

## ESTIMATIVAS DE VAZÕES E TRAÇADO DE CURVAS-CHAVE

Isabel Kaufmann de Almeida <sup>1\*</sup> & Jamil Alexandre Ayach Anache <sup>2</sup> & Bruno Bernardo dos Santos <sup>3</sup>  
& Teodorico Alves Sobrinho <sup>4</sup>

**Resumo** – O trabalho foi conduzido na sub-bacia hidrográfica do Córrego Guariroba, município de Campo Grande, MS, e teve como objetivo instituir o monitoramento de níveis e vazões com traçado de curvas-chave em três seções do curso d'água principal. Para tanto, foram instalados e monitorados três linígrafos, associados a *datalogger* para armazenamento de dados de nível da seção do rio, além de medições de descarga líquida. As curvas-chave obtidas se apresentam satisfatórias para estudos de vazões mínimas. No entanto, para estudos de vazões máximas, medições de vazão em períodos de cheia possibilitam melhores ajustes nas curvas, o que resulta na maior confiabilidade das mesmas.

**Palavras-Chave** – Recursos hídricos, monitoramento hidrológico, comportamento hidrológico.

## ESTIMATES OF FLOWS AND OUTLINE RATING CURVES

**Abstract** – This study was conducted at Guariroba river basin, Campo Grande city (MS, Brazil) and this study had the objective to establish the monitoring of levels and flows with plotting curves rating in three sections of the main river. For that, three recording stage gauges were installed and monitored storage level data of the river's sections and flow measurements. The rating curves obtained are suitable for minimum flows studies. For maximum flow's studies, measurements in flood periods allow best settings in the curves, that result in more reliability of these.

**Keywords** – Water resources, hydrological monitoring, hydrological behavior.

## INTRODUÇÃO

O conhecimento do regime fluvial, que pode ser percebido pela obtenção de dados de vazão, é fundamental para que haja gerenciamento adequado dos potenciais hídricos disponíveis na bacia hidrográfica. As informações geradas fornecem subsídios para elucidar questões relacionadas aos problemas ambientais existentes na área estudada (Kuerten *et al.*, 2009). Desta maneira é possível, aos órgãos gestores dos recursos hídricos, controlarem os volumes captados, o período em que as captações ocorrem e qual a finalidade, contemplando os usos prioritários e as determinações dos planos de recursos hídricos e dos comitês de bacia hidrográfica (Oliveira e Fiorenze, 2011).

A quantificação dos processos hidrológicos depende da observação de variáveis cuja estimativa depende de amostras confiáveis e representativas (Reis *et al.*, 2008). De acordo com Ibiapina *et al.* (2007), os dados de vazão são indispensáveis para o planejamento dos recursos hídricos, previsão de cheias, gerenciamento de bacias hidrográficas, saneamento básico, abastecimento público e industrial, navegação, irrigação, transporte, meio ambiente e muitos outros estudos de grande importância científica e sócio-econômica.

A determinação da vazão do curso d'água é procedimento que requer equipamentos e técnicos especializados. Erros nas medições de vazão podem tornar mais difícil o fechamento do balanço

<sup>1</sup> Doutoranda em Saneamento Ambiental e Recursos Hídricos, Universidade Federal de Mato Grosso do Sul (UFMS), viaeng@uol.com.br.

<sup>2</sup> Mestrando em Saneamento Ambiental e Recursos, Universidade Federal de Mato Grosso do Sul (UFMS), jamil.anache@ufms.br.

<sup>3</sup> Mestrando em Ciências da Engenharia Ambiental da Universidade de São Paulo, Campus de São Carlos, bbernardo49@gmail.com.

<sup>4</sup> Professor Associado, Universidade Federal de Mato Grosso do Sul (UFMS), bolsista de produtividade CNPq, teodorico.alves@ufms.br.

hídrico, utilizando dados medidos ( Beven *et al.*, 2011). Visando simplificar esse complexo processo, opta-se por construir a relação do nível de água de uma seção do rio (cota) com sua correspondente vazão, denominada curva-chave (ou curva de descarga). Dessa forma, realiza-se o monitoramento sistemático com o registro dos níveis de água na seção de interesse e, por meio da curva-chave, obtém-se a vazão passante na referida seção. Conforme Chevalier (2004), para a obtenção de séries de vazões a curtos intervalos de tempo, como horários ou diários, são empregadas curvas-chave, que permitem transformar as leituras de níveis das seções fluviométricas em vazões do escoamento fluvial. Góes e Cirilo (2010) corroboram que a curva-chave é uma equação ajustada aos dados de medição de vazão. No entanto, para se obter uma curva-chave representativa é necessário medir a vazão do rio em situações de vazões baixas, médias e altas. Paiva *et al.* (2008) indicam que no estabelecimento da curva-chave existem incertezas associadas ao processo de medição da vazão. As principais incertezas são devidas à estimativa da velocidade e área da seção transversal do escoamento.

