

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO DO SUL  
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLOGIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM TECNOLOGIAS AMBIENTAIS

JHONATAN BARBOSA DA SILVA

QUALIDADE DA DRENAGEM PLUVIAL URBANA DA BACIA  
DO CÓRREGO CABAÇA

CAMPO GRANDE  
2010

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO DO SUL  
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLOGIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM TECNOLOGIAS AMBIENTAIS

**JHONATAN BARBOSA DA SILVA**

**QUALIDADE DA DRENAGEM PLUVIAL URBANA DA  
BACIA DO CÓRREGO CABAÇA**

Dissertação apresentada para obtenção do grau de Mestre no Programa de Pós-Graduação em Tecnologias Ambientais da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, na área de concentração em Saneamento Ambiental e Recursos Hídricos.

**ORIENTADOR: Prof. Dr. Carlos Nobuyoshi Ide**

Aprovada em:

**Banca Examinadora:**

Prof. Dr. Carlos Nobuyoshi Ide  
Universidade Federal de Mato Grosso do Sul

Prof. Dra. Maria Lúcia Ribeiro  
UFMS

Prof. Dr. Luiz Fernando de Abreu Cybis  
IPH - UFRS

Campo Grande, MS  
2010

Ficha catalográfica preparada pela  
COORDENADORIA DA BIBLIOTECA CENTRAL/UFMS

Silva, Jhonatan Barbosa da  
R461a Qualidade da drenagem pluvial urbana da Bacia do Córrego  
Cabaça / Jhonatan Barbosa da Silva – Campo Grande, 2010  
  
Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Mato Grosso  
do Sul, 2010.  
Orientador: Prof. Dr. Carlos Nobuyoshi Ide  
  
1. escoamento superficial 2. carga difusa 3. recursos hídricos

## DEDICATÓRIA

*Dedico este trabalho a todos aqueles que me acompanham em minha trajetória acadêmica e em especial à minha mãe por fornecer uma base sólida e os valores da vida .*

## **AGRADECIMENTOS**

Ao Professor Carlos Nobuyoshi Ide, pela amizade, apoio, confiança, paciência, oportunidade, estímulo, interesse, comprometimento, credibilidade e pela orientação prestada nesta pesquisa.

À Professora Maria Lúcia Ribeiro pela amizade, apoio e incentivo.

Aos Professores Jorge Luiz Steffen e Mauro Polizer pelas sugestões apresentadas.

Ao amigo Fernando Sanches Guedes pelo empréstimo das caixas de coletas e pelo apoio e amizade.

Aos meus amigos Anderson Teodoro, Daniel Okamoto e Paulo Chuck pela colaboração e companheirismo nas coletas de campo.

Ao meu amigo Marcelo Campos pela amizade e companheirismo de sempre, desde a época em que comecei como estagiário no LAQUA.

Aos técnicos e amigos inesquecíveis do LAQUA, José Luiz, Cristina, Maria, Eliane, pela ajuda prestada no laboratório.

Aos amigos de mestrado Narumi, Paulo Nemo, Hugo, Liliane, Josué, Ariel, Luciene, Thainá, Dulce e Paulo Tarso.

À minha namorada Patrícia por toda sua compreensão, apoio e carinho nos momentos difíceis.

Às Águas Guariroba por ter cedido à imagem de satélite Ikonos 2006.

À Fundação de Apoio ao Desenvolvimento do Ensino, Ciência e Tecnologia - FUNDECT, por ter financiado esta ação de pesquisa e pela bolsa de estudo concedida.

## EPÍGRAFE

*"Ao homem pertencem os planos do coração, mas do SENHOR vem à resposta da língua. Todos os caminhos do homem lhe parecem puros, mas o SENHOR avalia o espírito. Consagre ao SENHOR tudo o que você faz, e os seus planos serão bem-sucedidos."*

*Provérbios 16:1-3.*

## SUMÁRIO

<b>DEDICATÓRIA .....</b>	<b>ii</b>
<b>AGRADECIMENTOS .....</b>	<b>iii</b>
<b>EPÍGRAFE .....</b>	<b>iv</b>
<b>SUMÁRIO .....</b>	<b>v</b>
<b>LISTA DE FIGURAS.....</b>	<b>viii</b>
<b>LISTA DE TABELAS .....</b>	<b>ix</b>
<b>LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS .....</b>	<b>x</b>
<b>RESUMO.....</b>	<b>xi</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>xii</b>
<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>1</b>
<b>2. OBJETIVOS .....</b>	<b>3</b>
2.1 Geral .....	3
2.2 Específicos.....	3
<b>3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>4</b>
3.1 Ciclo da água .....	4
3.2 Ciclo urbano da água .....	5
3.3 Estudo realizado na Bacia do Córrego Cabaça.....	6
3.4 Fontes de Poluição.....	7
3.4.1 Fontes de poluição não pontuais.....	8
3.4.2 Fatores que influenciam a produção e distribuição de cargas difusas.....	11
3.4.2.1 Características da precipitação e dias antecedentes de estiagem.....	12
3.4.2.2 Condições Geográficas .....	13
3.4.2.3 Natureza ou Tipo de vegetação .....	13
3.4.2.4 Tipo de uso e ocupação do solo.....	13
3.4.2.5 Porcentagem de área impermeável .....	15
3.4.2.6 Condições da superfície da rua e Tráfego Diário .....	15
3.4.2.7 Frequência de varrição de ruas e coleta de lixo.....	16
3.4.2.8 Características gerais da poluição do ar .....	17
3.5 Qualidade da drenagem pluvial .....	18
3.6 Controle de poluição do escoamento pluvial urbano .....	19
3.7 Histórico das cargas difusas e legislações pertinentes.....	21

3.8 Estudos realizados .....	24
3.9 Discussão a respeito de cargas difusas .....	28
3.10 Relações de Fluxo, Concentração e Cargas dos Poluentes.....	29
3.10.1 Concentração e Polutograma .....	29
3.10.2 Concentração média do evento – event mean concentration.....	31
3.10.3 Efeito de primeira lavagem – <i>first flush</i> .....	34
3.10.4 Efeito de segunda lavagem – <i>second flush</i> .....	40
3.10.5 Amostragem da drenagem pluvial.....	41
3.10.6 Índice de Qualidade da Água modificado pela CETESB (IQA <sub>CETESB</sub> ).....	43
3.10.7 Índice de Qualidade da Água de Smith (IQA <sub>SMITH</sub> ) .....	45
<b>4. MATERIAIS E MÉTODOS .....</b>	<b>47</b>
4.1 Área de estudo .....	47
4.1.1 Bacia do Córrego Cabaça .....	50
4.1.2 Classificação do uso e ocupação do solo da bacia do Córrego Cabaça.....	52
4.2 Seção de monitoramento .....	53
4.3 Determinação do deflúvio da drenagem pluvial.....	56
4.4 Medição da altura fluviométrica.....	58
4.5 Medição da altura pluviométrica .....	59
4.6 Coleta de amostras de qualidade de água .....	60
4.6.1 Parâmetros de qualidade de água.....	60
4.6.2 Previsão da precipitação .....	62
4.6.3 Amostragem da drenagem pluvial.....	63
4.6.4 Determinação dos espaçamentos temporais de amostragem.....	63
<b>5. RESULTADOS E DISCUSSÕES .....</b>	<b>65</b>
5.1 Considerações gerais .....	65
5.2 DAE – Dias Antecedentes de Estiagem .....	66
5.3 Qualidade da água da drenagem pluvial.....	67
5.3.1. Correlação entre parâmetros.....	70
5.3.2 Qualidade do escoamento de base .....	70
5.3.3 Aspectos físicos .....	73
5.3.4 Poluentes inorgânicos e orgânicos.....	77
5.3.5 Nutrientes .....	79
5.3.6 Metais .....	80



5.3.7 Coliformes totais e <i>Escherichia coli</i> .....	81
5.3.8 Transporte de Massa e Volume .....	81
5.3.9 Concentração Média dos Eventos .....	84
5.3.10 Comparação dos resultados com a Resolução Conama N°357/2005 .....	86
5.3.11 IQA <sub>CETESB</sub> e o regime de vazões.....	88
5.3.12 Variação temporal do IQA <sub>CETESB</sub> e IQA <sub>SMITH</sub> .....	89
5.3.13 Efeito <i>first flush</i> .....	92
5.3.14 Efeito <i>second flush</i> .....	95
<b>6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES .....</b>	<b>96</b>
6.1 Conclusões.....	96
6.2 Recomendações .....	99
<b>7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>102</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>110</b>

## LISTA DE FIGURAS

Figura 3.1 – Ciclo Urbano da Água.....	5
Figura 3.2 – Percentual das áreas das classes CORINE de nível 3 encontrado na bacia do Córrego Cabaça .....	7
Figura 3.3 – Mudança no regime hídrico de uma bacia por alteração no uso do solo .....	14
Figura 3.4 – Polutograma geral .....	31
Figura 3.5 – Variação das CME's por evento .....	34
Figura 3.6 – Funções de concentração $C(t)$ , descarga $L(t)$ , massa $m(t)$ , volume $v(t)$ e vazão $Q(t)$ , geradas em um evento.....	38
Figura 3.7 – Padrões de primeira lavagem para materiais particulados e dissolvidos .....	39
Figura 3.8 – Desenho ilustrativo do Amostrador de Nível Ascendente e Descendente, frente-verso, instalado na seção de amostragem da Bacia Hidrográfica Cancela.....	43
Figura 3.9 – Curvas Médias de Variação de Qualidade das Águas.....	46
Figura 4.1 – Precipitação e temperatura média mensal em Campo Grande-MS.....	48
Figura 4.2 – Localização da bacia do Córrego Cabaça .....	49
Figura 4.3 – Posição da bacia do Córrego Cabaça, em azul, em relação às regiões urbanas de Campo Grande, sobre uma imagem Landsat 7 ETM+ (Engesat, 2001), banda Pan .....	50
Figura 4.4 – Lançamento clandestino de esgoto no Córrego Cabaça.....	51
Figura 4.5 – Delimitação da bacia do Córrego Cabaça .....	53
Figura 4.6 – Seção de estudo avaliada – calibração de curva-chave.....	54
Figura 4.7 – Seção de estudo avaliada – inserção de calha medidora de vazão.....	55
Figura 4.8 – Seção de Monitoramento em Bueiro Duplo Celular .....	55
Figura 4.9 – Medição da declividade do canal com nível a laser .....	58
Figura 4.10 – Pluviógrafo <i>datalogger Squitter S1610</i> .....	59
Figura 4.11 – Posição do Pluviógrafo em relação à área de drenagem .....	59
Figura 4.12 – Frascos de coleta de evento amostrado .....	60
Figura 4.13 – Meteograma utilizado para previsão de precipitações .....	62
Figura 5.1 – Empreiteira trabalhando em obra .....	74
Figura 5.2 – Manilhas de concreto na entrada do canal .....	75
Figura 5.3 – Grelha obstruída acumulando grande quantidade de sedimentos .....	76
Figura 5.4 – Polutograma dos sólidos transportados no evento .....	77
Figura 5.5 – Gráfico $IQA_{CETESB}$ e regime de vazões .....	89

## LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1 – Principais fontes de poluentes normalmente encontrados no escoamento pluvial .....	11
Tabela 3.2 – Classificação das águas doces, conforme Resolução CONAMA N° 357/05.....	22
Tabela 3.3 – Limites de concentração das classes estabelecidas no enquadramento da Resolução CONAMA N°357/05 .....	23
Tabela 4.1 – Classe de cobertura do solo da bacia do Córrego Cabaça .....	53
Tabela 4.2 – Lista de parâmetros físicos, químicos e bacteriológicos .....	61
Tabela 5.1 – Data/hora da coleta das amostras.....	66
Tabela 5.2 – Características dos eventos chuvosos observados .....	67
Tabela 5.3 – Concentrações dos parâmetros na drenagem pluvial nos seis eventos no Córrego Cabaça .....	68
Tabela 5.4 – Resultados da análise de regressão e correlação.....	70
Tabela 5.5 – Concentrações dos parâmetros do escoamento de base (amostras 01).....	71
Tabela 5.6 – Relação entre as concentrações médias da amostra de base após a drenagem e as concentrações médias da amostra 01 .....	72
Tabela 5.7 – Perda de nutrientes na drenagem pluvial.....	80
Tabela 5.8 – Massa transportada nos eventos de drenagem .....	82
Tabela 5.9 – Resultados da determinação do número de amostragem por evento (n) .....	85
Tabela 5.10 – CMEs dos eventos amostrados .....	85
Tabela 5.11 – IQA <sub>CETESB</sub> e IQA <sub>SMITH</sub> das amostras dos eventos observados.....	90

## LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ANA	Agência Nacional de Águas
ANA	Amostrador de Nível Ascendente
AND	Amostrador de Nível Descendente
BMP	<i>Best Management Practices</i>
CME	Concentração Média do Evento
CMPE	Concentração Média Parcial do Evento
CORINE	Coordination of Information on the Environment
CPTEC	Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos
DAE	Dias antecedentes de estiagem
EUA	Estados Unidos da América
HPA	Hidrocarbonetos Policíclicos Aromáticos
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IME	Índice Médio do Evento
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
IPTU	Imposto Predial e Territorial Urbano
IQA <sub>CETESB</sub>	Índice de Qualidade Modificado pela CETESB
IQA <sub>SMITH</sub>	Índice de Qualidade de Água de Smith
PVC	Policloreto de Vinila
SNIS	Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento
USEPA	<i>United States Environmental Protection Agency</i>
USLE	<i>Universal Soil Loss Equation</i>

## RESUMO

SILVA, J. B. (2010). *Qualidade da drenagem pluvial urbana da Bacia do Córrego Cabaça. Campo Grande, 2010. 158p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Brasil.*

As redes de drenagem urbana constituem uma das principais fontes de degradação dos recursos hídricos, através do transporte de cargas poluentes. O objetivo deste trabalho foi analisar a carga difusa gerada na bacia do Córrego Cabaça, no município de Campo Grande-MS. Esta bacia vem sofrendo consideráveis transformações oriundas dos usos, ocupações e obras de urbanização e revitalização, ocasionando perdas e carreamentos desequilibrados de sedimentos e nutrientes em eventos de escoamento pluvial. Foram observados e amostrados seis eventos de drenagem pluvial, possibilitando as seguintes conclusões: o evento chuvoso é principal agente natural, causador das variações das concentrações de poluentes, diante do uso e ocupação do solo; a poluição é de natureza passageira no tempo e difusa espacialmente; em pequenas bacias urbanas há maior possibilidade de adiantamento de polutogramas para vários poluentes, indicando a ocorrência de *first flush*; os parâmetros que mais afetaram a qualidade da água, durante os eventos, foram (i) *Escherichia coli* e (ii) DBO<sub>5</sub>, apontando qualidade péssima, segundo IQA<sub>SMITH</sub>. É proposto um índice que representa o evento de drenagem denominado por Índice Médio do Evento-IME, definindo um estado de qualidade da água do evento. Verificou-se no maior evento de precipitação, que foram transportados 1.306,91 kg de nitrogênio total, 53,15 kg de fósforo e 135 toneladas de sólidos totais, caracterizando altos índices de poluentes veiculados pelas redes de drenagem urbana. Nesse mesmo evento foram observados as alterações dos índices de qualidade da água, através do IQA<sub>CETESB</sub> e o IME, apresentando qualidade de aceitável a ruim.

Palavras-Chave: escoamento superficial, carga difusa, recursos hídricos

## ABSTRACT

SILVA, J. B. (2010). *Quality of urban runoff water in the Cabaça Stream basin. Campo Grande, 2010. 158p. Masters Thesis - Federal University of Mato Grosso do Sul, Brazil (in Portuguese).*

Urban drainage networks are the main source of water resource degradation, through transport of pollutant loads. The aim of this study was to analyze the diffuse loads generated in the Cabaça Stream basin, located in Campo Grande-MS. This basin is suffering considerable transformation in land use and occupation, involving urbanization and revitalization, causing erosion and enhanced sediment and nutrient transport in storm water runoff events. This study sampled six runoff events, and the following conclusions were drawn: rains are the predominant natural factor in the variation in pollutant concentrations, arising from soil use and occupation; the pollution is ephemeral in time and diffuse in space; in small urban basins, there is a high potential for constructing pollutographs for several pollutants, indicating the occurrence of *first flush*; the water quality parameters that were most affected during the events were (i) *Escherichia coli* and (ii) BOD<sub>5</sub>, indicating low quality, according to the IQA<sub>SMITH</sub>. An index, the Mean Event Index – MEI, is proposed which represents the drainage event, defining a state of water quality of the event. During the largest rainfall event, 1,306.91 kg of total nitrogen, 53.15 kg of phosphorus and 135 tons of total solids were transported, representing high levels of pollutants conveyed by the urban drainage network. In the same event, changes in the values of the IQA<sub>CETESB</sub> and MEI were recorded, presenting a range acceptable to poor quality.

Key-words: runoff, diffuse load, water resources

# 1. INTRODUÇÃO

O intenso e desordenado processo de urbanização, juntamente com o crescimento industrial, tem causado relevantes transformações no meio ambiente, alterando as condições de vida da população e afetando a qualidade do escoamento superficial urbano e, conseqüentemente dos recursos hídricos.

A migração da população rural para áreas urbanas é uma das causas do grande processo de urbanização, onde parte desta população habita locais de baixa renda sem condições apropriadas de saneamento básico. Nos países em desenvolvimento este crescimento urbano leva ao surgimento dos grandes centros urbanos, que são os locais de maiores problemas relacionados à poluição difusa (Novotny, 1999; Tucci, 2008).

O custo da obtenção da água, principalmente visando o consumo humano, é alto e tem progressão ascendente. Por exemplo, em metrópoles como São Paulo, ocorre a escassez paradoxal, decorrente da poluição incontrolável dos mananciais próximos. Elenca-se dentro deste contexto a degradação dos corpos d'água por substâncias tóxicas por natureza e/ou pelas concentrações inadequadas em que são introduzidas ao meio, provocando efeitos crônicos e até letais para a biota, prejudicando os vários usos da água (Parker *et al.* 2010).

O crescimento das cidades altera dramaticamente o ciclo hidrológico das áreas urbanas, principalmente o escoamento superficial e aumenta a exportação de sedimentos e poluentes para os corpos d'água (Wong, 2006).

Há tempos que muito dinheiro e tecnologia estão sendo empregados no controle de cargas pontuais de poluição. Apesar deste esforço, ainda são muitos os córregos que sofrem com a poluição. O principal motivo é o escoamento pluvial urbano, que é caracterizado por uma qualidade similar ao do esgoto de origem doméstica, tanto em termos de concentração de poluentes e de massa (Ide, 1984; Elliot & Trowsdale, 2007).

A investigação sobre a poluição gerada pelos eventos de escoamento pluvial em áreas urbanas possui uma longa história em vários países do mundo. Nos Estados Unidos, os relatos remontam de meados da década de 1960, quando as agências governamentais começaram a controlar picos de vazão e, também, identificar se as cargas associadas às descargas ou vazões de cheias urbanas representavam grandes fontes de poluição para os corpos hídricos.

Algumas cidades nos EUA e outros países desenvolvidos, que obtiveram êxito na coleta e tratamento das águas residuais, segundo novos levantamentos, têm mostrado que as

fontes de poluição difusa passaram a ser as maiores causadoras de degradação da qualidade das águas superficiais.

Então, se pode inferir que países em desenvolvimento, como o Brasil, estão muitos anos aquém nesta questão de gerir suas águas considerando um contexto global das fontes de poluição que os recursos hídricos estão susceptíveis.

A poluição pelo escoamento superficial tem origem no ciclo hidrológico, uma vez que os eventos de precipitação promovem a lavagem dos poluentes atmosféricos, e o escoamento superficial gerado será o responsável pelo transporte dos poluentes dispostos sobre as superfícies. As precipitações arrastam consigo poluentes do ar, de superfícies edificadas e de outras superfícies como ruas, calçadas, passeios públicos, ciclovias, estradas, telhados, quadras esportivas, estabelecimentos e jardins.

O estudo pela qualidade da água de escoamento superficial avalia uma situação crítica da água, diante dos efeitos existentes, sejam antrópicos ou naturais, na bacia hidrográfica, enfocando a água desde suas primeiras formações.

O presente trabalho é pertinente à gestão dos recursos hídricos se apresentando de forma relevante também para a inclusão do assunto nos planos diretores de drenagem urbana. No Brasil, os órgãos ambientais exigem no processo de licenciamento ambiental, o tratamento dos efluentes, seja industrial ou doméstico. Portanto, o país busca uma solução para as cargas pontuais de poluição, estando distante da problemática das cargas difusas, fazendo com que os corpos d' água estejam submetidos muitas vezes a toneladas de poluentes ao longo do ano.

Apresentado de um modo simples tal estudo se mostra da seguinte maneira: Quando uma bacia hidrográfica toma banho, qual é a carga poluidora produzida?

Neste trabalho buscou-se analisar e quantificar a carga de poluentes que passa por uma seção de estudo em eventos chuvosos, haja visto que esta é de natureza efêmera espacial e temporal, podendo ocasionar efeitos deletérios crônicos e/ou agudos para o corpo d'água.



## 2. OBJETIVOS

### 2.1 GERAL

Este estudo visa avaliar a qualidade da água de escoamento pluvial urbano, em uma seção de monitoramento, da bacia do Córrego Cabaça localizada na zona urbana da cidade de Campo Grande – MS.

