

## MONITORAMENTO HIDROLÓGICO DA BACIA HIDROGRÁFICA NO CAMPUS DA UFSC EM JOINVILLE UTILIZANDO DA PLATAFORMA EPOSMOTE III

*Simone Malutta<sup>1\*</sup>; Giovani Gracioli<sup>2</sup>, Jhonatan Cristian Pscheidt<sup>3</sup>; Tiago Guizoni Neto<sup>4</sup>; Allan Thiesen<sup>5</sup>; Cauê Val Arruda<sup>6</sup> Cesar Augusto Pompêo<sup>7</sup>; Antônio Augusto Medeiros Fröhlich<sup>8</sup> Nádia Bernardi Bonumá<sup>9</sup>*

**Resumo** – O objetivo do presente trabalho foi mostrar a implantação e monitoramento de precipitação, nível e vazão em uma bacia hidrológica experimental. O sistema de coleta de transmissão de dados é feito pela plataforma EPOSMOTE III. A partir dos dados de nível e de vazão foram elaboradas as curvas chaves pelos métodos polinomial e exponencial e extrapoladas a curva chave pelos métodos de Steven, Manning e Logaritmo. Analisando os erros  $E_{hmax}$  e  $E_m$  foi selecionado a curva polinomial para curva chave e método de extrapolação de Steven para o P1 e para o P2 e P3 métodos logarítmico.

**Palavras-Chave** – monitoramento, EPOSMOTE III, bacia experimental.

## HIDROLOGICAL MONITORING OF THE HYDROGRAPHIC WATERSHED IN THE CAMPUS OF UFSC IN JOINVILLE USING THE PLATFORM EPOSMOTE III

**Abstract** - The objective of the present study was to show the implementation and monitoring of precipitation, level and flow in an experimental watershed. The data collection system is made by the EPOSMOTE III platform. From the flow-level data the stage discharge curve were elaborated by the polynomial and exponential methods and extrapolated to the stage discharge curve by the methods of Steven, Manning and Logarithm. Analyzing the errors of  $E_{hmax}$  and  $E_m$  we choice to selected the polynomial curve for discharge curve and Steven extrapolation method for the P1 and for the P2 e P3 logarihmic methods.

**Keywords** – monitoring, EPOSMOTE III, experimental watershed.

<sup>1\*</sup> Professora, Departamento de Engenharia da Mobilidade, Universidade Federal de Santa Catarina, Joinville, SC. Fone: +55(48)3721- 7493. E-mail: simone.malutta@ufsc.br.

<sup>2</sup> Professor, Departamento de Engenharia da Mobilidade, Universidade Federal de Santa Catarina, Joinville, SC. Fone: +55(48)3721- 7304. E-mail: Giovani.g@ufsc.br.

<sup>3</sup> Graduação de Engenharia de Infraestrutura, Universidade Federal de Santa Catarina, Joinville, SC. E-mail: jhonypscheidt@hotmail.com

<sup>4</sup> Graduação de Engenharia de Infraestrutura, Universidade Federal de Santa Catarina, Joinville, SC. E-mail: tiagoguizoni@gmail.com

<sup>5</sup> Graduação de Engenharia de Infraestrutura, Universidade Federal de Santa Catarina, Joinville, SC. E-mail: allanthiesen@gmail.com

<sup>6</sup> Graduação de Engenharia de Mecatrônica, Universidade Federal de Santa Catarina, Joinville, SC. E-mail: cauevalarruda@gmail.com

<sup>7</sup> Professor, Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC. Fone: +55(48)3721-7708. E-mail: cesar.pompeo@ufsc.br.

<sup>8</sup> Professor, Departamento de Informática e de Estatística, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC. Fone: +55(48)3721- 9516. E-mail: guto@lisha.ufsc.br.

<sup>9</sup> Professora, Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC. Fone: +55(48)3721-2604. E-mail: nadia.bonuma@ufsc.br.

## INTRODUÇÃO

O campus Universitário da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC) em Joinville será implantado na Rodovia BR-101 na altura do Km 51. Com a futura implantação do campus se tornou necessário o estudo ambiental simplificado (EAS) da área. O estudo hidrológico do EAS (UFSC, 2010) e investigações científicas na Bacia Hidrográfica do Campus em Joinville (BHCUIJ) (Rigotti, 2010 e Rigotti e Pompêo, 2011) apontam que é necessário um estudo mais detalhado da BHCUIJ devido a sua complexidade hidrológica. Em 2015 iniciou o projeto institucional titulado “Programa de controle e monitoramento hidrológico do Campus da UFSC em Joinville”. Neste programa está previsto o monitoramento hidrológico da BHCUIJ.