Geralmente, as medições de vazão definem apenas o trecho central da curva-chave. O impasse na reprodução do trecho inferior da curva advém, basicamente, de mudanças de leito decorrentes de deposição de sedimentos ou erosão. No trecho superior resulta da ausência de medidas em eventos extremos. A extrapolação da curva-chave para níveis maiores e menores é alternativa bastante usual na obtenção de série contínua de dados de vazão. Tais extrapolações geram incertezas e erros nas estimativas das vazões. Em vista disso, Santos *et al.* (2001) asseguram que é importante a realização de medições de vazão fora do intervalo já medido a fim de confirmar ou retificar as extrapolações. Deve-se, também, considerar que a curva-chave de determinada seção pode sofrer alterações no decorrer do tempo, dependendo do material do leito, visto que a curva representa a relação entre a vazão e a cota do escoamento levando em conta a características hidráulicas e geométricas da seção transversal desse curso.

O presente trabalho teve como objetivo instituir o monitoramento de níveis e vazões e apresentar os primeiros resultados desse monitoramento com traçado das curvas-chave relativas a três seções do curso d'água principal da sub-bacia hidrográfica do córrego Guariroba, responsável por parte do abastecimento de água potável para o município de Campo Grande, capital do estado de Mato Grosso do Sul.

## **MATERIAL E MÉTODOS**

A sub-bacia do Córrego Guariroba localiza-se no município de Campo Grande, Mato Grosso do Sul, entre os paralelos 20° 28' e 20° 43' de latitude Sul e os meridianos 54° 29' e 54° 11' de longitude Oeste, ocupando área de 36.190 ha (Figura 1).

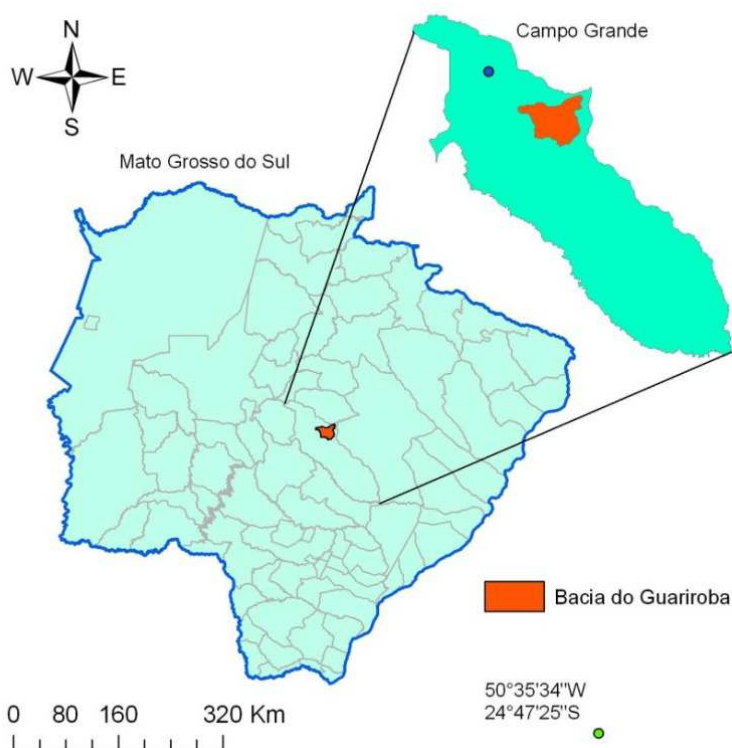


Figura 1. Mapa de localização da sub-bacia do Córrego Guariroba.

### Monitoramento de dados fluviométricos

Levou-se em consideração fatores de segurança, acessibilidade e localização espacial na bacia na definição dos locais de instalação dos postos fluviométricos. Para monitoramento da cota linimétrica, foram instalados sensores de nível do tipo *Levellogger* com *datalogger*, nas três seções de interesse. Na determinação das seções de medição de vazão e instalação dos linígrafos, deu-se prioridade a trechos retilíneos do rio com margens paralelas, altas e estáveis, fora da zona de influência de obras existentes e que apresentassem águas tranquilas e protegidas do impacto de objetos carregados pelas enchentes.

