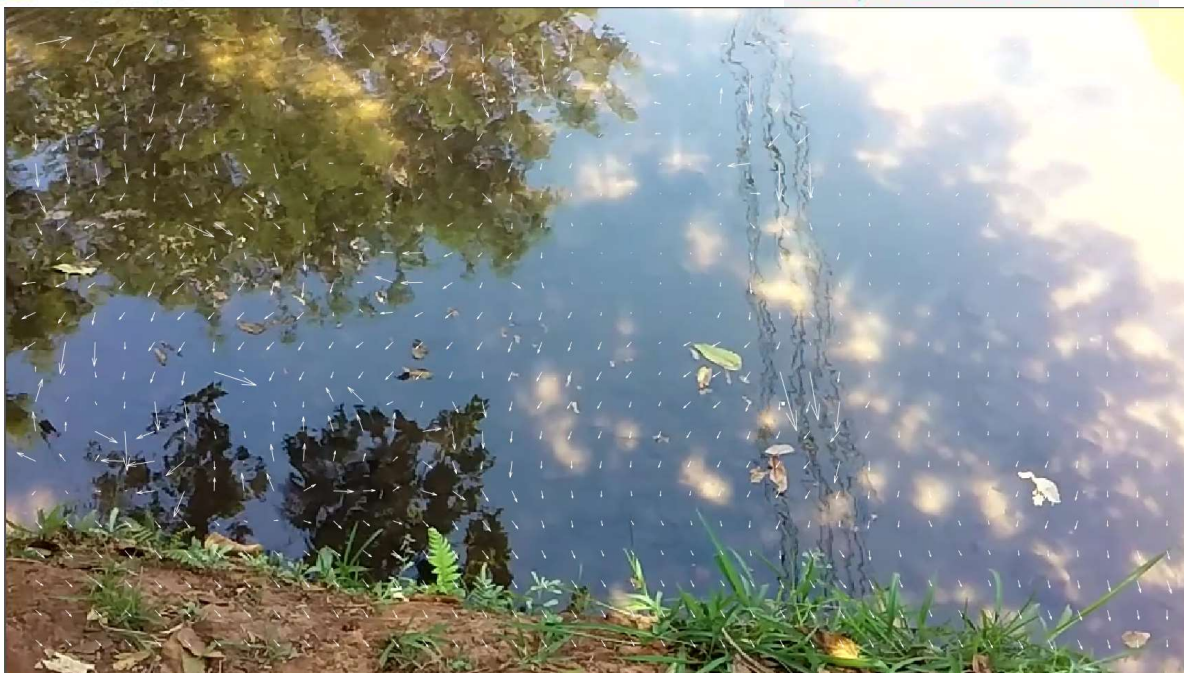


Figura 4 Campo de velocidade alterado devido ao movimento oscilatório dos reflexos

Isto se deve à movimentação oscilatória das árvores e dos fios de eletricidade refletidos na superfície. No entanto, foi observado que reflexos de luz difusa ajudam a visualização do fluxo da água.

### **ANÁLISE DOS RESULTADOS**

Ao final dos experimentos anteriores, que permitiram conhecer melhor a aplicação da técnica de velocimetria, foi realizada uma medição no rio Bananal imediatamente a montante da captação da Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal – CAESB (*lat*:-15,7284, *long*:-47,9105). Nesta ocasião foram utilizadas as técnicas de medição de vazão tradicional, através do equipamento FlowTracker, bem como a da velocimetria por imagens em larga escala, visando a comparação de resultados.

Através do equipamento FlowTracker foram realizadas medidas a cada 20cm da largura da secção transversal de 4,0 metros, obtendo-se a velocidade a 0,2h e 0,8h, sendo h a profundidade no local (Figura 5). A medição de vazão conjunta possibilitou uma comparação quantitativa entre os dois métodos cujo resultados são mostrados nas Figuras 5 e 6 abaixo.

