



**HAL**  
open science

## Avaliação da distribuição da massa poluente durante eventos chuvosos em um córrego urbano no município de Belo Horizonte

Paulo de Castro Vieira, Marcos von Sperling, Martin Seidl, Nilo Nascimento, Emmanuelle Cintra da Cunha

### ► To cite this version:

Paulo de Castro Vieira, Marcos von Sperling, Martin Seidl, Nilo Nascimento, Emmanuelle Cintra da Cunha. Avaliação da distribuição da massa poluente durante eventos chuvosos em um córrego urbano no município de Belo Horizonte. 25º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental 20 a 25 de setembro de 2009 - Recife/PE, Sep 2009, Recife, Brazil. hal-03568816

**HAL Id: hal-03568816**

**<https://hal.science/hal-03568816>**

Submitted on 12 Feb 2022

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

## IV-149 – AVALIAÇÃO DA DISTRIBUIÇÃO DA MASSA POLUENTE DURANTE EVENTOS CHUVOSOS EM UM CÓRREGO URBANO NO MUNICÍPIO DE BELO HORIZONTE

**Paulo de Castro Vieira** <sup>(1)</sup>

Engenheiro Sanitarista e Ambiental, Doutorando em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos / SMARH – UFMG.

**Marcos von Sperling**

Engenheiro Civil, Doutor em Engenharia Ambiental pela Imperial College, Universidade de Londres. Professor Titular do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da UFMG.

**Martin Seidl**

Engenheiro Ambiental, Doutor em Ciências Ambientais pela Escola Nacional de Engenharia Civil da Universidade de Paris (ENPC). Pesquisador visitante do CNPq, nível 1 UFMG.

**Nilo Nascimento**

Engenheiro Civil, Doutor em Hidrologia pela Escola Nacional de Engenharia Civil da Universidade de Paris (ENPC). Professor Associado do Departamento de Engenharia Hidráulica e Recursos Hídricos da UFMG.

**Emmanoelle Cintra da Cunha**

Técnica em Química, Graduando em Engenharia Metalúrgica / UFOP.

**Endereço**<sup>(1)</sup>: Rua Leôncio de Paula Almeida, 14 - Centro – Ouro Branco - MG - CEP: 36420 000- Brasil - Tel: (31) 9836-3658 - e-mail: [ambientalvieira@yahoo.com.br](mailto:ambientalvieira@yahoo.com.br)

### RESUMO

No Brasil, ainda são poucas as informações em bacias hidrográficas urbanas e rurais sobre as condições de qualidade da água em corpos hídricos durante eventos chuvosos, baseadas em amostragens intensivas durante os episódios, e contemplando a estimativa da carga de lavagem. A carga de lavagem, conceituada como o fenômeno da remoção inicial do material acumulado no período entre chuvas na superfície da bacia ou no interior das canalizações de drenagem pluvial, pelas águas de chuva, pode causar picos de concentração para determinados poluentes, antes do pico da vazão. Neste sentido, esta pesquisa tem como proposta gerar informações quanto ao estudo das condições de qualidade e quantidade das águas de uma microbacia urbanizada e altamente impactada (córrego Brejo do Quaresma, em Belo Horizonte), durante eventos chuvosos através da avaliação da distribuição de suas cargas poluidoras, por meio de amostragens da qualidade da água e a simulação de vazão. A amostragem da qualidade da água ocorreu com uma frequência de coleta de 10 minutos durante os eventos chuvosos, com duração entre 2 e 4 horas. As vazões produzidas durante os eventos chuvosos foram simuladas pelo modelo *SWMM* versão 5.0 (bloco *Runoff*). O método adotado para a avaliação da distribuição de massa versus o volume escoado nos eventos chuvosos monitorados foi realizada pela curva de Massa  $M(V)$  que é baseada nas curvas do hidrograma  $Q(t)$  e do polutograma  $C(t)$ . Os resultados das curvas  $M(v)$ , distribuição de massa ao longo dos eventos chuvosos, sugere que há ocorrência de carga de lavagem para os parâmetros de qualidade  $DBO_5$ ,  $DQO$ ,  $SS$ ,  $Cu$ -total,  $Ni$ -total e  $Zn$ -total e diluições dos parâmetros  $NTK$ ,  $N-NH_4^+$ ,  $P$ -total nos eventos chuvosos. Conforme a avaliação dos eventos chuvosos monitorados pode-se sugerir que a intensidade e duração, e desta forma a precipitação total, proporcionam um impacto marcante na qualidade e quantidade de poluentes presentes no corpo receptor promovido pelo escoamento superficial das águas de chuva.

**PALAVRAS-CHAVE:** Microbacia urbanizada, Poluição difusa, Eventos chuvosos, Cargas poluidoras e Cargas de lavagem.

### INTRODUÇÃO

A caracterização e o controle das fontes pontuais de poluição para os corpos hídricos no meio urbano vêm sendo amplamente estudados e aperfeiçoados ao longo da história moderna da humanidade. Ao contrário, as fontes difusas de poluição promovidas pelo uso e ocupação do solo na bacia, diretamente relacionadas ao ciclo hidrológico local, apenas vêm sendo investigadas recentemente de forma mais aprofundada e principalmente por países desenvolvidos na busca por alternativas sustentáveis de controle da poluição (CAMPBELL *et al.*, 2004; LEE *et al.*, 2007; VON SPERLING, 2005).

O processo de urbanização proporciona alterações no regime hídrico devido à impermeabilização do solo na bacia, causando o aumento do volume e da velocidade do escoamento superficial, gerando maior capacidade de arraste e conseqüentemente maior carga poluidora. Esta carga gerada na bacia hidrográfica passa a ser composta por fontes pontuais e difusas, aumentando o seu potencial poluidor aos ambientes aquáticos (BAPTISTA *et al.*, 2005; TUCCI *et al.*, 1995; URBONAS e STAHRÉ, 1993).