Um dos objetivos deste programa é realizar estudos na BHCUIJ para que a bacia se torne uma bacia experimental. Toebes e Ouryvaev (1970) citam que as bacias experimentais têm como objetivo: (1) Estudar os efeitos de mudanças nos processos hidrológicos, tais como modificação no uso e cobertura do solo; (2) Prever os processos hidrológicos – com as bacias experimentais é possível testar e calibrar modelos hidrológicos e (3) Realizar pesquisa como estudos detalhados de processo físicos, químicos e/ou biológicos dentro do ciclo hidrológico.

A partir do monitoramento em bacias experimentais é possível estabelecer práticas adequadas para as diferentes atividades visando à manutenção da qualidade dos recursos hídricos (Câmara, 2004). Portanto o monitoramento previsto neste programa auxiliará na tomada de decisão das possíveis medidas estruturais e não estruturais da BHCUIJ.

Este programa propôs realizar o sistema de coleta de transmissão de dados hidrológicos com a plataforma EPOSMote III desenvolvida na própria UFSC com a parceria do Laboratório de Integração Software/Hardware (LISHA).

Visto a importância da investigação dos processos hidrológicos para fornecer dados para planejamento de obras de controle de cheias e inundações este artigo tem como objetivo apresentar o sistema de monitoramento que vem sendo realizado na bacia experimental com a plataforma de coleta e transmissão de dados EPOSMote III e sistema de transmissão de dados via GPRS dos dados de precipitação e nível.

## ÁREA DE ESTUDO

A BHCUIJ (12 km<sup>2</sup>) está localizada no sul do município de Joinville (Figura 1).

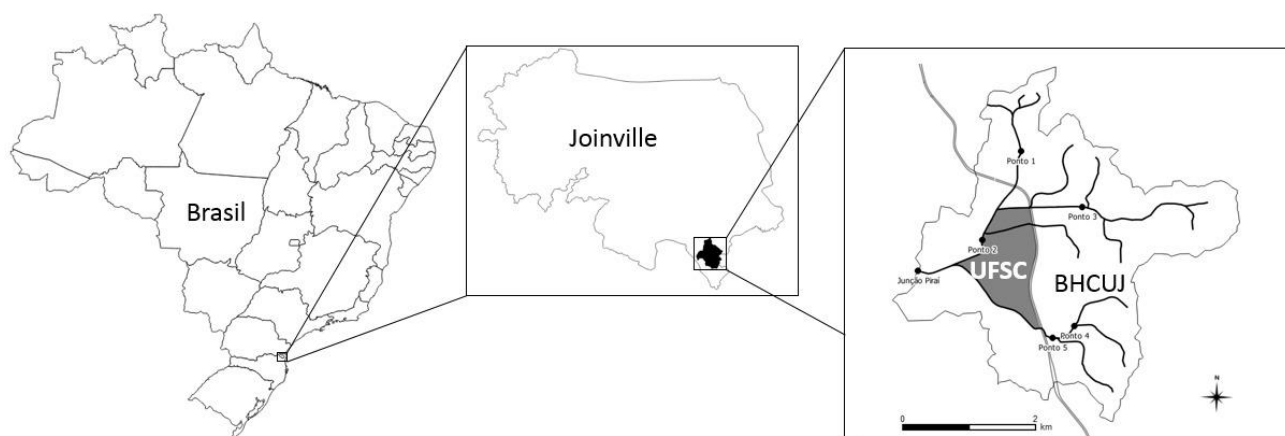


Figura 1 – Localização da BHCUIJ

De acordo com a classificação de Köppen, em Joinville predomina o clima do tipo “mesotérmico”, úmido, sem estação seca. A precipitação média anual é de 2.205,3 mm, sendo a menor média de precipitação no mês de junho, com 82,0 mm, e a maior média no mês de janeiro com 355,6 mm. De acordo com o Levantamento de Cobertura Pedológica de Joinville o tipo de solo predominante na BHCUIJ é o Cambissolos, Neossolos e Argilossos (Uberti, 2011).