### 2.2 ESPECÍFICOS

- Interpretar os resultados qualitativos e quantitativos focalizando o uso e ocupação do solo, para possível localização de áreas de influência de carga difusas;
- Instalar posto de monitoramento fluviométrico e pluviométrico;
- Utilizar hidrogramas como base temporal para amostragens de água gerando discussões e conclusões a cerca das relações “qualidade da água” e “vazão” e “cota linimétrica”;
- Aplicar a teoria da concentração média do evento (CME – Event Mean Concentration);
- Aplicar a teoria das equações de transporte de massa e volume durante a drenagem pluvial, e procurar detectar o efeito de primeira lavagem – *first flush*;
- Classificar a qualidade da água segundo a Resolução CONAMA Nº 357/05;
- Aplicar e observar o  $IQA_{CETESB}$  e  $IQA_{SMITH}$ , quanto a sua variabilidade temporal em eventos de drenagem urbana;
- Apresentar informações que possam subsidiar posteriores estudos.

### 3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O termo "água" refere-se, de maneira geral, ao elemento natural não vinculado a qualquer uso ou utilização. O termo "recurso hídrico" está ligado à água como bem econômico passível de utilização com tal fim. Entretanto, deve-se ressaltar que toda a água da Terra não é necessariamente um recurso hídrico, na medida em que seu uso ou utilização nem sempre tem viabilidade econômica (Rebouças, 1999).

Relevando a importante e crescente influência dos fatores antrópicos na qualidade das águas (formas de uso, ocupação, e manejo do meio físico), torna-se evidente, com crescente frequência, distinguir as suas características naturais daquelas alteradas pela intervenção do homem (Rebouças, 1999). Entretanto, é pertinente considerar que o estudo da qualidade da água de escoamento pluvial é importante ferramenta para a gestão integrada de bacias hidrográficas, visto que a qualidade desta água é o resumo das ações morfológicas provenientes do homem.

A água doce, não disponível em quantidade suficiente para a atual demanda populacional devido à distribuição não uniforme, está em decadência e nas próximas décadas a situação mundial será emergencial. Diante da permanência da gestão dos recursos hídricos que a Terra se encontra, a água será o foco principal de mudanças econômicas, políticas e culturais das nações (Tucci, 2008).

#### 3.1 Ciclo da Água

O planeta Terra possui aproximadamente 70% de sua superfície coberta por água, sendo a maior parte, 97% água salgada e apenas 3% é água doce (Pinto, 1995). A quantidade de água existente no planeta é limitada, acredita-se ser praticamente a mesma de há três bilhões de anos, isto porque o ciclo da água se sucede infinitamente. O suprimento de água do planeta é obtido através da precipitação resultante da evaporação da água dos oceanos. Tal processo envolve a transferência de água do mar para a Terra e o retorno desta ao mar, caracterizando assim, o ciclo hidrológico ou ciclo da água.

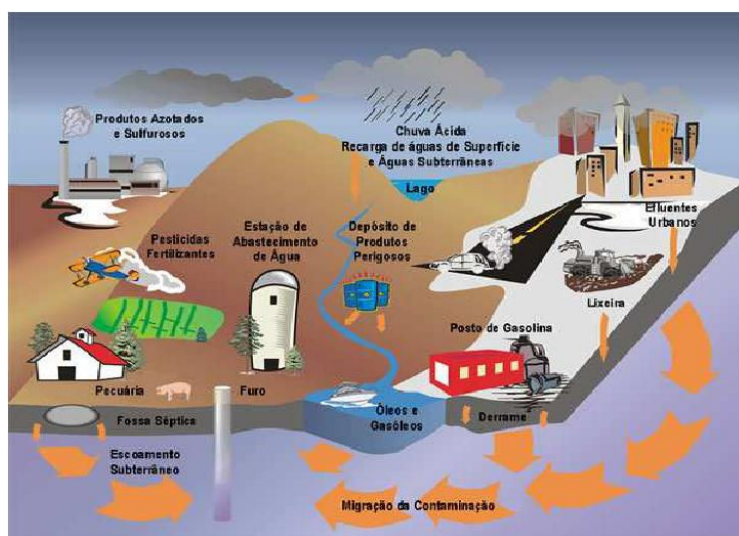
Por sua vez, o ciclo hidrológico envolve fatores climáticos, geográficos e biológicos. As águas evaporam dos oceanos e da superfície do planeta para atmosfera, onde se condensam até precipitar sobre a Terra. Para então, através da infiltração no solo, recarregar as águas subterrâneas e, assim, retornar aos oceanos. O ciclo hidrológico envolve processos

complexos de evaporação, precipitação, transpiração, interceptação, infiltração, percolação, armazenagem e escoamento (Chow,1964).

### 3.2 Ciclo Urbano da Água

O ciclo hidrológico sofre a interferência de diversos fatores seja de origem natural ou antrópica. Com referência aos fatores naturais, destacam-se as variações climáticas, quanto aos antrópicos, destacam-se aqueles relacionados aos processos de urbanização e infraestrutura urbana, entre outros. Desta forma, em meios urbanizados, a água caracteriza-se através dos seus múltiplos usos, dentre os quais estão os usos domésticos, a irrigação, o uso industrial, a produção de energia, atividades relacionadas à pesca e aquicultura, a diluição de efluentes, a navegação, a recreação, entre outros (Mitchell *et al.* 2001).

Por outro lado, observa-se que a interferência das ações humanas, através dos usos múltiplos da água, constitui um subsistema denominado ciclo urbano da água. Tal ciclo tem início através da extração de água dos rios e aquíferos, a qual após tratamento é distribuída à população. Esta água é então utilizada para transporte de resíduos através da rede de esgoto sanitário e conduzida às estações de tratamento de esgoto, as quais fazem o lançamento do efluente nas águas receptoras, tais como rios, lagos e oceanos. Complementando o ciclo, ocorre a captação das águas pluviais urbanas, as quais são recolhidas pelo sistema de drenagem e conduzidas para o escoamento em corpos d'água receptores (Coombes & Kucsera, 1999). Na Figura 3.1 estão representadas algumas das interferências humanas caracterizando o ciclo urbano da água.



**Figura 3.1: Ciclo Urbano da Água**  
Fonte: ANA (2009)

Ressalta-se o desenvolvimento de técnicas no sentido de promover a melhoria da relação entre o consumo de água e a produção de águas residuais. Os sistemas públicos de abastecimento de água compreendem as fases de captação, tratamento e distribuição de água e, apresentam como principais fontes de abastecimento os mananciais. Entretanto existem ainda as fontes naturais como as nascentes, os poços artesianos, torneiras comunitárias, caminhões pipa, entre outros. No Brasil, segundo o Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS), o abastecimento por água potável atende 96% da população urbana (SNIS, 2010).

Por sua vez, os sistemas públicos de esgotamento sanitário fundamentam-se no conceito de que devem se afastados rapidamente e descartados consumindo, assim grandes volumes de água. Quanto aos sistemas de drenagem pluvial urbana ainda estão fundamentados nos princípios higienistas do século XIX, cujo objetivo principal se constituía no rápido escoamento das águas pluviais. Cabe ressaltar que um sistema de drenagem pluvial urbana deve considerar além dos aspectos técnicos, o ecossistema local, os fatores climáticos, a organização social e cultural, a estrutura geográfica, os fatores econômicos e ainda as possibilidades futuras. Destaca-se ainda que, à medida que aumenta o grau de impermeabilização do solo nas áreas urbanas, intensifica-se o escoamento superficial, o qual, associado ou não à ocupação de áreas ribeirinhas contribui para a ocorrência das enchentes (Tucci, 2008).

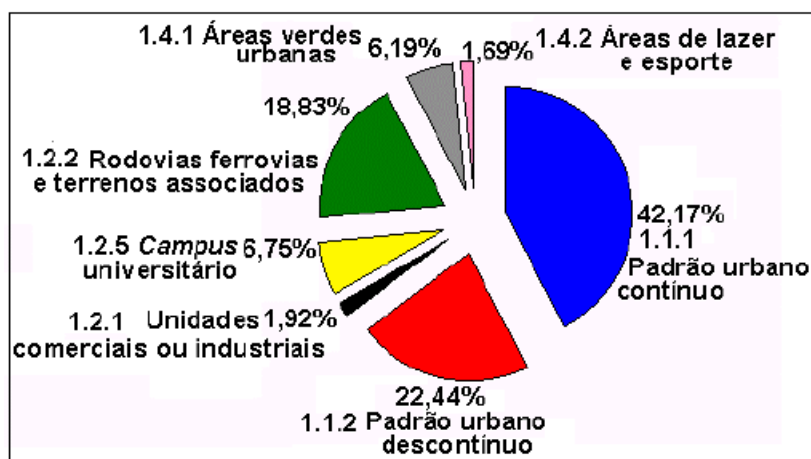
A sustentabilidade hídrica de uma bacia hidrográfica envolve os aspectos naturais característicos de cada região e fatores antrópicos como a urbanização, poluição ambiental e as técnicas de gerenciamento das águas pluviais urbanas (Jasrotia, Majhi, Singh, 2009).

### **3.3 Estudo realizado na bacia do Córrego Cabaça**

Lajo (2003) realizou estudo com ênfase ambiental na bacia do Córrego Cabaça, onde foi feita a aplicação das cartas de coberturas de 1983 e 1999, para determinação de coeficientes utilizados em métodos de estimativa de vazões, com a finalidade de avaliar os impactos da urbanização no regime de escoamento superficial, sendo aplicados o método racional e o hidrograma unitário de Snyder. O autor também aplicou a legenda CORINE (Coordination of Information on the Environment), mostrando que, utilizando cartas de cobertura do local na escala 1:10.000, era possível determinar os coeficientes, calcular as vazões e traçar os hidrogramas para a demonstração das alterações ocorridas no escoamento

superficial da bacia do Córrego Cabaça entre os anos de 1983 e 1999. Neste estudo foi aplicado o método racional na carta de 1983 e encontrado um valor de tempo de concentração de 72,9 min e vazão de 21,25 m<sup>3</sup>/s. Para a carta de 1999, foram obtidos os valores de 62,87 minutos e 31,4 m<sup>3</sup>/s.

Pelo fato de tratar-se de uma bacia de drenagem urbana, toda a sua cobertura se enquadrava na classe 1 do CORINE, que caracteriza as superfícies artificiais. A figura 3.2, mostra as percentagens de áreas dentro de uma classificação do CORINE nível 3, que mostra claramente que a maior parte da superfície (52%) da área de estudo, encontra-se na classe 1.1.1.1, padrão urbano contínuo.



**Figura 3.2: Percentual das áreas das classes CORINE de nível 3 encontrado na bacia do Córrego Cabaça.**

Fonte: Lajo (2003).

### 3.4 Fontes de poluição

A poluição das águas decorre da adição de substâncias ou de formas de energia que, diretamente ou indiretamente, alterem as características físicas e químicas do corpo d'água, de uma maneira tal, que prejudique a utilização das suas águas para usos múltiplos e benéficos. Torna-se importante ressaltar a existência de duas formas distintas, pelas quais as águas poluídas atingem um determinado corpo receptor: (a) fontes pontuais e (b) fontes não-pontuais ou fontes difusas (Choe *et al.* 2002).

A primeira, denominada **fonte ou poluição pontual**, refere-se, como o próprio nome esclarece, à poluição decorrente de ações modificadoras localizadas. É o caso, por exemplo,

da desembocadura de um rio, de efluentes de uma estação de tratamento de esgotos domésticos ou industriais, ou mesmo, de um emissário submarino.

A segunda, denominada **poluição difusa**, se dá pela ação das águas da chuva ao lavarem e transportarem a poluição nas suas diversas formas espalhadas sobre a superfície do terreno (urbano ou rural) para os corpos receptores. A poluição difusa alcança os rios, lagoas, baías, etc., distribuída ao longo das margens, não se concentrando em um único local como é o caso da poluição pontual.

A poluição gerada pelo escoamento superficial da água em zonas urbanas é de origem difusa, uma vez que provém de atividades que depositam poluentes de forma esparsa sobre a área de contribuição da bacia hidrográfica

É difícil calcular ou prever a distribuição temporal das concentrações de poluentes, isto é, o polutograma. 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.

### **3.4.1 Fontes de poluição não pontuais**

A qualidade das águas pluviais pode variar em relação ao grau de poluição do ambiente, de maneira geral os poluentes se incorporam a água de chuva durante a precipitação atmosférica (Elliott & Trowsdale, 2006).

Segundo Roesner (1974), quando as águas de chuva começam a escoar podem transportar nutrientes, herbicidas, pesticidas, bactérias e materiais erodidos. Vários destes constituintes podem vir de outras áreas, trazidas pelo vento.

O entendimento das fontes potenciais de poluentes é de fundamental importância quando se estuda os impactos do lançamento dos escoamentos. A acumulação de vários poluentes dentro da área da bacia pode ser atribuída a diversas fontes e os efeitos individuais são de difícil separação. Todavia, o conhecimento qualitativo das prováveis fontes possibilita ao investigador a se concentrar nas áreas problemáticas e avaliar dispositivos de controle que podem ser usados para desviar cargas adversas antes que elas atinjam o sistema de drenagem. As principais fontes poluidoras são (Sartor & Boyd, 1972):

- 1) Pavimentação das ruas: Os componentes oriundos da degradação da superfície de rolamento podem fazer parte da carga da escoamento superficial. O material agregado é o

maior contribuinte e quantidades adicionais provêm dos enchimentos e de qualquer substância aplicada na superfície. A quantidade de poluentes dependerá da idade e tipo de superfície, do clima e da quantidade e tipo de tráfego.

2) Motores dos Veículos: Os veículos podem contribuir com uma larga variedade de materiais no escoamento superficial. O lançamento ou derramamento de combustíveis e lubrificantes, partículas advindas dos pneus ou fluidos de freio, emissões de exaustão capturadas, produtos da corrosão e partes quebradas que despencam da lataria, tudo isso vem a compor lançamentos sobre o pavimento. Enquanto se espera que a quantidade de material depositada pelos veículos seja pequena, o potencial poluente é considerável. Os veículos são as principais fontes não pontuais de alguns metais pesados.

3) Deposição atmosférica: Os poluentes atmosféricos resultam ou de processos naturais ou de processos antropogênicos. As fontes de poluição atmosférica são entendidas como qualquer processo natural ou antropogênico que possa liberar ou emitir matéria ou energia para a atmosfera, tornando-a contaminada ou poluída. O potencial significado da deposição de poeiras ficou evidente durante um estudo conduzido na cidade de Cincinnati (Weibel *et al.* 1964). Durante o período de estudo, uma deposição seca de 567 kg/ha foi medida na estação de monitoramento e 818 kg/ha de sólidos em suspensão foram medidos no escoamento.

4) Vegetação: Folhas, grama, galhos e outros tipos de plantas que caem ou são depositados na área urbana podem ser parte do problema. As quantidades irão depender da localização geográfica, estação, práticas paisagísticas e de disposição.

5) Superfície do solo: O tipo de cobertura encontrada na bacia de drenagem e os volumes de tráfego e de pedestres são função do uso do solo e logo vão afetar a qualidade da água.

6) Lixo: O lixo domiciliar, especialmente quando não degradável, apresenta formas e volumes variáveis em sua composição. Muitas vezes, ao seguir o escoamento, colidem e aglutinam-se, formando blocos maiores e mais pesados, que tendem a se depositar no leito, agravando a propensão para o assoreamento. A combinação da presença dos sedimentos originados pela erosão do solo da bacia com o acréscimo de lixo nos escoamentos dos rios e seus afluentes, acarreta em uma grande redução da eficiência da rede de drenagem da bacia (Campos, 2000).

7) Derramamentos: Este óbvio poluente superficial pode incluir quase todas as substâncias jogadas nas ruas das cidades. Sujeira, areia, entulho e folhas são os exemplos mais comuns. Os derramamentos industriais e químicos são potencialmente os mais sérios.

8) Agroquímicos: Uma grande variedade de químicos podem ser utilizados como fertilizantes, pesticidas e herbicidas.

9) Locais de construção: A erosão do solo proveniente de áreas em construção e a produção crescente do escoamento superficial causam sérios problemas econômicos, sociais e ambientais. Esses problemas podem ser causados por atividades de desenvolvimento urbanístico como loteamentos, construções casas e prédios, grandes projetos tais como distritos industriais, centros de lazer e rodovias. Os danos causados pela erosão do terreno e sedimentação na rede de drenagem atingem seu pico durante a construção, quando a exposição do solo é máxima.

10) Sistemas coletores: Sistemas de drenagem pluvial que usam canais naturais ou canais de terra trabalhados ficarão sujeitos a erosão de suas margens. Os sistemas tendem também a acumular material depositado que será desprendido e transportado durante as enxurradas.

11) Redes de esgotos deficientes: Causam vazamentos e contaminações indesejadas sobre os demais sistemas e serviços urbanos, além da possibilidade de proliferação de doenças de veiculação hídrica durante o transbordamento sobre as margens.

Segundo Novotny (1991), são cinco as condições que caracterizam as fontes difusas de poluição:

- lançamento da carga poluidora é intermitente e está relacionado à precipitação;
- os poluentes são transportados a partir de extensas áreas;
- as cargas poluidoras não podem ser monitoradas a partir de seu ponto de origem, mesmo porque sua origem exata é impossível de ser identificada;
- o controle da poluição de origem difusa, obrigatoriamente, deve incluir ações sobre a área geradora da poluição, ao invés de incluir apenas o controle do efluente quando do lançamento;
- é difícil o estabelecimento de padrões de qualidade para o lançamento do efluente, uma vez que a carga poluidora lançada varia com a intensidade e a duração do evento meteorológico, a extensão da área de produção naquele específico evento, e outros fatores que tornam a correlação entre vazão e carga poluidora praticamente impossível de ser estabelecida.

Roesner (1974) explica, para áreas urbanas, que: “o primeiro pinga de chuva ao cair sobre a bacia urbana simplesmente umedece a superfície do solo. Quando uma chuva adicional cai, a superfície impermeável torna-se úmida o bastante que alguma água começa a formar poças, enchendo as depressões. Esta chuva inicial começa a dissolver os poluentes adsorvidos pela poeira e lixo das sarjetas, ruas e de outras superfícies impermeáveis e, finalmente, esta água começa a escoar para fora da bacia, carreando consigo os materiais nela



dissolvidos. Quando a intensidade de chuva aumenta, a velocidade do escoamento superficial torna-se suficiente para apanhar sólidos; naturalmente os sólidos suspensos são apanhados a menores velocidades do que os sólidos sedimentáveis. Estes últimos são carregados para fora da bacia de duas maneiras. Se a velocidade é suficientemente alta, os sólidos sedimentáveis podem ser suspensos no escoamento superficial. A velocidades mais baixas as partículas podem simplesmente ser roladas ao longo da superfície em direção microdrenagem” (Eckley & Branfireun, 2009).

As principais fontes de poluentes normalmente encontrados no escoamento pluvial urbano encontra-se na Tabela 3.1.

**Tabela 3.1 – Principais fontes de poluentes normalmente encontrados no escoamento pluvial.**

<b>Categoria do poluente</b>	<b>Parâmetro</b>	<b>Fontes</b>
Agentes tóxicos	Metais e produtos químicos, orgânicos, e bio-ensaios de toxidez	Automóveis, residências, indústrias químicas e oficinas
Pesticidas, inseticidas e herbicidas	Hidrocarbonetos clorados e fosforados, pesticidas	Pulverização de insetos e de ervas daninhas
Bioestimulantes	Nitrogênio e fósforo, elementos traços	Fertilizantes, lixiviação mineral, decomposição orgânica
Patogênicos	Coliformes totais, <i>E. coli</i> e <i>Streptococcus fecalis</i>	Humanos, animais e pássaros
Sólidos	Suspensos, dissolvidos ou materiais flutuantes	Erosão, resíduo de lixivia mineral e resíduos domiciliares e industriais

Fonte: Chen (1983).

### 3.4.2 Fatores que influenciam a produção e distribuição de cargas difusas

A variabilidade da qualidade da drenagem pluvial está relacionada a vários fatores. As características do hidrograma gerado por uma específica precipitação e as características da própria precipitação são fatores diretos, que alteram a qualidade da drenagem pluvial. Características do uso e ocupação do solo, fisiográficas, meteorológicas, geológicas e litológicas justificam a variação dos parâmetros de qualidade.

Os próximos itens abordam os principais fatores que influenciam a produção e distribuição de poluentes em bacias hidrográficas.

### 3.4.2.1 Características da precipitação e dias antecedentes de estiagem

A precipitação é toda água proveniente da atmosfera que encontra a superfície terrestre. Segundo Bertoni & Tucci (1997), as formas diferentes de precipitação podem ser neblina, chuva, granizo, orvalho, geada e neve sendo que, o que as diferenciam é o estado físico que a água se encontra. Porém, por sua capacidade de produzir escoamento, a chuva é o tipo de precipitação mais importante para estudos hidrológicos.

As características principais da precipitação são o seu volume total, intensidade, duração, distribuições temporal e espacial, e energia cinética. Essas características compõem parâmetros relacionados à perda de solos em modelos matemáticos, como na Universal Soil Loss Equation (USLE) e outros.

A erosividade da chuva (fator R da USLE), usualmente, é estimada pelo produto da energia cinética total pela intensidade da chuva máxima em trinta minutos (Wischmeier & Smith, 1958 *apud* Soriano *et al.* 2001). A erosividade é função exclusivamente das características físicas da própria chuva, entre as quais, sua quantidade, intensidade, diâmetro de gotas, velocidade terminal e energia cinética.