A vazão foi monitorada em três seções transversais do curso de água principal, a saber, Cabeceira (“Latitude: 20°34’43,417” S e Longitude: 54°19’58,335” W), Médio Curso (Latitude: 20°35’22,081” S e Longitude: 54°21’0,794” W) e Foz (Latitude: 20°33’5,633” S e Longitude: 54°17’26,646” W).

Para medir a descarga líquida utilizou-se metodologia conhecida como medição e integração da distribuição de velocidade. Esse método consiste no uso de aparelho hidrométrico para determinar a velocidade em pontos significativos, localizados em profundidades distintas de quantidade apropriada de verticais, na representação da seção transversal. A largura do rio na seção de medição determina o número de verticais para a medida da velocidade.

Definiu-se o número de verticais e a profundidades para medição de velocidade em cada vertical de acordo com o recomendado por Santos *et al.* (2001). As medidas de velocidade da água foram realizadas de forma não estrutural, com uso de molinete hidrométrico. Para Carvalho (2008) o molinete hidrométrico ou correntômetro de hélice é um velocímetro em forma de torpedo e serve para medir de forma pontual a velocidade da corrente de água por unidade de tempo, normalmente expressa em  $m.s^{-1}$ . Adotou-se o método da meia seção para cálculo da vazão das seções transversais do curso d’água. Monitorou-se a vazão no período de 19/09/2011 a 20/10/2012, sendo realizadas

campanhas mensalmente ou bimestralmente, de acordo com as mudanças climáticas. Além das medições de velocidade, também foram realizados levantamentos batimétricos na seção a fim de detalhar a variação da mesma em relação à profundidade de água.

### Curva-chave

A curva-chave possibilita a geração de série de vazões que podem ser diárias, mensais ou anuais, de acordo com o objetivo do uso da curva.

Determinada a relação cota-vazão, torna-se possível estimar a vazão através das alturas linimétricas obtidas dos registros do linígrafo instalado.

O ajuste aos dados de cota e vazão medidos foi realizado utilizando o método da extrapolação logarítmica conforme descrito em Santos *et al.* (2001), equação (1).

$$Q = a (h - h_0)^b \quad (1)$$

Onde  $Q(\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1})$  é a descarga líquida em um dado instante;  $h(\text{m})$  é o nível do curso de água correspondente à  $Q$ ;  $h_0(\text{m})$  é o nível para o qual a vazão é nula;  $a$  e  $b$  são parâmetros adimensionais de ajuste, específicos da seção fluviométrica de interesse.

Os parâmetros das curvas-chave foram determinados utilizando-se o modelo de otimização não linear, cuja função objetivo foi minimizar a diferença quadrada entre as vazões observadas e calculadas, considerando-se valores iniciais dos parâmetros  $a$ ,  $b$  e  $h_0$ , consideradas variáveis, conforme equação 2.

$$\text{Min} \sum (Q_{cal} - Q_{obs})^2 \quad (2)$$

Onde  $Q_{cal}$  é a vazão calculada para o posto analisado e  $Q_{obs}$  é a vazão observada no posto analisado.

A variável  $h_0$  é restrita a um valor menor ou igual ao valor mínimo do nível da água ( $h_{min}$ ) da série histórica dos dados utilizados, conforme equação 3.

$$h_0 \leq h_{min} \quad (3)$$

A ferramenta Solver do MS Excel foi utilizada para resolver o problema não linear.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

As descargas líquidas, medidas durante as coletas de campo nas três seções de interesse da sub-bacia do Córrego Guariroba, são apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1. Vazões medidas nas seções de monitoramento

Medição	Vazão ( $\text{m}^3\text{s}^{-1}$ )		
	Cabeceira	Médio Curso	Foz
Setembro/2011	1,48	3,10	5,86
Dezembro/2011	1,40	2,99	5,57
Março/2012	1,72	4,47	6,96
Mai/2012	1,68	4,27	6,68
Julho/2012	1,79	4,39	6,88
Setembro/2012	1,65	2,62	4,91
Outubro/2012	1,77	2,20	4,69

Paralelamente às medições de vazão, foram obtidas, através do linígrafo, leituras de nível do rio em cada seção de estudo (Tabela 2).