## MATERIAIS E MÉTODOS

### Seleção dos pontos de monitoramento Hidroológico

Inicialmente foram divididos a BHCUIJ em quatro subbacias a montante do campus (Rigotti, 2010, Rigotti & Pompêo 2011, UFSC, 2010) e a sua exutória principal (a jusante do campus) totalizando cinco subdivisões. Com essas subdivisões foi realizando o estudo hidrológico destas subbacias. No projeto inicial do programa foram previstos oito pontos de monitoramento de acordo com os critérios de instalação de estações pluviométricas e fluviométricas da ANA (2014) e descritos em Santos *et al.*, 2001. Estes pontos foram selecionados observando critérios hidrológicos e hidráulicos e a segurança dos equipamentos instalados na bacia.

### Instalação dos pontos de monitoramento

Com os pontos de monitoramento selecionados foi realizada a instalação física necessária para instalações dos sensores. Cada ponto de monitoramento possui régua linimétrica com número de acordo com o nível máximo já evidenciado pelos morados da região, referência de nível, suporte para pluviógrafos, caixa ambiental para armazenamento da bateria, controlador de carga e a plataforma de sensoriamento EPOSMote III.

A plataforma de sensoriamento EPOSMote (<http://epos.lisha.ufsc.br>) foi desenvolvida pelo LISHA da UFSC para suportar pesquisa e desenvolvimento na área de sensores sem fio (agricultura de precisão, internet das coisas, monitoramento inteligente, etc) e está em sua terceira versão. A plataforma possui um microcontrolador ARM Cortex-M3 de 32 Mhz, 32 KB de memória RAM e 512 KB de memória Flash, além de comunicação sem fio IEEE 802.15.4, sensores de temperatura e umidade e uma unidade de medição inercial (IMU).

O EPOSMote III foi projetado para ser modular, sendo possível o acoplamento de outras placas para estender sua capacidade de sensoriamento e comunicação inicial. Essa capacidade de extensão foi usada no projeto para a criação de duas placas auxiliares. A Figura 2a mostra a placa para controlar o acionamento dos sensores (pressão e pluviógrafo) e a Figura 2b a placa para a comunicação via rede de telefonia (GPRS). A Figura 2c mostra a plataforma EPOSMote III ao lado de uma moeda de um real para comparação de tamanho.

Desta forma, o EPOSMote III foi acoplado na placa de acionamento e a placa de comunicação GPRS foi colocada em cima do EPOSMote III. A Figura 2d demonstra a configuração final do hardware usado no projeto de monitoramento do campus da UFSC em Joinville e a Figura 2e mostra o sistema montando e operando em campo já com o pluviógrafo e os sensores de pressão foram conectados na placa de acionamento.

O EPOSMote III controla o acionamento dos relés para leitura dos sensores a cada 5 minutos. Após a leitura dos mesmos, o EPOSMote III armazena os dados coletados em sua memória Flash para o posterior envio via rede GPRS (utilizando a placa GPRS). Os dados dos sensores são enviados para o servidor do LISHA na UFSC, armazenados no banco de dados KairósDB e apresentados utilizando a interface gráfica Grafana. Os dados coletados podem ser então visualizados em tempo real utilizando o site <http://iot.lisha.ufsc.br>. O custo para a fabricação do hardware utilizado no projeto é em torno de cem dólares.