Pesquisas realizadas por Aryal (2006), Bertrand-Krajewski *et al.* (1998), Bonumá e Gastaldini (2007), Brites e Gastaldini (2005), Davies-Colley *et al.* (2007), Deletic (1998), Choe *et al.* (2002), Gupta e Saul (1996), Komai (2002), Lee *et al.* (2002) e Pitt *et al.* (2004) apontaram que as concentrações de alguns poluentes carreados pelo escoamento superficial em áreas urbanas, geralmente em grandes áreas impermeabilizadas, tendem a ser muito mais altas no início do que no meio ou no final da precipitação. As concentrações de poluentes no escoamento gerado variam ao longo do evento hidrológico, assim como variam as vazões. É de se esperar que tais valores formem um "polutograma" com a mesma forma genérica do hidrograma correspondente.

A distribuição temporal das concentrações de poluentes, isto é, o polutograma, é difícil de ser mensurado ou previsto. Na maior parte dos estudos de poluição por cargas *difusas*, no entanto, o objetivo principal é a avaliação do impacto do lançamento da drenagem urbana sobre o corpo receptor e a resposta do ecossistema ao problema geralmente se dá de forma razoavelmente lenta.

Um dos fenômenos discutidos quando se trata de prever polutogramas é a ocorrência da chamada carga de lavagem, em inglês, o *first flush*. A explicação mais comum é a de que se trata da remoção inicial do material acumulado no período entre chuvas, na superfície da bacia ou no interior das canalizações, significando que o pico do polutograma ocorreria em muitos casos, antes do pico das vazões.

Segundo os autores Burton e Pitt (2002), Campbell *et al.* (2004) e Porto (1995), a ocorrência ou não do fenômeno da carga de lavagem, para determinados poluentes, pode estar relacionada, principalmente, com características do tipo de solo e de seu uso e ocupação nas bacias, e também com perdas iniciais no escoamento superficial. Para este último, dependendo da rugosidade e do estado de conservação do pavimento, as perdas iniciais são maiores e possibilitam a retenção de uma parte dos poluentes junto com a parcela de água assim acumulada. O volume total escoado e a altura da lâmina formada sobre as superfícies urbanas poderão também contribuir para que as perdas sejam mais ou menos representativas.

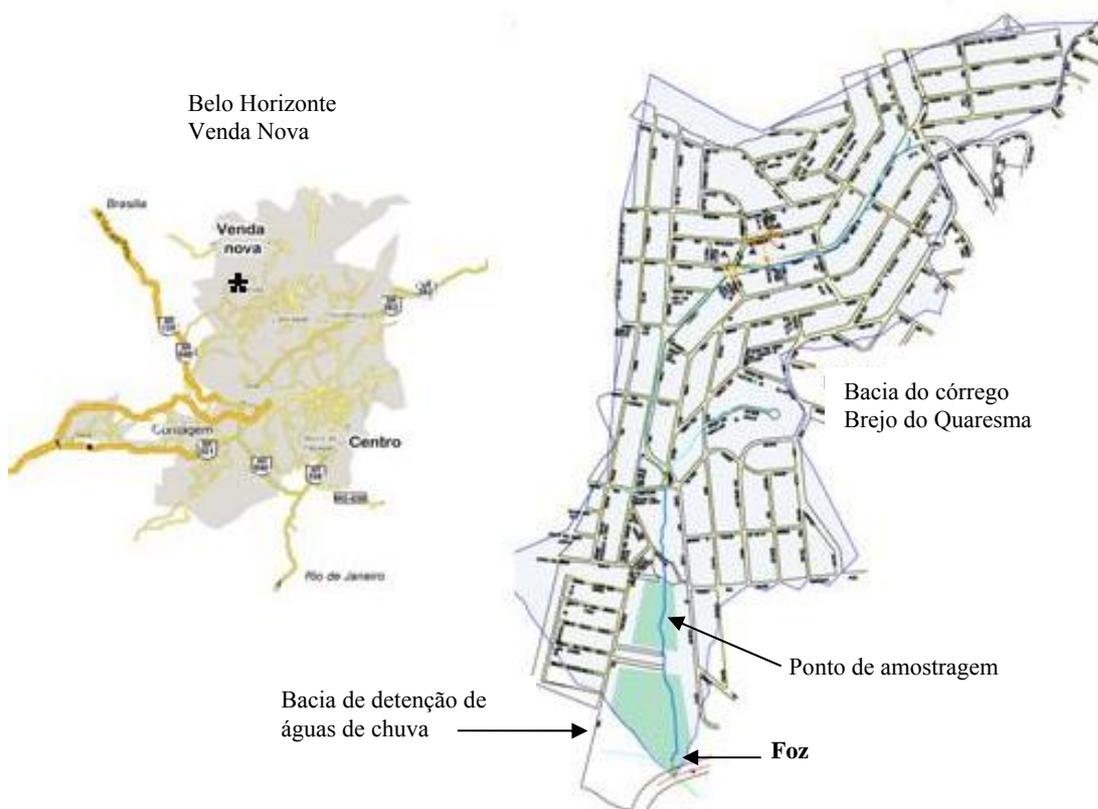
Neste contexto, se inserem os programas de pesquisa e desenvolvimento em recursos hídricos em áreas urbanas, apoiadores desta pesquisa: SWITCH (Sustainable Water Management Improves Tomorrow's Cities Health), promovido pela UNESCO, e Manejo de Águas Pluviais Urbanas, promovido pelo PROSAB 5 – Tema 4 (Programa de Pesquisa em Saneamento Básico).

