

## Análise da ocorrência de *first flush* em bacia urbana brasileira

Renata Genova Martins<sup>1\*</sup> Denise Taffarello<sup>2</sup>

**Resumo** – Devido a mudanças no clima e nos usos do solo, houve intensificação na degradação dos recursos naturais e mudanças dos padrões de escoamento da água, aumentando a ocorrência de poluição dos recursos hídricos, seja de origem difusa ou pontual. No caso da poluição advinda do escoamento superficial (difusa) a análise da distribuição da concentração de poluentes durante um evento de chuvoso é representada pelo polutograma. Para se gerar o polutograma, um dos fenômenos a serem estudados é o *first flush* (carga de lavagem). Este trabalho buscou analisar a ocorrência de *first flush* em uma bacia urbana brasileira localizada no município de São Carlos/SP. Para tanto, a partir de dados primários obtidos pelo monitoramento hidrológico, foram construídos hidrogramas e polutogramas de cheias e calculado a curva M(V) para análise da ocorrência do *first flush* segundo o método de Geiger (1987). Através dos resultados foi possível identificar a ocorrência do fenômeno para alguns poluentes analisados. No entanto, não foi possível constatar um padrão na ocorrência da carga de lavagem, mostrando este ser um fenômeno aleatório na bacia em estudo.

**Palavras-Chave** – Escoamento Superficial, Poluição Difusa, Carga de Lavagem.

## Analysis of the occurrence of first flush in a Brazilian urban basin

**Abstract** – Due to the changes in the climate and in the land-use, there has been an intensification in the degradation of natural resources and changes in surface runoff, increasing the possibility of occurrence of both water diffuse and point pollution. In the case of pollution from surface runoff (diffuse), the analysis of the distribution of the concentration of pollutants during a rainy event is represented by the pollutographs. To construct the pollutographs, one of the phenomena to be studied is the first flush. This work aimed to analyze the occurrence of the first flush in a Brazilian urban basin located in São Carlos/SP city. Thus, through primary data obtained by hydrological monitoring, the hydrographs and pollutographs have been constructed and the mass and volume curve M(V) curve has been calculated for the analysis of first flush occurrence, according to the method of Geiger (1987). Results show that was possible to identify the occurrence of the first flush phenomenon for some pollutants. However, it was not possible to establish a pattern in the occurrence of the first flush, showing this to be a random phenomenon in this basin.

**Keywords** – Surface Runoff, Diffuse Pollution, First Flush.

## INTRODUÇÃO

O escoamento superficial é uma das causas principais da deterioração da qualidade da água, o que torna o entendimento das características da poluição advinda deste tipo de escoamento (poluição difusa) de grande valia para o gerenciamento dos recursos hídricos (Wei et al. 2013). Por meio da análise integrada entre as características do uso e ocupação do solo e dos parâmetros qualitativos da água, é possível identificar os impactos ambientais gerados pela poluição difusa

<sup>1</sup> Universidade de São Paulo, Escola de Engenharia de São Carlos, Depto. de Hidráulica e Saneamento, renata.genova.martins@gmail.com

<sup>2</sup> Universidade de São Paulo, Escola de Engenharia de São Carlos, Depto. de Hidráulica e Saneamento, taffarellod@gmail.com, dt@usp.sc.br\* Autor correspondente: renata.genova.martins@gmail.com

advinda do escoamento superficial e propor alternativas que minimizem o aporte de poluentes aos corpos d'água, tais como as técnicas compensatórias. Para análise dos poluentes e conseqüentemente o dimensionamento correto das técnicas compensatórias de drenagem um dos fenômenos estudados é o *first flush* (carga de lavagem). Entende-se por carga de lavagem o tempo inicial do escoamento superficial durante o qual a concentração de poluentes é mais elevada do que aqueles observados durante as últimas fases do evento chuvoso (Gupta e Saul, 1996). Este fenômeno pode ser representado pela seguinte fórmula:

$$L = \frac{m(t)}{M_t} \quad \text{e} \quad F = \frac{v(t)}{V_t} \quad (1)$$

onde:

L = Massa acumulada adimensional de poluentes em função;

m(t) = Massa transportada em um intervalo de 0 a t;

M<sub>t</sub> = Massa total do poluente em um intervalo de 0 a t;

F = Volume acumulado adimensional drenado;

v(t) = Volume transportado em um intervalo de 0 a t;

V<sub>t</sub> = Volume total do escoamento superficial em um intervalo de 0 a t.

