



**HAL**  
open science

# Avaliação de Fluxo de Poluentes em Tempo Seco e Durante Eventos de Chuva em uma Microbacia Urbanizada no Município de Belo Horizonte, Minas Gerais

Paulo Vieira, Martin Seidl, Nilo Nascimento, Marcos Von Sperling

► **To cite this version:**

Paulo Vieira, Martin Seidl, Nilo Nascimento, Marcos Von Sperling. Avaliação de Fluxo de Poluentes em Tempo Seco e Durante Eventos de Chuva em uma Microbacia Urbanizada no Município de Belo Horizonte, Minas Gerais. Manejo de Águas Pluviais Urbanas, pp.347-369, 2009, PROSAB. hal-01815014

**HAL Id: hal-01815014**

**<https://enpc.hal.science/hal-01815014>**

Submitted on 25 May 2021

**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.

# 10

## **Avaliação de Fluxo de Poluentes em Tempo Seco e Durante Eventos de Chuva em uma Microbacia Urbanizada no Município de Belo Horizonte, Minas Gerais**

*Vieira, P.C.; Seidl, M.; Nascimento, N.O.; Sperling, M.V.*

### **10.1. Introdução**

As condições dos corpos hídricos em áreas urbanas no Brasil, em sua grande maioria, encontram-se comprometidas devido, principalmente, à carência ou à inadequação de diversos componentes da infraestrutura sanitária. Intervenções nas bacias hidrográficas em áreas urbanas por meio de ações integradas e eficazes em saneamento ambiental, fundamentadas na promoção da saúde humana e da preservação do meio ambiente, ainda são insuficientes diante da necessidade em que se encontram esses corpos hídricos.

Informações do Caderno Setorial de Recursos Hídricos (BRASIL, 2006), do panorama das águas superficiais reproduzidos pela Agência Nacional das Águas (BRASIL, 2005) e do Plano Municipal de Saneamento de Belo Horizonte (PREFEITURA MUNICIPAL DE BELO HORIZONTE, 2004), confirmam tal situação. Nestes, são relatados, na cidade de Belo Horizonte, Minas Gerais, a carência de 328 km de rede interceptora e a ausência de rede coletora de esgoto para 17% da população (391.000 hab), elementos considerados básicos no saneamento. A falta desses elementos resulta no lançamento inadequado das águas residuárias, o que se reflete na qualidade dos corpos hídricos, os quais são representados no Índice de Qualidade das Águas (IQA) como péssimo (71%) e ruim (14%).

Esta condição do esgotamento sanitário praticado em nossas bacias reflete a realidade encontrada na grande maioria das cidades brasileiras, nas quais os rios ou os córregos canalizados recebem contribuições de águas pluviais e de esgoto durante

todo o ano hidrológico. O comprometimento dos corpos hídricos superficiais, segundo Von Sperling (2007), ocorre com mais intensidade em locais de grande adensamento populacional e/ou reduzida capacidade de assimilação dos cursos de água.

O Plano Municipal de Saneamento (PMS) aponta essa situação como a principal causa de todos os córregos, canalizados ou não, do município de Belo Horizonte, encontrarem-se poluídos por lançamentos de efluentes de origem industrial, comercial e, principalmente, domiciliar, associada a fontes pontuais e difusas de contaminação.

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; HCCREMS, 2008; VON SPERLING, 2005).

O processo de urbanização desordenada 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 seu potencial poluidor aos ambientes aquáticos (BAPTISTA; NASCIMENTO; BARRAUD, 2005; TUCCI; PORTO; BARROS, 1995; URBONAS; STAHERE, 1993), podendo ser constituída pela presença de agentes poluentes, como hidrocarbonetos, solventes, pesticidas, macronutrientes (C, N, P), metais tóxicos, sólidos em suspensão e micro-organismos patogênicos (BURTON; PITT, 2002).

Além de tais condições, têm-se os fatores que justificam a investigação do comportamento de corpos hídricos, dentre os quais se destacam:

- o reconhecimento de que o monitoramento ambiental é um componente essencial em qualquer projeto de reabilitação e manejo dos recursos hídricos;
- a existência de uma imensa variabilidade natural, o que torna difícil a aplicação de um programa de monitoramento de uma para outra.

Nesse contexto, inserem-se os programas de pesquisa e de desenvolvimento em recursos hídricos em áreas urbanas:

- Sustainable Water Management Improves Tomorrow's Cities Health (SWITCH), promovido pela UNESCO;

- Manejo de Águas Pluviais Urbanas, promovido pelo Programa de Pesquisa em Saneamento Básico 5 (PROSAB) – Tema 4, com o propósito de desenvolvimento de metodologias para o gerenciamento e para o controle da poluição dos recursos hídricos.

Desse modo, esta pesquisa teve como proposta caracterizar as condições de qualidade e de quantidade das águas em uma microbacia urbanizada – o Córrego do Brejo do Quaresma –, no município de Belo Horizonte, apresentadas nos períodos hidrológicos secos e chuvosos.

## 10.2 Área de Estudo

A microbacia do Córrego Brejo do Quaresma está localizada na região de Venda Nova, extremo noroeste da cidade de Belo Horizonte, e possui uma área de drenagem de 130 ha, com uma ocupação predominante residencial (Figura 10.1).



Figura 10.1

Localização da microbacia Brejo do Quaresma, no município de Belo Horizonte, e do ponto de amostragem na bacia.

O clima da Região Metropolitana de Belo Horizonte é de predominância tropical, basicamente de regime sazonal de chuvas (estações úmidas, chuvosas e secas). A temperatura média anual é 21,1°C, com pequena variação entre as estações. A média de precipitação anual é de 1.450 mm (PBH, 2008).

A microbacia é tributária da bacia elementar do Córrego Vilarinho e está inserida na bacia do Ribeirão Isidoro, principal afluente do Ribeirão da Onça, sub-bacia do Rio das Velhas. A bacia elementar do Córrego Vilarinho apresenta uma alta densidade populacional, tendo sua área urbanizada compreendendo 98% do total (IBGE, 2000 *apud* PREFEITURA MUNICIPAL DE BELO HORIZONTE, 2004).



FONTE: UFMG

Figura 10.2 Trechos do córrego urbanizado Brejo do Quaresma.