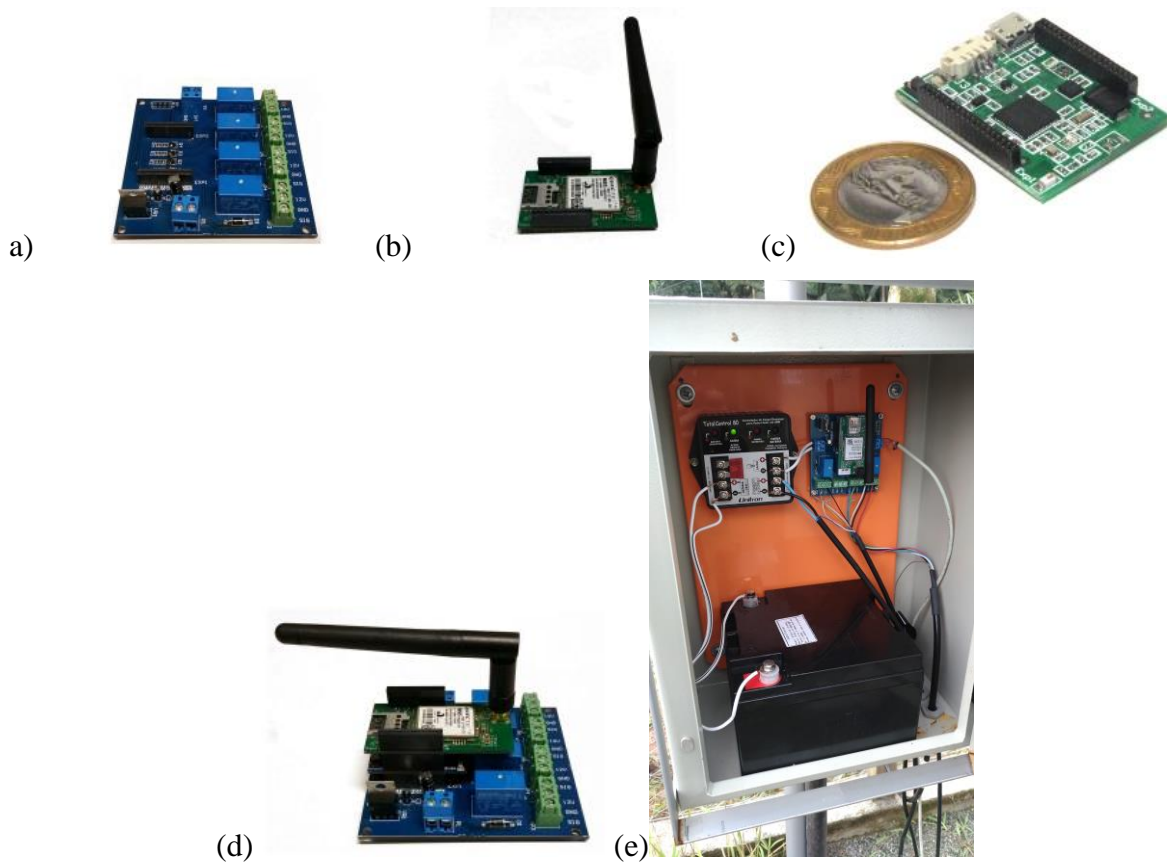


Figura 2 – (a) EPOSMote, (b) placa auxiliare, (c) placa GPRS, (d) Configuração final do sistema EPOSMote III e (e) Sistema operando em campo

Para o monitoramento automático das variáveis foi utilizado neste programa cinco sensores de pressão da marca Keller, modelo 46X e dois pluviômetro de báscula marca dualBase.

### Monitoramento de precipitação e nível

Com o monitoramento de alguns processos como precipitação e nível pode se entender melhor o comportamento desses processos na BHCUIJ. O comportamento somente será bem representando se houver um intervalo de medição adequado para a bacia. Como já citado foi utilizado o estudo hidrológico do EAS e muitas observações de campo na tentativa de entender o comportamento da BHCUIJ. Assim foi determinado o local e intervalo de medição mais adequado para subbacias.

Com o monitoramento contínuo de precipitação e nível e realização da medição de descarga líquida foi possível estabelecer a curva chave líquida os pontos de monitoramento.

### Medição de descarga líquida e Curva Chave

As medições de descarga líquidas estão sendo feitas pelo método convencional com molinete hidrométrico. O cálculo das vazões parciais foi feito por meio do método da Meia Seção (ANA, 2014 e Santos *et al.*, 2001.) Para medição das velocidades nas seções foi utilizado o Micro Molinete com hélice de diâmetro de cinco centímetros e pelo o método da meia seção para cálculo das vazões parciais e vazão total.

Para a construção das curvas-chave foram diversas medições de descarga líquida e vários níveis na seção de monitoramento. Para fazer a relação vazão-nível foi feita a curva chave pelo

método de polinomial e exponencial com extrapolações no ramo superior por Steven, Manning e Logaritmo. Os métodos de traçado e extrapolação da curva chave estão descritos em Santos *et al.*, 2001 e Jacoon & Cudo (1989).

Para analisar os erros nas extrapolação foi calculado, de acordo com metodologia descrita em Sefione (2002), o erro na cota máxima ( $Eh_{max}$ ) e o erro médio ( $Em$ )

O erro na cota máxima é calculado pela Equação 1

$$Eh_{max} = \frac{Q_{em} - Q_{cm}}{Q_{cm}} \quad (1)$$

Onde a  $Q_{em}$  é a vazão pseudo-extrapolada por um dado método, na cota máxima medida,  $Q_{cm}$  é a vazão da curva chave na cota máxima medida.