Segundo Oliveira (2007), para que o fenômeno de primeira lavagem ocorra, a grandeza L deverá ser maior que F. Outra metodologia encontrada na literatura é a de Deletic (1998), que aplicou o método FF20, segundo o qual 20% da massa total escoada durante o evento deve ser lavada pelos primeiros 20% do volume do evento. Para Geiger (1987), o *first flush* ocorre quando a curva M(V) estiver acima de uma linha de 45° traçada no gráfico, e o autor ainda usa o ponto de máxima divergência para quantificar o *first flush*. Em estudo publicado por Mitchell e Su (2003) são descritos diversos critérios para determinação do *first flush*: (1)  $m(t) \geq 0,80$  e  $v(t) \leq 0,30$  - 80% da massa total escoada durante o evento deve ser lavada pelos primeiros 30% do volume do evento;  $m'(t) \geq 0,80$  e  $v(t) \leq 0,20$  - 80% da massa total escoada durante o evento deve ser lavada pelos primeiros 20% do volume do evento;  $m(t) \geq 0,50$  e  $v(t) \leq 0,25$  - 50% da massa total deve ser lavada pelos primeiros 25% do volume do evento.

Alguns estudos, entretanto, mostram que muitas vezes essa carga de lavagem não é identificada. Isso ocorre devido a perdas no escoamento que estão diretamente ligadas a determinadas características, tais como condições do pavimento (rugosidade, estado de conservação e outras), volume escoado e altura da lâmina da água (Porto, 1995).

Para Tomaz (2006) e Silva (2009), o fenômeno ora tratado é mais facilmente observado em bacias com menos de 100 hectares (pequenas). Para os autores, isso ocorre pois, em bacias com maiores dimensões, as concentrações de poluentes não decrescem concomitantemente com o volume de escoamento superficial; logo, outras áreas podem estar contribuindo com valores de concentração provenientes das suas primeiras descargas, que acabam por se misturar com os valores já decrescentes dos locais na região onde as medições são realizadas. Uma maior descrição deste fenômeno pode ser obtida nos trabalhos de Bertrand-Krajewski, Chebbo e Saget (1998), Lee e Bang (2000) e Lee et al. (2001).

Diante deste contexto, este estudo busca identificar: (1) a ocorrência de poluição advinda do escoamento superficial em uma bacia urbana brasileira; e (2) a ocorrência de *first flush* nos eventos monitorados.

## MATERIAIS E MÉTODOS

### Área de Estudo

A bacia em estudo, localizada na região oeste do município de São Carlos – São Paulo - Brasil, possui uma área de 5,85 km<sup>2</sup> e é afluente do Rio Monjolinho. A Figura 1 mostra a localização da bacia do Mineirinho, bem como sua limitação geográfica.

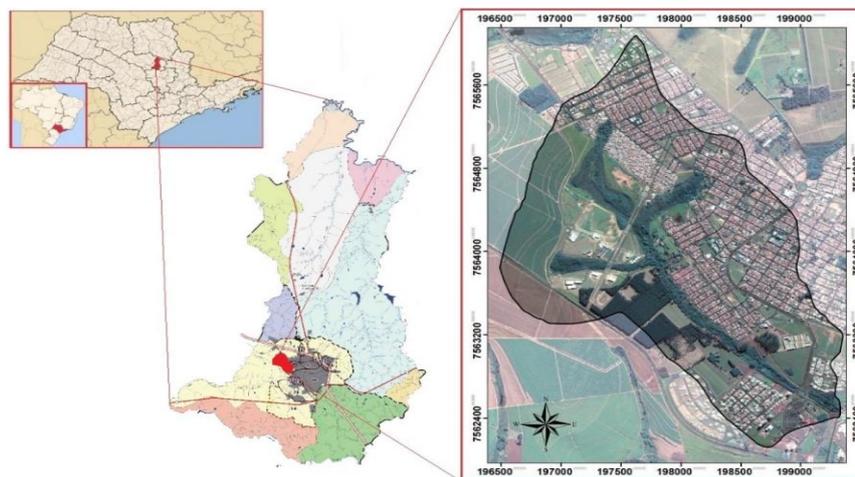


Figura 1. Localização da bacia hidrográfica do Mineirinho no Brasil, no estado de São Paulo e no município de São Carlos. Fonte: Adaptado de Angelini et al., 2014.