Em áreas urbanas, se a intensidade de precipitação é alta, mais energia cinética está disponível para remover os poluentes de superfícies de ruas.

Os dias antecedentes de estiagem (DAE) interferem na quantidade de carga poluidora. Logicamente, se os contaminantes são depositados uniformemente ao longo do tempo, haverá um maior depósito a ser carregado no próximo evento chuvoso (Ide, 1984).

Porém, Hunter *et al.* (1979) verificaram que o tempo decorrido desde a chuva anterior apresenta pouca influência na concentração de poluentes. Talvez fosse necessário comparar grandes chuvas de igual intensidade com diferentes períodos de tempo desde a precipitação anterior.

Brites (2005), em estudo de avaliação de carga difusa em sistema de drenagem urbana, conclui que não foi observada nenhuma correlação com os dias antecedentes de estiagem, porém, sim com a intensidade média dos eventos e com o total precipitado.

Chui (1997) realizou estudos em duas bacias urbanas em Singapura e encontrou fortes correlações entre sólidos suspensos totais, DQO e os dias antecedentes de estiagem aos eventos de drenagem pluvial monitorados.

### **3.4.2.2 Condições Geográficas**

O clima é considerado uma variável primária, distinguindo níveis, frequência e tipos de precipitação. A estação do ano desempenha um papel importante na quantidade de contaminantes presentes na superfície de ruas, como a perda de vegetação (folhas e galhos) (USEPA, 2002).

Segundo Ide (1984), os fatores fisiográficos mais importantes são a área, a forma, a permeabilidade, a capacidade de infiltração e o relevo da bacia hidrográfica.

O relevo tem grande importância sobre os fatores meteorológicos e hidrológicos, pois a velocidade do escoamento superficial é determinada pela declividade do terreno. A altitude em que se localiza a bacia atua sobre a temperatura, a precipitação, a evaporação entre outros.

### **3.4.2.3 Natureza ou Tipo de vegetação**

A natureza e o tipo de vegetação em uma área refletem-se nas fontes de resíduos vegetais e fontes de fertilizantes, herbicidas e pesticidas (USEPA, 2002).

### **3.4.2.4 Tipo de uso e ocupação do solo**

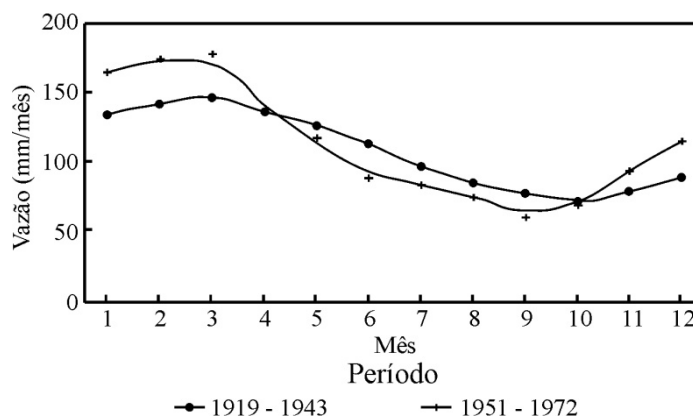
O uso do solo é uma das principais variáveis, visto que, afeta os tipos de produção de poluentes pelas atividades do homem e natureza. Por exemplo, espera-se altas concentrações de metais em poeira e lixo próximo a áreas industrializadas, metais pesados e óleos e graxas em áreas com tráfego de automóveis, nitrogênio, fósforo e potássio em áreas agrícolas, e fósforo e potássio em áreas residenciais.

Ide (1984) afirma que o uso do solo é um dos principais fatores, pelas diversas produtividades de poluentes, tanto por atividades antrópicas, como naturais.

A erosão do solo é um processo seletivo no qual as partículas finas são mais vulneráveis que as frações de solo mais grossas. A erosão, além de poluir os cursos d'água com matéria orgânica, provoca o assoreamento do seu leito e dos reservatórios neles existentes.

A urbanização altera o escoamento de rios apresentando mudanças na distribuição sazonal do regime de vazões. Em uma bacia na Indonésia (Figura 3.3), por exemplo, áreas residenciais e agrícolas que ocupam um terço da bacia produziram aumentos significantes no

escoamento superficial no período chuvoso e diminuição do deflúvio no período seco, nos anos de urbanização de 1951 a 1972 (Bruijnzeel, 1993 *apud* Critchley & Bruijnzeel, 1996).



**Figura 3.3 - Mudança no regime hídrico de uma bacia por alteração no uso do solo.**  
Fonte: Modificado de Bruijnzeel (1996).

Tal acontecimento é devido ao aumento de áreas impermeáveis, impossibilitando a infiltração e recarga do lençol freático. O aumento de vazões em estação chuvosa é devido à diminuição do tempo de concentração da bacia. As obras hidráulicas construídas na bacia são importantes, pois indicam a maior ou menor velocidade com que a água deixa a bacia (Porto, 1998).

Tendo em vista que existe diferença significativa entre as concentrações em períodos de estiagem e chuvosos, das diferentes bacias industriais, bem como nas concentrações médias dos poluentes em escoamento superficial em bacias predominantemente industriais, percebe-se que em média, as concentrações máximas na bacia residencial são duas vezes maiores que na industrial, no entanto ao se observar mais atentamente nota-se que esta diferença pode ser ainda maior, como no caso dos sólidos suspensos (SS), que chega a ser aproximadamente cinco vezes, ou três vezes como no caso do Fósforo (P). Contudo, as concentrações de Nitratos ( $\text{NO}_3^-$ ), Nitrogênio Total Kjeldahl (NTK), e  $\text{DBO}_5$  da bacia industrial sejam por volta de 1,3 vez maiores que as encontradas na bacia residencial (Lee *et al.* 2000). Isto nos permite comprovar a interferência do tipo de uso e ocupação do solo na bacia e sua densidade habitacional, no comportamento das concentrações dos poluentes durante os eventos de precipitação.

Colaborando com a constatação acima Gray *et al.* (2002) citam que as concentrações de poluentes sobre as ruas são, em média, aproximadamente, 3,7 vezes as concentrações sobre as calçadas e 19,2 vezes as dos telhados, sendo que as concentrações dos Hidrocarbonetos

Policíclicos Aromáticos (HPA) nas ruas chegam a ser 179,2 vezes maiores do que as concentrações sobre os telhados e 19,8 vezes maiores que as concentrações dos escoamentos sobre as calçadas. Diversos artigos permitem a interpretação de que há variação das características qualitativas das amostras conforme a localização da coleta e do tipo de uso e ocupação do solo (Ha & Stenstrom (2003), Choe *et al.* (2002), Kayhanian *et al.* (2008), Lee *et al.* (2002), Barco (2003)).

#### **3.4.2.5 Porcentagem de área impermeável**

Este é um dos fatores que influenciam na quantidade de poluentes carreados no escoamento superficial (USEPA, 2002). A determinação mais precisa deste tipo de área torna-se importante pois quanto maior é o seu valor, possivelmente maior será também a quantidade de carga de poluente acumulada e drenada entre eventos de precipitação.

Pesquisas indicam que a quantidade de escoamento e conseqüentemente, a carga poluidora proveniente de superfícies permeáveis de áreas urbanas é pequena quando comparada com a vinda de áreas impermeáveis.

#### **3.4.2.6 Condições da superfície da rua e Tráfego Diário**

Diferentes materiais de pavimentação dão variadas características para a superfície da rua, contribuindo a abrasão e o desgaste das ruas pelos veículos. As condições físicas das superfícies da rua são importantes e que superfícies em bom estado de conservação geralmente apresentam cargas menores de contaminante (Kayhanian *et al.* 2008).

A intensidade de tráfego e movimento de pessoas e animais podem ser uma das interpretações cabíveis que justifique a amplitude das concentrações de contaminantes do escoamento superficial. As amostras colhidas em ruas de densidade de tráfego diferentes, parecem dependentes, em termos de amplitude, da intensidade de tráfego e movimento de pessoas e animais. Outro dado fornecido que reforça a interpretação acima, é a problemática dos excrementos caninos, gatos, ratos e pássaros (Gromaire *et al.* 2000).

O tráfego de veículos é considerado uma respeitável fonte para o acúmulo de poluentes nas rodovias (Hodges, 1997). De acordo com o volume de tráfego, a reação no trânsito, as condições dos veículos e da rodovia, são produzidas ou emitidas as seguintes substâncias, em maior ou menor proporção: resíduos de desgaste da pista e do veículo;

emissões de gases carburantes; gotejamento de óleo para motores e graxas de engrenagens, combustíveis e outros fluídos especiais dos veículos motorizados; resíduos de lonas e peças metálicas para freios, e produtos de corrosão.

Em vários estudos, os óleos e graxas são os materiais orgânicos mais predominantes na água de escoamento pluvial de ruas (Vivacqua, 2005). Simultaneamente, estes poluentes e os metais pesados em geral, tem os veículos como sua principal fonte. Todos os veículos depositam óleos e graxas sobre a superfície da rua, e as quantidades depositadas variam de acordo como o tipo e o estado de conservação que se encontra o veículo. Além dos óleos e graxas provenientes de veículos, são detectados outros hidrocarbonetos no escoamento urbano por derramamento accidental ou descarga deliberada.

#### **3.4.2.7 Frequência de varrição de ruas e coleta de lixo**

Dentre os fatores associados às quantidades de poluentes presentes na superfície de ruas é a prática de varrição (Ide, 1984).

Verifica-se que as práticas correntes de limpeza de ruas na maioria das cidades é inadequada para manter a qualidade do corpo receptor. Há vários problemas associados com a varrição: interferência de carros estacionados na operação normal de varrição; não remoção de todos os sólidos (pequenas partículas) mesmo que a varrição seja realizada mais frequentemente; etc. A interferência do modo e frequência de limpeza da superfície é destacada por Gromaire *et al.* (1998) como motivo das diferenças de qualidade nas amostras colhidas nos pátios pavimentados.

Neves & Tucci (2003) ressaltam a problemática dos resíduos sólidos despejados inadequadamente na superfície, atingindo as redes de drenagem urbana, onde esses se apresentam acumulados nas vizinhanças de shopping centers, estacionamentos, saídas de *fast foods*, estações rodoviárias e ferroviárias, estradas, escolas, parques públicos e jardins, contêineres, locais de aterros e depósitos de reciclagem. Eles constituem-se principalmente de materiais manufaturados como garrafas, latas, envelopes de papel e plástico, jornais, sacolas de compras, embalagens de cigarro, mas também como partes de carros, restos de construção e colchões velhos (Armitage & Rooseboom, 2000).

A eficiência de remoção de contaminantes de superfícies de ruas com varrição convencional foi encontrado ser dependente da variação do tamanho das partículas. Verifica-se que a remoção média de poeira e areia (maiores contribuintes para a poluição da água)

através da varrição alcança uma média de 50%, enquanto que a limpeza de lixos e entulhos varia de 90 a 100%. Remoção de 70% e possivelmente de 90% de poeira e areia poderiam ser alcançados com o uso de sistemas de varrição a vácuo. Este processo é geralmente mais barato do que remover os sólidos do esgoto (Sartor, *et al.* 1978 apud Ide, 1984).

O resíduo sólido municipal é um material heterogêneo e os que aparecem em maior quantidade são: restos de alimentos; papéis; vidros; metais; plásticos e outros (madeira, couro, tecidos, etc.). As características dos resíduos sólidos além de diferir quanto ao nível sócio-econômico da população, ainda diferem entre países, cidades e até entre ruas. Além disso, suas propriedades podem variar com as estações, disponibilidade de alimentos, férias e turismo (Davis & Cornwell, 1998).

#### **3.4.2.8 Características gerais da poluição do ar**

Além dos metais pesados, a queima de gasolina e outros combustíveis fósseis, liberam componentes tais como óxidos de enxofre, vapor d'água, oxigênio, nitrogênio, monóxido de carbono, hidrocarbonetos, óxidos de nitrogênio e alguns compostos aromáticos polinucleares para o ar, se depositando de forma seca e úmida (Azimi *et al.* 2005).

Os poluentes atmosféricos tais como os hidrocarbonetos alifáticos, hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (HPAs) e metais pesados tem sido reconhecidas como ameaças potenciais para o ambiente e saúde humana.

O ambiente urbano é submetido a entradas de contaminantes antropogênicos produzidos pelas formas estacionárias (usinas, indústrias e residências) e fontes móveis (tráfego rodoviário) (Bilos *et al.* 2001).

Estes poluentes aliados a pó, areia, fibras de amianto ou poeiras metálicas podem provocar sérios danos à saúde do homem, influir nas condições meteorológicas, pois, atuam como núcleos de condensação e até formar chuvas ácida (Brodie & Rosewell, 2007).

Sobretudo nas regiões calcáreas, essas chuvas ácidas aceleram a erosão do solo. Acidificam fortemente as águas, alteram o crescimento normal das plantas, perturbam o ecossistema aquático, corroem as esculturas expostas à intempéries e agem sobre o homem (Huston *et al.* 2009).

As atividades antrópicas, tais como a incineração/queima de resíduos sólidos urbanos e combustíveis fósseis, aliados as emissões veiculares e industriais, geram deposição seca, que contém metais pesados (Sansalone & Ying, 2008). As superfícies impermeabilizadas de

transporte urbano, indicam uma fonte significativa de metais em relação à deposição atmosférica. Os metais mais frequentemente citados são Cd, Cr, Cu, Fe, Ni, Pb e Zn, o que pode afetar os corpos d'água receptores, aumentando a toxicidade na coluna de água e/ou sedimentos e a bioacumulação na cadeia alimentar (Yousef *et al.* 1987).

Estudos demonstram que os veículos tem um importante papel nas emissões de poluentes e apresentam um significativo efeito sobre a qualidade do ar e da água (Bullin & Moe, 1982; Ellis *et al.* 1987).

### **3.5 Qualidade da drenagem pluvial**

Muitos pesquisadores têm confirmado a natureza altamente poluidora da água de drenagem pluvial urbana. A grande variabilidade da qualidade da água de escoamento pluvial urbano sugere a necessidade de estudos locais bastante específicos antes de planejar um sistema de controle.

O escoamento urbano é compreendido de diferentes fases de fluxo. Pode-se incluir o escoamento de base do período de estiagem, fluxo das cheias e o extravasamento do sistema de esgoto combinado. A magnitude relativa destas vazões varia de forma considerável. A estação do ano e o uso da terra têm sido identificados como importantes fatores que afetam o escoamento de base e a qualidade da água.

A qualidade das águas do escoamento superficial urbano tende a ser extremamente variável (EPA, 1983; Ide, 1984; Driscoll *et al.* 1990). A intensidade da chuva geralmente varia de forma bastante irregular e imprevisível. Essa variação da intensidade das chuvas afeta diretamente as taxas de escoamento, as taxas de lavagem (lixiviação) dos poluentes, a erosão e suspensão de sedimentos, a forma e geometria dos canais naturais e uma série de outros fenômenos que de uma maneira complexa determinam a distribuição temporal dos poluentes e as vazões observadas.

Além disso, o escoamento pluvial pode conter quantidades significativas de substâncias tóxicas. Mesmo após investigações detalhadas, continuam a existir muitas incertezas sobre o processo de poluição gerado pelo escoamento. Estas incertezas refletem a falta de intensivas campanhas de campo, para verificação. Os processos de origem difusa são intrinsicamente difíceis e complexos de se modelar devido à natureza estocástica do fenômeno (Hongbing *et al.* 2009).



As cargas difusas são geradas de forma distribuída ao longo da superfície do solo por inúmeros agentes poluidores, que escoam aos corpos d'água, preferencialmente, em eventos chuvosos (Prime, 1998 *apud* Silva, 2003). Segundo Martins (1988) *apud* Silva (2003), as cargas difusas dependem significativamente de fatores locais, cujos efeitos nem sempre podem ser descritos por critérios racionais e gerais, que permitam ser extrapolados de uma região para outra. Exigem, entretanto, um monitoramento específico em cada área de estudo. A quantificação específica de poluentes é difícil ser feita devido à complexidade e a variabilidade da fonte difusa.

Somando-se a tudo isso, a natureza transiente e imprevisível das fontes de poluentes, seus mecanismos de lançamento e as diferenças dos intervalos de tempo entre os eventos chuvosos também contribuem para a grande variabilidade dos processos de produção e transporte de poluentes. Como resultado, a concentração de poluentes e outras características das tempestades em uma determinada localidade flutuam significativamente durante um simples evento hidrológico e de evento para evento (Lee *et al.* 2007).

### **3.6 Controle de poluição do escoamento pluvial urbano**

O controle da poluição difusa deve ser feito através de ações sobre a bacia hidrográfica, de modo a se ter redução das cargas poluidoras, antes de alcançar o corpo receptor. Este tipo de controle pode ser obtido pela adoção de um conjunto de medidas capazes de reduzir o potencial poluidor das águas de drenagem (Krajewski & Bardin, 2002). Algumas se baseiam em práticas como educação da população e cuidados gerais com a limpeza da cidade, enquanto que outras se baseiam em estruturas de controle, sendo que não há uma medida que por si só resolva todo o problema (Hsieh & Yang, 2007). Ressalta-se a integração a esse conjunto de medidas, de uma rede de monitoramento nos corpos d'água para que haja um acompanhamento e também previsão das cargas de poluentes, gerados a partir de modelagem matemática.

Através da implementação de medidas ótimas para gerenciamento (do inglês “Best Management Practices”, ou BMP), pode-se atingir as metas da qualidade da água, através das menores modificações hidrológicas estruturais (Bakri *et al.* 2008). O controle ou tratamento, ou ambos, das cargas difusas combinadas ou não com o esgoto cloacal é um problema cada vez maior no campo da qualidade da água, pois o transporte de poluentes para os corpos d'água, de sucessivos eventos de escoamento, podem chegar na ordem de várias centenas de toneladas por ano (Cameron *et al.* 1999).

Medidas não estruturais visam propor programas de prevenção e controle da emissão dos poluentes. As medidas preventivas são as mais eficientes na relação benefício/custo, diminuindo a quantidade de poluentes depositados sobre as superfícies urbanas ou diminuindo a probabilidade de poluentes entrarem em contato com o escoamento superficial (Elliott & Trowsdale, 2007). Tais medidas incluem alerta à população sobre a disposição de resíduos tóxicos, como restos de tinta, solventes, pesticidas, ou mesmo dejetos de animais. Incluem, também, programas de prevenção e controle de erosão nos locais em construção, varrição de ruas, disposição adequada de lixo e controle de pontos potencialmente poluidores, como os postos de combustível. A limpeza das cidades é muito importante, porque cidades mais sujas produzem mais cargas poluidoras do que cidades limpas. Em suma, essas medidas devem ser consistentes com as medidas estruturais propostas ou implantadas (Lee *et al.* 2007).

Medidas estruturais são aquelas construídas para reduzir o volume e/ou remover os poluentes do escoamento. Temos várias classes dessas medidas, sendo elas as que provocam (Tomaz, 2006):

- Modificações hidrológicas – Tem como objetivo controlar a poluição difusa emitida e transportada na superfície de escoamento (ex.: pavimentos permeáveis e trincheiras de infiltração);
- Controle da emissão – Esta categoria pretende atenuar os poluentes entre as áreas de origem e o meio receptor (ex.: poços de infiltração e reservatórios domiciliares).
- Tratamento – Este corresponde ao último recurso para a resolução da poluição difusa em meios urbanos. Deve ser sempre integrado num sistema global de gestão de águas pluviais que inclua todos os pontos anteriores (ex.: bacias de retenção gramadas, bacias de retenção em concreto e bacias de retenção enterradas).

Ressalta-se que o dimensionamento destas estruturas de controle para redução da carga difusa visa controlar pequenos e frequentes eventos de precipitação, correspondendo à maioria dos episódios chuvosos que lançam com frequência cargas poluidoras nos corpos receptores (Davies *et al.* 2008). Um evento com período de retorno igual a 50 anos, causa danos tão significativos aos “habitats” naturais pelos grandes volumes de escoamento, que os possíveis danos provenientes das cargas difusas são insignificantes.

Para a escolha da aplicação das melhores técnicas, para a mitigação e/ou tratamento das cargas difusas em uma dada bacia hidrográfica urbana, deve-se fazer uma análise de opinião pública, prioridades e de custo efetivo envolvendo metas, valores e avaliações do sistema físico e hidrológico. O sucesso de um programa de controle de poluição reside, dentre

outros aspectos, na coleta sistemática de dados ambientais e, também, de uma modelagem matemática consistente dos processos de geração, acumulação e transporte de poluentes (Buren *et al.* 1997).

Uma representação imprecisa das fontes de poluição não pontuais pode levar a projetos sub-dimensionados e ineficientes nas medidas mitigadoras, ou a medidas super dimensionadas com gastos financeiros e de manutenção excessivos. É importante também ter um bom entendimento da quantidade de poluentes associados a cada diferente faixa granulométrica (Feng *et al.* 2007).