O erro médio é calculado pela Equação 2

$$Em = \sum \left( \frac{Q_{eh} - Q_{ch}}{Q_{cm}} \right) / Nh \quad (2)$$

Onde  $Q_{eh}$  é a vazão extrapolada na cota  $h$  por dado método,  $Q_{ch}$  é a vazão da curva-chave na cota  $h$ ,  $Q_{cm}$  é a vazão da curva chave na cota máxima medida e  $Nh$  é o número de vazão calculadas na faixa de pseudo-extrapolação (feito de 10 em 10 centímetros).

Segundo Sefione, 2002 o cálculo do  $Eh_{max}$  permite quantificar uma sub ou super estimativa dos métodos na cota máxima extrapolada. E o  $Em$  mostra quando a curva de pseudo-extrapolação está afastada da curva chave na sua extensão.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### Instalação dos pontos de monitoramento

As visitas e seleções dos pontos de monitoramento iniciaram 2010 com todo o mapeamento dos cursos d'água (Rigotti, 2010, Rigotti & Pompêo 2011, UFSC, 2010). Até efetivamente ser feita a instalação do monitoramento em 2016 os pontos tiveram que ser alterados devido a mudança nas condições da bacia.

De maneira geral pode se citar que a redução do número de pontos foi devido a canalização de alguns cursos de água, a dificuldade no acesso e questões de segurança dos pontos pré-selecionados e a paralização da obra do terreno da UFSC. Foi definido que no presente momento seria viável instalar apenas cinco pontos de monitoramento. A Figura 1 mostra o P1, P2, P3, P4 e P5 e os principais cursos d'água da bacia.

Logo após a instalação da estrutura física para colocar os sensores alguns eventos importantes marcaram o início do monitoramento na BHCUIJ. No dia 17/01/2017 deveria ser feita a instalação do sensor de pressão no P4. Porém houve uma obra de terraplanagem a montante que assoreou o curso de água. No dia 22/01/2017 o nível de sedimento na régua chegou a 24 cm (Figura 3a). Como a obra de terraplanagem ainda não havia terminado decidiu não instalar o sensor neste ponto e ir acompanhando a evolução da dinâmica do leito até que a obra finalizasse.

Outro evento importante que ocorreu na bacia foi que em 17/02/2017 a prefeitura iniciou a "limpeza" dos cursos de água na região. Foi feita a retirada da vegetação das margens e dragado o trecho entre os pontos de monitoramento P3 e P2 (Figura 3b). No dia 02/03/2017 após um grande evento de precipitação foi constatado a erosão do leito do P3. A erosão foi de aproximadamente 41

centímetros (Figura 3c). Assim foi feita a nova seção topográfica no P3 e iniciou a novas medições para uma nova curva chave.

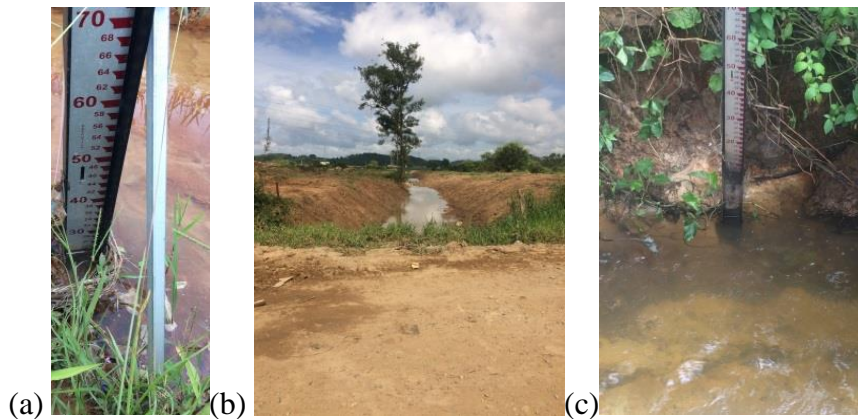


Figura 3 – (a) Assoreamento no P4, (b) Limpeza dos rios e (c) erosão no P3

### Monitoramento de precipitação e nível

A Figura 5 mostra a interface gráfica Grafana e a transmissão de dados do monitoramento on line de 5 em 5 minutos.