A bacia possui um percurso total do córrego principal de 3,84 km e comprimento total dos canais de 5,3 km. A diferença entre as cotas mais alta e mais baixa é de 95 m, que possui uma declividade média de 0,02 m/m, uma vazão de base de 0,20 m<sup>3</sup>/s, tempo de concentração estimado por Galbetti (2015) de 70 minutos. Seus solos são predominantemente Latossolos Vermelhos-amarelo, pertencente ao grupo hidrológico do tipo B, conforme a classificação proposta pelo *Soil Conservation Service* (SCS).

O uso e ocupação do solo da bacia, no ano de 2014, estava dividido da seguinte maneira: 42,9% de área urbanizada; 14,5% da área com culturas de cana-de-açúcar e *Pinus*; 25,5% da área compostos por gramínea; 4,1% compostos por solo exposto; e 13% de matas ciliares que se encontram beirando os córregos e nascentes (florestas paludosas) e matas espalhadas em alguns locais específicos da bacia.

### Monitoramento, Coleta de Dados, Cálculos e Análise dos Dados.

Para o levantamento de informações quali-quantitativas e construção dos hidrogramas e polutogramas de cheia, foi implantada uma rede de monitoramento hidrológico na área de estudo que contém: 3 pluviógrafos, 3 medidores de nível e 1 sonda *Acoustic Doppler Current Profiler* (ADCP). Os pluviógrafos estão dispostos por toda a bacia enquanto os medidores e a sonda estão localizados no exutório da área de estudo, mais precisamente em uma galeria com seção de 2,50 x 2,50 metros. Neste mesmo local são coletadas as amostras de qualidade de água.

Foram realizadas 12 coletas em eventos chuvosos e 7 em período de estiagem de janeiro a dezembro de 2015. As amostras de qualidade de água foram coletadas de forma manual e a frequência de coletas foi determinada pela intensidade das chuvas e mudanças de nível (em eventos intensos

foram coletadas amostras a cada 35 cm de variação de nível e eventos menos intensos a cada 10 cm de variação de nível). Para cada evento monitorado, as características são apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1. Dados dos eventos monitorados e parâmetros relacionados

| Datas      | Precipitação Total (mm) | Intensidade da chuva (mm/h) | Dias Antecedentes sem chuva (d) | Duração (horas) | Volume Total Precipitado (m <sup>3</sup> ) | Vazão de Pico (m <sup>3</sup> /s) | Número de Amostras |
|------------|-------------------------|-----------------------------|---------------------------------|-----------------|--|-----------------------------------|--------------------|
| 25/02/2015 | 40                      | 34,74                       | 0,63                            | 1,15            | 234107                                     | 12,46                             | 14                 |
| 04/04/2015 | < 1                     | 4,88                        | 5,00                            | 0,08            | 2285                                       | 0,3                               | 3                  |
| 05/04/2015 | 2                       | 1,39                        | 0,7                             | 1,22            | 9903                                       | 0,53                              | 9                  |
| 19/05/2015 | 9                       | 6,94                        | 8,2                             | 1,35            | 54908                                      | 0,81                              | 8                  |
| 25/08/2015 | 1                       | 16,71                       | 30,9                            | 0,07            | 6856                                       | 0,76                              | 4                  |
| 22/10/2015 | 4                       | 23,82                       | 1,3                             | 0,17            | 23733                                      | 0,76                              | 10                 |
| 11/11/2015 | <1                      | 1,58                        | 4,75                            | 0,4             | 3692                                       | 0,49                              | 7                  |
| 17/11/2015 | 7                       | 8,92                        | 2,54                            | 1,96            | 40786                                      | 2,12                              | 6                  |
| 23/11/2015 | 35                      | 10,87                       | 3,21                            | 3,27            | 208206                                     | 15,7                              | 11                 |
| 24/11/2015 | 10                      | 1,98                        | 0,55                            | 4,92            | 56549                                      | 2,12                              | 10                 |
| 05/12/2015 | 11                      | 16,44                       | 2,63                            | 0,7             | 67449                                      | 2,87                              | 13                 |
| 12/12/2015 | 8                       | 25,58                       | 2,17                            | 0,33            | 49458                                      | 2,45                              | 10                 |