Desse modo, esta pesquisa tem como proposta gerar informações quanto ao estudo das condições de qualidade e quantidade das águas de uma microbacia urbanizada e altamente impactada (córrego Brejo do Quaresma, em Belo Horizonte), durante eventos chuvosos através da avaliação da distribuição de suas cargas poluidoras, por meio de amostragens da qualidade da água e a simulação de vazão.

## **MATERIAIS E MÉTODOS**

### **ÁREA DE ESTUDOS**

A microbacia do córrego Brejo do Quaresma, tributária da bacia elementar do córrego Vilarinho, está inserida na sub-bacia do rio das Velhas, integrante da bacia do rio São Francisco (figura 1). Constitui uma área predominantemente residencial, com uma população estimada de 15.000 habitantes (IBGE, 2000) em uma área de drenagem aproximada de 130 ha. Apresenta características de um processo de urbanização impactante, como índice de impermeabilização próximo de 80%, trechos em sua extensão em leito canalizado aberto e fechado, erosões no leito natural, margens ocupadas por construções irregulares, acúmulo de grande quantidade de resíduos sólidos e lançamento de esgoto doméstico através de ligações irregulares na rede de drenagem das águas pluviais e diretamente no córrego (Plano Municipal de Saneamento de Belo Horizonte 2004/2007).



**FIGURA 1: Localização e limites da microbacia Brejo do Quaresma no município de Belo Horizonte e do ponto de amostragem na bacia.**

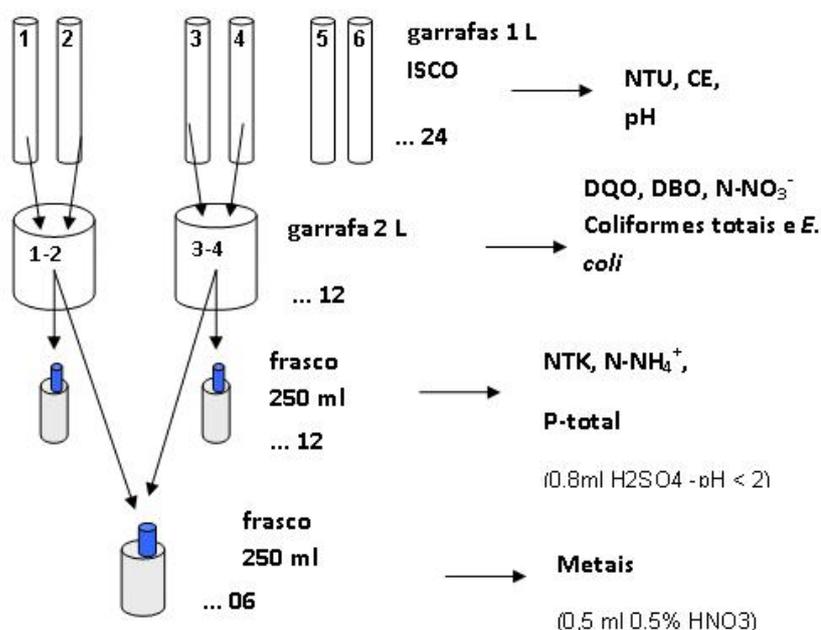
### MONITORAMENTO

O ponto de amostragem adotado foi situado próximo a foz do canal principal da microbacia e da bacia de retenção de águas de chuva.

As amostragens da água foram realizadas entre fevereiro e abril de 2008, contando com quatro eventos chuvosos de duração entre 2 e 4 horas. As coletas foram realizadas por meio de amostrador seqüencial automático da marca ISCO 3700, equipado com compartimento térmico (4°C) para preservação das amostras até a realização das análises, com amostragens programadas a cada 10 minutos (alíquota simples de 1 litro) no início, durante e após as chuvas.

Para as amostras de água coletadas foram analisadas as variáveis físicas e físico-químicas (DBO<sub>5</sub>, DQO, SS, NTK, N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, P-total, *E.coli*, Cu, Ni e Zn), sendo que os procedimentos para as análises foram seguidos conforme as recomendações da AWWA (2005) nos Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater.

As amostras coletadas durante os eventos chuvosos variaram entre 12 (2 horas de amostragem) a 24 (4 horas de amostragem) garrafas de 1 litro. Estas amostras coletadas foram compostas em 12 amostras para matéria orgânica, nutrientes e organismos indicadores, e 6 amostras para metais pesados (figura 2). Foram observados os períodos de início, meio e término da chuva para que não fosse composta uma amostra com períodos diferentes na amostragem, através da medição da condutividade e turbidez em cada amostra coletada.



**FIGURA 2: Composição das amostras coletadas a cada duas horas em 24 horas de amostragem.**

### SIMULAÇÃO DA VAZÃO

A precipitação durante os eventos chuvosos monitorados – campanha maio/2007 a maio/2008 – foi observada por meio dos dados de intensidade da precipitação (mm/h) e precipitação acumulada (mm/mês) registrados pela estação climatológica automática da Pampulha (Belo Horizonte), administrada pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), e seus dados climatológicos após coletados e tratados são fornecidos no seguinte website: <http://www.inmet.gov.br/sonabra/maps/automaticas.php>.

Destaca-se que a microbacia do córrego Brejo do Quaresma, localizada aproximadamente a 8,5 km da estação climatológica automática da Pampulha (INMET), encontra-se entre as mesmas isoietas de precipitação anual, 1400 mm e 1500 mm, traçadas pelo Estudo de Chuvas Intensas na Região Metropolitana de Belo Horizonte – RMBH (GUIMARÃES, 1997).

As medições das vazões aferidas nos eventos chuvosos monitorados foi realizada por meio do modelo *SWMM* versão 5.0 (ROSSMAN *et al.*, 2007), bloco *Runoff*, para a simulação hidrológica de chuva em vazão, através do escoamento gerado na bacia urbana e sua propagação na superfície ou em canais de forma simplificada, acrescida pela vazão de base.