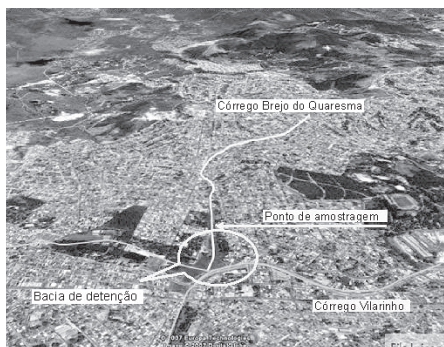
FONTE: UFMG

Figura 10.3 Bacia de retenção de águas de chuva e Córrego Brejo do Quaresma.

Para uma população estimada em 15.000 hab e uma densidade populacional de 122 hab/ha, segundo projeções do censo demográfico de 2000, a microbacia do Córrego Brejo do Quaresma (Figura 10.2) apresenta características de um ecossistema impactado pela ação antrópica. Este, caracterizado pela extensão total de 2.200 m, com trechos em leito canalizado aberto (1.400 m) e fechado (800 m), apresenta erosões no leito natural, com margens ocupadas por construções irregulares, além do acúmulo de resíduos sólidos e do lançamento de esgoto doméstico via águas pluviais na rede de drenagem e direta-

mente ao córrego. Estes fatores, segundo o Plano Diretor de Drenagem Urbana e PMS, são devidos à parcialidade e/ou à inexistência da rede coletora de esgoto.

A microbacia do Córrego Brejo do Quaresma possui uma bacia de retenção de águas de chuva do tipo aberta (Figura 10.3), denominada bacia de retenção Vilarinho, onde os dois córregos, Lagoinha e Quaresma, encontram-se antes de desaguiarem no Córrego Vilarinho. No entanto, além da função de regularizar os picos de escoamento produzidos pela chuva na bacia do Córrego Vilarinho, a bacia de retenção também é utilizada de forma irregular pela comunidade, como local de criação de animais, depósito de resíduos de construção civil etc.



FONTE: GOOGLE EARTH (2007).

Figura 10.4

Microbacia do Córrego Brejo do Quaresma; localização da bacia de retenção de águas de chuvas (ponto de amostragem).

### 10.2.1 Estação de monitoramento

O monitoramento da qualidade e da quantidade das águas do Córrego Brejo do Quaresma foi realizado inicialmente em um ponto localizado próximo a sua foz (45 m) e, logo após, foi implementado em outro local, denominado de estação de monitoramento, localizado a jusante do canal principal, próximo do vertedor da bacia de retenção Vilarinho, e também a 320 m em percurso, até a confluência com o Córrego Lagoinha, antes de desaguar no Córrego Vilarinho, como é apresentado nas Figuras 10.4 e 10.5, a seguir.



FONTE: UFMG

Figura 10.5

Localização da estação de monitoramento do Córrego Brejo do Quaresma.

### 10.2.2 Caracterização quali-quantitativa das águas

A campanha de amostragem foi realizada durante um ano hidrológico – entre maio de 2007 e maio de 2008 – por meio de coletas em condições de tempo seco (ausência de chuva de no mínimo 48h antes da coleta) e em eventos chuvosos (duração máxima de 4h de precipitação). No período hidrológico seco (maio a setembro de 2007), foram realizadas cinco campanhas em tempo seco e uma durante um evento chuvoso, e no período hidrológico chuvoso (outubro de 2007 a março de 2008), foram realizadas cinco campanhas em tempo seco e quatro campanhas durante os eventos chuvosos.

A partir de novembro de 2008, iniciou-se outra campanha de monitoramento com os sensores (Figura 10.6) de nível d'água (pressão/vazão), de condutividade elétrica e de precipitação (pluviôgrafo), instalados na estação de monitoramento para a coleta de dados contínuos em tempo seco e durante os eventos chuvosos e capturando os dados por meio de armazenador de dados (*datalogger*).

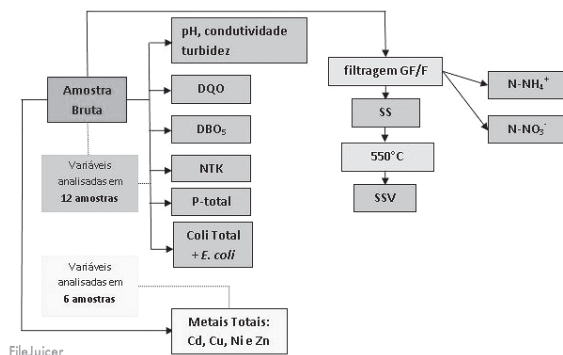


FONTE: UFMG

Figura 10.6 Sensores de nível d'água, condutividade e precipitação.

### 10.2.3 Parâmetros qualitativos

As variáveis (Figura 10.7) representativas dos parâmetros físico, físico-químico e microbiológico, utilizadas no monitoramento, foram adotadas devido ao significado sanitário e de acordo com as características de uso e de ocupação do solo na microbacia do Córrego Brejo do Quaresma. As metodologias analíticas implementadas e utilizadas para as análises das variáveis indicadoras de qualidade das águas monitoradas foram baseadas nos métodos padronizados pela American Public Health Association, American Water Works Association e Water Environment Federation (APHA; AWWA; WEF, 2005), no "Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater".



FONTE: UFMG

Figura 10.7

Fluxograma das variáveis indicadoras de qualidade utilizadas e da preparação das amostras em tempo seco e chuvoso.

As medidas dos valores de oxigênio dissolvido, de pH e de condutividade elétrica foram tomadas *in situ* por meio de uma sonda multiparâmetro da marca Orion (modelo 5 star). Os demais parâmetros foram analisados nos laboratórios de análises físico-químicas e de microbiologia do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental (DESA) da Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais (EEUFMG).

As coletas da água em tempo seco e nos eventos chuvosos foram realizadas por meio de amostragem na calha principal do Córrego Brejo do Quaresma, fazendo uso de amostradores sequenciais automáticos (modelos 4700 e 3700, marca ISCO). Os amostradores apresentam uma capacidade de uso para 24 garrafas de 1 L e em seu sistema há a função de amostragem de água em alíquotas por garrafas, em um determinado tempo requerido. Essa função foi utilizada na amostragem em tempo seco. Foi programada, então, a coleta diurna (24h) com amostragens de alíquotas de 500 ml a cada 30 min, sendo que, no fim da amostragem de 24h, foram obtidas 24 amostras compostas de 1 L.