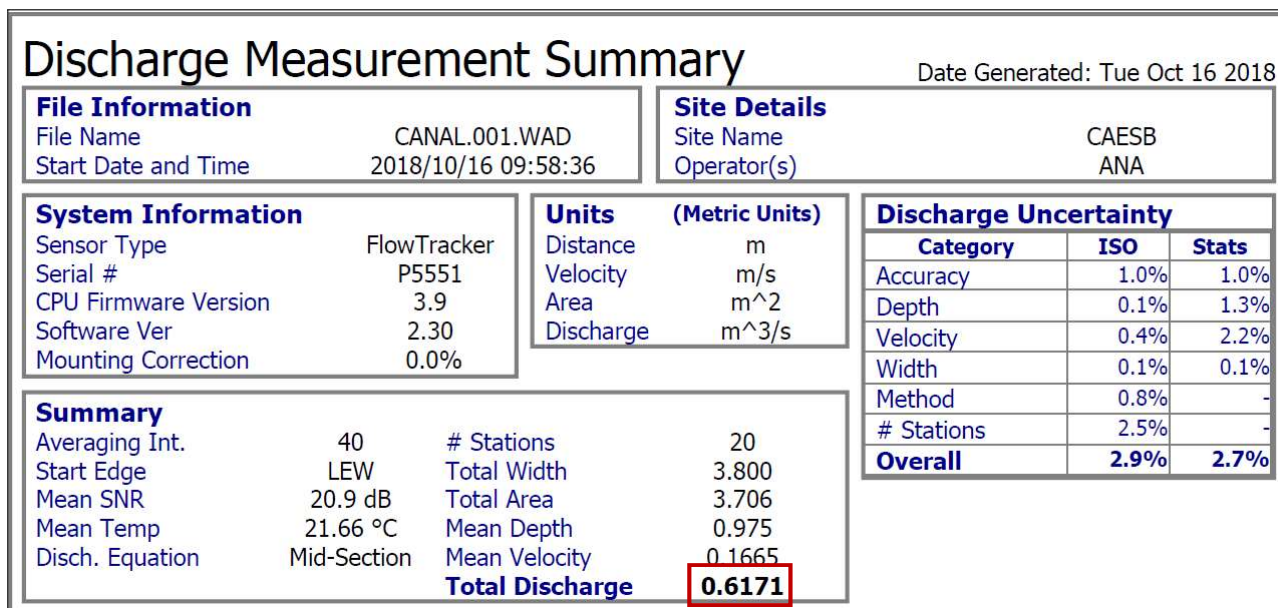


Figura 5: Relatório de medição do FlowTracker

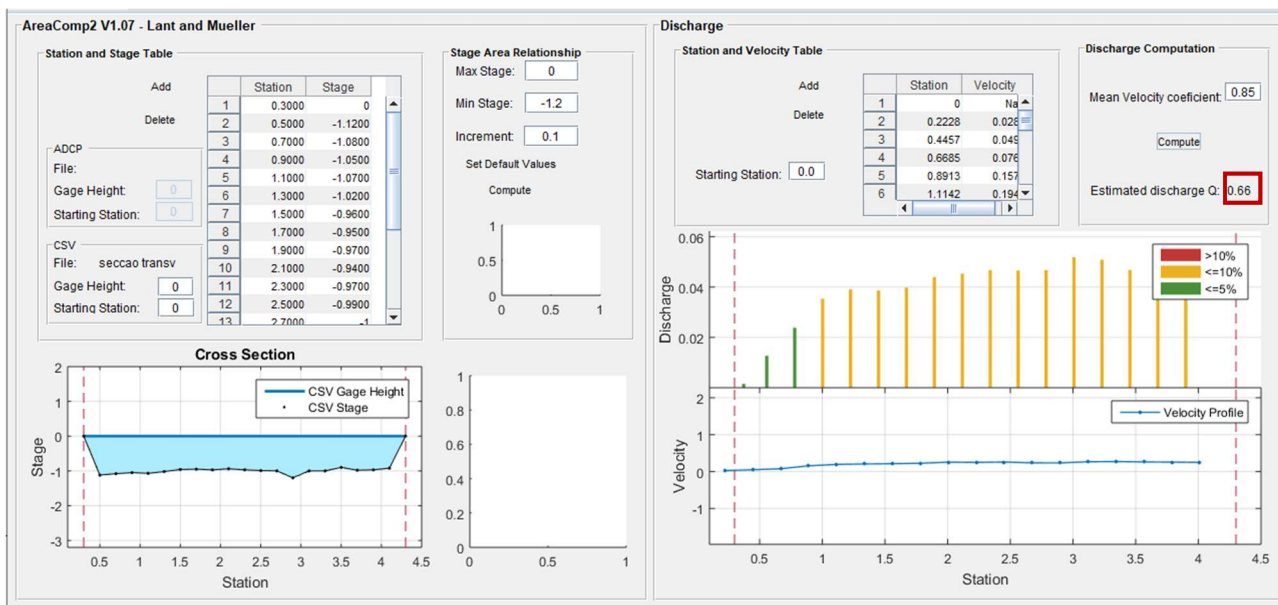


Figura 6: Relatório de medição do software RIVER

O relatório de medição do Flow Tracker indica a vazão medida igual a 0,62 m<sup>3</sup>/s enquanto que o relatório do RIVER indica a vazão de 0,66 m<sup>3</sup>/s. O valor da vazão medido por velocimetria foi 7% maior que o da medição tradicional. No entanto, há uma grande margem para melhoria dos resultados por velocimetria após o ajuste do coeficiente de velocidade média que se dará após algumas medições de campo. Nesta ocasião foi utilizado o valor de referência 0,85 (Figura 6). Este coeficiente estima o valor da velocidade média na seção transversal a partir dos vetores da velocidade de superfície calculada pelo LSPIV com comentado anteriormente.



Além de estimar o valor da vazão, a velocimetria de larga escala permite a compreensão dos fluxos de velocidade não apenas na seção transversal em foco, mas em toda a área visualizada. Na Figura 7 nota-se um discreto transbordamento na margem esquerda capturado em detalhes pelo método assim como um campo de velocidade em vórtice na margem esquerda onde a velocidade do fluxo é muito pequena.



Figura 7: Campo de velocidade e linhas de fluxo da superfície do Rio Banana. Seção de medição em vermelho