As amostras foram armazenadas em garrafas de polietileno de 1000 ml e foram mantidas refrigeradas até o laboratório onde foram realizadas as análises. Os parâmetros analisados foram: Níquel (Ni), Cromo (Cr), Cádmio (Cd), Zinco (Zn), Cobre (Cu), Chumbo (Pb), Coliformes Fecais Totais (CFT), Fósforo Total (FT), Nitrogênio Total Kjeldahl (NTK), Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), Demanda Química de Oxigênio (DQO), Sólidos Suspensos Totais (SST). Todas as análises foram feitas de acordo com APHA (2012).

Uma vez construídos os polutogramas e hidrogramas, foi possível calcular a curva M(V) e analisar a ocorrência de *first flush* pelo método de Geiger (1987).

## RESULTADOS E DISCUSSÕES

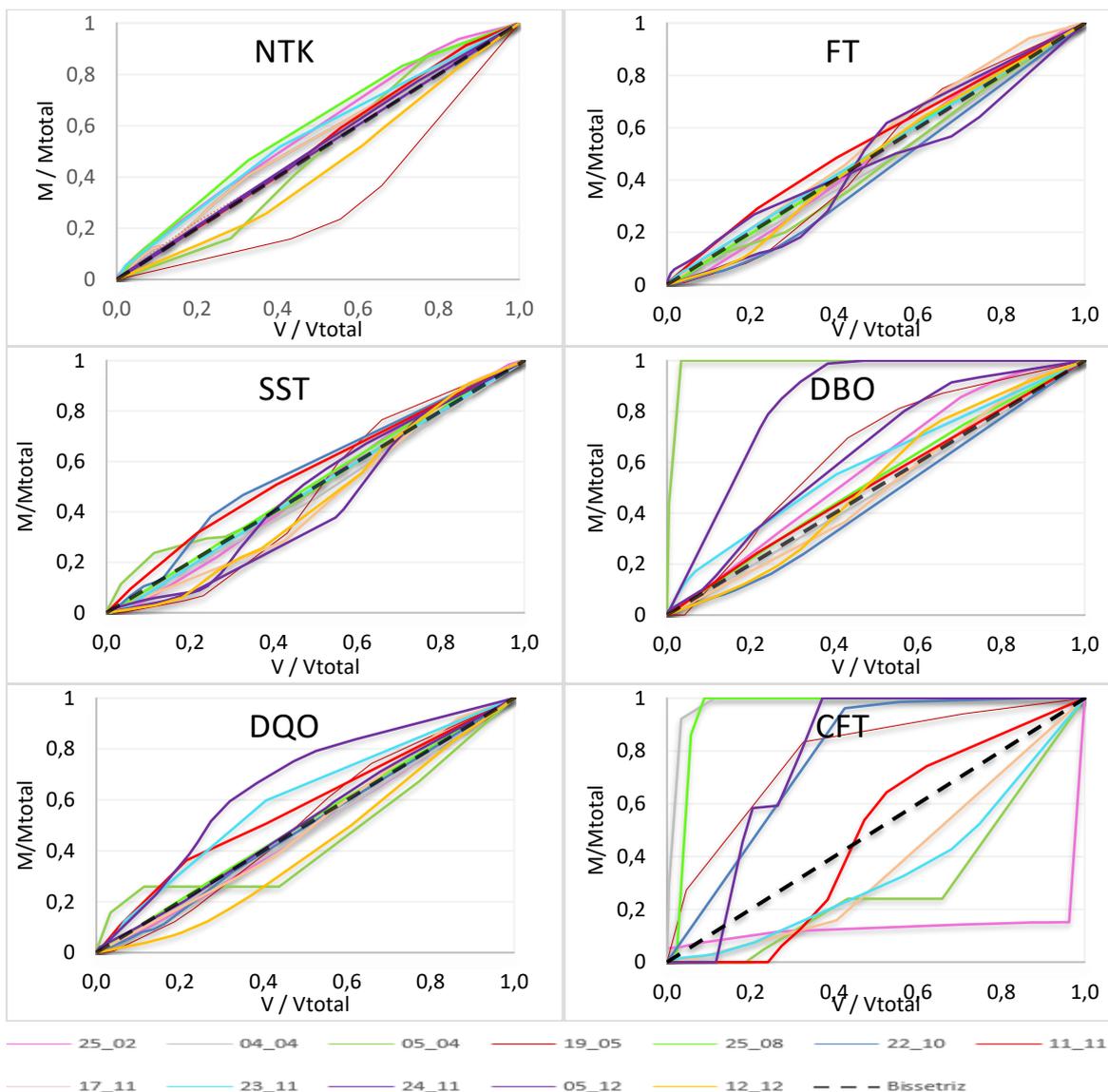
Ao longo do ano de 2015, foram coletadas amostras de qualidade da água para o estudo da poluição difusa produzida na área em 12 eventos. Em relação a qualidade da água, em todos os eventos monitorados, identificou-se que as maiores concentrações de NTK, Pb, Zn, Ni e DBO ocorreram na ascensão do hidrograma, entre 5 a 55 minutos após o início da chuva. Em relação aos parâmetros FT, SST, Cd, Cr e CFT, as amostras com maiores concentrações foram coletadas, normalmente, na recessão do hidrograma, entre 20 a 72 minutos após o fim da chuva. Em trabalho realizado por Lee et al. (2011), foi constatado que os picos de concentração de poluentes ocorreram 20 minutos após o início do escoamento superficial para todos os parâmetros analisados (NTK, FT, SST, DQO, Pb, Cu, Zn, Ni e Cd).