A simulação dos eventos pelo *SWMM* foi realizada pelo método *Kinematic Wave*. A microbacia estudada foi dividida em sete sub-bacias para uma melhor homogeneização de áreas com semelhantes uso e ocupação do solo, e para este fim, foi adotado o critério de análise da área por imagens de satélite do *Google Earth™*.

Dentre os parâmetros físicos (geométricos), hidráulicos e hidrológicos (Tabela 1) adotados e considerados na modelagem da vazão durante os eventos chuvosos, denominados de dados de entrada, destacam-se as metodologias para definição do coeficiente de impermeabilização (CI) e do coeficiente de escoamento superficial (CN) da microbacia do córrego Brejo do Quaresma.

A definição do coeficiente de impermeabilização (CI) da área de estudo foi calculado através do método *Méthode Estatistique*, publicado pelo ministério de urbanismo e transporte do governo francês em 1986. Para tal, utilizou-se uma densidade de pontos de 0,5 pontos/cm<sup>2</sup>, para uma probabilidade de acerto de 99%.

O coeficiente de escoamento superficial (CN) foi definido por meio do método *Soil Conservation Service - SCS* (1957). Neste foi adotado o critério binário na distinção de permeabilidade da área, ou seja, área

permeável ou área não-permeável. Para o CN da equação do método, utilizou-se o valor de 77, baseado no valor de CN sugerido em bacias urbanas segundo *Soil Conservation Service* (1957).

**TABELA 1: Parâmetros adotados e considerados para a simulação dos eventos na microbacia do córrego Brejo do Quaresma.**

Sub-bacia	Parâmetros				
	Área (ha)	CN (%)	CI (%)	Largura média (m)	Declividade (m/m)
B1/1	12,63	89	59	313	0,087
B1/2	15,1	90	61	236	0,043
B2/1	4,64	91	68	201	0,098
B2/2	8,35	89	58	180	0,095
B3/1	42,95	88	51	598	0,019
B3/2	33,23	90	63	718	0,011
B4	8,58	94	80	156	0,080

CN: coeficiente de escoamento superficial; CI = coeficiente de impermeabilização

### CARGA DE LAVAGEM

A avaliação da distribuição de massa versus o volume escoado nos eventos chuvosos monitorados foi realizada pela curva de Massa  $M(V)$ , que é baseada nas curvas do hidrograma  $Q(t)$  e do polutograma  $C(t)$ , conforme metodologia proposta por BERTRAND-KRAJEWSKI *et al.* (1998).

A curva  $M(V)$ , adimensional, consiste em uma análise gráfica do traçado de curvas que fornecem a variação da massa poluente acumulada dividida pela massa total de poluente em relação ao volume acumulado pelo volume real, a partir de  $n$  medições da vazão  $Q_i$  e concentração  $C_i$  a cada intervalo  $\Delta t_i$ , assumindo-se que  $Q$  e  $C$  variem linearmente entre duas medições (BRITES e GASTALDINI, 2005; DOTTO, 2006; BERTRAND-KRAJEWSKI *et al.*, 1998; FERREIRA e NETO, 2007; PRODANOF, 2005).

A equação (1) representa o traçado de uma curva  $M(V)$  em um determinado evento.

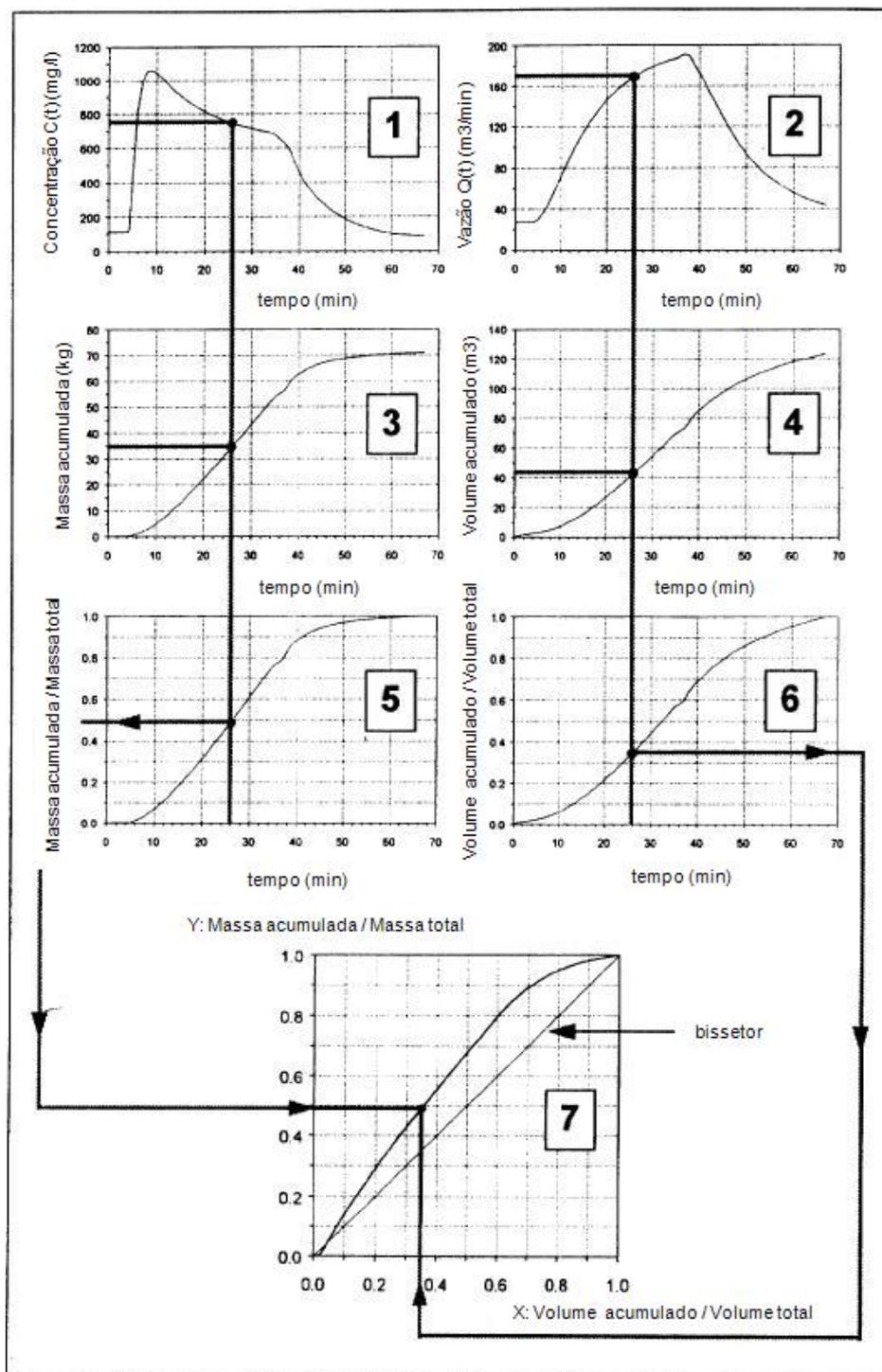
$$\frac{\sum_{i=1}^j C_i Q_i \Delta t_i}{\sum_{i=1}^j Q_i \Delta t_i} = f \left( \frac{\sum_{i=1}^j Q_i \Delta t_i}{\sum_{i=1}^j Q_i \Delta t_i} \right) = f \left( \frac{\sum_{i=1}^j V_i}{\sum_{i=1}^j V_i} \right) \quad (1)$$