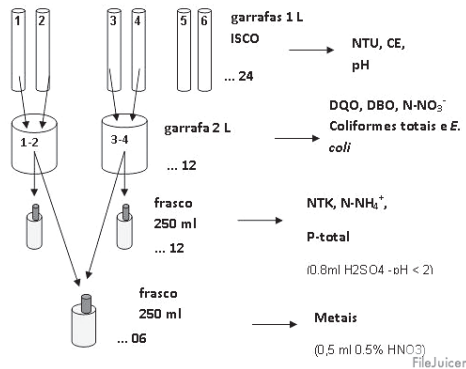
Para os eventos chuvosos com amostragem no início, durante e no fim da chuva, a programação de coleta do amostrador foi de uma sucção de 1 L, ou seja, uma garrafa a cada 10 min, com cada garrafa tendo uma alíquota simples. A quantidade total das amostras coletadas em um evento foi obtida em função da duração da chuva, não ultrapassando 4h de precipitação.

Portanto, seguindo as recomendações de APHA, AWWA e WEF (2005), as amostras foram preservadas ao gelo (4°C) durante e até a chegada aos laboratórios do DESA/EEUFMG, onde, para determinadas análises, foram realizadas outras técnicas de preservação (acidificação).



A amostragem em tempo seco com 24 garrafas, coletadas uma a cada hora, foi usada para a composição de 12 garrafas, ou seja, 12 amostras compostas. As amostras foram compostas na sequência de amostragem (cada duas garrafas de 1 L compoendo uma amostra de 2 L) para a realização das análises das variáveis indicadoras de matéria orgânica, de nutrientes e de organismos patogênicos. Para as análises dos metais pesados, foram trabalhadas seis amostras compostas para cada duas garrafas das 12 compostas anteriormente (Figura 10.8).

Nos eventos chuvosos, o procedimento de composição das amostras foi realizado por meio da medição prévia da condutividade e da turbidez, observando-se os períodos de início, meio e término da chuva para que não fosse composta uma amostra com períodos diferentes na amostragem.



FONTE: UFMG

Figura 10.8 Composição das amostras coletadas a cada duas horas em 24h de amostragem.

### 10.2.4 Parâmetros quantitativos

A precipitação durante os eventos chuvosos monitorados (campanha maio de 2007 a maio de 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). Os dados climatológicos após coletados e tratados são fornecidos no seguinte site: <http://www.inmet.gov.br/sonabra/maps/automaticas.php>.

Destaca-se que a microbacia do Córrego Brejo do Quaresma, localizada a aproximadamente 8,5 km da estação climatológica automática da Pampulha, encontra-se entre as mesmas isoietas de precipitação anual, 1.400 e 1.500 mm, traçadas pelo Estudo de Chuvas Intensas na Região Metropolitana de Belo Horizonte (GUIMARÃES, 1997).

Para a campanha iniciada em novembro de 2008, em percurso, a precipitação na microbacia é medida pelo sensor de precipitação (pluviógrafo de báscula) da marca Seba Hydro-metrie (modelo RG50), com intervalos de coleta de dados a cada 1 min (mm/minuto).

As medidas de vazões na campanha de maio de 2007 a maio de 2008, aferidas durante as amostragens em tempo seco, foram realizadas por meio de medições de descargas, e para os eventos chuvosos monitorados, por meio do modelo Storm Water Management Model (SWMM), versão 5.0 (ROSSMAN *et al*, 2007), no bloco Runoff, no qual se faz a simulação hidrológica de chuva em vazão, por intermédio do escoamento gerado na bacia urbana, e a sua propagação na superfície ou em canais de forma simplificada, acrescida pela vazão natural.

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

Os parâmetros físicos, hidráulicos e hidrológicos adotados na modelagem, denominados de dados de entrada, são apresentados na Tabela 10.1 O coeficiente de impermeabilização (*CI*) da área do solo da área de estudo foi calculado por meio do método MULT (FRANCE, 1986), utilizando-se uma densidade 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). 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 SCS.

**Tabela 10.1** – 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

LEGENDA: CN = COEFICIENTE DE ESCOAMENTO SUPERFICIAL; CI = COEFICIENTE DE IMPERMEABILIZAÇÃO.

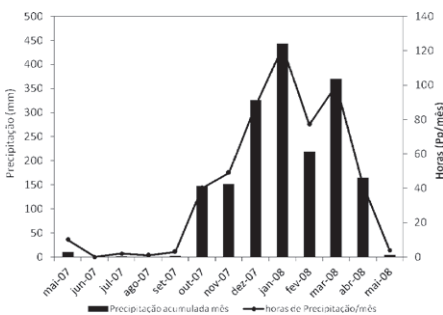
### 10.2.5 Tratamento dos dados

Os dados obtidos no monitoramento foram analisados por meio de estudos estatísticos preliminares e de estatísticas básicas, com a finalidade de organização e de caracterização do comportamento das condições de qualidade e de quantidade na amostragem em tempos extremos (seco e chuvoso).

A análise estatística dos resultados obtidos no monitoramento (qualidade e quantidade) foi realizada com a finalidade de se obter uma melhor compreensão da distribuição da normalidade e da variabilidade dos dados no tempo seco e nos eventos chuvosos. Esta análise foi realizada por meio da aplicação de testes fornecidos pelo software Statistica 6.1 (StatSoft, Inc., 2003).

A normalidade de cada parâmetro (qualidade e quantidade) foi analisada quanto a sua distribuição ao longo de toda a campanha de amostragem, em tempo seco e eventos chuvosos. Para a determinação da normalidade, foi considerada a hipótese de que os dados não se comportavam distribuídos normalmente em torno da mediana, com nível de significância ( $p$ ) menor que 5% ( $p < 0,05$ ) e nível de confiança maior que 95%.

Verificada a normalidade dos dados, partiu-se para a determinação da variância por meio da aplicação de testes paramétricos (distribuição normal) e não paramétricos (distribuição não normal), segundo sua condição de distribuição. Para tal, foi assumida a hipótese de que as concentrações dos parâmetros e as vazões na microbacia são efetivamente diferentes em tempo seco e em eventos chuvosos. A análise da variância foi realizada entre os resultados das condições extremas de tempo, representadas pelos grupos de dados (tempo seco e eventos chuvosos), com nível de confiança de 95% ( $p < 0,05$ ).