Tabela 2. Relação Cota x Vazão nas seções da Cabeceira, Médio Curso e Foz

Data	Cabeceira		Médio Curso		Foz	
	Nível (m)	Vazão(m <sup>3</sup> s <sup>-1</sup> )	Nível (m)	Vazão(m <sup>3</sup> s <sup>-1</sup> )	Nível (m)	Vazão(m <sup>3</sup> s <sup>-1</sup> )
19/09/2011	0,659	1,48	0,466	3,10	0,710	5,86
16/12/2011	0,615	1,40	0,455	2,99	0,670	5,57
16/03/2012	0,787	1,72	0,533	4,47	0,791	6,96
18/05/2012	0,739	1,68	0,510	4,27	0,757	6,68
13/07/2012	0,881	1,79	0,525	4,39	0,780	6,88
18/09/2012	0,722	1,65	0,443	2,62	0,623	4,91
20/10/2012	0,860	1,77	0,426	2,20	0,615	4,69

Determinar a relação cota-vazão do rio é imprescindível para a obtenção da curva-chave da seção. Então, de posse desses dados, tornou-se possível construir curvas-chave para as três seções estudadas.

Nas Figuras 2, 3 e 4, são apresentadas as curvas-chave e suas correspondentes equações geradas referentes, respectivamente, à Cabeceira, Médio Curso e Foz da sub-bacia do Córrego Guariroba.

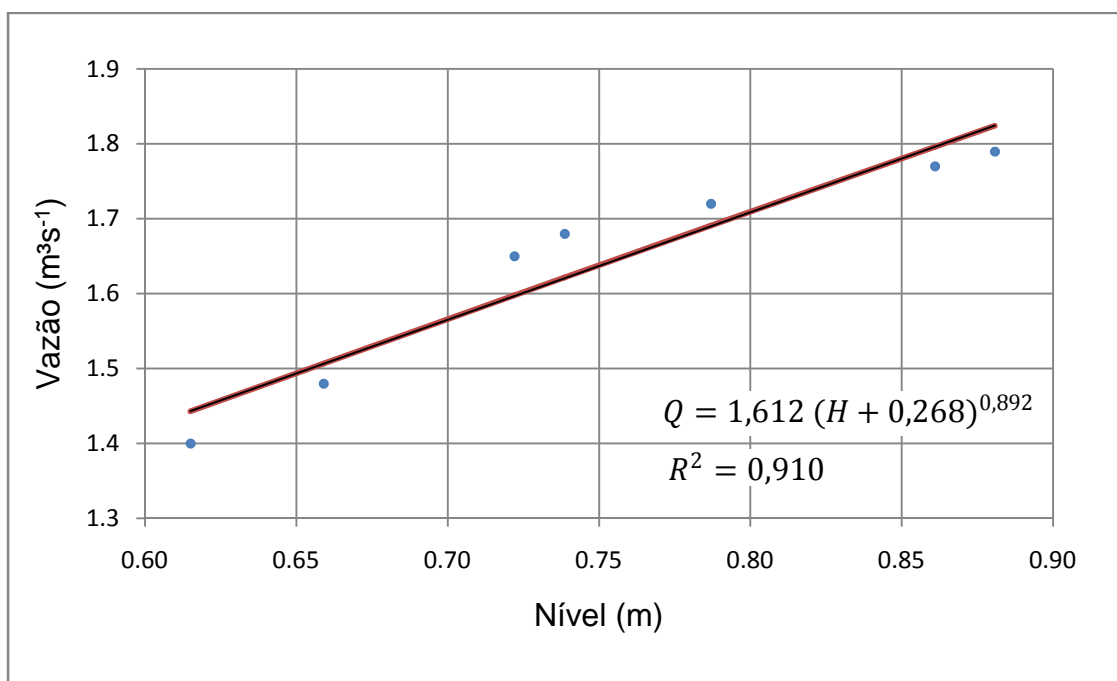


Figura 2. Curva-chave para Cabeceira da sub-bacia do Córrego Guariroba.