Quando os valores de concentração monitorados são comparados com os valores da Resolução CONAMA 357/2005, observou-se para algumas amostras, para FT, Pb, Cu, Zn, Cr Cd e Ni, valores acima do limite estabelecido por resolução. Isto mostra que, mesmo em uma bacia em processo de urbanização, cujo corpo d'água principal está classificado como classe 2, conforme CONAMA

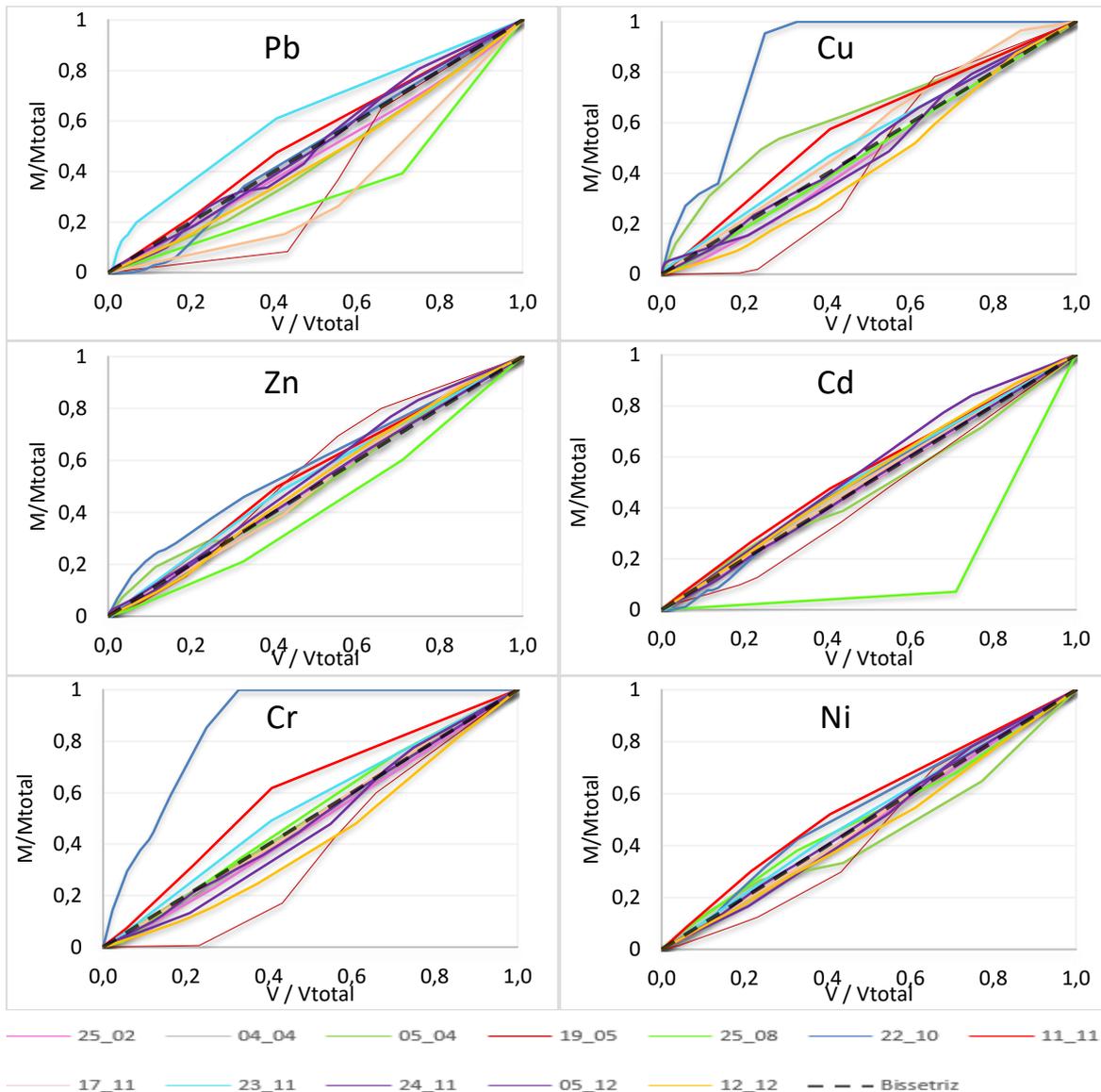
(2005), já podem ser observados indícios de comprometimento da qualidade dos recursos hídricos em decorrência da poluição difusa.