### **3.7 Histórico das cargas difusas e legislações pertinentes**

A investigação sobre a poluição gerada pelo escoamento pluvial em meio urbano possui uma longa história em alguns países do mundo. Todavia, no Brasil ainda se encontra em um estágio inicial, pelo fato de estarmos no período higienista de drenagem. Nos Estados Unidos, os relatos remontam de meados da década de 1960, quando pela primeira vez agências governamentais identificaram que as cargas associadas às descargas ou vazões provenientes de cheias urbanas representavam grandes fontes de poluição dos corpos hídricos. Em 1972, nas emendas ao Ato chamado “Clean Water Act”, o Programa Nacional de Escoamentos Urbanos (no original NURP) foi estabelecido, contendo como meta principal ajudar na investigação da poluição das águas no ambiente urbano (EPA, 1983). O relatório “Inventário Nacional de Qualidade da Água” entregue em 1995 ao Congresso Norte Americano, afirmou que 30% dos casos identificados de impactos na qualidade da água são atribuídos às descargas difusas ou de fontes distribuídas (EPA, 1995). A seção 319 do *Clean Water Act* autoriza a USEPA a emitir concessões aos estados para assisti-los em programas de gerenciamento de controle de cargas difusas (USEPA, 2003).

Algumas das cidades nos EUA e países desenvolvidos, que obtiveram êxito na coleta e tratamento da águas residuais, segundo novos levantamentos, têm mostrado que as fontes de poluição difusa passaram a ser as maiores causadoras de degradação da qualidade das águas superficiais (Liang *et al.* 2007, Driscoll *et al.* 1990, EPA 1983).

O gerenciamento integrado das cheias urbanas deve, tanto abranger aspectos de quantidade, quanto de qualidade dos escoamentos urbanos. Os controles da quantidade alcançaram um grau de maturidade devido aos esforços conduzidos no passado. Os de qualidade continuam no estágio inicial de desenvolvimento, mesmo em países desenvolvidos.

As atividades antrópicas a muito já são reconhecidas como sendo as mais importantes que afetam a qualidade, como a urbanização e agricultura. De fato, a maioria das atividades humanas impacta seriamente os escoamentos devido à impermeabilização das superfícies.

A legislação mais recente, no que diz respeito à classificação e enquadramento de corpos d'água é a Resolução CONAMA N° 357, de 17 de março de 2005, que “dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências” (Brasil, 2005). Esta Resolução estabelece condições e padrões de qualidade das águas, onde são definidos limites individuais, para cada substância, em cada classe. A Tabela 3.2 apresenta as classes e respectivos usos de água doce.

**Tabela 3.2 - Classificação das águas doces, conforme Resolução CONAMA N° 357/05.**

<b>Classe</b>	<b>Águas destinadas:</b>
Classe especial	<ul style="list-style-type: none"> <li>• ao abastecimento para consumo humano, com desinfecção;</li> <li>• à preservação do equilíbrio natural das comunidades aquáticas;</li> <li>• à preservação dos ambientes aquáticos em unidades de conservação de proteção integral.</li> </ul>
Classe 1	<ul style="list-style-type: none"> <li>• ao abastecimento para consumo humano, após tratamento simplificado;</li> <li>• à proteção das comunidades aquáticas;</li> <li>• à recreação de contato primário, tais como natação, esqui aquático e mergulho, conforme Resolução CONAMA N° 274, de 2000;</li> <li>• à irrigação de hortaliças que são consumidas cruas e de frutas que se desenvolvam rentes ao solo e que sejam ingeridas cruas sem remoção de película;</li> <li>• à proteção das comunidades aquáticas em Terras Indígenas.</li> </ul>
Classe 2	<ul style="list-style-type: none"> <li>• ao abastecimento para consumo humano, após tratamento convencional;</li> <li>• à proteção das comunidades aquáticas;</li> <li>• à recreação de contato primário, tais como natação, esqui aquático e mergulho, conforme Resolução CONAMA n° 274, de 2000;</li> <li>• à irrigação de hortaliças, plantas frutíferas e de parques, jardins, campos de esporte e lazer, com os quais o público possa vir a ter contato direto;</li> <li>• à aquicultura e à atividade de pesca.</li> </ul>
Classe 3	<ul style="list-style-type: none"> <li>• ao abastecimento para consumo humano, após tratamento convencional ou avançado;</li> <li>• à irrigação de culturas arbóreas, cerealíferas e forrageiras;</li> <li>• à pesca amadora;</li> <li>• à recreação de contato secundário;</li> <li>• à dessedentação de animais.</li> </ul>
Classe 4	<ul style="list-style-type: none"> <li>• à navegação;</li> <li>• à harmonia paisagística.</li> </ul>

Fonte: Brasil (2005).

No entanto, esta resolução não estabelece condições e padrões de cargas difusas. A caracterização da qualidade e quantidade das descargas difusas de poluentes, provenientes de diferentes usos do solo em eventos chuvosos é ferramenta essencial para um levantamento preliminar de planejamento da ocupação e expansão nas bacias hidrográficas, assim como

para a implementação de medidas que visam mitigar o impacto ambiental do desenvolvimento humano. A Tabela 3.3 mostra os valores extraídos da Resolução CONAMA 357/2005.

**Tabela 3.3 – Limites de concentração das classes estabelecidas no enquadramento da Resolução CONAMA 357/05.**

Parâmetro	Unidade	Limites			
		Classe 1	Classe 2	Classe 3	Classe 4
Oxigênio dissolvido	mg.L <sup>-1</sup> O <sub>2</sub>	6	5	4	2
DBO <sub>5</sub>	mg.L <sup>-1</sup> O <sub>2</sub>	3	5	10	
pH		6 a 9	6 a 9	6 a 9	6 a 9
<i>Escherichia Coli</i>	NMP/100mL	200	1000	4000	-
SDT	mg.L <sup>-1</sup>	500	500	500	-
Cloreto total	mg.L <sup>-1</sup> Cl <sup>-1</sup>	250	250	250	-
Fósforo total	mg.L <sup>-1</sup> P	0,1	0,1	0,15	-
Nitrogênio amoniacal total	mg.L <sup>-1</sup> N	3,7	3,7	13,3	-
Turbidez	UNT	40	100	100	-
<b>METAIS</b>					
Cádmio total	mg.L <sup>-1</sup> Cd	0,001	0,001	0,01	-
Chumbo total	mg.L <sup>-1</sup> Pb	0,01	0,01	0,033	-
Manganês total	mg.L <sup>-1</sup> Mn	0,1	0,1	0,5	-
Cromo total	mg.L <sup>-1</sup> Cr	0,05	0,05	0,05	-
Níquel total	mg.L <sup>-1</sup> Ni	0,025	0,025	0,025	-
Zinco total	mg.L <sup>-1</sup> Zn	0,18	0,18	5	-

Pode-se citar aqui o manual de apresentação de propostas para apoio a financiamento de sistemas de drenagem urbana sustentável e de manejo de águas pluviais e a Instrução Normativa N° 39, de 1° de Julho que regulamenta os procedimentos e as disposições relativas às operações de crédito no âmbito do Programa Saneamento para Todos.

A Política Nacional dos Recursos Hídricos, pela Lei N° 9433, de 8 de janeiro de 1997, estabelece condições para a criação de instrumentos de gestão da qualidade das águas pluviais, quando dispõe, no artigo 7°, o conteúdo mínimo dos Planos de Recursos Hídricos. Este conteúdo mínimo consta, entre outros, a análise de modificação dos padrões de ocupação do solo e o balanço entre disponibilidade e demanda dos recursos hídricos, com identificação de conflitos potenciais (Brasil, 1997b). Pode-se entender, que cargas difusas são conflitos potenciais em uma bacia hidrográfica.

Atualmente, Estados Unidos, Austrália, Coreia do Sul, Japão, Canadá e alguns países europeus já possuem importantes trabalhos relacionados à qualidade da drenagem pluvial (Vivacqua, 2005). O Brasil ainda não possui tal preocupação em levantar dados suficientes, para a elaboração de legislação pertinente ao planejamento e gestão dos recursos hídricos direcionados à drenagem pluvial. Tal despreocupação seja talvez pelo não incentivo público e

político, ou pela educação ambiental no Brasil que leva ao desperdício hídrico, por ter a maior disponibilidade hídrica do Planeta. A questão da drenagem urbana no Brasil é referida somente aos aspectos quantitativos. De certa maneira, reduzindo-se a quantidade de água que escoar em uma bacia hidrográfica se reduz a massa de poluentes arrastada em eventos de escoamento, porém o foco é a redução de inundações.

### 3.8 Estudos realizados

Os resultados de estudos direcionados para quantificar as cargas poluentes em escoamento pluvial urbano começaram a aparecer na literatura nas últimas décadas por volta de 1960. Desde então, vários pesquisadores tem-se esforçado para determinar a quantidade e a qualidade da água de drenagem pluvial.

Em países desenvolvidos, os estudos direcionados à qualidade do escoamento superficial possuem maior evidência, pois muitas vezes, a escassez qualitativa supera a quantitativa. Portanto, há necessidade de monitoramento, tanto de cargas pontuais, como as difusas. Desta maneira, estes estudos são valiosos e somente em países desenvolvidos podem ser encontrados com maior evidência.

Na Inglaterra, Wardle, em 1893, já afirmava que as águas de chuva de primeira lavagem (*first flush*) contém altas concentrações de matéria orgânica putrecíveis, muitas vezes, tão quanto o esgoto (Lindholm & Balmér, 1978, Weibel *et al.* 1964, Randal *et al.* 1982).

No Brasil, o primeiro trabalho relativo a qualidade de drenagem pluvial de áreas urbanas foi publicado por Gomes (1981). Neste estudo, verificou-se variações significativas da qualidade da Bacia do Gregório e Bacia do Bicão, na cidade de São Carlos-SP. Resultados obtidos mostraram concentrações de sólidos totais variando de 171 a 3.400mg.L<sup>-1</sup>; DBO<sub>5</sub> de 11,7 a 300mg.L<sup>-1</sup>; e coliformes totais de 8,5x10<sup>3</sup> a 4,8x10<sup>6</sup>NMP/100mL. Foi observado que estes valores de qualidade encontrados são coerentes, diante de valores encontrados em bacias de mesma ocupação em outros países (Ide, 1984).

Ide (1984), em Porto Alegre-RS, quantificou descargas hídricas pluviais de origem urbana e coletou amostras de água para análise de parâmetros físicos, químicos e biológicos. No estudo, utilizou-se hidrogramas como base temporal para as coletas e introduziu o termo “polutograma” (*pollutograph*) - gráfico temporal das variações de parâmetros de qualidade durante a curva de ascensão e recessão do hidrograma. Este pesquisador foi o primeiro no

Brasil a detalhar o comportamento da variação das concentrações no tempo, de diversos parâmetros de qualidade da drenagem pluvial. De acordo com o mesmo, as concentrações de metais encontrados na drenagem pluvial podem ser mais altas do que as contidas no efluente de esgoto doméstico tratado.

Porto & Masini (2001) compararam a variação da qualidade da água de escoamento superficial urbano de São Paulo, em tempo seco e em tempo úmido, durante a subida do hidrograma de cheia. Os autores observaram o aumento das concentrações de  $\text{DBO}_5$ , DQO e sólidos, indicando o transporte da carga poluidora pelo escoamento superficial. Paiva *et al.* (2001) apresentaram os resultados das concentrações de sedimentos de treze eventos de cheia em uma bacia hidrográfica, na cidade de Santa Maria-RS, com processo de urbanização. Foram observados picos de concentração de sedimentos no início da cheia devido, provavelmente, a carga de lavagem.

Paz (2004), em estudo da carga de lavagem na Bacia Hidrográfica Alto da Colina, Santa Maria-RS, onde a mesma apresenta característica urbana e rural, aplicou duas metodologias para avaliação do fenômeno baseadas na construção de curvas adimensionais de massa poluente e volume escoado  $M(V)$ . A Bacia Hidrográfica Alto da Colina foi considerada pouco suscetível ao fenômeno. Através de uma comparação entre as duas metodologias empregadas, constatou-se que ambas apresentaram valores pequenos para o fenômeno, mas diferentes quanto ao período de ocorrência do mesmo.

Segundo Brites (2005), analisando o curso d'água da bacia do Arroio Cancela, por meio da metodologia empregada nas curvas  $M(V)$ , verificou-se que, nos eventos monitorados, a  $\text{DBO}_5$ , os sólidos suspensos totais e os coliformes totais e fecais foram os parâmetros que demonstraram maior relação com o fenômeno carga de lavagem. De acordo com o autor, a bacia hidrográfica em questão está localizada na cidade de Santa Maria-RS, e possui área de drenagem de 4,95 km<sup>2</sup>.

Ha & Stenstrom (2003) desenvolveram um algoritmo de redes neurais, um modelo tipo *black-box*, o qual relaciona parâmetros de qualidade de escoamentos de chuvas com usos do solo, tais como, área comercial, educacional, industrial, residencial de alta densidade, residencial multi-familiar, de tráfego, e áreas desocupadas. O modelo identifica cinco tipos de usos do solo, através de dados de qualidade do escoamento pluvial.

Na Itália, Barco (2003) desenvolveu sua pesquisa avaliando a descarga de poluentes em uma bacia de uso predominantemente residencial nos anos de 2000 a 2001, coletando 162 amostras em 14 eventos chuvosos. Segundo o autor os principais parâmetros que contribuem

para a maioria dos problemas de qualidade da água em bacias urbanas são: sólidos em suspensão, pois é um indicador geral de poluição, DQO, DBO<sub>5</sub>, porque estes fornecem uma indicação relativa da poluição orgânica. Além disso, eles são considerados parâmetros de referência em muitos modelos matemáticos que simulam a dinâmica de poluentes durante o escoamento de águas pluviais.

Choe *et al.* (2002) analisaram a taxa de carga de poluente de sólidos suspensos e DBO<sub>5</sub> no escoamento superficial de áreas residenciais e industriais, localizadas em Chongju, na Coréia, obtendo maiores valores em áreas residenciais, 2.130 Kg/ha/ano para sólidos suspensos e 943 kg/ha/ano para DBO<sub>5</sub>, que em áreas industriais 812 kg/ha/ano para sólidos suspensos e 329 kg/ha/ano para área industrial.

Um estudo francês (Bertrand-Krajewski *et al.* 1998) analisou 197 eventos de chuva em 12 sistemas de esgoto, 6 sistemas separador absoluto e 6 sistemas combinado, concluindo que para o sistema separador, em 50% dos eventos analisados, 50% da massa poluente total é transportada nos primeiros 38% do volume total e 80% da massa do poluente é transportada nos primeiros 74% do volume total. Para o sistema combinado, em 50% dos eventos, 50% da massa poluente total é transportada nos primeiros 47% do volume total, e 80% da massa poluente total é transportada nos primeiros 79% do volume total.

No monitoramento de 38 eventos de precipitação, em 13 áreas com diferentes usos do solo, no período de junho de 1996 a novembro de 1999, Lee *et al.* (2002) analisaram os parâmetros: DQO, sólidos suspensos (SS), nitrogênio total Kjeldahl (NTK), fósforo total (FT), chumbo (Pb) e ferro (Fe), através da diferença entre as curvas de massa poluente e de volume escoado, onde todos os constituintes exibiram um pronunciado efeito de carga de lavagem. A intensidade dos efeitos da carga de lavagem foi SS>Fe>NTK>DQO>FT>Pb para áreas residenciais, e para as áreas industriais foi SS>Pb>Fe>DQO.

Visando estudar a ocorrência e a natureza da carga poluidora dos escoamentos urbanos conectados à carga de lavagem, Gnecco *et al.* (2005) utilizaram o método da curva M(V) para o monitoramento de diversos parâmetros de qualidade da água: sólidos suspensos totais, hidrocarbonetos totais, DQO e metais pesados (Zn, Pb, Cu, Ni, Cd, Cr). Os autores verificaram a existência do fenômeno carga de lavagem somente para os sólidos e hidrocarbonetos, enquanto que o comportamento dos metais não foi claro o suficiente. Eles afirmam também que o fator de maior influência na ocorrência da carga de lavagem é a intensidade da precipitação.



Kayhanian *et al.* (2008) avaliaram a toxicidade de escoamento de águas pluviais, baseados em amostras simples e compostas, de rodovias de áreas altamente urbanizadas, em Los Angeles, Califórnia, entre 2002 e 2005. Amostras de águas pluviais foram testadas utilizando três espécies de água doce, espécies marinhas e bactérias luminescentes. Os resultados de toxicidade variaram substancialmente ao longo dos eventos para os organismos de água doce e marinhos. Em geral, foi verificado que 90% da toxicidade das amostras avaliadas ocorre nos 30% de escoamento pluvial. O surfactante encontrado foi à causa de menos de 10% de toxicidade das amostras.

As águas pluviais urbanas são potenciais contribuintes de poluentes para corpos d'água, com mais de 600 diferentes compostos xenobióticos potencialmente presentes (Eriksson *et al.* 2005). A presença destes compostos pode ocasionar toxicidade a organismos aquáticos e, assim, contribuir para mudanças e deterioração dos ecossistemas. Os grupos químicos mais comuns medidos em escoamento de águas pluviais são os metais pesados, os hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (HPAs) e pesticidas (Beasley & Kneale, 2002, Kamalakkannan *et al.* 2004), que em vários estudos mostraram afetar organismos aquáticos, mais ou menos severamente. Muitas dessas substâncias tendem a ser associadas com a fração do sedimento. Por conseguinte, o sedimento é provável que atue como um coletor de compostos tóxicos e pode apresentar maior toxicidade do que os de fase aquosa (Rosenkrantz *et al.* 2008).

Pétavy *et al.* (2009), propõem um processo para o tratamento de sedimentos acumulados em estruturas para armazenar os poluentes de escoamento pluvial urbano. Foi realizado ensaios em laboratório e em escala piloto, onde o removedor de poluentes por aspersão promove atrito e peneiramento. Este é constituído de três rotores com pás, dentro de um tanque de aço com tampa. A aplicação do processo de desgaste serve para remover partículas e contaminantes da superfície de sedimentos e solos contaminados. Este estudo demonstrou que até 70% de um sedimento pode ser reutilizado após o tratamento físico, onde critérios econômicos e geotécnicos devem ser considerados.

Contaminantes microbianos em escoamento de águas pluviais têm o potencial de impactar negativamente a saúde pública. Parker *et al.* (2010), conduziram um estudo para avaliar a contaminação microbiana de escoamento pluvial no litoral da Carolina do Norte-EUA, para medir uma gama de bactérias indicadoras de contaminação fecal: *Escherichia coli* e *Enterococcus* sp e *Bacteróides* spp. Os níveis destes contaminantes nas águas pluviais, por muitas vezes, excederam várias ordens de magnitude, as diretrizes de balneabilidade das

águas. Altas concentrações de bacteróides fecais indicaram a presença de contaminação fecal humana no escoamento pluvial. Estes resultados permitem as autoridades públicas a considerarem uma concepção adequada de estratégias de mitigação deste contaminante, necessárias para manter e restaurar a qualidade das águas.

### **3.9 Discussão a respeito de cargas difusas**

Analizando a problemática da poluição difusa de uma maneira mais abrangente, verifica-se que a primeira ação para o controle destas, seria o controle quantitativo da água escoada na bacia. O grande problema não é o arrumaento nas bacias hidrográficas e cidades, e sim a impermeabilização em nível de lotes. Reduzindo-se o volume escoado nas bacias hidrográficas reduziria-se, também, a carga de poluentes que aportam para os corpos d'água. De fato, o poder público deve impor o rigor na fiscalização e disciplinamento do uso do solo, diminuindo a impermeabilização das cidades. A drenagem urbana deve, também, se compor de novas concepções readequando redes obsoletas e manutenção, considerando a implementação efetiva de planos diretores de drenagem urbana associados a outros planos diretores (resíduos, esgotamento sanitário, viário, etc.). Em um primeiro momento deve-se fomentar as discussões em âmbito legislativo para começarmos a tratarmos de cargas difusas, sendo que não é correto estabelecer bases legais, sem haver experiência e estrutura para articular o que está previsto em planos que concebam uma possível drenagem sustentável. Ressalta-se aqui, que existe a problemática em áreas rurais, então o problema é bastante complexo, para ser tratado com proposição de leis que façam gestão, visto que no Brasil não foi resolvida a questão de cargas pontuais de poluição.

Sugere-se a gestão de cargas difusas a nível de bacias experimentais, por questões econômicas e técnicas, principalmente onde já existe comitês e agências de bacias hidrográficas, tarefa árdua devido a competição pelos vários usos da água. Como é sábio, a questão da drenagem sustentável nos aspectos qualitativo-quantitativos é mais fácil ser conduzida em municípios que estão se desenvolvendo. Em cidades como São Paulo conduzir uma drenagem sustentável é tecnicamente mais complexa e economicamente mais cara. De fato, nestes casos é viável a manutenção de medidas não-estruturais e a proposição de medidas estruturais para conter aspectos quantitativos e qualitativos. É proposto aqui, para gestão de cargas difusas no Brasil, os municípios fazendo gestão interna, dentro de seus domínios, aplicando o que está previsto nos vários planos diretores intrínsecos com a carga difusa. As discussões devem partir dos municípios ou de consórcios intermunicipais. A

poluição difusa gerada externamente a municípios poderia ser gerida por comitês de bacias hidrográficas ou consórcios intermunicipais, para avaliar a poluição difusa produzida pelos municípios.

Sugere-se a partir de um contexto estabelecido de gestão quantitativo-qualitativo de águas urbanas, considerando a drenagem nos aspectos sustentáveis, medidas econômicas, como a aplicação de taxas para poder público gerenciar a poluição difusa, após o estabelecimento e definições tratados nos parágrafos anteriores. A mesma poderia fazer parte, por exemplo, do IPTU, onde os recursos seriam revertidos para ações estruturais e não estruturais nas bacias hidrográficas.