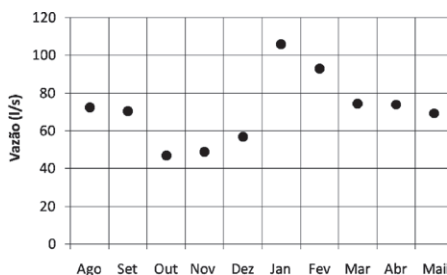
FONTE: UFMG

Figura 10.9

Precipitações mensais e horas de precipitação durante o período monitorado.

## 10.3 Resultados e Discussão

As precipitações mensais acumuladas durante o período monitorado são apresentadas conjuntamente com as horas de precipitação por mês na Figura 10.9. No período estudado (366 dias) – campanha maio de 2007 a maio de 2008 –, foi medido pela estação climatológica do INMET (Pampulha) o total de 1.835 mm de chuva, com um acumulado de 538h (correspondendo a um equivalente de 22 dias acumulados) com precipitações.



FONTE: UFMG

Figura 10.10

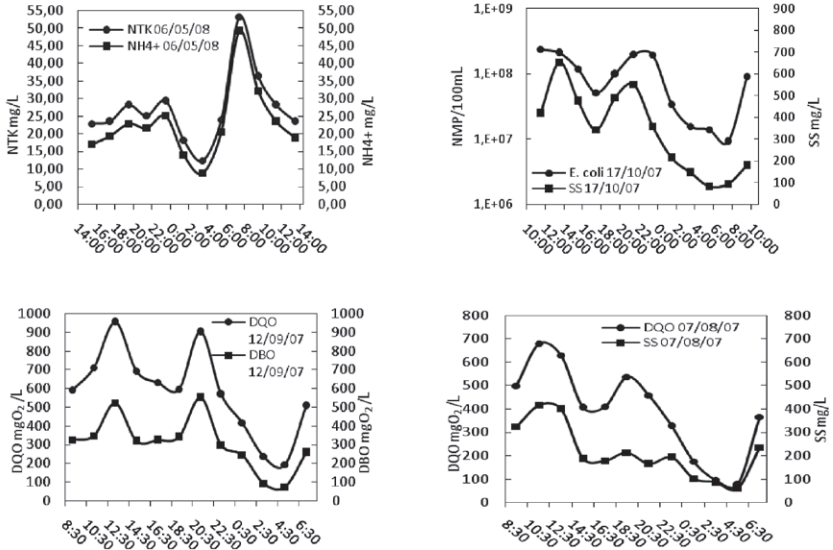
Vazões monitoradas em tempo seco durante o ano hidrológico regional – períodos chuvosos (outubro a março) e secos (abril a setembro).

As vazões monitoradas em tempo seco ao longo do ano hidrológico regional, o qual é constituído por períodos chuvosos (outubro a março) e secos (abril a setembro), são representadas pelo fluviograma da Figura 10.10, no qual se apresenta os seguintes valores: mínimo de 46 L/s, médio de 70 L/s e máximo de 96 L/s. Considerou-se ainda que as vazões de tempo seco eram constituídas principalmente pelas contribuições do esgoto doméstico gerados na microbacia e despejadas no córrego.

O comportamento diurno em tempo seco no córrego é representado por séries temporais das concentrações dos parâmetros de qualidade (Figura 10.11). As variações diurnas dos parâmetros apresentados apontam para uma tendência no comportamento do corpo hídrico relacionada à condição do esgotamento sanitário da microbacia, o que ocorreu, possivelmente, devido à ausência de rede interceptora de esgoto. Assim, o córrego, na função de esgotamento sanitário da microbacia, apresenta uma semelhança quanto a um hidrograma típico de esgoto, com picos pronunciados em certos períodos do dia.

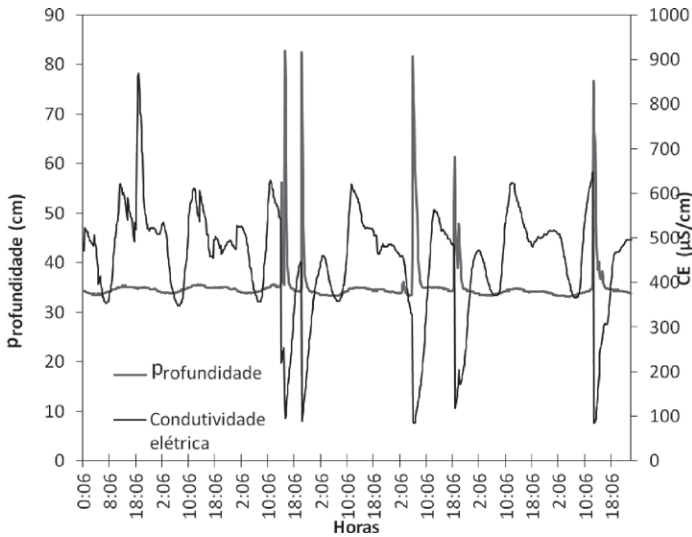
Os picos das concentrações dos parâmetros apresentados em tempo seco são observados com maiores presenças no início da manhã, entre 6 e 8h, e no início da noite, entre 18 e 20h. Um terceiro pico, menos acentuado, é presenciado no início da tarde. Também é observada nas séries temporais dos parâmetros monitorados uma diminuição acentuada durante a madrugada, iniciando-se após as 22h. Portanto, o comportamento do córrego em tempo seco aponta uma relação muito próxima com os períodos diários de maior consumo de água e, conseqüentemente, na maior geração de esgoto.

Tal fato pode ser associado às bacias hidrográficas urbanas que não possuem rede interceptora, nas quais o corpo hídrico possui não somente a função de drenar as suas águas naturais e pluviais, mas também a do esgoto doméstico provindo diretamente das redes coletoras. Esta situação é apontada por Vieira *et al* (2007) em um estudo de caracterização das águas em duas microbacias urbanas, sendo que uma destas, que não possuía rede interceptora, apresentou o padrão de qualidade ditado por esgoto doméstico, com variações diurnas das concentrações de determinados parâmetros semelhantes ao hidrograma típico de esgoto.



FONTE: UFMG

Figura 10.11 Séries temporais diurnas das concentrações dos parâmetros em tempo seco.



FONTE: UFMG

Figura 10.12 Série temporal semanal de condutividade e de profundidade no período de 14 a 20 de janeiro de 2009.

Os resultados das variações diurnas durante uma semana, monitorados pelos sensores de condutividade elétrica e de profundidade no córrego, indicam uma condição predominante de esgoto durante o tempo seco e uma provável diluição dos constituintes dissolvidos durante os eventos de precipitação (Figura 10.12).

