

XXIII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS

Utilização de VANTS para Medição de Vazão em Cursos D'água

Tiago Zanon da Silva¹ ; Fernando Mainardi Fan¹ ; Arthur da Fontoura Tschiedel¹ ; Katiucia Nascimento Adam² & Maurício Andrades Paixão¹

RESUMO – Este estudo se propôs a criar e avaliar uma metodologia de medição de vazão em cursos d'água com a utilização de VANTS através de interpretação de imagens, utilização de traçadores visíveis e a posterior mensuração da velocidade de escoamento superficial. Para tanto foi abordado um método de avaliação de imagens sequenciais, em um determinado trecho do rio Mascarada, município de Rolante no Rio Grande do Sul, sendo inserido ao corpo hídrico partículas ou traçadores identificáveis nas imagens e, junto a região das fotos, um objeto de escala. A área da seção transversal foi levantada com o auxílio de um ADCP, que também forneceu dados de vazão para posterior comparação das vazões estimadas. Os resultados evidenciaram a importância da presença de traçadores ao longo da extensão do rio, de modo a fornecer informações do perfil de velocidade transversal para o cálculo da velocidade média. Além disso, foi proposta a utilização de coeficientes para o ajuste das velocidades médias superficiais em velocidades médias da seção. Em termos gerais, o erro médio entre todas as metodologias avaliadas ficou em torno de 10%, quando comparado com os resultados do ADCP.

ABSTRACT – The objective of the study was to create and evaluate a methodology for measuring flow in watercourses using VANTS through image interpretation, use of visible tracers and subsequent measurement of surface flow velocity. For this, a method of evaluation of sequential images was approached in a particular stretch of the Mascarada River, in the municipality of Rolante in Rio Grande do Sul. In this process, tracers identifiable in the images were inserted into the water body and, in the field of view of the region of the images, an object of scale. The cross-sectional area was surveyed with the aid of an ADCP, which also provided flow data for further comparison of estimated flow rates. The results evidenced the importance of the presence of tracers along the extension of the river, in order to provide information of the transversal velocity profile for the calculation of the average velocity. In addition, it was proposed to use coefficients for the adjustment of the average surface velocities at average speeds of the section. In general terms, the average error among all the methodologies evaluated was around 10%, when compared to the ADCP results.

Palavras-Chave – drone, vazão, vants.

INTRODUÇÃO

Estudos envolvendo a utilização de Veículos aéreos não tripulados (VANTS) ou drones para medição de vazão vêm surgindo nos últimos anos como uma alternativa de medição remota em ambientes de difícil acesso e em condições de eventos hidro-meteorológicos adversos. As principais

1) Instituto de Pesquisa Hidráulicas (IPH) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS); tiago.zanon@ufrgs.br, fernando.fan@ufrgs.br, arthurtschiedel@unisinis.br, mauricio.paixao@ufrgs.br.

2) Universidade Feevale; katiucia@feevale.br.

aplicações envolvem a medição de velocidades superficiais de rios por meio de técnicas baseadas em imagens, como, por exemplo, velocimetria de imagem de partículas em grande escala (LSPIV), velocimetria de rastreamento de partículas (PTV) e a velocimetria de imagens espaço-temporais (STIV) (LÜKÖ, 2016).

Estes métodos são baseados na análise de gravações de vídeo da superfície da água, para as quais a contribuição dos VANTS tem se mostrado essencial. Desse modo, são observadas aplicações de medições de vazão de rios baseadas em VANTS realizadas nos EUA (TAURO *et al.*, 2016), na Suíça (DETERT & WEITBRECHT, 2015), na Hungria (LÜKÖ, 2016) e na Austrália (PERKS *et al.*, 2016), entre outros exemplos. Nessa conjuntura, a utilização de VANTS para mensuração de vazão não se torna prática para engenheiros que, no futuro, muito possivelmente poderão ter minidrones nos bolsos, mas ao mesmo tempo não necessariamente dominam o uso da programação, nem têm recursos suficientes para compra de sofisticados softwares de medição de vazão a partir dessa tecnologia.