Ressalta-se a importância de informar a população quanto aos impactos das cargas difusas para os corpos d'água, sendo uma boa maneira levar esses conceitos aos colégios de todo o país. Isto é de extrema relevância uma vez que será repassado a população um conhecimento a respeito da problemática e seus impactos.

Em estudo proposto por Cançado, Nascimento & Cabral (2005), foi abordada a criação de uma taxa sobre os serviços de drenagem, podendo vir sob a forma de um acréscimo no IPTU cobrado ou mesmo uma redução no mesmo, conforme se impermeabilize mais ou menos o terreno do que a média, pretendendo refletir sobre alternativas para mudar a forma de financiar a drenagem urbana, com ganhos de transparência, racionalidade econômica e eficiência tributária. Ressalta-se que em tal estudo os pesquisadores propõem bases conceituais para a cobrança quantitativa das águas pluviais.

### **3.10 Relações de Fluxo, Concentração e Carga dos Poluentes**

#### **3.10.1 Concentração e Polutograma**

A medida primária para quantificar um componente químico é a sua concentração, definida na eq. 3.1:

$$C = \frac{\text{quantidade do componente (massa)}}{\text{Volume do fluido}} \quad (3.1)$$

onde: C - Concentração (mg.L<sup>-1</sup> ou g.m<sup>-3</sup>);

quantidade/massa - (mg ou g);

V= Volume (L ou m<sup>-3</sup>).

A concentração também pode ser definida para variáveis não medidas em unidades de massa. Por exemplo, bactérias são frequentemente medidas como um número (ex.: número mais provável de organismos ou NMP) por unidade de volume.

O impacto de poluentes no corpo hídrico pode ser influenciado, tanto pela concentração, quanto pela carga (eq. 3.2). A carga tanto pode tanto significar a massa total  $M$  em um volume  $V$  de água:

$$M = C V \quad (3.2)$$

ou a taxa de fluxo de massa  $L$  (massa/tempo) na água escoando com a vazão  $Q$  (volume/tempo), eq. 3.3:

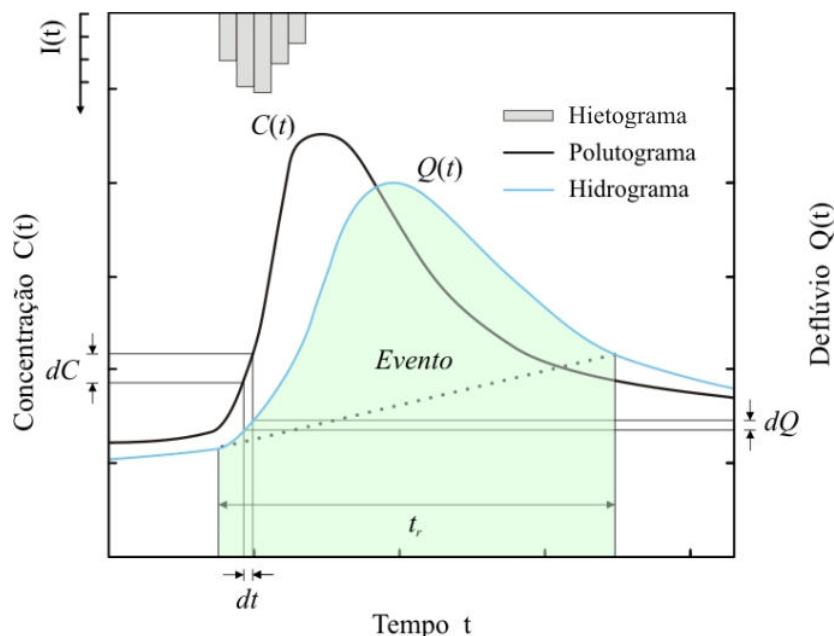
$$L = C Q \quad (3.3)$$

A variação dos parâmetros de qualidade de água da drenagem pluvial pode ser visualizada em função do tempo. O polutograma, fornece a indicação do pico de concentração esperado e o tempo de duração do escoamento que afetará o corpo receptor, e relaciona a qualidade da água de escoamento com o respectivo volume a qualquer instante (Zhao *et al.* 2007).

Teoricamente, um polutograma e respectivo hidrograma fornecem a cada instante  $dt$ : (i) a concentração do constituinte  $dC(t)$  [ $M.L^{-3}$ ]; (ii) o deflúvio  $dQ(t)$  [ $L^3.T^{-1}$ ]; (iii) e a descarga do constituinte  $dL(t)$  [ $M.T^{-1}$ ], conforme a Figura 3.4, onde a descarga  $dL(t)$  do constituinte é dada por eq. 3.4.

$$dL(t) = dQ(t)dC(t) \quad (3.4)$$

A partir dos itens a seguir, o termo “evento”, que aparece na Figura 3.4, refere-se à “onda de cheia” ou evento de drenagem pluvial, representada como um hidrograma em uma seção qualquer de um corpo d’água.



**Figura 3.4 - Polutograma geral**

Fonte: Oliveira (2007)

### 3.10.2 Concentração média do evento - *event mean concentration*

A poluição por cargas difusas se origina no ciclo hidrológico, com o arraste dos poluentes pelas precipitações e posterior transporte pelo escoamento superficial e, por esta razão, é um fenômeno de natureza aleatória, no tempo e no espaço, como o próprio evento hidrológico que lhe dá origem (Liang *et al.* 2007). As concentrações de poluentes variam ao longo do evento, da mesma maneira que as vazões, gerando uma curva semelhante ao hidrograma correspondente.

Devido ao citado caráter aleatório e a outros fatores físicos, é difícil calcular ou prever a distribuição temporal das concentrações de poluentes.

Para uma avaliação global do impacto das cargas difusas, pode-se calcular o fator Concentração Média no Evento (CME), que em um só valor resume a relação entre a massa de poluente transportada pelo volume de água escoado. A CME tem sido extensivamente utilizada como indicador do grau de impacto ambiental, devido a qualidade da água do escoamento pluvial. A CME, como o próprio nome diz, representa a concentração ponderada de um poluente correspondente a um evento completo de escoamento. Alguns estudos mostram que a CME pode ser muito diferente de evento para evento e caso a caso. Isto é devido aos fatores que influenciam a produção e distribuição de poluentes (Hongbing *et al.* 2009).

A CME é estimada, tanto de amostras compostas coletadas automaticamente, quanto de uma série de amostras simples coletadas durante o evento de escoamento. Quando a CME é estimada a partir de amostras simples, cada amostra isolada, fisicamente, representa uma concentração instantânea de poluentes dentro do evento, e a CME é calculada a partir destes valores de concentração instantânea. Um método razoável de cálculo é usar a média ponderada pela vazão destas concentrações instantâneas. Um amostrador automático coleta uma grande quantidade de amostras individuais, constituindo uma série instantânea de amostras de concentração. A CME é igual ao resultado da análise de uma simples, porém enorme amostra.

Segundo Lee *et al.* (2001), a concentração média do evento (CME) é um parâmetro analítico importante, pois representa uma concentração média ponderada, tendo o deflúvio como peso. A CME é calculada como sendo a massa total ( $M_T$ ) do poluente dividida pelo volume total ( $V_T$ ) do escoamento superficial (eq. 3.5), para um evento de duração  $t_r$  (Sansalone & Buchberger, 1997; Charbeneau & Barretti, 1998 *apud* Lee *et al.* 2001), ou seja:

$$CME = \bar{C} = \frac{M_T}{V_T} \quad (3.5)$$

A massa total ( $M_T$ ) de um poluente transportada por um evento de duração  $t_r$ , é definida na eq. 3.6:

$$M_T = \int_0^{t_r} C(t)Q(t)dt \quad (3.6)$$

onde:  $C(t)$  - concentração variável no tempo;

$Q(t)$  - deflúvio variável no tempo.

Conforme a Figura 3.4, a área sob a curva do hidrograma representa o volume total ( $V_T$ ) do evento (Wilken, 1978) definido pela eq. 3.7:

$$V_T = \int_0^{t_r} Q(t)dt \quad (3.7)$$

Com as equações 3.6 e 3.7, a concentração média do evento (CME) resulta na eq. 3.8:

$$CME = \bar{C} = \frac{M_T}{V_T} = \frac{\int_0^{t_r} C(t)Q(t)dt}{\int_0^{t_r} Q(t)dt} \quad (3.8)$$

As funções reais  $C(t)$  e  $Q(t)$ , na prática, não podem ser encontradas a cada instante  $dt$ . Entretanto, as integrais na equação (3.7) podem ser estimadas, por aproximação ao considerar valores discretos, através de amostragens de campo. Assim, a equação (3.8) pode ser expressa como a eq. 3.9:

$$CME \cong \frac{\sum_{i=1}^{i=n} C_i Q_i \Delta t}{\sum_{i=1}^{i=n} Q_i \Delta t} \quad (3.9)$$

onde:  $n$  - número de amostras;

$C_i$  - concentração discreta a cada tempo  $i$ ;

$Q_i$  - deflúvio discreto a cada tempo  $i$ ;

$\Delta t$  - intervalo de tempo do evento.

A aproximação da eq. (3.8) à eq. (3.9) será mais precisa quanto maior for o valor de  $n$ . Vale ressaltar que o valor de  $n$  está relacionado à viabilidade econômica e prática.

A CME representa uma concentração que resultaria se toda a descarga da drenagem pluvial fosse coletada em um único recipiente (Deletic, 1997). Quando a CME é multiplicada pelo volume total da drenagem ( $V_T$ ) de um evento chuvoso, o produto resultante representa a descarga em massa total ( $M_T$ ) do constituinte naquele evento (Deletic, 1997).

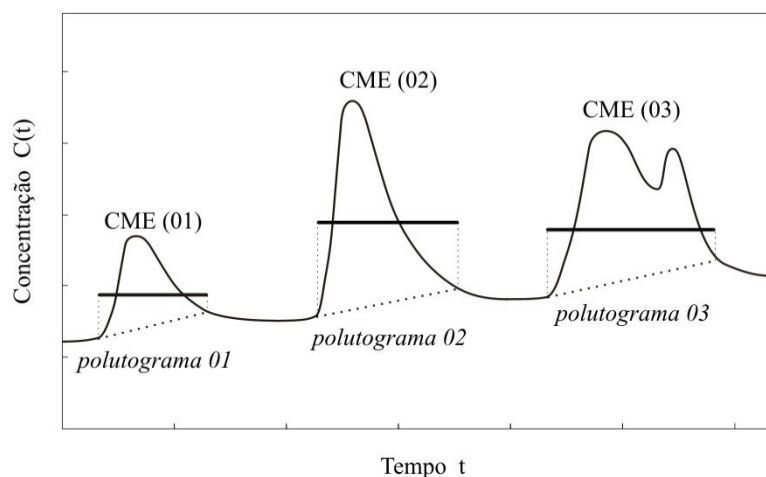
Segundo Lee *et al.* (2001), a utilização de uma concentração média de constituintes (CME) é apropriada para avaliar os efeitos da drenagem pluvial em corpos d'água receptores. As respostas dos corpos d'água, ao receberem cargas poluidoras, são relativamente lentas para fluxos diretos das precipitações, quando comparadas com alterações provenientes de eventos chuvosos.

Segundo Deletic (1997), amostras discretas podem não caracterizar o evento. Porém, a CME melhor caracteriza a qualidade da drenagem de forma integral.

A aplicação da CME pode ser considerada como um índice de potencial poluidor do evento. O índice possui as principais vantagens a seguir (Novotny, 1992):

- exibe distribuição log-normal;
- é um parâmetro conciso, que representa um conjunto muito variável de dados;
- melhor comparação entre eventos e condições diferentes.

A concentração instantânea durante a drenagem pluvial pode ser maior ou menor que a CME. Entretanto, o uso da CME, como sendo uma característica intrínseca do evento, substitui a real variação temporal das concentrações por um único pulso de concentração constante no tempo, mas possuindo igual massa e duração do comportamento real. Isto garante apenas que as cargas totais ( $M_T$ ) do evento e o período de exposição destas sejam representados. A Figura 3.5 ilustra as diferenças entre polutogramas e respectivas CME's.



**Figura 3.5 – Variação das CME's por evento.**

Fonte: Lee *et al.* (2001).

### 3.10.3 Efeito de primeira lavagem - *first flush*

Um dos fenômenos discutidos, quando se trata de prever polutogramas, é a ocorrência da chamada carga de lavagem (em inglês, "*first flush*"). A explicação mais comum é a de que se trata da remoção inicial do material acumulado no período entre chuvas, quer sobre o solo, quer no interior das canalizações, significando que o pico do polutograma ocorreria em muitos casos, antes do pico das vazões. O fato desta carga de lavagem às vezes ocorrer e outras não, pode estar relacionado com as perdas iniciais no escoamento superficial. 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 (Ide, 1984; Kang *et al.* 2007). Dependendo também do volume total escoado e da altura da lâmina formada sobre as superfícies urbanas, esta perda será mais ou menos representativa, (Porto, 1998).

O período inicial da drenagem pluvial, no qual a concentração de poluentes é substancialmente mais alta que em períodos posteriores é chamado de primeira lavagem ou *first flush* (Ide, 1984; Lee *et al.* 2001). Durante a primeira lavagem, grandes quantidades de poluentes são descarregados em corpos d'água receptores.

São recentes as pesquisas sobre o fenômeno de primeira lavagem. Sendo, portanto, um tema importante que deve ser estudado com maior profundidade devido às suas implicações potenciais para a gestão de drenagem urbana.

Intensidade e duração da tempestade podem ter um impacto marcante no tipo e quantidade de poluentes presentes no escoamento superficial. Resultados de pesquisas conduzidas na década de 1970 concluíram que as concentrações de poluentes tendem a ser muito mais alta no início da tempestade quando comparadas com o meio ou o final.

Estes estudos concluíram que os estoques de poluentes acumulados nas superfícies pavimentadas eram rapidamente lavados durante a primeira parte da tempestade, e conforme a tempestade continuava os poluentes disponíveis para lavagem eram esgotados e as concentrações diminuía.

Bertrand-Krajewshi *et al.* (1998) propõem definir o fenômeno de primeira lavagem quando, em um evento, 80% ou mais da massa de poluente é transportada nos primeiros 30% do volume drenado. A verificação local da ocorrência da carga de lavagem torna-se importante nos casos em que se pretenda reter o escoamento superficial urbano em bacias de retenção para o controle da carga poluidora. Na ausência de dados é mais seguro admitir-se a não ocorrência e dimensionar o sistema de retenção para concentrações aproximadamente constantes ao longo de todo o evento.

Estudos preliminares indicam que várias combinações de fatores podem ser responsáveis pela ocorrência do efeito de primeira lavagem. Lee *et al.* (2001) concluem que a ocorrência do fenômeno é dependente do tipo de poluente (dissolvida, particulada), área da bacia hidrográfica, contribuição de áreas impermeáveis, intensidade e duração da precipitação e DAE, conforme Ide já afirmava em 1984.

Considerando as diversas definições do fenômeno, as diferentes estratégias de amostragem (locais) e métodos de coletas de dados, é difícil uma comparação entre os

resultados de diferentes eventos, e freqüentemente, obtém-se conclusões diferentes para os vários estudos do fenômeno (Deletic, 1998).

Para melhor compreensão das equações que descrevem o efeito de primeira lavagem, a seguir são abordadas definições do transporte de massa e volume em um evento e, subsequentemente, as equações de: i) massa acumulada adimensional de poluentes; e ii) volume acumulado adimensional de poluentes.

A massa total transportada em um evento  $M_T$  é definida pela eq. (3.6), quando o tempo varia de 0 a  $t_r$ , ou seja, no intervalo de tempo total do evento. Logo, para um tempo decorrido qualquer  $t$ , menor que  $t_r$ , a massa transportada  $m(t)$  [M] em um intervalo de 0 a  $t$ , é definida pela equação 3.10:

$$m(t) = \int_0^t C(t)Q(t)dt \quad (3.10)$$

Por definição, a descarga  $L(t)$  de um poluente qualquer é a multiplicação da função  $Q(t)$  pela  $C(t)$ . Então, a eq. (3.10) pode ser interpretada como a integral da função  $L(t)$  no intervalo de tempo de 0 a  $t$  qualquer (eq. 3.11):

$$m(t) = \int_0^t L(t)dt \quad (3.11)$$

De forma similar, a eq. (3.7) define o volume total ( $V_T$ ) drenado no evento, quando o tempo varia de 0 a  $t_r$ . Logo, para um intervalo de tempo qualquer, o volume transportado  $v(t)$  [ $L^3$ ] é definido pela eq. 3.12:

$$v(t) = \int_0^t Q(t)dt \quad (3.12)$$

A Figura 3.6 mostra de forma genérica as funções de: i) descarga  $L(t)$ ; ii) massa  $m(t)$ ; iii) volume  $v(t)$ ; iv) vazão  $Q(t)$ ; e v) concentração  $C(t)$ , geradas em um evento de drenagem pluvial.

Segundo Lee *et al.* (2001), o fenômeno de primeira lavagem pode ser representado pelas seguintes equações (3.13) e (3.14).

$$L = \frac{m(t)}{M_T} \quad (3.13)$$

$$F = \frac{v(t)}{V_T} \quad (3.14)$$

onde: L - massa acumulada adimensional de poluentes;

F - volume acumulado adimensional drenado.

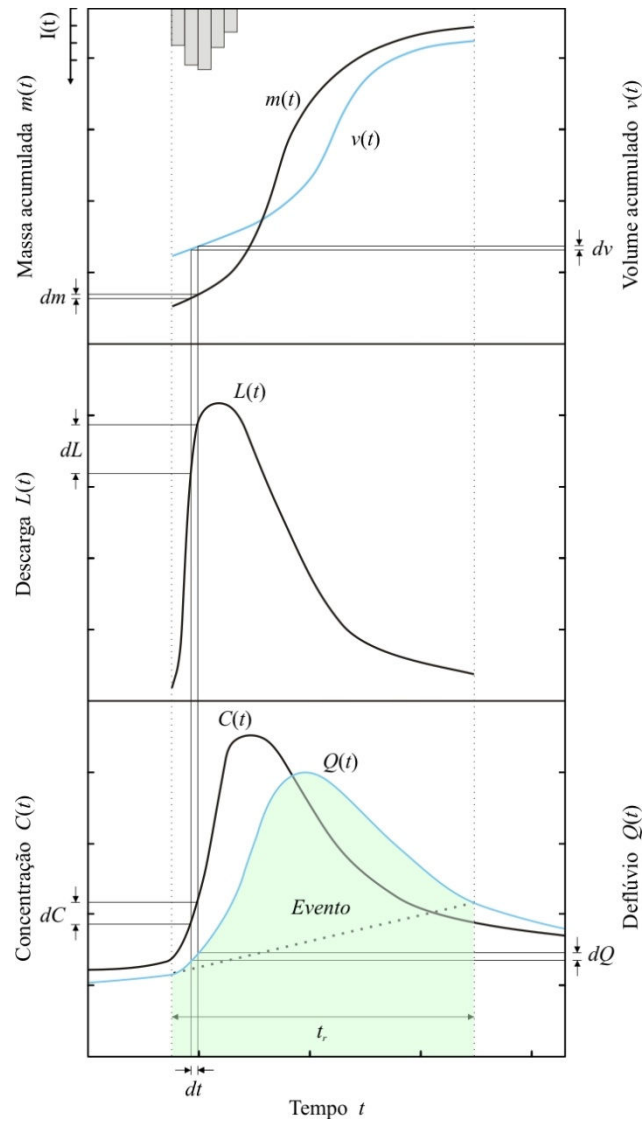
O fenômeno de primeira lavagem ocorre quando L for maior que F (Lee & Bang, 2000), equação 3.15 e 3.16:

$$\frac{L}{F} = \frac{\frac{m(t)}{M_T}}{\frac{v(t)}{V_T}} > 1 : \text{ocorrência} \quad (3.15)$$

$$\frac{L}{F} = \frac{\frac{m(t)}{M_T}}{\frac{v(t)}{V_T}} \leq 1 : \text{não ocorrência} \quad (3.16)$$

Logicamente, em um determinado intervalo de tempo, quanto maior a quantidade de massa de um poluente transportada em relação a uma menor quantidade de volume escoado observa-se, neste intervalo, concentração maior que a CME, o que caracteriza o fenômeno de primeira lavagem.

Em suma, nota-se no meio acadêmico que a utilização das curvas M(V) é a metodologia mais empregada para as análises de carga de lavagem, pela facilidade de aplicação, e sua visualização rápida e clara do resultado. As curvas M(V) possibilitam uma análise adimensional capaz de confrontar eventos de diferentes características e localização (Gnecco *et al.* 2005).