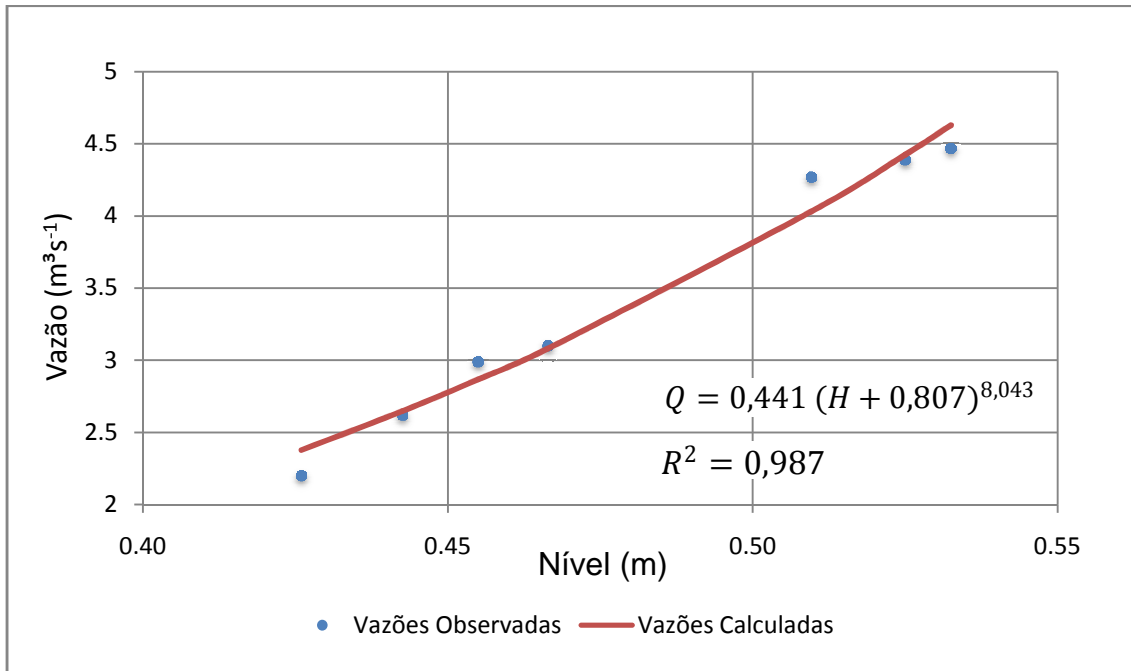


Figura 3. Curva-chave para o Médio curso da sub-bacia do Córrego Guariroba.

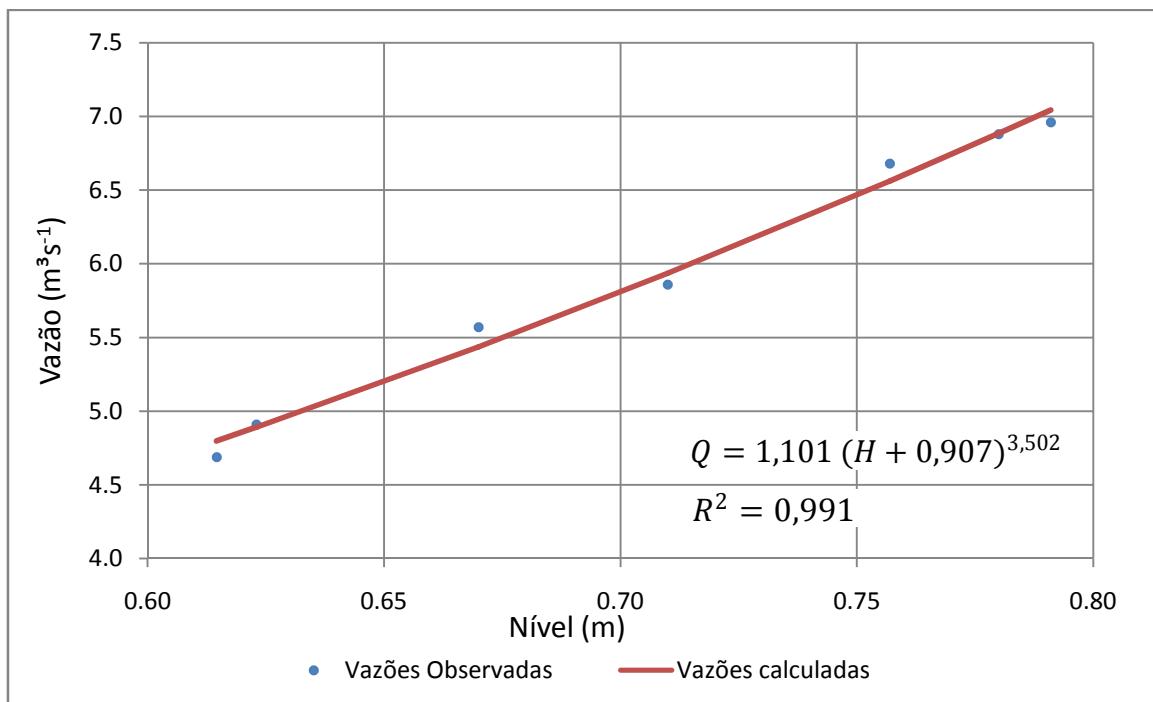


Figura 4. Curva-chave para a Foz da sub-bacia do Córrego Guariroba.