Estas capacidades são encontradas na velocimetria por imagens não sendo capturadas pelos instrumentos tradicionais de medição de fluxo como o FlowTracker. A linha de fluxo, permite verificar se o fluxo do rio está nos padrões desejáveis para uma estação fluviométrica e visualizar alterações de padrões de fluxo devido a presença de troncos etc., a fim de validar as medições efetuadas nesta mesma estação.

## CONCLUSÃO

Este trabalho teve como objetivo verificar a aplicação da técnica de velocimetria LSPIV, comparando-a com medição tradicional, tendo sido verificada a diferença de proximadamente 7%.

Considerando a disponibilidade de softwares livres específicos para a tarefa, assim como a possibilidade de utilização de câmeras não especializadas, a realização de medições simultâneas fica facilitada, permitindo uma avaliação adequada deste novo método, que ainda não está sendo aplicado na hidrometria nacional, mas tem grande potencial. Seu baixo custo e a ampla possibilidade de utilização em canais, cursos d'água e alagamentos urbanos tornam-no uma ferramenta de potencial interesse não só para instituições que possuem ou mantêm redes hidrológicas, como também para corpos de bombeiros, defesa civil e órgãos ambientais.

Mais medições são necessárias para se obter uma medida da incerteza envolvida, especialmente nos valores do coeficiente de velocidade média, devido sua fundamental importância na estimativa das vazões.

### **AGRADECIMENTOS**

O autor deseja agradecer à Agência Nacional de Águas pelo recursos necessários à medição das vazões em campo e ao Laboratório do Departamento de Engenharia Civil e Ambiental da Universidade de Brasília que gentilmente cedeu o espaço para testes de traçadores.