Onde:  $f$  é a função da equação da curva  $M(V)$ ;  $N$  é o número total de medições;  $j$  é o índice de 1 a  $N$ ;  $V_i$  é o volume descarregado durante o intervalo de tempo  $\Delta t_i$ ; e  $Q_i$  (m<sup>3</sup>/s) e  $C_i$  (mg/l) respectivamente a vazão e concentração a cada intervalo  $\Delta t_i$ .

As etapas gráficas utilizadas para a determinação das curvas  $M(V)$  foram realizadas através dos dados de concentração e vazão, ao longo do tempo. Elaborou-se o hidrograma (1) e polutograma (2) de cada evento. Em seguida, foram plotados os gráficos da variação da carga do poluente (3) e por sua vez o volume total acumulado (4) ao longo do tempo. Determinados a massa e o volume total acumulados, elaboraram-se os gráficos 5 e 6 expressos pela razão entre massa e volume acumulados pelo total da massa e do volume, respectivamente. Contudo, a curva de Massa  $M(V)$  foi plotada (7) a partir de um determinado tempo  $t_i$  no gráfico massa acumulada/massa total, determinando a coordenada  $y$ , e do gráfico volume acumulado/volume total foi determinada a variável  $x$ . As coordenadas  $X$  e  $Y$  no gráfico  $M(V)$  representam, respectivamente, as relações entre massa acumulada e massa total, e volume acumulado e volume total.

Para a análise gráfica da curva  $M(V)$ , representada pelo gráfico (7) da figura 3, foi observada a sua posição em relação ao bissetor para a indicação da distribuição dos poluentes durante todo o evento monitorado (BRITES e GASTALDINI, 2005; BERTRAND-KRAJEWSKI *et al.*, 1998). Se a curva se confunde com o

bissetor, assume-se que os poluentes são distribuídos uniformemente durante o evento monitorado. Quando a curva permanece acima do bissetor, curva  $> 45^\circ$ , há a ocorrência da carga de lavagem, e quando a curva permanece abaixo do bissetor, curva  $< 45^\circ$ , não há a ocorrência de carga de lavagem, ou seja, o carreamento no início do evento chuvoso de material acumulado na superfície da bacia entre as precipitações.



**FIGURA 3:** Etapas gráficas para o traçado da curva M(V), segundo BERTRAND-KRAJEWSKI *et al.* (1998), adotadas para os poluentes monitorados neste estudo.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

As campanhas realizadas foram analisadas quanto às informações hidrológicas, para uma melhor compreensão das variações dos resultados dos parâmetros de qualidade apresentados. Os principais parâmetros

pluviométricos analisados (Tabela 2) foram os períodos sem precipitações antecedentes às campanhas nos eventos chuvosos, os com precipitações anteriores e também as intensidades e durações das precipitações durante as campanhas nos eventos chuvosos monitorados.

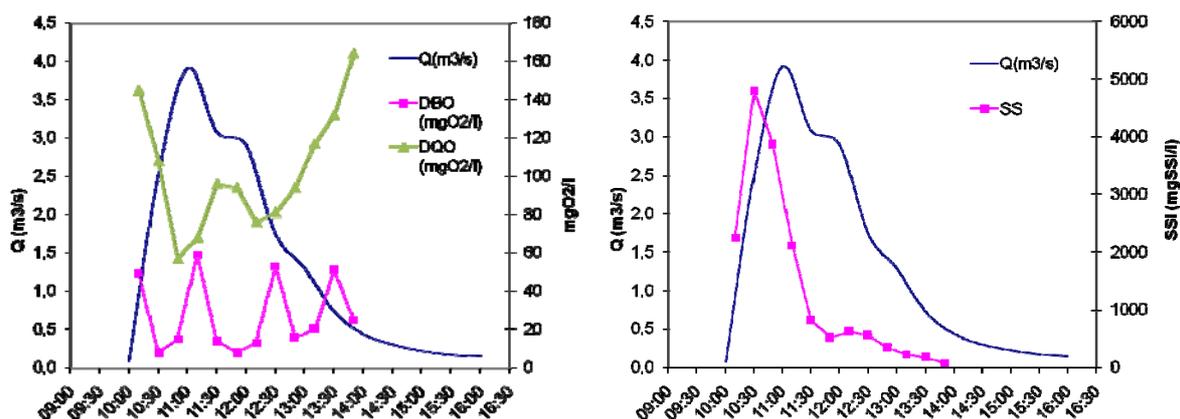
**TABELA 2: Parâmetros pluviométricos estudados para cada campanha de evento chuvoso.**