**Figura 3.6 – Funções de concentração  $C(t)$ , descarga  $L(t)$ , massa  $m(t)$ , volume  $v(t)$  e vazão  $Q(t)$ , geradas em um evento.**

Fonte: Oliveira (2007)

As eq. (3.15) e (3.16) podem ser reescritas na seguinte forma:

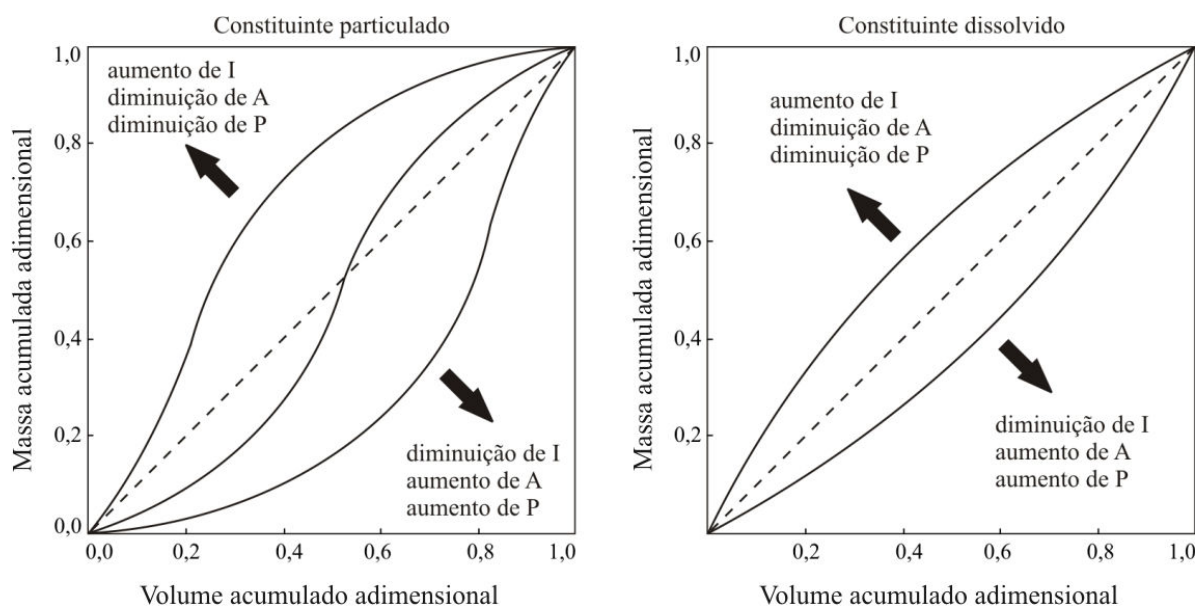
$$\frac{m(t)}{M_T} > \frac{v(t)}{V_T} \Leftrightarrow \frac{m(t)}{v(t)} > \frac{M_T}{V_T} \quad (3.17)$$

Substitui-se, então, a (3.8) na eq. (3.17). Da equação resultante, defini-se a CMPE - concentração média parcial do evento (Lee *et al.* 2001), (eq. 3.18):

$$CMPE = \frac{m(t)}{v(t)} > CME \quad : \text{ocorrência do fenômeno de primeira lavagem} \quad (3.18)$$

Uma linha a 45° é traçada para definir claramente quando a descrição acima ocorre, conforme é apresentado na Figura 3.7, onde diferentes curvas acumulativas adimensionais podem ocorrer pela influência de três importantes parâmetros: i) intensidade da precipitação; ii) área permeável; e iii) área da bacia hidrográfica (Lee & Bang, 2000).

Por meio de análises gráficas das curvas  $M(V)$ , (figura 3.7), pode-se identificar a distribuição dos poluentes ao longo do evento. Deve-se observar apenas a posição das curvas em relação ao bissetor. Se a curva confunde-se com o bissetor, assume-se que os poluentes são distribuídos uniformemente durante o evento. Quando a curva permanece acima do bissetor há a ocorrência da carga de lavagem e quando a curva permanece abaixo do bissetor tem-se a diluição dos poluentes, ou seja, não há a ocorrência de carga de lavagem. (Dotto, 2006).



I: Intensidade da precipitação; P: Área permeável; A: Área da bacia

**Figura 3.7 – Padrões de primeira lavagem para materiais particulados e dissolvidos.**

Fonte: Modificado de Lee & Bang (2000).

Segundo Lee & Bang (2000), o efeito de primeira lavagem ocorre fortemente em pequenas de bacias hidrográficas e com precipitação de alta intensidade. Os pesquisadores observaram, também, que existe uma diferença nas tendências de resposta entre materiais particulados e dissolvidos, e possível tendência de adsorção de alguns constituintes aos materiais particulados. Entretanto, Lee & Bang (2000) ressaltam que mais estudos são necessários para a generalização do fenômeno de primeira lavagem.

A análise das curvas acumulativas adimensionais de parâmetros de qualidade de água é de fundamental importância para estudos de polutogramas. Pois, através das mesmas é possível caracterizar a capacidade de transporte dos constituintes sob diferentes condições, em eventos chuvosos. O conhecimento do comportamento do efeito de primeira lavagem é indispensável para o dimensionamento de sistema de tratamento de águas pluviais urbanas.

#### **3.10.4 Efeito de segunda lavagem – second flush**

De acordo com Wanielista & Yousef (1993), o fenômeno de primeira lavagem é definido usando o critério de que 50% da massa total é transportada pelos primeiros 25% do volume escoado pela drenagem urbana. Ainda, segundo Wanielista & Yousef (1993), um efeito de segunda lavagem é definida sob o critério em que 50% da massa total é transportada, em qualquer porção de 25% do volume escoado, além dos primeiros 25% do volume drenado. Tal efeito ocorre dentro de um mesmo evento de precipitação, sendo que a intensidade da precipitação aumenta a partir de um dado momento, havendo um novo incremento de vazão e com isso, nova lavagem, podendo conter nesse volume a maior parte dos poluentes (Hoffman *et al.* 1984).

Usando a definição de massa de 50% em todo o volume de 25%, além do primeiro 25% escoado, a segunda lavagem ocorre com menor frequência do que a primeira lavagem. Segundo Flint & Davis (2007), apesar da predominância de uma maior carga de poluente na primeira lavagem, foram verificadas ocasiões em que a maior parte dos poluentes estavam em uma parte dos 25% de volume escoado após os primeiros 25% de volume de água drenado. Isto ocorre em 39% dos eventos de precipitação para SST, 33% para Cd, 28% para  $\text{NO}_3^-$ , 27% para Zn, 25% para o  $\text{NO}_2^-$  e Cu e 17% para o Pb e NTK, indicando que uma quantidade significativa da carga de poluentes pode estar contida nas partes do volume de escoamento pluvial, além dos primeiros 25%. O SST exibiu incidências em que a ocorrência de segunda lavagem ultrapassou a primeira lavagem.

No estudo de Flint & Davis (2007) ficou concluído que o mais importante é a avaliação quantitativa, de lavagem durante o evento de escoamento pluvial, por tornar possível a aplicabilidade do projeto de instalações de biorremediação, na captura da primeira parcela do volume de escoamento. Neste os valores de mediana para o percentual da carga poluente contidas na primeira lavagem são de cerca de 39% para todos os poluentes. Isso indica que mais de 50% do total de carga poluente pode ser liberado em parcelas do volume

de escoamento que não seja na primeira parcela de 25% escoado. Além disso, a segunda lavagem ultrapassa a primeira em pelo menos 17% das precipitações para todos os poluentes. Idealmente, as instalações para biorretenção de carga difusa, devem tratar o quanto for possível do escoamento pluvial, para melhorar o escoamento das precipitações.

### 3.10.5 Amostragem da drenagem pluvial

A escolha do tipo de amostragem a ser empregado vai depender dos objetivos do monitoramento. A estratégia empregada na coleta deve representar o corpo d'água ou as condições específicas de um determinado ponto de interesse.

Para caracterizar corpos hídricos, é possível utilizar três tipos de amostras: amostras discretas; amostras compostas; e amostras integradas (Prosab, 2008):

- Amostras discretas: amostras únicas, coletadas em um local específico do corpo hídrico. Para se ter informações de variabilidade espacial e temporal são necessários realizar inúmeras coletas discretas em locais e horários diferentes.
- Amostras compostas: permitem obtenção de informações mais representativas que as amostras discretas. São obtidas a partir da combinação de várias amostras individuais ou por meio de amostradores automáticos.
- Amostras integradas: são constituídas de amostras discretas, coletadas simultaneamente em diferentes pontos do corpo hídrico, como, por exemplo, diferentes alturas em uma seção transversal.

Segundo Thomson *et al.* 1997, em geral, dois métodos são usados para coletar amostras de qualidade de água de drenagem pluvial de rodovias. Neste caso, é possível estender a afirmação de Thomson, para drenagem pluvial urbana. Os métodos são por amostragem discreta e composta. A primeira é pontual, discreta no tempo, enquanto a segunda é desenvolvida por processo de média ponderada, na qual se tomam vazões instantâneas como pesos. Na amostragem composta faz-se mistura de amostras em tempos diferentes, durante a passagem da onda de cheia.

As amostras discretas contêm informações de valores tão altos quanto à variação temporal dos constituintes, na drenagem, durante o evento. As amostras compostas contêm uma boa representatividade de um dado evento e, portanto, são geralmente usadas para comparar concentração de constituintes entre os eventos de drenagem pluvial (Thomson *et al.* 1997). Estes métodos podem ser usados para determinar características intrínsecas do evento,

ou determinar características entre eventos. As amostras discretas somente podem ser usadas para uma avaliação do evento, pelo fato da aleatoriedade de como ocorrem. Thomson *et al.* (1997) afirmam que as amostras discretas no tempo podem não representar o evento, mas a concentração média do evento, sendo uma amostragem composta, pode caracterizar a qualidade da drenagem pluvial em sua totalidade.

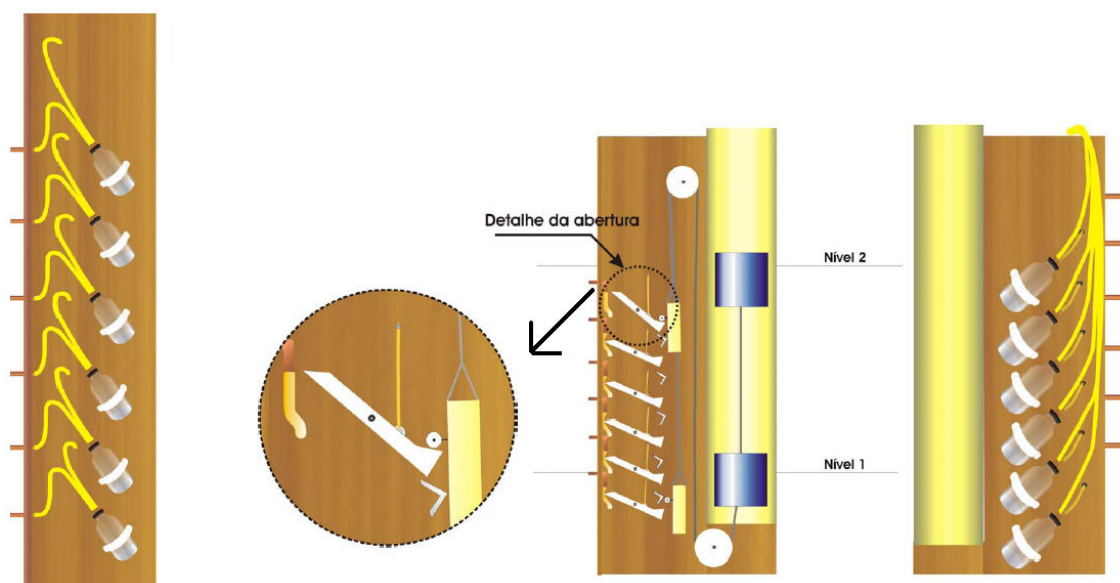
Em estudos de qualidade da drenagem pluvial, muitos pesquisadores têm utilizado métodos de amostragem automática, onde a amostra é bombeada por um amostrador automático, no qual um tubo é utilizado entre o ponto de sucção e as garrafas de coleta. Porém, segundo Lee & Jones-Lee (1999), um dos problemas que ocorrem na amostragem de constituintes químicos particulados em drenagem pluvial é o uso desses amostradores automáticos, pois normalmente são coletadas amostras não representativas das condições de fluxo do corpo d'água.

Há, também, amostradores alternativos como é denominado as garrafas de espera Nava, onde esta técnica de amostragem foi desenvolvida no laboratório de Hidráulica da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (POLI-USP). Este é um amostrador construído com tubo de PVC cada um com capacidade de 1,2 L, permitindo coleta de amostras para avaliação da poluição difusa durante a subida e a descida da onda de cheia (Ravanello *et al.* 2008).

As garrafas de espera ANA e AND foram desenvolvidas na Universidade Federal de Santa Maria – UFSM (Brites, 2005). O amostrador ANA, que opera na subida da onda de cheia, é constituído de garrafas nas quais são acoplados dois sifões, sendo que um permite a entrada de água e o outro a saída de ar durante o enchimento da garrafa. O amostrador AND, que opera na descida da onda de cheia, é semelhante a ao ANA, mas com adição de um sistema de roldanas aliadas a uma bóia. A abertura do bocal de tomada de amostra de cada garrafa, em alturas prefixadas, é acionada pelo dispositivo bóia-contrapeso-roldanas. O amostrador é apresentado na Figura 3.8.

Para a caracterização da qualidade da água do escoamento pluvial a Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN) desenvolveu dois modelos de amostradores, instalados em sarjetas das vias, em locais representativos da área de drenagem. O primeiro é denominado amostrador simples, utilizado para coleta pontual, constituído de um tubo de PVC, dotado de um cap na parte inferior, de um suspensório para retirada no momento da coleta e de uma grade de ferro protetora. O segundo amostrador, denominado composto, foi concebido para a verificação da variação temporal da qualidade da água (PROSAB, 2008).





**Figura 3.8 – Desenho ilustrativo do Amostrador de Nível Ascendente e Descendente, frente-verso, instalado na seção de amostragem da Bacia Hidrográfica Cancela.**

Fonte: Brites (2005).

A Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) desenvolveu outro método de amostragem que consiste na instalação de dispositivos no leito das seções do rio com a função de armazenamento de amostra durante um evento de cheia. O frasco de amostragem possui um regulador de entrada o qual permite uma coleta lenta e gradual, com a finalidade de representar uma amostra integrada durante o evento (PROSAB, 2008).

### 3.10.6 Índice de Qualidade da Água modificado pela CETESB (IQA<sub>CETESB</sub>)

É fundamental a utilização de índices de qualidade com o objetivo de facilitar a interpretação das informações de qualidade de água de forma abrangente e útil, para especialistas ou não. Assim, a CETESB, a partir de um estudo realizado em 1970 pela National Sanitation Foundation (NSF) dos Estados Unidos, adaptou e desenvolveu o Índice de Qualidade das Águas (IQA). Este índice vem sendo utilizado para avaliar a qualidade das águas do Estado de São Paulo (CETESB, 2008).

No entanto, o IQA apresenta algumas limitações, como a possibilidade de superestimar a qualidade da condição real do recurso hídrico (tendo em vista que contempla somente 9 parâmetros). Este índice incorpora parâmetros considerados relevantes para a avaliação da qualidade das águas, tendo como determinante principal a utilização das mesmas para abastecimento público. A origem do IQA baseou-se numa pesquisa de opinião junto a

especialistas em qualidade de águas, que indicaram os parâmetros a serem avaliados, o peso relativo dos mesmos e a condição com que se apresenta cada parâmetro, segundo uma escala de valores (*rating*).

Inicialmente foram escolhidos 35 parâmetros indicadores de qualidade de água, mas somente 9 foram selecionados. Para estes, a critério de cada profissional, foram estabelecidas curvas de variação da qualidade das águas de acordo com o estado ou a condição de cada parâmetro. Estas curvas de variação, sintetizadas em um conjunto de curvas médias para cada parâmetro, bem como seu peso relativo correspondente, são apresentados na Figura 3.9.

O IQA é calculado pelo produtório, que pondera as qualidades de água correspondentes aos parâmetros: i) temperatura da amostra; ii) pH; iii) oxigênio dissolvido; iv) demanda bioquímica de oxigênio (5 dias, 20°C); v) *E. coli*; vi) nitrogênio total; vii) fósforo total; viii) sólidos totais e; ix) turbidez.

A equação 3.19 é utilizada para o produtório:

$$IQA = \prod_{i=1}^n q_i^{w_i} \quad (3.19)$$

onde: IQA - Índice de Qualidade das Águas, um número entre 0 e 100;

$q_i$  - qualidade do  $i$ -ésimo parâmetro, um número entre 0 e 100, obtido da respectiva "curva média de variação de qualidade", em função de sua concentração ou medida;

$w_i$ : peso correspondente ao  $i$ -ésimo parâmetro, um número entre 0 e 1, atribuído em função da sua importância para a conformação global de qualidade, sendo que:

$$\sum_{i=1}^n w_i = 1$$

onde:  $n$  - número de parâmetros que entram no cálculo do IQA.

No caso de não se dispor do valor de algum dos 9 parâmetros, o cálculo do IQA pode ser realizado redistribuindo-se o peso de tal parâmetro entre os demais.

A partir do cálculo efetuado, pode-se determinar a qualidade das águas brutas que, indicada pelo IQA, numa escala de 0 a 100, é classificada para abastecimento público, segundo a graduação a seguir:

- Qualidade Ótima:  $79 < \text{IQA} \leq 100$
- Qualidade Boa:  $51 < \text{IQA} \leq 79$
- Qualidade Aceitável:  $36 < \text{IQA} \leq 51$
- Qualidade Ruim:  $19 < \text{IQA} \leq 36$
- Qualidade Péssima:  $\text{IQA} \leq 19$

### 3.10.7 Índice de Qualidade da Água de Smith ( $\text{IQA}_{\text{SMITH}}$ )

Este índice é composto de dois ou mais Sub-Índices, em escala decrescente, onde  $\text{IQA}_{\text{SMITH}} = \min (I_1, I_2, \dots, I_n)$ . Diferentemente do produto ponderado do IQA modificado pela CETESB, as funções do operador mínimo nunca tocam os dois eixos das ordenadas e abscissas, e, portanto, não ocorre o eclipsamento e não existe região ambígua. A fórmula utilizada na aplicação do IQA Smith é a seguinte:

$$\text{IQA}_{\text{SMITH}} = \min \{I_1, I_2, \dots, I_n\} \quad (3.20)$$

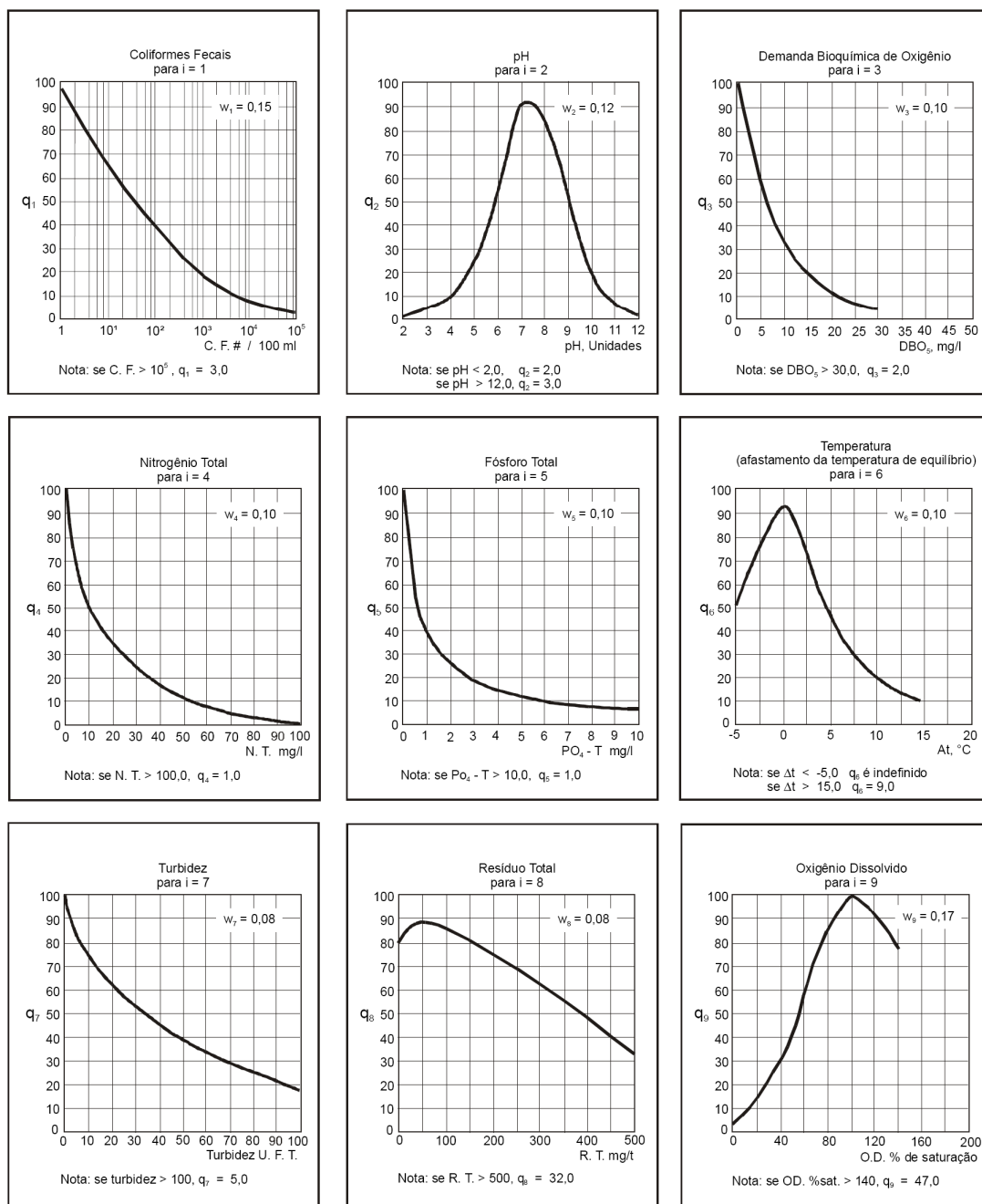
onde:  $\text{IQA}_{\text{SMITH}}$  - Valor do Índice de Smith;

min - menor valor entre;

$I_i$  - Valores dos Sub-índices do IQA modificado pela CETESB: 0 a 100.