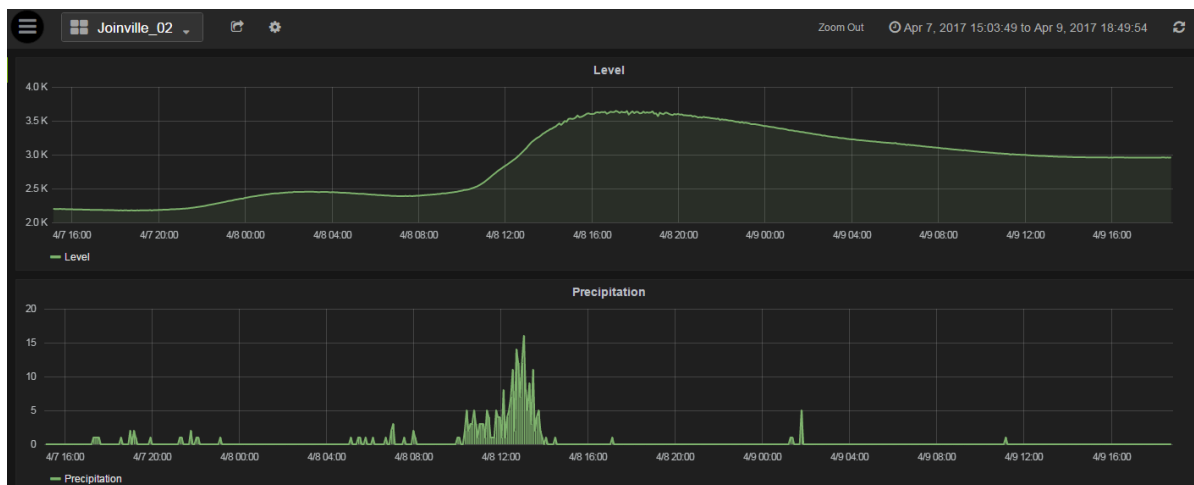


Figura 5 – Interface gráfica Grafana do sistema de monitoramento do P2

### Medição de descarga líquida e Curva Chave

As medições de descarga líquida foram realizadas principalmente no ponto P1, P2, P3. Os pontos P4 e o P5 ainda não foram iniciadas as medições. Foram realizadas 10, 09 e 19 medições no P3. O P3 após o evento de erosão foi necessário iniciar outra curva chave. A Figura 6 mostra a curva chave polinomial ( $R^2 = 0,98$ ) do P3 após erosão.

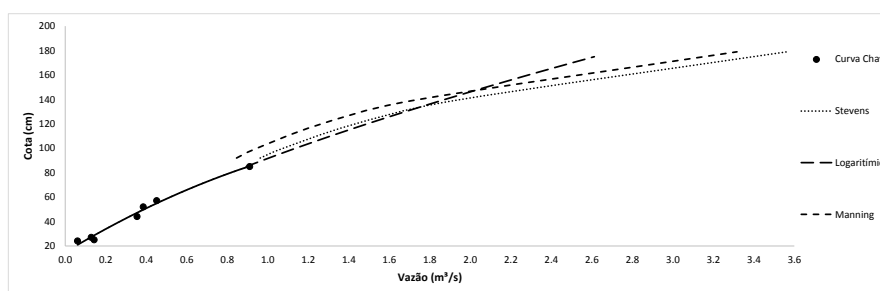


Figura 6 – Curva chave polinomial para o P3-Pós com extrapolação pelos métodos de Stevens, Logarítmica e Manning.

A cota máxima monitorada de janeiro a abril de 2017 no P1 foi de 1,79 metros (26/01/2017) com estimativa de vazão máxima pelos métodos de Stevens, Logarítmico e Manning de 9,3, 36,58 e 9,05 m<sup>3</sup>/s respectivamente.

No P2 a conta máxima foi de 3,04 metros e ocorreu no dia 23/01/2017. A estimativa de vazão máxima pelos métodos de Stevens, Logarítmico e Manning de 13,4, 3,4 e 5,4 m<sup>3</sup>/s, respectivamente.

No P3 como houve o rebaixamento do leito foi feita a análise antes e depois do evento. No P3-Antes a conta máxima foi de 1,60 metros e ocorreu no dia 30/01/2017. A estimativa de vazão máxima pelos métodos de Stevens, Logarítmico e Manning de 4,06, 0,86 e 7,21 m<sup>3</sup>/s, respectivamente. E após o evento a conta máxima foi de 2,50 metros com estimativa de vazão máxima pelos métodos de Stevens, Logarítmico e Manning de 7,57, 4,44 e 13,27 m<sup>3</sup>/s.