Datas	Horário		Evento monitorado		Precipitações anteriores	
	Início	Final	Intensidade (mm/h)	Duração (h)	Precipitação (mm)	Intervalo (h)
24/02	10:00	13:00	9,87	3	0,6	9
27/02	15:00	17:00	10,4	2	0,6	41
12/03	18:00	21:00	7,13	3	2	17
06/04	14:00	17:00	4,33	3	19	2

A partir da simulação da conversão de chuva em vazão, e assim, possibilitada a relação entre vazão/concentrações de poluentes, foi observado um comportamento inversamente proporcional entre as concentrações de determinados parâmetros de qualidade e as vazões ao longo dos eventos de chuva. Tal comportamento foi apresentado pelos nutrientes (NTK,  $N-NH_4^+$  e P-total) na maioria dos eventos, durante os quais as concentrações destes constituintes diminuiu com o acréscimo da vazão. O fato possivelmente está associado ao fenômeno de diluição promovido pelo acréscimo das águas de chuva, que também pode ser observado através da diminuição da condutividade elétrica no início dos eventos.

Os parâmetros indicadores de matéria orgânica (DQO e  $DBO_5$ ) em determinados eventos apresentaram comportamento de oscilações ao longo do evento e de picos (concentrações máximas) anteriores aos picos de vazão. Para os parâmetros SS, SSV, turbidez e metais pesados (Cu, Ni e Zn), foram observadas concentrações máximas anteriores aos picos e com diminuições sucessivamente ao longo de todos os eventos monitorados. As bactérias indicadoras de contaminação fecal (Coliformes totais e *E.coli*) não apresentaram um comportamento geral de acréscimo ou de diluição durante os eventos chuvosos, conforme mencionado anteriormente, possivelmente devido ao seu padrão de distribuição na água poluída do córrego, na qual estão presentes em concentrações elevadíssimas.

A figura 4 representa o comportamento de um dos eventos chuvosos monitorados, considerado como típico em termos das vazões e dos parâmetros de qualidade.



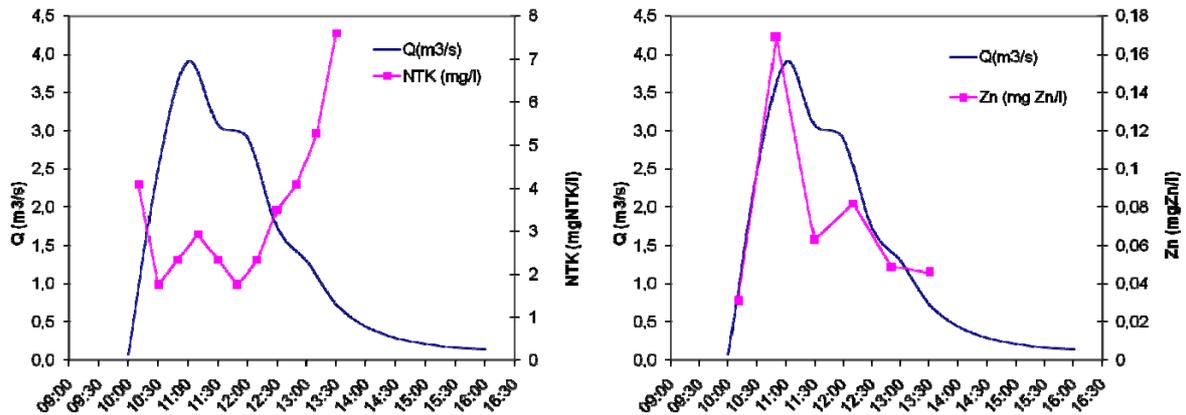


FIGURA 4: Hidrograma (Q) e polutogramas de DQO, DBO<sub>5</sub>, SS, NTK e Zn no evento de 24/02/08.

Os resultados das curvas M(v), distribuição de massa ao longo dos eventos chuvosos, sugerem que há ocorrência de carga de lavagem para os parâmetros de qualidade DBO<sub>5</sub>, DQO, SS, Cu-total, Ni-total e Zn-total e as diluições dos parâmetros NTK, N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, P-total nos eventos chuvosos, confirmando a análise anterior das concentrações ao longo do tempo, na maioria dos eventos chuvosos monitorados. A figura 5 apresenta as curvas M(v) para os parâmetros SS e P-total durante um dos eventos chuvosos monitorados, mostrando o seu comportamento distinto.