Neste trabalho, portanto, propõe-se uma abordagem de avaliação mais expedita da utilização de VANTS no monitoramento de vazão. Concebe-se que os drones podem ser utilizados em campo como uma alternativa rápida e portátil de estimar vazões. Além disso, o alto custo dos equipamentos de fluviometria associado a crescente popularização dos preços de VANTS no mercado mundial (SDCI, 2017) abrem perspectiva para o desenvolvimento de tecnologias que estabeleçam novas possibilidades e alternativas para realizações de medições expeditas de vazão com esses veículos.

MATERIAIS E MÉTODOS

O método de medição de vazão aplicado consiste em uma adaptação e aprimoramento do método do flutuador proposto por PALHARES *et al.* (2007). A diferença básica do método tradicional se dá pela troca da avaliação temporal/espacial de um flutuador para a avaliação em imagens de traçadores, em maior quantidade e em menores intervalos de tempo e espaço.

A metodologia foi aplicada a um trecho do rio Mascarada próximo ao município de Rolante, no estado do Rio Grande do Sul (29°36'44.22"S e 50°29'8.32"O). Este trecho de rio possui informações pertinentes à seção, tais como medições da seção transversal, curva-chave ajustada, estação linimétrica, bem como uma ponte de concreto armado que serviu de base para os experimentos e alocação de três pontos de controle (PC). Tais pontos foram localizados junto as quinas das extremidades e do centro da ponte, capturadas com um GPS, a saber: PC-01 (29°36'44.53"S; 50°29'8.21"O); PC-02 (29°36'44.12"S; 50°29'8.14"O); e PC-03(29°36'43.38"S; 50°29'7.98"O).

Como traçador foi escolhida a serragem, tendo como base trabalhos de avaliação de traçadores em estudos hidráulicos (PAULO, 2015) e por ser biodegradável.

As medições de vazão no rio foram realizadas por meio de duas principais metodologias e ocorreram em regiões distintas: i) primeiramente, a vazão foi medida com o auxílio do ADCP (ADCP

SONTEK RIVERSURVEYOR M9) junto a seção materializada a montante da ponte; ii) posteriormente, foram realizados os levantamentos aerofotogramétricos com o drone (VANT DJI Mavic PRO) na região a jusante da ponte, estrutura que foi utilizada como auxílio para o lançamento dos traçadores.

MEDIÇÃO DE VAZÃO COM VANTS - Os passos adotados para o processo do levantamento aerofotogramétrico com o VANT são descritos a seguir:

- i) Disposição do objeto de escala e dos pontos de controle dentro do campo de visão do local de medição do VANT;
- ii) Posicionamento do VANT sobre do rio, com a câmera disposta em um ângulo perpendicular ao fluxo do escoamento com altura suficiente para captura de imagens entre as duas margens do curso d'água;
- iii) Os processos de liberação dos traçadores foram feitos de maneiras distintas. A serragem, devido a disponibilidade de um maior volume, foi lançada de forma pontual, sendo realizado o caminhamento no processo de lançamento com o objetivo de espalhar o material ao longo da seção.
- iv) Junto ao processo de liberação dos traçadores, a câmera embarcada no VANT iniciou o processo de gravação de vídeo, de modo a registrar o avanço das partículas ao longo da superfície no rio;
- v) Posteriormente a vazão foi estimada por meio da análise das velocidades das partículas em um processo de integração com a área da seção transversal do trecho do rio avaliado.

PROCESSAMENTO DE DADOS - O processamento dos dados obtidos foi realizado pelo cálculo da descarga líquida e estimativa da seção transversal do rio por meio da utilização do ADCP M9 e em seguida, foram realizadas as análises dos dados fotogramétricos levantados pelo VANT. Os resultados de vazão foram adquiridos por meio de diferentes combinações entre as velocidades superficiais médias do traçador no rio com a seção transversal obtida pelo ADCP.

Para avaliação da velocidade superficial das partículas, primeiramente foi feita a conversão dos vídeos em imagens sequencias por meio da utilização do software livre Video To JPG Converter (<https://www.dvdvideosoft.com/pt/products/dvd/Free-Video-to-JPG-Converter.htm>) e após, foi feita a seleção dos arquivos de modo a se obter fotos com intervalos de 1 segundo. Para a avaliação das imagens optou-se por utilizar o software Arcgis. Foram propostas três metodologias de análise, a saber: **Análise da velocidade superficial por meio de pontos**: consiste em marcar as frentes dos

traçadores com pontos, junto as principais regiões de escoamento que a pluma de traçadores delimitava: centro, margem esquerda e margem direita. Deste modo, posteriormente, foi possível encontrar a velocidade superficial do escoamento medindo a distância percorrida do traçador no sentido do escoamento. Para isso, a cada duas imagens consecutivas foram avaliadas as distâncias, ao total foram realizadas análises em 6 fotos, totalizando 5 medições em cada região e 15 medições de traçador. A Figura 1 ilustra o procedimento adotado.