Os principais parâmetros pluviométricos dos eventos chuvosos monitorados na campanha de maio de 2007 a maio de 2008 estão apresentados na Tabela 10.2, acrescidos dos horários de início e fim dos eventos monitorados.

**Tabela 10.2 > Parâmetros pluviométricos estudados para as campanhas dos eventos chuvosos monitorados.**

DATAS	HORÁRIO		EVENTO MONITORADO		PRECIPITAÇÕES ANTERIORES	
	Início	Final	Mm/H(')	Duração (h)	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

LEGENDA: (') = INTENSIDADE DA PRECIPITAÇÃO (MM/H).

A análise do comportamento dos parâmetros monitorados ao longo dos eventos indica um padrão geral de relação entre as maiores e as menores concentrações em função das precipitações e de suas características (intensidades, duração, períodos sem chuva e precipitação anterior), mesmo devido à influência de outras particularidades, como o tipo de ocupação da bacia, o tamanho da área de drenagem, a área impermeabilizada e os horários dos eventos coletados. Acredita-se que o horário de coletas possa ter grande influência devido ao padrão diurno estabelecido pelo esgoto doméstico na microbacia, determinando os horários de maior e de menor concentração.

Desta forma, foram observadas alterações que podem estar associadas diretamente às condições do tempo apresentadas para os eventos monitorados. 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, como zinco (Zn), cobre (Cu), cádmio (Cd) e níquel (Ni). Estes eventos também foram os que proporcionaram as menores concentrações de matéria orgânica e NTK e  $N-NH_4^+$ , caracterizando o fenômeno da diluição. No evento de menor precipitação e intensidade, observaram-se maiores medianas de  $DBO_5$ , *Escherichia coli* e também de NTK e  $N-NH_4^+$ , e menores concentrações de Zn e Ni.

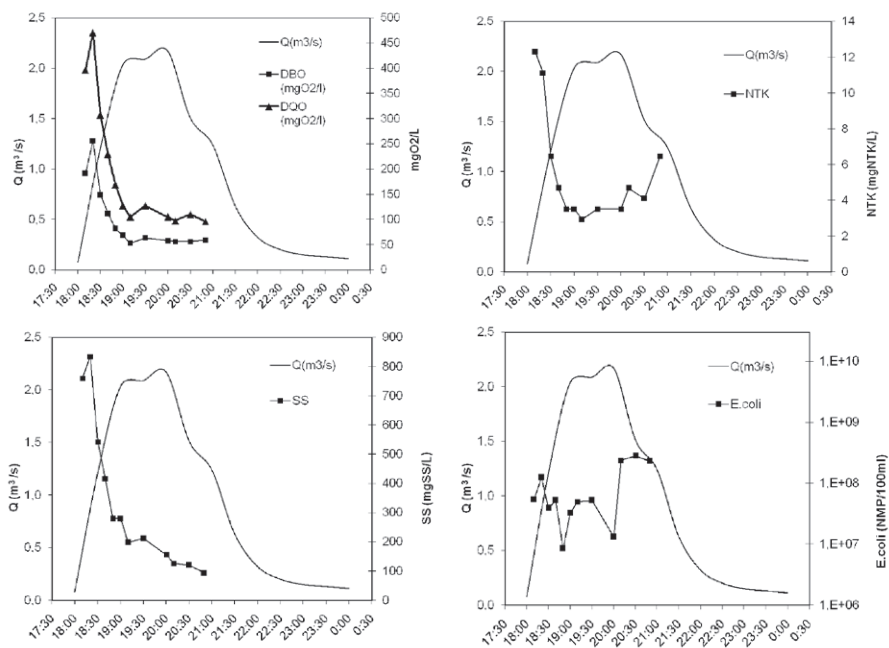
Com relação às variações das concentrações dos parâmetros ao longo dos eventos e aos polutogramas relacionados com os hidrogramas e os ietogramas dos eventos monitorados, foi observado um comportamento inversamente proporcional entre as

concentrações de determinados parâmetros de qualidade e as vazões ao longo dos eventos de chuva. Tal comportamento foi apresentado pelos nutrientes, principalmente NTK,  $N-NH_4^+$  e P-total, na maioria dos eventos, com exceção ao dia 27 de fevereiro de 2007. Tal fato, possivelmente, esteja associado ao fenômeno de diluição promovido pelo acréscimo das águas de chuva, que também pode ser observado por meio da diminuição da condutividade elétrica no início dos eventos.

Os parâmetros indicadores de matéria orgânica (DQO e  $DBO_5$ ), em determinados eventos, apresentaram comportamento semelhante e também comportamentos de oscilações ao longo do evento e de picos (concentrações máximas) anteriores aos picos de vazão. No entanto, para os parâmetros SS, SSV, turbidez e metais pesados, foram observadas concentrações máximas anteriores aos picos e com diminuições sucessivamente ao longo de todos os eventos monitorados. Vieira *et al* (2008) apontaram que as concentrações de alguns poluentes carregados em áreas urbanas, geralmente em grandes áreas impermeabilizadas, tendem a ser muito mais altas no início do que no meio ou no fim da precipitação.

As bactérias indicadoras de contaminação fecal (coliformes e *E.coli*) não apresentaram um comportamento geral de acréscimo ou de diluição da densidade durante os eventos chuvosos, possivelmente devido ao seu padrão de distribuição na água. Von Sperling (2007) comenta que para a diluição de coliformes é necessário o aumento de 100 vezes do volume do efluente para cada 1 *log* das bactérias, sugerindo, assim, o comportamento estável dos coliformes, mesmo com os acréscimos máximos de vazão durante os eventos chuvosos monitorados, com picos atingindo até 70 vezes a média da vazão em tempo seco. O evento do dia 12 de março de 2008 (Figura 10.13) representa o comportamento de diluições para matéria orgânica e nutrientes, os picos de concentrações anteriores aos de vazão para os SS e as oscilações nas densidades de coliformes.

O comportamento dos parâmetros monitorados apresentou nítidas diferenças quanto aos valores observados entre as diferentes condições de tempo monitoradas (seco e chuvoso), conforme mencionado anteriormente. Para determinados parâmetros (condutividade, DQO,  $DBO_5$ , NTK,  $NH_4$ , P-total e metais pesados), foram observadas diminuições consideráveis nos valores das concentrações apresentadas em tempo seco, em relação aos eventos chuvosos, e vice-versa, em relação a outros parâmetros (SS). Observou-se também a condição de estabilidade entre os eventos monitorados, no caso dos coliformes, já que a ordem de grandeza de suas altas densidades não é tão afetada pela diluição.