### **REFERÊNCIAS**

- ADRIAN, R. J.; (1991). Particle-imaging techniques for experimental fluid-mechanics. *Annu.Rev. Fluid Mech.* 23, 261–304. <http://dx.doi.org/10.1146/annurev.fluid.23.1.261>.
- ADRIAN, R. J. (2005). *Exp Fluids* 39: 159. <https://doi.org/10.1007/s00348-005-0991-7>
- CREUTIN, J. D.; MUSTE, M.; BRADLEY, A. A.; KIM, S. C.; KRUGER, A. (2003). River gauging using PIV techniques: a proof of concept experiment on the Iowa river, *Journal of Hydrology*.277 182–194.
- FAGE, A.; TOWNEND, H. C. H. (1932). Turbulent motion near a wall. *Proc. R. Soc. London Ser. A* 1 35: 656–77
- FUJITA, I.; KOMURA, S. (1994). Application of video image analysis for measurements of river-surface flows (in Japanese),*Proc. Hydraul. Eng.*,38, 733–738.
- FUJITA, I.; MUSTE, M.; KRUGER, A. (1998). Large-scale Particle Image Velocimetry for flow analysis in hydraulic engineering applications. *J. Hydraul. Res.* 36, 397–414. <http://dx.doi.org/10.1080/00221689809498626>.
- FUJITA, I.; MUSTE, M.; KRUGER, A. (2010). Large-scale particle image velocimetry for flow analysis in hydraulic engineering applications, *Journal of Hydraulic Research*, 36:3, 397-414, DOI: [10.1080/00221689809498626](http://dx.doi.org/10.1080/00221689809498626).
- HAUET, A.; KRUGER, A.; KRAJEWSKI, W. F.; BRADLEY, A.; MUSTE, M.; CREUTIN, J.D. (2008). Experimental system for real-time discharge estimation using an image-based method, *Journal of Hydrological Engineering*. 13, 105–110.

KIM, Y.; MUSTE, M.; HAUET, A.; KRAJEWSKI, W. F.; KRUGER A.; BRADLEY A.; (2008). Stream discharge using mobile large-scale particle image velocimetry: a proof of concept, *Water Resources Research*. 44, W09502.

LE COZ, J.; PATALANO, A.; COLLINS, D.; GUILLEN, N.; GARCIA, C.; SMART, G.; BIND, J.; CHIAVERINI, A.; BOURSICAUD, R.; DRAMAIS, G.; BRAUD, I. (2016). E3S Web of Conferences , Floodrisk 2016 – 3rd European Conference on Flood Risk Management. DOI: 10.1051/e3sconf/20160716001.

MUSTE, M.; XIONG, Z.; SCHONE, J.; LI, Z. (2004). Validation and Extension of Image Velocimetry Capabilities for Flow Diagnostics in Hydraulic Modeling. *Journal of Hydraulic Engineering*, ASCE, March. Pags. 175 – 185, DOIU 10.1061/(ASCE)0733-9429(2004) 130:3(175).

MUSTE, M.; FUJITA, I.; HAUET, A. (2008). Large-scale Particle Image Velocimetry for measurements in riverine environments. *Water Resour. Res.* 44, 1–14. <http://dx.doi.org/10.1029/2008WR006950>.

PATALANO, A.; GARCÍA, M.; RODRIGUEZ, C.; ANDRES. (2017). Rectification of Image Velocity Results (RIVeR): A simple and user-friendly toolbox for large scale water surface Particle Image Velocimetry (PIV) and Particle Tracking Velocimetry (PTV). *Computers and Geosciences*. 109. 323-330. 10.1016/j.cageo.2017.07.009.

SHIN, S. S.; PARK, S. D.; LEE, S. K. (2016). Measurement of Flow Velocity Using Video Image of Spherical Float. 12th International Conference on Hydroinformatics. doi:10.1016/j.proeng.2016.07.464.

THIELICKE, W.; STAMHUIS, E. J. (2014). PIVLAB – Towards User-friendly, Affordable and Accurate Digital Particle Image Velocimetry in MATLAB. *Journal of Open Research Software* 2(1): e30, DOI: <http://dx.doi.org/10.5334/jors.bl>

THIELICKE, W.; STAMHUIS, E. J. (2014). PIVlab - Time-Resolved Digital Particle Image Velocimetry Tool for MATLAB. <http://dx.doi.org/10.6084/m9.figshare.1092508>

THIELICKE, W. (2014). The Flapping Flight of Birds - Analysis and Application. Phd thesis, Rijksuniversiteit Groningen. <http://irs.ub.rug.nl/ppn/382783069>

VAN DYKE, M. (1982). *An Album of Fluid Motion*. Parabolic. Press – Standford - Calif., 176 p.