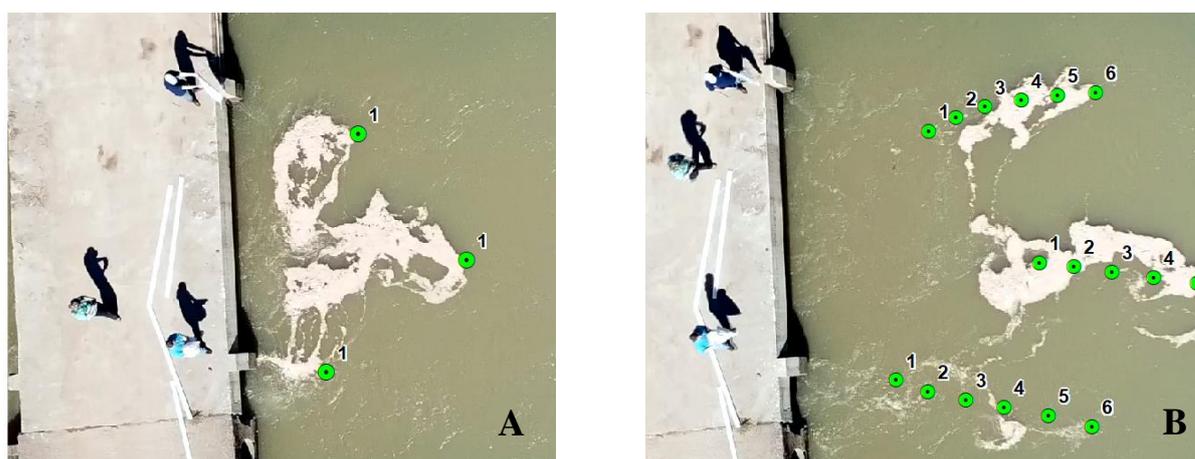


Figura 1: Procedimento de análise dos dados por meio de pontos. Onde A: delimitação dos pontos na primeira imagem; B: delimitação dos pontos na sexta imagem e representação dos pontos demarcados.

Análise da velocidade superficial por meio de linhas: consistiu em demarcar a frente das plumas de traçadores com linhas, buscando aproximar-se de um traçado de perfil de velocidade superficial. Posteriormente foram avaliadas as distâncias entre linhas consecutivas, no sentido do escoamento, junto as principais regiões: margem esquerda, centro e margem direita. A Figura 2 ilustra os procedimentos adotados.