FONTE: UFMG

Figura 10.13 Hidrograma, ietograma e polutogramas do evento de 12 de março de 2008.

Portanto, com a finalidade de se obter uma melhor compreensão da distribuição e da variabilidade dos dados entre o tempo seco e os eventos chuvosos, foram realizadas análises estatísticas dos resultados dos parâmetros monitorados por meio de testes de normalidade e de variância.

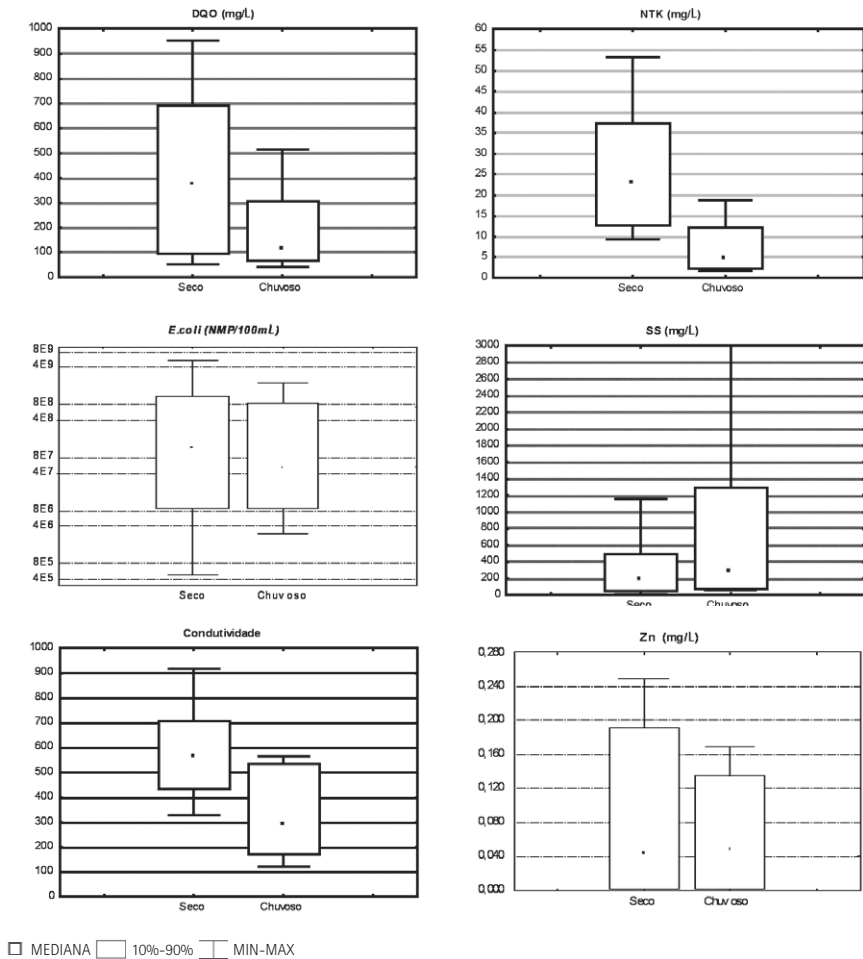
A distribuição ao longo de toda a campanha de amostragem (seco e chuvoso), para todos os parâmetros monitorados, apresentou, de acordo com os testes de normalidade adotados (qui-quadrado –  $\chi^2$  – e Kolmogorov-Smirnov), uma condição de distribuição não normal (para um nível de confiança maior que 95%, na hipótese de que os dados não se comportem distribuídos normalmente em torno da mediana).

Verificada a distribuição dos dados, foi realizada a determinação da variância por meio da aplicação de testes não paramétricos (distribuição não normal), segundo sua condição de distribuição apresentadas pelos dados. Os testes utilizados foram de Mann-Whitney (CONOVER, 1999), Wald-Wolfowitz (NAGHETTINI; PINTO, 2007) e Kolmogorov-Smirnov (CONOVER, 1999).

Os resultados dos testes apresentaram para todos os parâmetros, com exceção dos metais pesados (Zn e Cu) e dos coliformes (totais e *E.coli*), a condição de ocorrência de variabilidade significativa ( $p < 0,05$ ) entre os resultados de tempo seco e chuvoso,



ou seja, os parâmetros comportaram-se de forma diferente sob as condições analisadas de tempo (seco e chuvoso), confirmando as observações feitas anteriormente. As medidas de tendência central e de dispersão, segundo os testes adotados, confirmaram a suposição de comportamento diferenciado dos parâmetros de qualidade entre condições de tempo diferentes (seco e chuvoso). Esses resultados da variância são representados pelos gráficos Box-whisker e apresentados na Figura 10.14, para os parâmetros DQO, NTK, SS, *E.coli*, condutividade e Zn.



FONTE: UFMG

Figura 10.14

Representação gráfica da variabilidade entre os resultados de tempo seco e dos eventos chuvosos.

Os testes de variância aplicados aos resultados de coliformes totais e do *E.coli* apresentaram níveis de confiança menores que 95% quanto aos testes Mann-Whitney e Wald-Wolfowitz, apontando não somente para uma possível igualdade das densidades de coliformes entre as condições de tempo diferentes (seco e chuvoso) como também a forma como se distribuem ao longo do conjunto. Portanto, pode-se assim justificar a tendência de um padrão de distribuição não definida das bactérias no meio aquático, ou seja, a condição de maior volume pode não significar uma condição de maior distribuição ou de diluição.

Para os metais (Zn e Cu), os testes Mann-Whitney e Kolmogorov-Smirnov não apresentaram um nível de significância maior do que 5%, ou seja, as medidas centrais e as amplitudes dos resultados apresentados pelos metais (Zn e Cu) demonstraram semelhanças (igualdades), com níveis de confiança próximos de 71% para o zinco e 95% para o cobre. Isso pode ser explicado devido ao fato de que as condições de ocupação na bacia não representaram fontes com poder de influência significativa nos eventos chuvosos.