A aplicação dessas equações possibilita a determinação das vazões nas seções de interesse, uma vez que se têm medidores de nível instalados nas estações fluviométricas. Os língnifos foram programados para ler o nível da seção de cinco em cinco minutos. Dessa forma, utilizando-se as equações geradas, pode-se estimar a vazão do rio a cada intervalo de cinco minutos.

Algumas considerações devem ser levantadas com relação às curvas-chaves do Médio curso e Foz. Nessas seções, devido à falta de medições de vazão em situações de cheia, as curvas-chave geradas ficam limitadas a um intervalo de níveis. Dessa forma, níveis superiores ao obtido em campo geram vazões estimadas com erro. A redução desse erro pode ser obtida com a realização de campanhas em épocas de cheias para que a curva-chave abranja maior intervalo de níveis.

## CONCLUSÃO

Este estudo é o precursor do monitoramento e obtenção de dados hidrológicos na sub-bacia hidrográfica do Córrego Guariroba. Desta forma a sequência deste trabalho é fundamental para o ajuste das curvas obtidas.

Observa-se que para estudos de vazões mínimas, as curvas-chave se apresentam satisfatórias. Entretanto, para estudos envolvendo vazões máximas, medições de vazão em períodos de cheia possibilitam melhores ajustes nas curvas, o que resulta na maior confiabilidade das mesmas.

## REFERÊNCIAS

BEVEN, K.J., SMITH, P.J., WOOD, A. (2011). On the colour and spin of epistemic error (and what we might do about it). *Hydrology and Earth System Sciences* 15, pp. 3123 - 3133.

CARVALHO, T. M. (2008). Técnicas de medição de vazão por meios convencionais e não convencionais. *Revista Brasileira de Geografia Física* 1 (1), pp. 73 - 85.

CHEVALIER, P. (2004). Aquisição e processamento de dados. In *Hidrologia: ciência e aplicação*. Org. por Tucci, C.E.M., ABRH, ed. UFRGS, Porto Alegre – RS, pp. 485- 525.

GÓES, V. C.; CIRILO, J. A. (2010) Geração de base de dados espaciais para estudos de drenagem urbana na região metropolitana de Recife, Pernambuco. *Revista Brasileira de Cartografia* 63 (4), pp. 555 - 565.

KUERTEN, S.; SANTOS, M. L.; SILVA, A. (2009) Variação das características hidrosedimentares e geomorfologia do leito do Rio Ivaí – PR, em seu curso inferior. *Geociências* 28 (2), pp. 143 – 151.

IBIAPINA, A. V.; FERNANDES, D.; CARVALHO, D.C.; OLIVEIRA, E.; SILVA, M.C.A.M.; GUIMARÃES, V.S. (2007) Evolução da hidrometria no Brasil. Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL).

OLIVEIRA, L. F. C.; FIOREZE, A. P. (2011). Estimativas de vazões mínimas mediante dados pluviométricos na Bacia Hidrográfica do Ribeirão Santa Bárbara, Goiás. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental* 15 (1), pp. 9 - 15.

PAIVA, E.M.D.; OPPA, L.F.; PAIVA, J.B.D.; MARCON, I.R. (2008). Erros na medição da vazão: efeitos na curva chave. In *Anais do XXXI Congresso Interamericano Aidis*, Santiago, Chile, Out. 2008, 1, pp. 1 - 8.

REIS, J. A. T.; GUIMARÃES, M. A.; BARRETO NETO, A. A.; BRINGHENTI, J. (2008). Indicadores regionais aplicáveis à avaliação do regime de vazão dos cursos d'água da Bacia Hidrográfica do Rio Itabapoana. *Geociências* 21 (4), pp. 509 - 516.

SANTOS, I.; FILL, H.D.; SUGAI, M.R.V.; BUBA, H.; KISHI, R.T.; MARONE, E.; LAUTERT, L.F.C. (2001). *Hidrometria Aplicada*. Curitiba-PR, 372p.