Um fato importante detectado é que o pico do polutograma, em alguns eventos, ocorreu adiantado em relação ao pico do hidrograma do escoamento superficial. Winston et al. (2016) e Lucke & Nichols (2015) demonstraram que a bioretenção tem alta capacidade de atenuar picos de vazão, apresentando, em média, valores acima de 80%-96% de redução. Assim, técnicas compensatórias, como a biorretenção, podem ser empregadas em maior escala na bacia para minimizar o aporte de cargas poluidoras aos corpos d'água.

No entanto, não foi possível identificar um padrão para os parâmetros monitorados e nem uma relação com algumas características do evento (precipitação total, intensidade da chuva, dias antecedentes sem chuva, etc.). Através dos gráficos obtidos com a aplicação do método de Geiger (1987) pode-se identificar a ocorrência ou não do *first flush* (Figuras 2 e 3).



\*M/Mtotal = Massa/Massa total (Fração de Massa) e V/Vtotal = Volume/Volume Total (Fração de Volume)  
 Figura 2. Curvas M(V) de detecção da ocorrência de carga de lavagem para os parâmetros NTK, FT, SST, DBO, DQO e CFT.



\*  $M/M_{total}$  = Massa/Massatotal (Fração de Massa) e  $V/V_{total}$  = Volume/Volume Total (Fração de Volume)  
 Figura 3. Curvas  $M(V)$  de detecção da ocorrência de carga de lavagem para os parâmetros Pb, Cu, Zn, Cd, Cr e Ni.

Em geral, nota-se que no evento do dia 17/11, para todos os parâmetros monitorados, foi identificada a ocorrência de *first flush*, a exceção do NTK. Em contrapartida, para o evento do dia 19/05 não foi identificado o aumento da concentração das cargas poluidoras no início do escoamento superficial, exceto para os parâmetros Zn e DBO. Em termos de qualidade da água, é necessária uma avaliação integrada de diversos parâmetros, visto que a carga de DBO, por exemplo, pode ser influenciada por: 1) turbulência, 2) toxicidade de metais, 3) compostos orgânicos e 4) nitrogênio (Taffarello et al., 2016). Tais fatores alteram o metabolismo bacteriano, responsável pelo consumo de oxigênio. Isto, por sua vez, leva à alterações nos resultados de DBO das amostras analisadas.