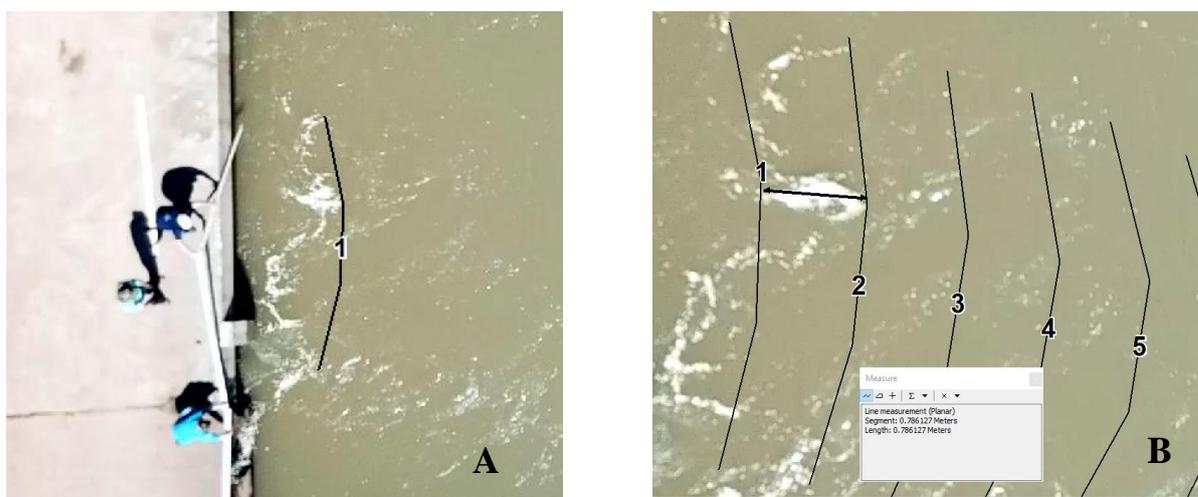


Figura 2: Procedimento de análise dos dados por meio de linhas. Onde A: delimitação da linha na primeira imagem; B: delimitação da linha na sexta imagem e representação das linhas demarcadas e medição da distância entre duas linhas consecutivas junto ao centro.

Análise da velocidade superficial por meio de malha: consistiu em produzir um grid de linhas em frente as imagens analisadas, no sentido do escoamento. Para definição do espaçamento adotou-se como padrão o valor de 1/5 da distância entre dois pontos, essa avaliação era realizada de forma expedita entre duas imagens. As distâncias eram posteriormente avaliadas (junto das regiões centro, margem esquerda e margem direita) por meio do número de linhas que a pluma de traçadores percorria. O processo de avaliação era realizado de maneira individual, com auxílio da malha, para cada região. A Figura 3 ilustra o processo.

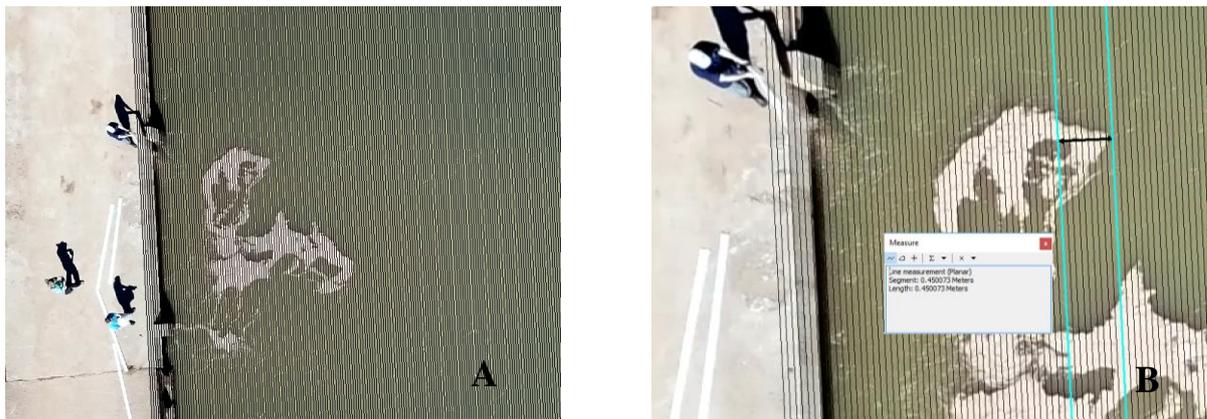


Figura 3: Procedimento de análise dos dados por meio de malha. Onde A: ilustração da malha sobreposta ao longo do trecho; B: Seleção da linha da malha demarcando o traçador na segunda imagem, junto a margem esquerda e medição da distância entre as duas linhas consecutivas da malha na margem esquerda.

Todas essas metodologias consistiram em acompanhar, junto das regiões mais relevantes (centro, margem esquerda e margem direita), o movimento das frentes de aglomerados de serragem. Posteriormente, junto da referência de escala e o conhecimento do tempo decorrido foi possível determinar a velocidade superficial instantânea média entre duas imagens por meio da Equação 1. A vazão da seção, por fim, é determinada com a multiplicação da velocidade média da seção com a área da seção transversal e, quando necessário, com um coeficiente de ajuste (Equação 2).

$$v = \frac{d \left(\frac{L_r}{L_i} \right)}{\Delta t} \quad (1)$$

Onde: v é velocidade do traçador (m/s); d é distância percorrida pelo traçador, entre duas imagens, na escala da imagem (m); L_r é o comprimento real do objeto de escala (m); L_i é o comprimento do objeto na escala da imagem (m); e Δt é o tempo transcorrido entre as duas imagens analisadas (s).

$$Q = C * v * A$$

(2)

Onde: C é o coeficiente de ajuste da velocidade média superficial em velocidade média da seção do rio; v é a velocidade do traçador (m/s); e A é a área da seção transversal analisada (m²).