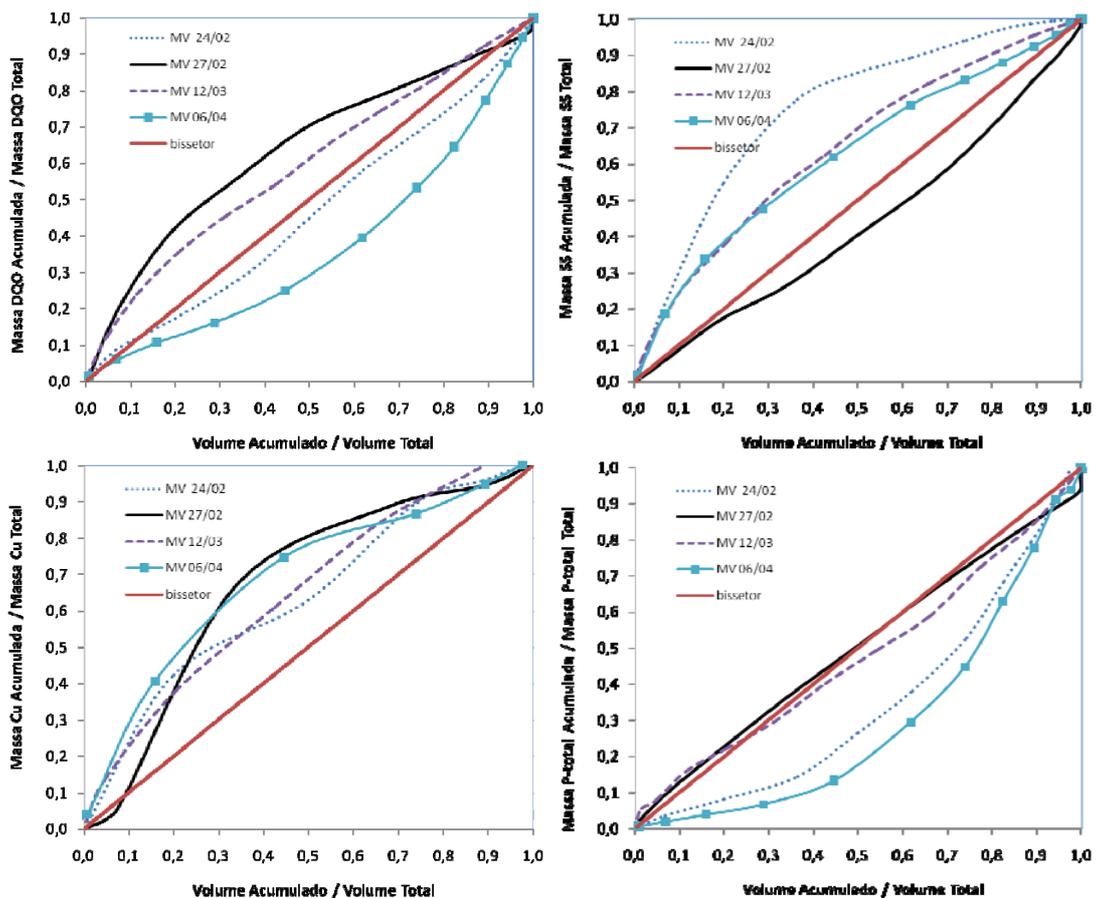


FIGURA 5: Curvas M(V) dos parâmetros DQO, SS, Cu e P-total nos eventos chuvosos monitorados.

O fenômeno da carga de lavagem para os SS apresentado na maioria dos eventos chuvosos monitorados está possivelmente associado ao estado de exposição e erodibilidade do solo na microbacia, principalmente na calha do córrego onde não se encontra canalizado, e também às condições de acúmulo de resíduos nas margens do córrego. No evento monitorado do dia 27/02 – o evento de maior intensidade e que maior tempo

ficou sem precipitação dentre os eventos monitorados – era de se esperar também a ocorrência da carga de lavagem, que não ocorreu, supondo-se que tal possa estar associado ao horário do ocorrido.

No caso dos nutrientes, como o P-total apresentado na figura anterior, apontam para uma condição da diluição e não ocorrendo a carga de lavagem como são demonstrados pelas curvas abaixo do bissetor, ou seja, a superfície da microbacia não acumula mais nutrientes do que aqueles que já são despejados no córrego devido à ausência de rede interceptora de esgotos.

## CONCLUSÕES

Na avaliação do comportamento dos parâmetros monitorados ao longo dos eventos, observa-se um padrão geral de relação entre as maiores e menores concentrações em função das maiores e menores quantidades de precipitações, intensidades, duração, períodos sem chuva e precipitação anterior. De grande importância são também o tipo de ocupação da bacia, o tamanho da área de drenagem, a área impermeabilizada e os horários dos eventos coletados. Os horários das coletas acredita-se que possam ter uma grande influência devido ao padrão diurno estabelecido pelos esgotos domésticos na microbacia, que determinam os horários de maior e menor concentração.

Desta forma, foram observadas alterações que podem estar associadas diretamente às condições do tempo apresentadas para os eventos monitorados, como por exemplo, os eventos de maior precipitação e de maior intensidade foram os que proporcionaram, respectivamente, as maiores concentrações em pico, percentil 90% e também em medianas para os SS e metais pesados. Estes eventos também foram os que proporcionaram as menores concentrações de matéria orgânica, NTK e  $N-NH_4^+$ , caracterizando o fenômeno da diluição.

Conforme a avaliação dos eventos monitorados pode-se sugerir que a intensidade e duração, e desta forma a precipitação total, proporcionam um impacto marcante na qualidade e quantidade de poluentes presentes no corpo receptor (córrego Brejo do Quaresma) promovido pelo escoamento superficial das águas de chuva.