Para analisar os erros nas extrapolações foi feito o cálculo do  $Eh_{max}$  e  $E_m$

Tabela 1 – Erro na cota máxima e erro médio para os três pontos de monitoramento

	P1			P2		
	Stevens	Logarítmico	Manning	Stevens	Logarítmico	Manning
<b>Ehmax (%)</b>	17.5	0.1	-15.5	-271.6	0.8	12.4
<b>Em (%)</b>	155.1	630.1	533.5	800.7	35.1	53.5
	P3 antes			P3 depois		
	Stevens	Logarítmico	Manning	Stevens	Logarítmico	Manning
<b>Ehmax (%)</b>	-137.0	4.0	-3.3	7.4	1.9	3.3
<b>Em (%)</b>	273.4	4.5	42.5	101.2	21.6	16.4

A Tabela 1 mostra os erros na cota máxima e erros médios para os três pontos de monitoramento. Analisando os valores de  $Eh_{max}$  e  $E_m$  no P1 foi utilizado a metodologia de Stevens para estimativa das vazões, pois apresenta o menor erro médio. No P2 e no P3 antes e depois do evento o método logarítmico apresentam os menores erros.

## CONCLUSÕES

Com o monitoramento de precipitação, nível e vazão da bacia da BHCUIJ iniciaram as investigações do comportamento hidrológicos da bacia. A instalação e monitoramento dos pontos em uma bacia em processo de urbanização não são muita tarefa muito fácil. As mudanças na bacia podem trazer problemas no monitoramento como citados no ponto P4 e P3.

A plataforma de coleta e transmissão de dados EPOSMote III apresentou se adequada para o monitoramento sendo uma alternativa para substituição do sistema de *datalogger* convencional. Esta parceria entre laboratório da área de meio ambiente e de Software/Hardware traz desenvolvimento de tecnologia que é uma das funções da universidade.

Foram feitas as medições de vazão e selecionado o método, que pelo cálculo do  $Eh_{max}$  e  $E_m$ , apresentaram os resultados mais consistentes. Até o presente momento para o P1 foi escolhido a curva polinomial de terceiro grau com a extrapolação pelo método do Steven, para o P2, P3 antes e depois do evento a curva polinomial de segundo grau e extrapolação logarítmica.

## REFERÊNCIAS

Agência Nacional de águas (Brasil). Medição de descarga líquida em grandes rios: manual técnico / Agência Nacional de Águas. -- 2. ed. -- Brasília: ANA, 2014.

CARVALHO, N.O.; FILIZOLA JÚNIOR, N.P.; SANTOS, P.M.C.; LIMA, J.E.F.W. *Guia de práticas sedimentométricas*. Brasília: ANEEL. 2000. 154p.

Estudo Ambiental Simplificado do Centro de Engenharia da Mobilidade – Campus da UFSC em Joinville. EAS – CEM/UFSC – Joinville – LIC N° 004117/ PLC N° 03338. 4 Volumes e anexos. Julho de 2010.

GAO, P. (2008). Understanding watershed suspended sediment transport. *Progress in Physical Geography*, v. 32, n. 3, pp. 243-263.

JACCON, G.; CUDO, K.J. (1989) Curva-chave: análise e traçado. Brasília: DNAEE. 273 p.

LEWIS, J. 1996 Turbidity-controlled suspended sediment sampling for runoff-event load estimation. *Water Resources Research*, Vol. 32, N. 7, 2299-2310.

RIGOTTI, J. A. (2010) ESTUDO DA DEGRADAÇÃO EM CURSOS D'ÁGUA: BACIA HIDROGRÁFICA DO FUTURO CAMPUS DA UFSC, JOINVILLE. Trabalho de conclusão de curso. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis.  
RIGOTTI, J. A.; POMPÊO, C. A. 2011. Estudo de revitalização de cursos d'água: Bacia Hidrográfica do Futuro Campus UFSC, Joinville - SC. *In: XIX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos*, Maceió.

SANTOS, I.; FILL, H.D. ; SUGAI, M.R.V.B.; BUBA, H.; KISHI, R.T.; MARONE, E.; LAUTERT, L.F. *Hidrometria Aplicada*. Porto Alegre: Editora da ABRH, 2001. 371 p.

SEFIONE, A. L. (2002). Estudo Comparativo de Métodos de Extrapolação Superior de Curvas-Chave. Dissertação (Mestrado) – Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.