No item seguinte são apresentados os resultados desta pesquisa.

RESULTADOS

Os resultados deste trabalho compreendem a avaliação dos dados obtidos com os levantamentos de vazão por meio da metodologia proposta da utilização de drone em comparação com os resultados de vazão levantados com o ADCP.

A Tabela 1 apresenta o resumo das medições realizadas com o ADCP. Ao total foram realizadas 3 medições, cada uma compreendendo 2 passadas: uma de ida e outra de volta. A vazão média das medições apresentou um valor de 11,51 m³/s.

Tabela 1: Resumo dos resultados da medição de vazão com ADCP

Medição [N°]	Descarga Líquida [m ³ /s]	Área [m ²]
01	11,79	22,00
02	11,50	20,67
03	11,24	21,22

O perfil médio da seção transversal levantada está representado pela Figura 4. O valor médio da área da seção foi de 21,30 m².

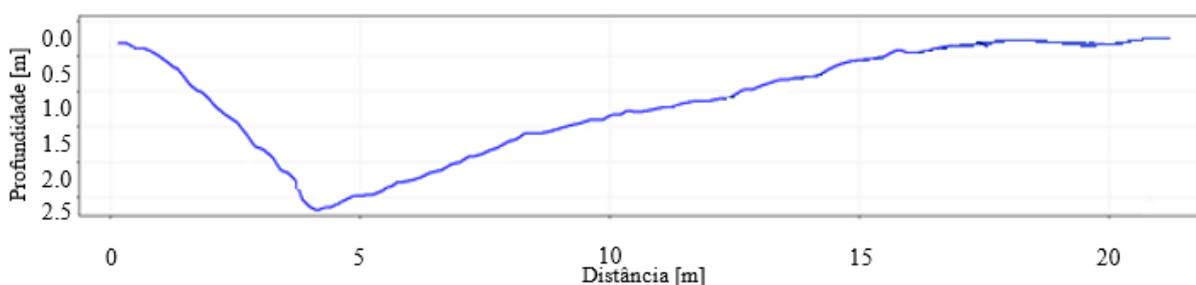


Figura 4: Seção transversal levantada no rio Mascarada

Para avaliação dos valores das velocidades superficiais oriundas das informações retiradas das imagens levantadas com o drone utilizou-se o denominado erro médio, representando a diferença de valor, em porcentagem, em relação aos resultados obtidos de vazão pelo ADCP. Inicialmente estas vazões foram calculadas sem o coeficiente de correção normalmente empregado no método tradicional do traçador. No entanto foi aplicado um coeficiente de ajuste, de modo a considerar as variações existentes no perfil longitudinal de velocidades junto a calha fluvial.

A Tabela 2 apresenta os resultados dos cálculos de vazão com aplicação de um coeficiente de ajuste de 0,80, valor comumente usado para transformação das velocidades médias superficiais em velocidades médias da vertical de rios em leitos pedregosos (PALHARES *et al.*, 2007).

Tabela 2: Resultados dos levantamentos de vazão com drone com coeficiente de ajuste de 0,80.

Traçador	Metodologia	Vazão [m ³ /s]	Erro Médio
Serragem	Ponto	15,28	+ 33%
	Linha	18,56	+ 61%
	Malha	15,04	+ 31%

Os resultados com aplicação dos coeficientes de ajuste de 0,80 demonstraram uma significativa melhora, entretanto, ainda apresentaram magnitudes elevadas quando comparados com os resultados do ADCP. Possivelmente fatores como a não avaliação das menores velocidades junto as regiões mais próximas da margem e também as mudanças no escoamento causada pela obstrução do escoamento pela ponte, gerando aumento das velocidades, ainda exercem influências nos resultados.

Dessa forma, foi proposta a realização de um ajuste de modo a definir um valor para o coeficiente que melhor represente as medições. O valor final do coeficiente médio de ajuste otimizado para todos os testes foi de 0,60. Os resultados são apresentados na Tabela 3, o erro médio de todas as 12 metodologias testadas foi de 10%.