A Tabela 10.3 apresenta de forma sintetizada os resultados das variáveis e de suas estatísticas de monitoramento em tempos secos e chuvosos, bem como dos valores máximos permitidos (VMP) para corpos hídricos de água doce classe 2 (Resolução CONAMA nº 357/2005) e dos valores usuais de esgoto doméstico reportados pela literatura, para que se possa ter uma comparação com as condições de qualidade apresentadas no corpo hídrico monitorado.

**Tabela 10.3 > Estatísticas descritivas das concentrações observadas na microbacia, dos valores especificados na legislação ambiental e das faixas típicas de esgoto doméstico bruto.**

		DOO (mg/L)	DBO <sub>5</sub> (mg/L)	SST (mg/L)	<i>E.COLI</i> (NMP/100mL)	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> (mg/L)	P-TOTAL (mg/L)	ZN (mg/L)
Classe 2 CONAMA	VMP <sup>(1)</sup>	–	5	–	1E+3	2	0,1	180
Tempo seco	P.10% <sup>(2)</sup>	103	35	48	9,1E+6	9,5	1,1	1
	Média <sup>(3)</sup>	374	186	235	8,1E+8	20,0	2,6	62
	P.90% <sup>(4)</sup>	689	320	487	1,1E+9	34,5	4,5	192
Evento de chuva	P.10% <sup>(2)</sup>	148	18	88	9,4E+6	0,6	0,2	3
	Média <sup>(3)</sup>	70	70	582	8E+7	3,6	1	47
	P.90% <sup>(4)</sup>	287	151	1230	8E+8	8,5	2	80
Esgoto bruto6	Faixa <sup>(5)</sup>	250- 400	450-800	200-450	E+6-E+9	20-35	4-15	20-7680

LEGENDA: <sup>(1)</sup> = VALOR MÁXIMO PERMITIDO; <sup>(2)</sup> = PERCENTIL 10%; <sup>(3)</sup> = MÉDIA ARITMÉTICA; <sup>(4)</sup> = PERCENTIL 90%; <sup>(5)</sup> = VALORES TÍPICOS EM ESGOTO URBANO; FONTE: ADAPTADO DE VON SPERLING (2005).

## 10.4 Conclusões e Recomendações

Nos resultados das campanhas em tempo seco, observa-se um comportamento indicativo à sazonalidade local, apontado pelas medidas de tendência central e pelo posicionamento dos dados para os parâmetros indicadores de matéria orgânica (DQO e  $\text{DBO}_5$ ), de nutrientes (N e P) e de sólidos suspensos. Os resultados apresentaram um maior percentil – 50 e 90% das concentrações – no período seco anual (maio a outubro) do que no período chuvoso local (novembro a abril).

As variações diurnas dos parâmetros apresentados apontam para uma tendência no comportamento do corpo hídrico relacionada à condição do esgotamento sanitário da microbacia, o qual, possivelmente, ocorre devido à ausência de rede interceptora de esgoto. E assim, o córrego, na função de esgotamento sanitário da microbacia, apresenta um comportamento com um hidrograma típico de esgoto, com picos pronunciados nas horas de almoço e de jantar.

Nos resultados apresentados no monitoramento realizado no Córrego Brejo do Quaresma, podem-se observar, no comportamento das condições de qualidade nos eventos chuvosos, consideráveis diminuições nas concentrações dos parâmetros de condutividade, DQO,  $\text{DBO}_5$ , NTK,  $\text{NH}_4^+$ , P-total e metais pesados, supostamente devido ao fenômeno da diluição promovida pelo aumento substancial do volume de água transportado pelo córrego que variou de uma vazão de  $0,07 \text{ m}^3/\text{s}$ , em tempo seco, para uma máxima, durante os eventos chuvosos, de até  $4,75 \text{ m}^3/\text{s}$ . Mesmo assim, estes parâmetros mantiveram faixas de concentrações e CME acima das exigidas para corpo hídrico de classe 2, conforme a Resolução CONAMA nº 357/05, devido principalmente às contribuições de esgoto e aos sedimentos durante os eventos de chuva. De forma análoga, observa-se um acréscimo nas concentrações de SS e nos resultados de turbidez para os eventos chuvosos.

Sendo assim, as altas concentrações de matéria orgânica (DQO e  $\text{DBO}_5$ ), nutrientes (N e P) e sólidos (SS e SSV), conjuntamente com altas densidades de coliformes (totais e *E.coli*) apresentadas em tempo seco e nos eventos chuvosos, associadas às condições de ocupação na bacia (residencial) e também ao sistema de esgotamento sanitário (sem rede interceptora de esgoto), sugerem que as águas do Córrego do Brejo do Quaresma são ditadas pelo padrão de esgoto doméstico gerado e despejado diretamente no córrego, e, assim, sem condições de cumprir com os usos preponderantes segundo seu enquadramento (classe 2), conforme os padrões de qualidade determinados pela legislação em vigor.

A pesquisa de avaliação dos fluxos poluentes em tempo seco e durante eventos de chuva na microbacia do Brejo do Quaresma, realizada entre maio de 2007 a maio de

2008, conduz a algumas recomendações com base nas observações e nas conclusões levantadas até esta etapa do programa de monitoramento:

- implementação do monitoramento de parâmetros de qualidade da água inerentes e associados ao tipo de uso e de ocupação do solo na bacia em estudo. Estes parâmetros devem ser eficientes a custo/benefício e também determinar claramente sua fonte de contaminação para os corpos hídricos, como os policíclicos aromáticos (PAHs), indicadores de contaminação de subprodutos dos combustíveis fósseis, os surfactantes (LAB, LAS) e o Polychlorinated biphenyl (PCB), usado na indústria elétrica;
- uso de indicadores de qualidade, tal qual o IQA, o IVA e o WQI, para melhor avaliação espacial e temporal (CUDE, 2001; DA SILVA; JARDIM, 2006; SEIDL *et al*, 2008c);
- aquisição on-line de dados hidrometeorológicos e de qualidade na bacia em estudo, com maior frequência de coleta. Medição da vazão em tempo seco e durante os eventos chuvosos por meio de sensores de nível combinados com sensores de condutividade e de turbidez;
- identificação das fontes de incertezas e avaliação das suas influências nas estimativas de cargas poluidoras. Avaliar as limitações do modelo de cálculo das cargas, incluindo os dados de entrada assumidos, como a representatividade dos eventos chuvosos monitorados, ou seja, as frequências destes eventos conforme uma série histórica local;
- adoção de tecnologias eficientes para o controle e para o tratamento da poluição difusa em áreas urbanas. As dificuldades locais para o controle da poluição, dentre elas, as disponibilidades de áreas e as carências de recursos humanos e financeiros, apontam para a necessidade do uso de tecnologias sustentáveis e eficientes, tal como as áreas úmidas artificiais (pântanos). No caso do Córrego Quaresma, propõe-se uma área úmida artificial composta de lagoas de estabilização, com ou sem macrófitas, seguida por filtros prateados com fluxos subsuperficiais (SEIDL *et al*, 2008a,b).