O IQA Smith é utilizado para explicitar qual parâmetro, dentre os nove utilizados no  $\text{IQA}_{\text{CETESB}}$ , que apresenta pior qualidade. Na aplicação do IQA Smith, é utilizado o menor Sub-Índice encontrado no IQA modificado pela CETESB. A partir do cálculo do IQA Smith, pode-se determinar a qualidade das águas brutas que, assim como para o IQA modificado pela CETESB, é indicada numa escala de 0 a 100:

- Qualidade Ótima:  $79 < \text{IQA} \leq 100$
- Qualidade Boa:  $51 < \text{IQA} \leq 79$
- Qualidade Aceitável:  $36 < \text{IQA} \leq 51$
- Qualidade Ruim:  $19 < \text{IQA} \leq 36$
- Qualidade Péssima:  $\text{IQA} \leq 19$



**Figura 3.9 - Curvas Médias de Variação de Qualidade das Águas**

Fonte: CETESB (2008).

## 4. MATERIAIS E MÉTODOS

O estudo foi dividido em três etapas sendo os trabalhos de campo (reconhecimento dos locais e seções de estudo *in loco*, instalação de equipamentos, medições e coletas de amostras), de laboratório (realização de análises biológicas e físico-químicas) e de escritório (compilação e tratamentos de dados, aplicação em teorias pertinentes da drenagem pluvial urbana).

### 4.1 Área de estudo

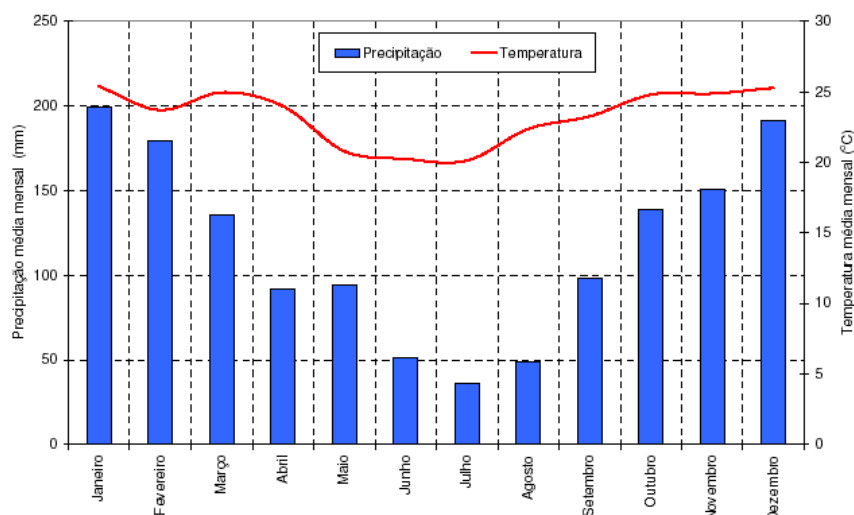
O Estado de Mato Grosso do Sul conta atualmente com uma população de 2.264.468 (estimativa do IBGE em 2005), sendo que destes, 724.524 habitantes (contagem do IBGE em 2007) residem na capital Campo Grande.

Segundo Campo Grande (1999), o Município apresenta uma área total de 8.118,4 km<sup>2</sup>, com uma área urbana de cerca de 350 km<sup>2</sup>, que é composta de sete regiões urbanas e dez bacias hidrográficas.

O clima na cidade, segundo a classificação Koppen, encontra-se entre o sub-tipo mesotérmico úmido sem estiagem, onde a temperatura média do mês mais quente é superior a 22°C, tendo o mês mais seco mais de 30 mm de chuvas e o sub-tipo tropical úmido, com estação chuvosa no verão e seca no inverno.

Na Figura 4.1 são apresentadas as temperaturas médias mensais, juntamente com a precipitação média mensal caracterizando a sazonalidade da cidade. Observa-se que a maioria da precipitação ocorre no período mais quente do ano, entre os meses de outubro e abril (cerca de 75%), reduzindo-se nos meses mais frios. Portanto, a temperatura e a precipitação possuem correlação. O total médio anual do período 1996 a 2005 foi de 1416 mm, com temperatura média de 23,4°C. A temperatura média varia ao longo do ano entre os valores entre 20 e 25°C médios.

Segundo o Instituto de Planejamento Urbano de Campo Grande (PLANURB, 1998), o município conta com dez sub-bacias, dentre elas a bacia do Córrego Bandeira, que é drenada pelos córregos Bandeira, Portinho Pache e o Cabaça, sendo este último o córrego de interesse deste estudo. Todas as dez sub-bacias já demonstram os efeitos das alterações antrópicas na maior parte das suas áreas, em algumas mais e em outras menos, de acordo com o tempo e forma de ocupação.



**Figura 4.1 – Precipitação e temperatura média mensal em Campo Grande-MS**  
 Fonte: PLANURB (2005)

A bacia do Córrego Cabaça localiza-se no Município de Campo Grande-MS, com a maior parte na região urbana do Bandeira e a outra parte na do Anhanduizinho (Figura 4.2).

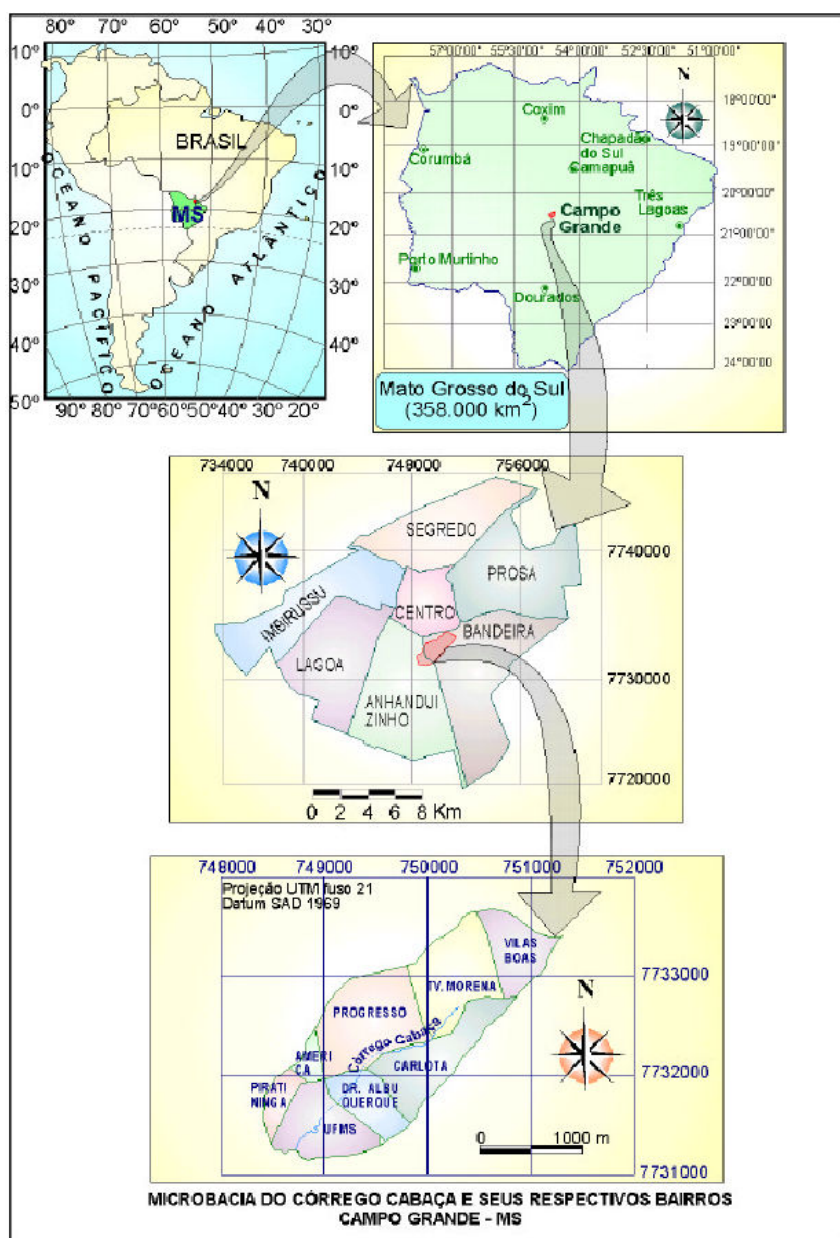
A área escolhida situa-se no planalto da borda oeste da bacia Sedimentar do Paraná, sobre a região conhecida por Planalto de Maracaju-Campo Grande (RADAMBRASIL, 1982).

No que diz respeito à geologia, segundo PLANURB (1991) a maior parte da área está situada sobre os basaltos da Formação Serra Geral, apresenta, também, algumas porções em áreas de aluviões recentes (areia, argila e silte, com ou sem matéria orgânica).

Em relação à pedologia, os solos predominantes são os latossolos vermelho escuro, tanto de textura média, quanto de textura argilosa, além do latossolo roxo. Acompanhando as áreas que margeiam os cursos d'água, encontram-se solos aluviais e hidromórficos, sendo estes, em geral, argilosos e mal drenados, normalmente saturados (PLANURB, 1991).

A escolha da área onde são executados os trabalhos de pesquisa desta natureza tem grande importância na obtenção de resultados confiáveis e que representem com fidelidade a situação de estudo.

Toda a população residente na bacia hidrográfica do Córrego Cabaça é atendida por redes de abastecimento de água, no entanto, sendo que a rede de esgotamento sanitário atende parte da bacia. A coleta urbana de lixo é realizada em toda a bacia hidrográfica, com uma frequência de três dias/semana (PLANURB, 2005).



**Figura 4.2: Localização da bacia do Córrego Cabaça**

Fonte: Lajo (2003).

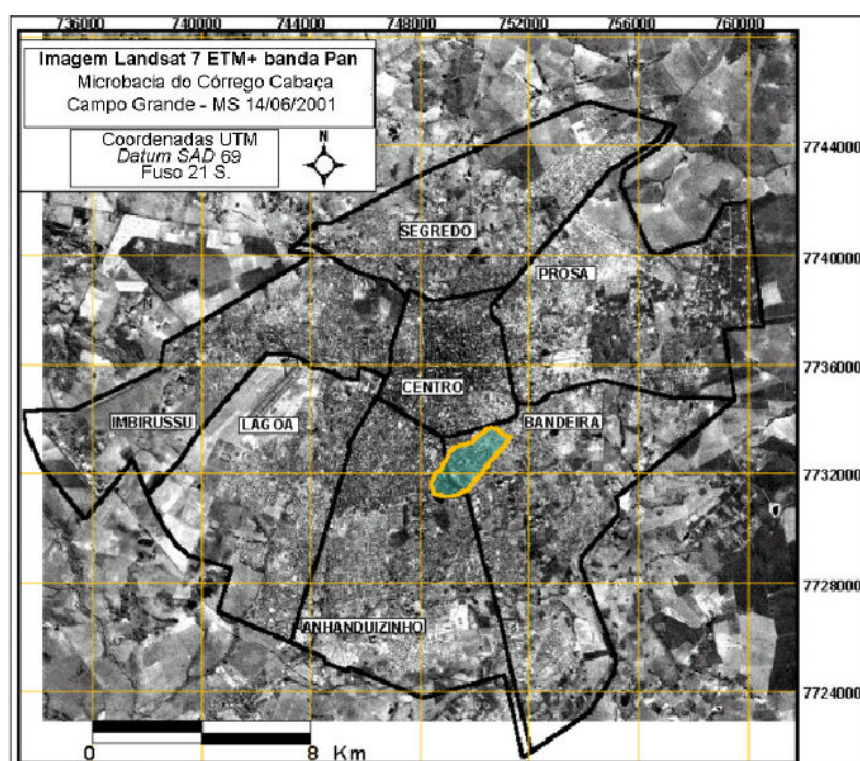
Pode-se verificar que praticamente todos os sistemas de drenagem de águas pluviais dos cursos d'água desta cidade, recebem lançamentos de esgotos clandestinos.

Na busca de bacias de estudos, vários corpos d'água foram inspecionados para verificação da existência de contaminação por esgoto cloacal. Em muitas ocasiões nem foi preciso coletar amostras nos canais e cursos d'água, visto que a contaminação por esgoto doméstico era evidente.

#### 4.1.1 Bacia do Córrego Cabaça

Segundo PLANURB (1998), a ocupação da área do Cabaça começou em 1950 com os loteamentos do bairro Jardim Paulista na parte norte da bacia, na região urbana do Bandeira. Já a ocupação da região urbana do Anhanduizinho, teve seu início na década de 60.

As partes mais densamente ocupadas da área de estudo encontram-se na porção norte, fronteira com a região urbana do Centro (Figura 4.3), apresentando empreendimentos de médio e grande porte, sendo uma parte da cidade importante, no que diz respeito ao comércio e serviços.



**Figura 4.3: Posição da bacia do Córrego Cabaça, em azul, em relação às regiões urbanas de Campo Grande, sobre uma imagem Landsat 7 ETM+ (Engesat, 2001), banda Pan.**

Fonte: Lajo (2003).

Foi observado que o Córrego Cabaça teve sua nascente drenada e canalizada. A nascente está na Vila Carlota, próxima à Rua Spipe Calarge. Este curso d'água tem aproximadamente 1950 metros de comprimento e tem como foz o Lago do Amor, sendo que aproximadamente 800 metros de extensão estão canalizados.

Embora a parte da bacia do Cabaça pertencente à região do Anhanduizinho não apresente uma densidade demográfica alta, como a das regiões centrais, encontra-se



descaracterizada em termos ambientais. Salvo a reserva da UFMS, inexistem outras áreas de proteção ambiental.

Pitaluga (2002) menciona que o Lago do Amor, destino final das águas do Cabaça, foi criado em 1968, no início da implantação do Campus da antiga UEMT (Universidade Estadual de Mato Grosso), atualmente UFMS (Universidade Federal de Mato Grosso do Sul), servindo como um dos cartões postais de Campo Grande, embora apresente um alto índice de degradação e suas águas não tem uma qualidade boa.

A vegetação nativa das margens do córrego já foi quase toda suprimida, havendo remanescentes nos trechos próximos a sua nascente e foz. No Campus da UFMS existe uma RPPN (reserva particular de patrimônio natural), em que a exultória da bacia do Córrego Cabaça deságua.

A situação na bacia do Córrego Cabaça já vem demonstrando as conseqüências de uma ocupação desorganizada. Segundo PLANURB (1998), em algumas partes já existem problemas de inundações em vários pontos; bocas-de-lobo assoreadas; sem contar os despejos de esgotos e a presença de entulhos em várias partes do seu curso.

Nas campanhas de reconhecimento da bacia em questão, verificou-se que o corpo d'água se encontra em amplo processo de deterioração, com muito lixo, entulhos, apresentando também inúmeros pontos com lançamentos clandestinos de esgoto doméstico (Figura 4.4).



**Figura 4.4: Lançamento clandestino de esgoto no Córrego Cabaça**

Embora o Córrego Cabaça apresente uma lâmina d'água pequena durante a maior parte do tempo, sua vazão pode elevar-se, significativamente durante um período de chuvas fortes, chegando até mesmo inundar áreas que se encontram construídas com residências e

pavimentações asfálticas, trazendo incômodos e prejuízos econômicos para moradores e administradores públicos.

Após cerca de 600 metros da seção de estudo do Córrego Cabaça, existe um lago, denominado de Lago do Amor, podendo ser observado o surgimento de um processo de assoreamento. É sabido que este reservatório artificial encontra-se em amplo processo de eutrofização, onde os pesquisadores afirmam que esta causa é devida a lançamento de efluentes domésticos e industriais. Considerando sucessivos eventos de precipitação, é possível verificar que as cargas difusas podem contribuir com representativa parcela de degradação, para tal ambiente lântico.

#### **4.1.2 Classificação do uso e ocupação do solo da bacia do Córrego Cabaça**

A classificação foi efetuada com base na fotointerpretação manual de uma imagem Ikonos de 2006, georeferenciada e fusionada, possibilitando assim que a resolução espacial das bandas multiespectrais – RGB - passasse de quatro para um metro, aumentando a definição das feições urbanas.

Para otimizar tempo de processamento foi efetuado, primeiramente, o recorte na imagem da área de interesse utilizando o limite da bacia do Cabaça adaptado de Lajo (1999), onde o exutório foi realocado espacialmente para dentro do Campus da UFMS. Esta adaptação permitiu um melhor local para amostragem e medição dos níveis de água, devido à presença de um bueiro duplo celular.

Todos os procedimentos da classificação foram efetuados no aplicativo Geomatica. A escolha por este programa foi motivada pela possibilidade de trabalhar num mesmo arquivo, mas em camadas distintas, a imagem raster e o layer vetorial da classificação, criado segundo critérios topológicos. Evita-se assim uma sobreposição de áreas que invalidaria os resultados finais da classificação.

Uma vez delimitada a área de interesse foi executada a classificação manual com a criação dos polígonos. Posteriormente aos polígonos foram adicionados o atributo relacionado à classificação segundo duas classes: Permeável e Impermeável.

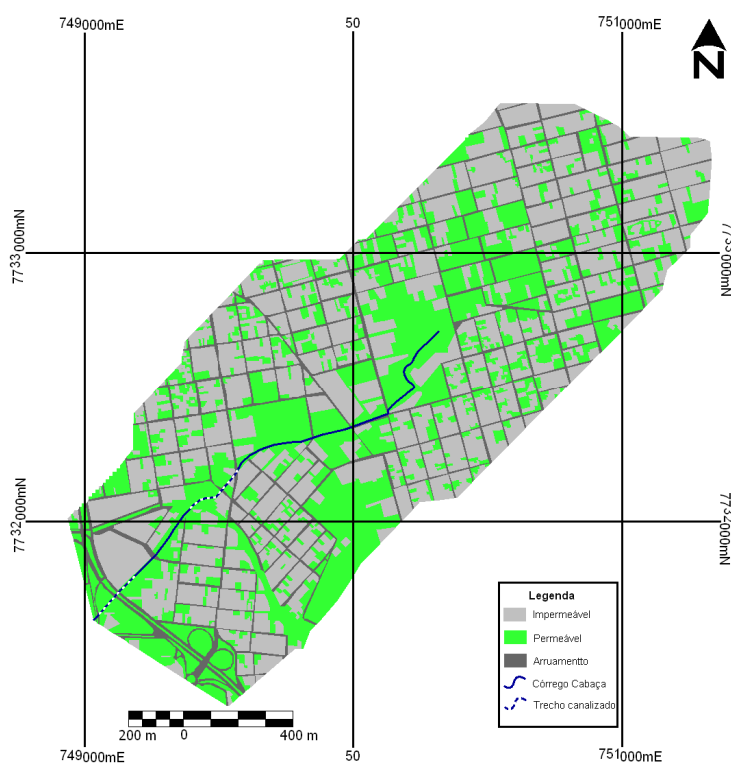
Considerou-se impermeável, preponderantemente, coberturas como telhados de casas e estabelecimentos, calçadas, pátios de concreto ou lama asfáltica. As áreas permeáveis compreendem, em sua maioria, vegetação (arbórea ou gramínea) e solo exposto.

A tabela 4.1 mostra os valores e porcentagens de área permeável e impermeável na bacia do Córrego Cabaça.

**Tabela 4.1: Classe de cobertura do solo da bacia do Córrego Cabaça**

Classes	Área (km <sup>2</sup> )	Porcentagem (%)
Impermeável	1,59	63
Permeável	0,94	37
Total	2,53	100

Com todos os polígonos dotados de atributo de cobertura, como permeável ou impermeável, fez-se a somatória das áreas e foi criado o layout do mapa final de cobertura, (Figura 4.5).



**Figura 4.5: Delimitação da bacia do córrego cabaça**

## 4.2 Seção de monitoramento

Várias seções para o monitoramento do deflúvio e amostragem foram buscadas e avaliadas neste estudo. Percorreu-se por toda a bacia do Córrego Cabaça, porém nenhuma

seção se mostrou viável, pelo fato da pesquisa se realizar em momentos de escoamento, e assim sendo é de se esperar altas vazões, dificultando o monitoramento e a amostragem.

Primeiramente, foi analisada uma seção do Córrego Cabaça, dentro da RPPN da UFMS. O método para análise do deflúvio seria a realização do traçado e extrapolação de uma curva-chuva, fazendo-se análise das condições hidráulicas do local, incluindo a verificação da existência de controle e das condições gerais do canal, como posição da seção de medição, entre outros fatores.

Em campanhas expeditas de verificação do comportamento do escoamento na área de estudo, optou-se por não utilizar esta metodologia, pelo fato das vazões aumentarem consideravelmente, colocando em risco os equipamentos e as pessoas envolvidas na medição. Foi feito orçamento para a inserção de uma ponte na seção de estudo, para a realização das medições, porém esta também se mostrou inviável (Figura 4.6).



**Figura 4.6: Seção de estudo avaliada – calibração de curva-chave**

Foi analisada também a viabilidade da inserção de uma calha medidora de vazão na mesma seção apresentada na figura 4.6. Esta se tornou inviável por questões econômicas. Avaliou-se também a inserção de uma calha em um bueiro duplo do córrego (Figura 4.7). Foram feitos vários orçamentos, inclusive utilizando vários materiais, e esta técnica também se mostrou inviável economicamente.