Tabela 3: Resultados dos levantamentos de vazão com drone com coeficiente de ajuste de 0,60

Traçador	Metodologia	Vazão [m ³ /s]	Erro Médio
Serragem	Ponto	11,46	- 0,3%
	Linha	13,92	+ 21%
	Malha	11,28	- 2%

A partir dos resultados obtidos é possível verificar que a serragem apresentou viabilidade para aplicação ao método, visto que em quantidade adequada permite a formação de aglomerados junto ao escoamento, possibilitando sua identificação junto das imagens levantadas

Em relação as metodologias adotadas para análise dos traçadores, as análises de distâncias com linhas apresentaram os maiores erros, sendo o método mais subjetivo dos três utilizados. Um dos principais motivos é devido à incerteza do traçado do perfil em relação ao movimento da pluma de traçadores.

As análises com pontos e malha apresentaram resultados similares. Entretanto, a análise com pontos ainda apresentou considerável subjetividade, principalmente quanto as escolhas das frentes dos traçadores e definição das regiões de centro, margem esquerda e margem direita para as análises de velocidade. Quanto as análises com definição da malha, observou-se os melhores resultados na avaliação de todos os traçadores. Sua principal vantagem é a diminuição significativa na subjetividade no momento de medição da distância percorrida.

CONCLUSÃO

A avaliação dos resultados obtidos demonstrou a viabilidade na aplicação do método desenvolvido, desde com a ressalva da utilização de coeficientes de correção, que neste trabalho foram nomeados de “coeficientes de ajuste”. Estes ajustes tornaram-se necessários para realização da correção dos problemas intrínsecos a variabilidade da velocidade ao longa das seções transversais e longitudinais do rio, e de erros associados ao peso, densidade e métodos de lançamento dos traçadores. Neste trabalho os resultados indicaram a utilização de um coeficiente de ajuste de 0,60 para qualquer traçador, apresentando um erro médio entre as medições de 10%.

A principal dificuldade encontrada na aplicação da metodologia remeteu-se as condições de alta vazão no rio Mascarada no dia do campo. Esse fenômeno implicou na inacessibilidade do rio, de forma que a seção transversal foi levantada a montante do local de lançamento, neste caso, uma ponte que cruzava o rio. Todas estas variações adotadas, derivadas da metodologia original proposta, carregam, inerentemente, erros associados junto aos resultados de vazão. Conclui-se, entretanto, que apesar de todas as limitações apresentadas os resultados da metodologia de medição de vazão em cursos d’água com a utilização de um VANTS apresentaram valores satisfatórios, indicando um campo a ser mais explorado.

REFERÊNCIAS

- DEPERT, M.; WEITBRECHT, V. (2015). “A low-cost airborne velocimetry system: Proof of concept”. *Journal of Hydraulic Research*, v. 53, n. 4, pp. 532–539.
- LÜKÖ, G. (2016) *Analysis of UAV-based topography and river flow measurements*. [s. l.].
- PALHARES, J. C. P.; RAMOS, C.; KLEIN, J. B.; LIMA, J. M .M.; MULLER, S.; CESTONARO, T. (2007) “*Medição da Vazão em Rios pelo Método do Flutuador*”. Comunicado Técnico - EMBRAPA, [s. l.], v. 455, p. 2–5, 2007
- PAULO, F.A.; BORGES, A.L.O. (2015) “*Visualização do Escoamento e Perfis de Velocidade em Curva de Sistema de Conduto de Drenagem Pluvial Urbana*” Porto Alegre, IPH – Instituto de Pesquisas Hidráulicas.

PERKS, M.T.; RUSSELL, A.J.; LARGE, A.R.G. (2016). Technical Note: *Advances in flash flood monitoring using unmanned aerial vehicles (UAVs)*. Hydrology and Earth System Sciences, v. 20, n. 10, pp. 4005–4015.

SDCI (Secretaria de Desenvolvimento e Competitividade Industrial). (2017). *Estudo Sobre a Indústria Brasileira e Europeia de Veículos Aéreos Não Tripulados*. [s. l.], pp. 92.

TAURO, F.; PORFIRI, M.; GRIMALDI, S. (2016). “*Surface flow measurements from drones*”. Journal of Hydrology, [s. l.], v. 540, pp.240–245. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhydrol.2016.06.012>