Os parâmetros para os quais a carga de lavagem mais frequentemente ocorreu foram a DBO e a NTK. No caso do primeiro, apenas nos eventos dos dias 05/04, 22/10, 11/11 e 12/12 o fenômeno não foi identificado. A análise do parâmetro DBO é importante por ser um dos principais indicativos de poluição hídrica em águas doce brasileiras, tanto que ainda é com base somente na DBO que se determinam os preços unitários básicos (PUB) a serem cobrados por lançamento de efluentes na

cobrança pelo uso dos recursos hídricos (São Paulo, 2005; Perez & Taffarello, 2011; Taffarello, 2010). Já para o segundo, a carga de lavagem não ocorreu nos eventos dos dias 19/05, 17/11, 24/11 e 12/12. Por outro lado, os parâmetros para os quais menos se identificou o fenômeno ora tratado foram o Pb, Cr e Ni.

Comparativamente, Macedo et al. (2017) em um estudo para avaliar a performance da bioretenção aplicada em campo ocorreram na estação seca no ano 2015, também na cidade de São Carlos (SP), observou presença do *First Flush* na área de contribuição para todos os poluentes estudados, com exceção de Zn, Fe e NO<sub>3</sub>, sendo que nas precipitações mais altas o fenômeno se ameniza.

O presente trabalho fornece subsídios para a ampliação do emprego da biorretenção para minimizar a poluição hídrica. Belini et al. (2017) demonstraram a aplicação promissora de técnicas compensatórias como medida de adaptação para a conservação dos serviços hidrológicos, devendo ser incorporado no planejamento como soluções adaptativas para a sustentabilidade dos recursos hídricos.

## CONCLUSÕES

Este trabalho teve como objetivo principal o estudo da ocorrência de *first flush* em uma bacia urbana brasileira. As concentrações dos poluentes monitorados foram obtidos através de 12 campanhas de monitoramento da qualidade da água ao longo do ano 2015.

Para a avaliação do fenômeno estudado foram construídos a curva M(V) e através do método de Geiger foi possível identificar a ocorrência do *first flush* nos eventos monitorados para alguns parâmetros analisados.

Por fim, é importante ressaltar que muitas técnicas compensatórias utilizadas no manejo de águas pluviais focam na retenção das cargas iniciais de poluentes produzidas no escoamento superficial a fim de reduzir o impacto das cargas oriundas das fontes difusas nos corpos d'água. Entretanto, conforme observado na bacia, os picos das cargas difusas nem sempre ocorrem antes do pico do hidrograma, o que indica uma necessidade de controle maior da carga de poluição difusa ao longo da produção do escoamento superficial. Logo, deve-se buscar medidas compensatórias que visem a diminuição do impacto do poluente durante todo o evento chuvoso.

## AGRADECIMENTOS

Esta pesquisa foi desenvolvida no âmbito da agência financiadora CAPES, FAPESP (Processo 2014/05912-0) e FINEP (MCT Projeto/FINEP/Ação Transversal – Saneamento Ambiental e Habitação - 7/2009 e MCT/FINEP/CT-HYDRO 01/2010).

## REFERÊNCIAS

- ANGELINI SOBRINHA, L.; MARTINS, L. G. B.; MINE, M. M.; MARTINS, R. G.; GALBETTI, M. V. ; BRANDÃO, J. L. B. Challenges of hydrological monitoring in small urban watersheds: case study of Mineirinho basin in São Carlos, Brazil. In. *6th International Conference on Flood Management*. São Paulo. ICFM6 – 6th International Conference on Flood Management. 2014.
- APHA, WEF, AWWA. *Standard methods for the examination of water and wastewater*. 2012.
- BELINI, J.P.C., MACEDO, M.B., TAFFARELLO, D., MENDIONDO, E.M. Planejando serviços hidrológicos e técnicas compensatórias de drenagem urbana em São Carlos – SP. VI Workshop Internacional
-