O trabalho em questão tem ainda como proposta (verificação) a validação dos dados de vazão simulados pelo SWWM, através do monitoramento real da vazão durante os eventos chuvosos com mesma duração e intensidade dos avaliados. A vazão deverá ser monitorada através da relação cota x área - vertedor retangular de parede delgada – por meio de um sensor piezométrico instalado próximo ao vertedor e nivelado com a cota da soleira do vertedor.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ARYAL, R.K.; FURUMAI, H.; NAKAJIMA, F.; BOLLER, M Characteristics of particle – associated PAHs in the first flush of a highway runoff. *Wat.Sci.Tech.* vol. 53 (2), p.244 – 251. 2006.
2. BAPTISTA, M.; NASCIMENTO, N.; BARRAUD, S. Técnicas Compensatórias em Drenagem Urbana. Porto Alegre: ABRH, 266 p. 2005.
3. BELO HORIZONTE. Superintendência de Desenvolvimento da Capital – SUDECAP. Grupo de Gestão em Saneamento. Plano Municipal de Saneamento de Belo Horizonte 2004/2007: Saneamento para Todos. Belo Horizonte: 2004.
4. BERTRAND-KRAJEWSKI, J-L.; CHEBBO, G., SAGET, A. Distribution of Pollutant Mass vs Volume in Stormwater Discharge and The First Flush Phenomenon. *Wat. Res.*, v. 32, No. 8, pp. 2341-2356. 1998.
5. BONUMÁ, N.B.; GASTALDINI, M.C.C. Assessment of diffuse pollution load resulting from the implementation of mining operations in the Lageado Grande Watershed, RS, Brazil. In: 11th international conference so diffuse pollution / 1st joint meeting of the IWA diffuse pollution and urban drainage specialist groups, Belo Horizonte: 26-31 August, 2007.
6. BRITES, A.P.Z.; GASTALDINI, M.C.C. Avaliação da carga difusa da drenagem pluvial urbana na bacia hidrográfica Cancela. In: 23º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental (ABES). IV-027. Cuiabá, 2005.
7. BURTON, G.J.A.; PITT, R. Stormwater effects handbook : a toolbox for watershed managers, scientists, and engineers. Washington, DC: Lewis Publishers, 929 p. 2002.
8. CAMPBELL, N. *et al.* Diffuse Pollution: An introduction to the problems and solutions. London: IWA Publishing, 2004.

9. CHOE, J.S.; BANG, K.W.; LEE, J.H. Characterization of surface runoff in urban areas. *Wat.Sci.Tech.* vol. 45, p.249-254, 2002.
10. DAVIES-COLLEY, R.; LYDIARD, E.; NAGELS, J. Stormflow dominated loads of faecal pollution from an intensively dairy-farmed catchment. IN: 11th international conference so diffuse pollution / 1st joint meeting of the IWA diffuse pollution and urban drainage specialist groups, Belo Horizonte: 26-31 August, 2007.
11. DELETIC, A. The First Flush Load of Urban Surface Runoff. *Water Research.* 32 (8), 2462-2470. 1998.
12. DOTTO, C.B.S Acumulação e Balanço de Sedimentos em Superfícies Asfálticas em Área Urbana de Santa Maria – RS. Dissertação de Mestrado. Santa Maria, RS: Universidade Federal de Santa Maria / Centro de Tecnologia Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, 2006. 126 p.
13. FERREIRA, L.C.A.; NETO, C.O.A. Caracterização qualitativa progressiva das águas do escoamento superficial urbano na bacia de drenagem na cidade de Natal/RN. IN: 24º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental (ABES). IX-003. Belo Horizonte – MG, 2007.
14. GUPTA, K.; SAUL, A.J. Specific Relationships for the First Flush Load in Combined Sewer Flows. *Water Research* 30 (5), 1244-1252. 1996.
15. GUIMARÃES, M.M.P. Estudo de Chuvas Intensas na Região Metropolitana de Belo Horizonte – RMBH. Dissertação de Mestrado, Escola de Engenharia da UFMG, 1997. 216 p.
16. KOMAI, Y., UMEMOTO, S. and INOUE, T. Application of an automatic sampling and measurement system to a mountain stream investigation during rain events. *Wat.Sci.Tech.*, vol. 45, pp.213-218, 2002.
17. LEE, H.; SWAMIKANNU, X.; RADULESCU, D.; KIM, S.J., STENSTROM, M. Design of stormwater monitoring programs. *Water Research*, vol. 41, pp.4186-4196, 2007.
18. LEE, J. H.; BANG, K.W.; KETCHUM, L.H.; CHOE, J.S.; YU, M.J. First flush analysis of urban storm runoff. *Science of the total environment*, 293(1-3), 163-175. 2002.
19. MINISTÈRE DE L'URBANISME, DU LOGEMENT ET DES TRANSPORTS. Méthode Estatistique. Lyon: Délégation aux techniques de l'Aménagement – Service Technique de l'Urbanisme, 1986.
20. PITT, R.; LALOR, R.; FIELD, D.D.. A User's Guide for the Assessment of Non-Stormwater Discharges into Separate Storm Drainage Systems. Jointly published by the Center of Environmental Research Information, U.S. EPA, and the Urban Waste Management & Research Center (UWM&RC). EPA/600/R-92/238. PB93-131472. Cincinnati, OH. January 1993.
21. PORTO, M. F. A. Aspectos qualitativos do escoamento superficial em áreas urbanas. in Tucci, C. E. M., Porto, R. L. e Barros, M. T. (Ed.). *Drenagem Urbana*. Porto Alegre: ABRH - Editora da Universidade UFRGS, 1995, p. 387-428.
22. PRODANOFF, J.H.A. Avaliação da Poluição Difusa Gerada por Enxurradas em Meio Urbano. 276 p. Tese de Doutorado (Ciências em Engenharia Civil). Rio de Janeiro: Universidade Federal do Rio de Janeiro / Programas de Pós-Graduação de Engenharia, 2005.
23. ROSSMAN, L. *et al.* Storm Water Management Model User's Manual version 5.0. Cincinnati: United States Environmental Protection Agency (USEPA), 2007. 265 p.
24. TUCCI, C.E.M.; PORTO, R.L.L.; BARROS, M.T. *Drenagem Urbana*. Porto Alegre: UFRGS/ABRH, 1995. 428 p.
25. URBONAS, B.; STAHR P. Stormwater - Best management practices and detention for water quality, drainage, and CSO management. Englewood Cliffs: Prentice Hall, 1993, 449 p.
26. VON SPERLING, M. *Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos*. 3.ed. Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais / Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental. Princípios do tratamento biológico de águas residuárias, v. 1, 2005, 452 p.