## Agradecimentos

O primeiro autor recebe bolsa de doutorado do Projeto SWITCH (6º Programa Quadro da União Europeia). O segundo autor recebe bolsa de pesquisador visitante do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq). O terceiro autor é financiado pelo CNPq e pela Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG) por meio da concessão de bolsas de pesquisador PQ e do programa PPM, respectivamente. O quarto autor recebe apoio do CNPq, como bolsa PQ. Recursos

do Projeto SWITCH complementaram os recursos provenientes do PROSAB (Edital 5), essencialmente para cobrir parte dos custos de operação da estação de monitoramento e de análise de qualidade de água.

## Referências Bibliográficas

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION (APHA); AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION (AWWA); WATER ENVIRONMENT FEDERATION (WEF). *Standard methods for the examination of water and wastewater*. 20. ed. Washington: APHA, AWWA, WEF, 2005.

BAPTISTA, M.; NASCIMENTO, N.; BARRAUD, S. *Técnicas compensatórias em drenagem urbana*. Porto Alegre: ABRH, 2005. 266p.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Secretaria Nacional de Recursos Hídricos (SNRH). *Caderno setorial de recursos hídricos: saneamento*. Brasília: Plano Nacional de Recursos Hídricos/SRH, 2006. 68p.

\_\_\_\_\_. Ministério do Meio Ambiente. Agência Nacional de Águas. *Cadernos de recursos hídricos*. Panorama da qualidade das águas superficiais no Brasil. Brasília: TDA Desenho & Arte Ltda., 2005. 172p.

BURTON, G.J.A.; PITT, R. *Stormwater effects handbook: a toolbox for watershed managers, scientists, and engineers*. Washington, DC: Lewis Publishers, 2002. 929p.

CAMPBELL, N. et al. *Diffuse pollution: an introduction to the problems and solutions*. London: IWA Publishing, 2004.

CUDE C.G. Oregon water quality index: a tool for evaluating water quality management effectiveness. *Journal of the American Water Resources Association (JAWRA)*, v. 37, n.1, p.125-137, 2001.

DA SILVA, G.S.; JARDIM, W.F. Um novo índice de qualidade das águas para proteção da vida. *Quim. Nova*, v. 29, n. 4, p. 689-694, 2006.

FRANCE. Ministère de l'Urbanisme, du Logement et des Transports (MULT). *Méthode estatistique*. Lyon: Délégation aux techniques de l'Aménagement – Service Technique de l'Urbanisme, 1986.

HUNTER CENTRAL COAST REGIONAL ENVIRONMENTAL MANAGEMENT STRATEGY (HCCREMS). *Urban Water*. Managing the urban watercycle: tools e resource: Catchment Pollution Calculators. Urbanwater.info is a project of the or. This is a program of the Hunter and Central Coast Councils, in NSW, Australia, 2008.

LEE, H. et al. Design of stormwater monitoring programs. *Water Research*, v. 41, p. 4186-4196, 2007.

PREFEITURA MUNICIPAL DE 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.

SEIDL, M. et al. Instream treatment facility for creek revitalization, Belo Horizonte (Brazil) – setup and pollutant load. In: *11th INTERNATIONAL CONFERENCE ON URBAN DRAINAGE (ICUD)*, Edinburgh, Scotland, UK, 2008. Organised by University of Sheffield, University of Abertay Dundee, Heriot Watt University and University of Exeter (www.icud.org), 2008a.

\_\_\_\_\_. Setup of an in stream treatment facility for urban creek revitalization, Belo Horizonte (Brazil). In: SWITCH 2nd SCIENTIFIC MEETING, Belo Horizonte, MG, Brasil, November, 2008b.

\_\_\_\_\_. Integrated quality indicators for urban water management – example of Belo Horizonte. In: XXXI CONGRESO INTERAMERICANO DE INGENIERÍA SANITARIA Y AMBIENTAL (AIDIS), Santiago, Chile, 12-15 Octubre de 2008. Organised by Asociación Interamericana de Ingeniería Sanitaria y Ambiental Chile – (www.aidis.cl), 2008c.

TUCCI, C.E.M.; PORTO, R.L.L.; BARROS, M.T. *Drenagem urbana*. Porto Alegre: UFRGS/ABRH, 1995. 428p.

URBONAS, B.; STAHERE P. *Stormwater – best management, practices and detention for water quality, drainage, and CSO management*. Englewood Cliffs: Prentice Hall, 1993, 449p.

VIEIRA, P.C. et al. Avaliação da carga poluente difusa em uma microbacia na área urbana de Belo Horizonte – MG, Brasil. In: XXXI CONGRESO INTERAMERICANO DE INGENIERÍA SANITARIA Y AMBIENTAL (AIDIS), Santiago, Chile, 12-15 Octubre de 2008. Organised by Asociación Interamericana de Ingeniería Sanitaria y Ambiental Chile – (www.aidis.cl), 2008a.

\_\_\_\_\_. Caracterização da qualidade das águas em microbacias urbanizadas (Belo Horizonte – MG). In: XXIII SIMPÓSIO LUSO-BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL (SILUBESA), Belém, Pará, Brasil, 10-14 março de 2008. *Apresentação Oral no XXIII Simpósio Luso-Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental*. Belém, Pará, 2008b.

VON SPERLING, M. Quality standards for water bodies in Brazil. In: 11TH INTERNATIONAL CONFERENCE SO DIFFUSE POLLUTION/1ST JOINT MEETING OF THE IWA DIFFUSE POLLUTION AND URBAN DRAINAGE SPECIALIST GROUPS, Belo Horizonte, 2007.

\_\_\_\_\_. *Princípios do tratamento biológico de águas residuárias*. Vol 1. Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos 3.ed. Belo Horizonte: UFMG/DESA, 2005. 452p.



# 4

## MANEJO DE ÁGUAS PLUVIAIS URBANAS

Manejo de Águas Pluviais Urbanas

Coordenador Antônio Marozzi Righetto