- sobre Planejamento e Desenvolvimento Sustentável de Bacias Hidrográficas. Universidade Federal de Uberlândia. Resumo expandido aprovado para ser apresentado em Julho/2017 em Uberlândia, MG.
- BERTRAND-KRAJEWSKI, J.; CHEBBO, G.; SAGET, A. Distribution of pollutant mass vs volume in stormwater discharges and the first flush phenomenon. *Water Research*. V. 32, n. 8, 1998, p. 2341-2356.
- DELETIC, A. The First Flush Load of Urban Surface Runoff. *Water Research*. V. 32, n. 8, 1998, p. 2462-2470.
- GALBETTI, M. V. *Comparação dos modelos hidrológicos presentes no SSD ABC6 aplicados a uma bacia urbana*. 133f. Dissertação (Mestrado em Ciências) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2015.
- GEIGER, W. F. Flushinf effects in combined sewer systems. In: *4 International Conference on Urban Storm Drainage*, Lausanne, Switzerland, 1987, p.40—46
- GUPTA K.; D SAUL A.J. Specific relationships for the first flush load in combined sewer flows. *Water Research*, v. 30, n.5, 1996, p. 1244-1252.
- LEE, J. H.; BANG, K.W. Characterization of urban stormwater runoff. *Water Resources*, v. 34, n. 6, 2000, p. 1773-1780.
- LEE, J. H.; BANG, K.W.; KETCHUM, L.H.; CHOE J. S.; YU, M. J. First flush analysis of urban storm runoff. *The Science of the Total Environment*. v. 293, 2001, p. 163–175.
- LUCKE, T.; NICHOLS, P. W. B. The pollution removal and stormwater reduction performance of street-side bioretention basins after ten years in operation. *Science of the Total Environment*, v. 536, p. 784 – 792, 2015.
- MITCHELL, G.; SU, Y. *Using first order modeling to describe first flush effects of storm water runoff*. San Antonio, TX: Proceedings of 2003 StormCon. 2003, 7p.
- MARINA BATALINI DE MACEDO, ALTAIR ROSA, CÉSAR DO LAGO, EDUARDO MARIO MENDIONDO, VLADIMIR CARAMORI. *Stormwater runoff control and water quality improvement through bioretention in São Carlos – SP, Brazil*. Submetido à Revista Brasileira de Recursos Hídricos, 2017.
- OLIVEIRA, H. A. R. *Qualidade da drenagem pluvial rural: rio Taquarizinho - MS*. 168 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologias Ambientais) - Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Campo Grande, 2007.
- PEREZ, L.S.N. & TAFFARELLO, D. Cobrança pelo uso da água no setor rural. Palestra no Workshop sobre água, agricultura e meio ambiente no século XXI nas Bacias PCJ, 2010. Disponível em [http://www.comitepcj.sp.gov.br/download/waama\\_Denise-Tafarello.pdf](http://www.comitepcj.sp.gov.br/download/waama_Denise-Tafarello.pdf), acesso em 05.06.2017.
- PORTO, M. F. A. Aspectos qualitativos do escoamento superficial em áreas urbanas. In: TUCCI, C. E. M. *Drenagem Urbana*. Porto Alegre: Editora da Universidade/UFRGS, 1995. 428p.
- SÃO PAULO, Estado, 2005. Lei nº 12.183/05, Institui a cobrança pelo uso dos recursos hídricos aos usuários urbanos e industriais.
- SILVA, A. H. C. L. *Controle da poluição difusa em uma via de tráfego intensa por meio de trincheira de infiltração e vala de retenção*. 129f. Dissertação (Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte/MG, 2009.
- TAFFARELLO, D., MOHOR, G.S., CALIJURI, M.C., AND MENDIONDO, E.M. (2016). Field investigations of the 2013-14 drought through quali-quantitative freshwater monitoring at the headwaters of the Cantareira System, Brazil. *Water International*, 41:5, 776-800, DOI: 10.1080/02508060.2016.1188352.
- TAFFARELLO, D. Passos para a implantação da cobrança pelo uso da água no estado de São Paulo. Palestra proferida em evento da Semana do Meio Ambiente, Comitês de Bacia Hidrográfica do Rio Mogi Guaçu, USP-Pirassununga, 2010. Disponível em: [http://www.sigrh.sp.gov.br/public/uploads/documents/7104/doc06\\_apresdenise.pdf](http://www.sigrh.sp.gov.br/public/uploads/documents/7104/doc06_apresdenise.pdf), acesso em 05.06.2017.
- TOMAZ, P. *Poluição Difusa*. São Paulo: Navegar. 2006.
- WEI, Z.; SIMIN, L.; FENGBING, T. Characterization of urban runoff pollution between dissolved and particulate phases. *The Scientific World Journal*, 2013, 6p.
- WINSTON, R. J.; DORSEY, J. D.; HUNT, W. F. Quantifying volume reduction and peak flow mitigation for three bioretention cells in clay soils in northeast Ohio. *Science of the Total Environment*, v. 553, p. 83 – 95, 2016.
-