**Figura 4.7: Seção de estudo avaliada – inserção de calha medidora de vazão**

Apesar da proposta da calha para medir vazões na seção de estudo do bueiro duplo celular, ser inviável, pelos motivos expostos a seguir, determinou-se neste local a seção de monitoramento (Figura 4.8), por apresentar:

- viabilidade de acesso à seção de monitoramento;
- possibilidade de utilização das réguas linimétricas instaladas para a observação da onda de cheia;
- viabilização de medições de vazão e coletas de amostras para determinação de qualidade de água.



**Figura 4.8: Seção de Monitoramento em Bueiro Duplo Celular**

### 4.3 Determinação do deflúvio da drenagem pluvial

Existe grande número de métodos para medir a vazão, porém para tal estudo de qualidade da drenagem pluvial, necessita-se impor algumas condições, tais como:

- não provocar represamento;
- não provocar formação de depósito de material sedimentável;
- facilidade de operação e manutenção;
- facilidade para realizar as coletas;
- boa precisão;
- baixo custo.

Considerando que a bacia do Córrego Cabaça possui uma área de aproximadamente 2,53 km<sup>2</sup> e apresenta elevado grau de impermeabilização, fato que provoca um grande volume de água drenada em eventos pluviais e levando-se em conta as questões abordadas acima que influenciariam na análise da qualidade de drenagem pluvial e os aspectos econômicos, foi selecionado um método hidráulico para estimar as vazões que ocorrem durante a passagem da onda de cheia pela seção monitorada.

Foram avaliadas várias técnicas para estimar vazão, porém muitas delas contrapunham os pressupostos acima mencionados. Utilizou-se, então, a equação de Manning, para estimar as vazões de deflúvio.

Para tanto, as características do canal como a declividade, a rugosidade, a forma e o comprimento foram levantadas e, assim, proposta a equação de Manning (equação 4.1), para estimar as vazões na seção de estudo.

$$Q = \frac{A \cdot R_H^{2/3} \cdot I^{1/2}}{n} \quad (4.1)$$

Onde:

Q – Vazão em m<sup>3</sup>/s;

I – Declividade do canal em m/m;

n – Rugosidade do canal;

A – Área Molhada, em m<sup>2</sup>;

R<sub>H</sub> – Raio Hidráulico, em m.



Uma série de parâmetros é necessária para descrever tal equação. Os elementos geométricos são:

- a) área molhada (A): é a área da seção reta do escoamento, normal à direção do fluxo;
- b) perímetro molhado (P): é o comprimento da parte da fronteira sólida da seção do canal (fundo e paredes) em contato com o líquido; a superfície livre não faz parte do perímetro molhado;
- c) raio Hidráulico (Rh): é a relação entre a área molhada e o perímetro molhado;
- d) altura d'água ou tirante d'água (y): é a distância vertical do ponto mais baixo da seção do canal até a superfície livre;
- e) declividade de fundo (I): é a declividade longitudinal do canal.

Pelo fato dos canais apresentarem forma trapezoidal nas laterais foram propostas equações, para as determinações das vazões para seções onde  $h \leq 0,10\text{m}$  e para seções onde  $h > 0,10\text{m}$ . Foram então determinadas quatro equações para estimar as vazões pelas seções dos canais para  $h \leq 0,10\text{m}$  e  $h > 0,10\text{m}$ . Isso ocorreu pelo fato dos canais apresentarem pequena diferença nas declividades.

Para o canal 1:

$$Q = 29,94 y^{5/3} \quad h \leq 0,10 \text{ m}$$

$$Q = \frac{71,3 y^{5/3}}{(2y+2,70)^{2/3}} \quad h > 0,10 \text{ m}$$

Para o Canal 2:

$$Q = 29,75 y^{5/3} \quad h \leq 0,10 \text{ m}$$

$$Q = \frac{71 y^{5/3}}{(2y+2,70)^{2/3}} \quad h > 0,10 \text{ m}$$

As características geométricas do canal foram medidas, e então estimados o raio hidráulico e a área molhada das seções.

Foi adotado um coeficiente de rugosidade de Manning, sendo que este é expresso por  $n$ , e pode variar dependendo da natureza das paredes do canal.

A declividade do canal foi determinada, fazendo-se levantamento em campo. Para tal, utilizou-se nível a laser para determinação do desnível do canal por onde escoa a água (Figura 4.9).



**Figura 4.9: Medição da declividade do canal com nível a laser**

#### **4.4 Medição de altura fluviométrica**

Durante as ondas de cheias, foram utilizadas réguas linimétricas para a observação dos níveis para os momentos de amostragem de água, avaliados no decorrer do evento. Será visto mais adiante, a metodologia de amostragem de água antes e durante a passagem do evento.

Em casos de variações rápidas de nível, aparelhos registradores contínuos, denominados de linígrafos são ideais para maiores precisões do comportamento fluviométrico. No entanto, neste estudo as alturas fluviométricas são estimadas através da observação em campo da ascensão e recessão dos níveis de água, utilizando-se réguas graduadas fixadas na seção de monitoramento (bueiro duplo celular).

Os valores dos níveis de água, observados durante a onda de cheia, foram posteriormente aplicados na equação de Manning, possibilitando assim determinar os valores de descargas líquidas durante os eventos pluviais.



#### 4.5 Medição da altura pluviométrica

Pluviógrafos são aparelhos capazes de registrar continuamente, de forma analógica ou digital (datalogger), a precipitação em um local. Neste estudo foi instalado 01 (um) pluviógrafo *datalogger Squitter S1610* (Figura 4.10). De acordo com Tucci (2002), em áreas menores que 5 km<sup>2</sup> (bacias elementares), os eventos pluviosos são considerados uniformes. Por este motivo apenas um pluviógrafo é representativo no monitoramento das precipitações, haja vista que foram monitorados apenas eventos homogêneos. A Figura 4.11 ilustra a posição do pluviógrafo em relação à bacia estudada.



**Figura 4.10: Pluviógrafo *datalogger Squitter S1610***



**Figura 4.11: Posição do Pluviógrafo em relação à área de drenagem**

O critério adotado para o processamento dos dados de altura de chuva foi desacumular os valores a cada cinco minutos, fornecendo o hietograma tempo versus intensidade, a cada 5 minutos.

## 4.6 Coletas de amostras de qualidade de água

### 4.6.1 Parâmetros de qualidade de água

Os parâmetros químicos, físicos e bacteriológicos de qualidade de água analisados, as unidades e as respectivas técnicas analíticas encontram-se na tabela 4.2. Foram analisados os principais nutrientes, metais, série de sólidos e outros parâmetros físicos e químicos.

Após coleta dentro de cerca de 30 minutos, todas as amostras chegavam ao laboratório e imediatamente fazia-se a triagem para a separação das amostras a serem preservadas ou apenas refrigeradas (Figura 4.12). Estas eram imediatamente armazenadas em uma câmara de refrigeração. Os métodos de coleta, preservação de amostras e as análises laboratoriais seguiram a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), o manual de coletas e preservação de amostras da CETESB e as técnicas recomendadas pelo *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*, 21ª edição (APHA;AWWA;WPCF, 2005).

Vários fatores foram levados em consideração na seleção dos parâmetros monitorados neste trabalho. Estes fatores, entre outros incluem:

- 1- características dos constituintes do escoamento urbano;
- 2- suspeita de existência de determinados poluentes na bacia;
- 3- significância sanitária da drenagem pluvial;
- 4- parâmetros de qualidade da água de escoamento pluvial urbanos comumente verificados.



**Figura 4.12: Frascos de coleta de evento amostrado**

Os parâmetros físicos, constituintes orgânicos, constituintes inorgânicos, nutrientes e indicadores microbiológicos foram analisados no Laboratório de Qualidade Ambiental (LAQUA) da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul.

**Tabela 4.2 – Lista de parâmetros físicos, químicos e bacteriológicos.**

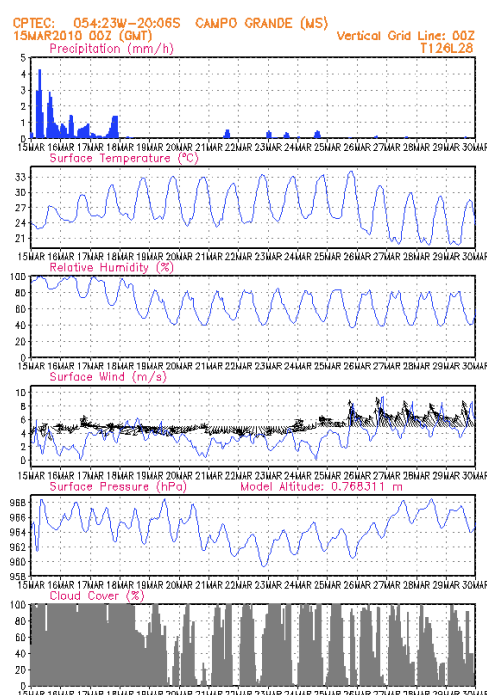
Lista de parâmetros físicos, químicos e bacteriológicos.			
Parâmetros	Unidades	Técnica analítica	
Nutrientes			
Fosfato total	mg.L <sup>-1</sup> PO <sub>4</sub> <sup>-3</sup>	Standard Methods - Método Cloreto estanhoso	
Nitrogênio amoniacal	mg.L <sup>-1</sup> N-NH <sub>3</sub>	HACH - Método 8038	
Nitrogênio Total Kjeldahl	mg.L <sup>-1</sup> N	Standard Methods – Método Kjeldahl	
Químicos			
DBO <sub>5</sub>	mg.L <sup>-1</sup> O <sub>2</sub>	Standard Methods - Método 5210 B	
OD	mg.L <sup>-1</sup> O <sub>2</sub>	Standard Methods - Método 5220 C	
DQO	mg.L <sup>-1</sup> O <sub>2</sub>	Standard Methods - Método 5220 D	
Surfactantes	mg.L <sup>-1</sup> Surf. Ânion	Standard Methods - Método 5320 C	
Cloreto total	mg.L <sup>-1</sup> Cl	Standard Methods – Método dicromato de potássio	
Alcalinidade	mg.L <sup>-1</sup> CaCO <sub>3</sub>	Standard Methods - Método 2320 B	
Sulfatos	mg.L <sup>-1</sup> SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup>	Standard Methods - Método 4500	
Manganês	mg.L <sup>-1</sup> Mn	Digestão	
Ferro	mg.L <sup>-1</sup> Fe		
Níquel	mg.L <sup>-1</sup> Ni		Standard Methods - Método 3030 G
Cádmio	mg.L <sup>-1</sup> Cd		
Chumbo	mg.L <sup>-1</sup> Pb	Determinação	
Cromo	mg.L <sup>-1</sup> Cr		
Cobre	mg.L <sup>-1</sup> Cu		
Zinco	mg.L <sup>-1</sup> Zn		
Físicos			
Temperatura da água	°C	Standard Methods - Método 2550 B	
Temperatura do ar	°C	Standard Methods - Método 2550 B	
pH		Standard Methods - Método 4500-H+ B	
Condutividade	µS.cm <sup>-1</sup>	Standard Methods - Método 2510 B	
Turbidez	UNT	Standard Methods - Método 2130 B	
Cor	mg.L <sup>-1</sup> Pt	Standard Methods - Método 2120 B	
Óleos e Graxas	mg.L <sup>-1</sup>	Standard Methods - Método 5520 D	
Sólidos totais	mg.L <sup>-1</sup> ST	Standard Methods - Método 2540 B	
Sólidos fixos totais	mg.L <sup>-1</sup> SFT	Standard Methods - Método 2540 E	
Sólidos voláteis totais	mg.L <sup>-1</sup> SVT	Diferença	
Sólidos suspensos totais	mg.L <sup>-1</sup> SST	Standard Methods - Método 2540 D	
Sólidos suspensos fixos totais	mg.L <sup>-1</sup> SSF	Standard Methods - Método 2540 E	
Sólidos suspensos voláteis totais	mg.L <sup>-1</sup> SSV	Diferença	
Sólidos dissolvidos totais	mg.L <sup>-1</sup> SDT	Standard Methods - Método 2540 D	
Sólidos dissolvidos fixos totais	mg.L <sup>-1</sup> SDF	Standard Methods - Método 2540 E	
Sólidos dissolvidos voláteis totais	mg.L <sup>-1</sup> SDV	Diferença	
Bacteriológicos			
Escherichia coli	NMP/100mL	Standard Methods - Método 9223 B / Colilert	
Coliformes totais	NMP/100mL	Standard Methods - Método 9223 B / Colilert	

#### 4.6.2 Previsão da precipitação

A execução desta pesquisa baseou-se no sucesso e fracasso da ocorrência de eventos chuvosos, portanto, de difícil execução. Devido à aleatoriedade de uma precipitação favorável, foram utilizados, neste estudo, modelos de previsão climática.

A previsão de chuva foi baseada em meteogramas disponíveis no endereço eletrônico do CPTEC/INPE e na observação da formação de nuvens, em campo, diante da possível iminência de precipitação. O modelo de previsão adotado foi o Global T126L28, para 15 dias, conforme exemplo apresentado na Figura 4.13. A previsão foi monitorada para as seguintes localidades: i) Dourados (MS); ii) Coxim (MS); iii) Três Lagoas (MS); e iv) Corumbá (MS).

Ao analisar-se a informação da possibilidade de chuva, a equipe de campo deslocava-se com antecedência ao local de amostragem, aí permanecendo de plantão esperando a precipitação. A dificuldade de uma previsão sempre acertada fez com que várias campanhas fossem frustradas. Além disso, nem sempre a precipitação ocorrida se prestava para a coleta de amostras e análise posterior em laboratório, pois dependendo da intensidade e duração da chuva o escoamento produzido era muito pequeno e não permitia uma coleta adequada ou a chuva apenas umedecia a superfície do solo, formava poças enchendo as depressões, não promovendo escoamento.



**Figura 4.13: Meteograma utilizado para previsão de precipitações**  
 Fonte: Cptec (2010)

Para os objetivos desta pesquisa as chuvas ideais foram às moderadas a fortes, que promoviam melhor lavagem das ruas, sarjetas e outras superfícies e produziam um volume de água suficiente para a coleta.

Precipitação, descarga e o tempo de amostragem de qualidade da água foram registrados sincronizadamente. A cada cinco minutos a partir do instante do início da precipitação era feita a leitura do nível da água na régua instalada na seção e anotadas em uma ficha de medição.

#### **4.6.3 Amostragem da drenagem Pluvial**

As formas de coleta de escoamento pluvial urbano tem variado de pesquisa para pesquisa, não havendo uma uniformidade nesse sentido. Amostras são coletadas manualmente com baldes e até com os mais sofisticados amostradores automáticos considerando a ascensão e recessão do hidrograma da bacia.

Coletou-se amostras do escoamento em tempo seco (fluxo de base) e durante a chuva, tomando-se todas as precauções para assegurar a representatividade da composição das características de cada amostra.

Quantidades suficientes para as análises físicas, químicas e bacteriológicas (aproximadamente 10 litros) eram coletados a cada amostragem. Medida a temperatura da água, a amostra era transferida aos recipientes apropriados a cada tipo de determinação. Os recipientes eram previamente etiquetados, contendo suficiente informação para proporcionar uma rápida e segura identificação no local de coleta e no laboratório.

#### **4.6.4 Determinação dos espaçamentos temporais de amostragem**

Devido à complexidade da amostragem de um evento, pela variabilidade das cotas fluviométricas e condições de campo, pesquisadores tem utilizado amostradores automáticos com períodos de coleta que variam de acordo com o tempo de concentração de uma bacia hidrográfica. Entretanto, como foi definido no item 4.6.3, a amostragem foi feita manualmente, com espaçamentos temporais conforme a metodologia descrita adiante. A amostra do fluxo de base era coletada antes do início da contribuição do escoamento superficial para verificar as características iniciais. Esta amostra foi designada de nº 1.

Procurou-se amostrar dois pontos na curva de ascensão do hidrograma, um ponto representando o pico e finalizando com dois pontos na curva de recessão do hidrograma. Lajo

(2003), aplicando o método racional para a carta de cobertura do Córrego Cabaça de 1999, estimou um tempo de concentração de 62,87 min e uma vazão de pico de 31,4 m<sup>3</sup>/s, portanto esta discretização adotada é em relação a esta resposta à precipitação pela bacia, observada em campo.

No primeiro evento coletou-se uma amostra representando o escoamento de base, duas na ascensão, uma no pico e quatro amostras na curva de recessão do hidrograma, totalizando oito pontos amostrados. Isto é porque no primeiro evento não se previa ao certo, o comportamento dos níveis de água na régua linimétrica.

O critério de coleta adotado acima foi seguido para o segundo evento, coletando-se escoamento de base, duas na ascensão, uma no pico e com três pontos na curva de recessão do hidrograma, totalizando sete pontos amostrados. Isto foi devido à oscilação do nível da água na régua linimétrica, havendo uma tendência de aumentar os níveis de água no decorrer da curva de recessão.

No terceiro, quarto e quinto evento coletou-se uma amostra representando o escoamento de base, duas na ascensão, uma no pico e duas na curva de recessão do hidrograma, totalizando ao todo seis pontos de amostragem.

Para o sexto evento coletou-se uma amostra de base, três na curva de ascensão, uma no pico e duas na recessão do hidrograma, totalizando sete pontos amostrados. Coletaram-se três pontos na ascensão do hidrograma, pelo fato da coleta ter sido realizada em horários diferentes. No caso, a precipitação que gerou o sexto evento de escoamento, começou e findou-se na parte da manhã, reiniciando com maior intensidade no final da tarde, fazendo com que o processo de coleta se reiniciasse. Como pode ser visto, um sistema automatizado com tempos fixos de amostragem podem não acompanhar o comportamento do hidrograma, de uma dada precipitação.

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 5.1 Considerações gerais

Encontram-se enormes dificuldades para execução de pesquisas desta natureza, devido à necessidade de espera e observação dos eventos de drenagem pluvial, principalmente, em virtude da aleatoriedade das precipitações. Tais características fizeram desta pesquisa, um desafio, para que fossem amostrados os eventos. Foram observadas muitas precipitações na seção de estudo, porém, destas, muitas não produziam escoamento superficial, sendo que apenas umedeciam o asfalto, acumulavam-se nas depressões e não produziam escoamento superficial ou então produziam uma pequena vazão escoada. Eventos como esses não puderam ser amostrados. As chuvas observadas com características de frente estacionárias, ou ciclônicas, raramente ocasionaram escoamentos superficiais, frustrando a expectativa da onda de cheia.

A avaliação de cargas difusas requer um monitoramento intensivo. Logo após uma precipitação, efetiva ou não, o pesquisador, que optar por amostragem manual, mesmo que sendo discreta e pontual, deve iniciar um processo de observação rigoroso do tempo ou do nível linimétrico, para que sejam efetuadas as coletas conforme a estimativa do tempo de concentração e de base dos hidrogramas, ou conforme os acréscimos e decréscimos das cotas fluviais ( $\Delta C$ ), respectivamente. Neste estudo, optou-se pelo monitoramento das cotas fluviais.

Quanto à observação qualitativa da água, foi clara a verificação da variação de vários parâmetros tais como cor, turbidez e sólidos da água do córrego. Foi observado que o pico do polutograma em relação ao hidrograma se adiantou para vários parâmetros na maioria dos eventos. Em todos os eventos, foi verificado que as duas primeiras amostras na curva de ascensão do hidrograma apresentavam grande quantidade de material orgânico escuro, devido à presença de resíduos acumulados no canal e também a resíduos advindos do escoamento pluvial. Para todos os eventos também foi observado que na curva de recessão do hidrograma, ocorria um elevado transporte de sólidos. Foi verificado para estes um atraso do polutograma em relação ao hidrograma, observado também na amostragem de campo, devido ao maior transporte de sólidos após o pico do escoamento pluvial.

Os eventos foram observados entre 11/02/09 a 23/04/10. As amostras foram coletadas, preservadas, e encaminhadas para o Laqua (Laboratório de Qualidade Ambiental), UFMS, para análises laboratoriais.

Seis eventos foram amostrados. Na tabela 5.1 estão relacionados os horários de coleta das amostras de cada evento. A amostra 01 é a amostra do fluxo de base que antecede o evento, coletada após a observação de possível precipitação efetiva.

As chuvas que provocaram considerável escoamento superficial, ou seja, chuvas efetivas relevantes ao estudo foram tão somente chuvas convectivas. Os eventos amostrados provenientes de chuvas convectivas foram as de número 01, 02, 03, 04, 05 e 06.

Os hidrogramas e hietogramas registrados dos eventos encontram-se no anexo B, bem como os pontos amostrados, conforme metodologia proposta.

O número de pontos de amostragem (n) após o ponto de pico de cheia não foi constante, devido às condições de campo, no momento da coleta. A princípio, seria interessante realizar mais coletas na curva ascendente do hidrograma. Porém, a variabilidade da forma dos hidrogramas dos eventos induziu dúvida em qual altura linimétrica amostrar. Associa-se a este fato o rápido escoamento pela seção de estudo, principalmente na curva de ascensão do hidrograma.

**Tabela 5.1 – Data/hora da coleta das amostras.**

<b>Amostra</b>	<b>Evento 01</b>	<b>Evento 02</b>	<b>Evento 03</b>	<b>Evento 04</b>	<b>Evento 05</b>	<b>Evento 06</b>
01	11/02/09 15:15	09/03/09 16:20	10/03/09 12:55	11/02/10 12:50	15/03/10 8:46	23/04/10 9:28
02	11/02/09 15:25	09/03/09 16:28	10/03/09 13:15	11/02/10 13:20	15/03/10 9:10	23/04/10 9:57
03	11/02/09 15:55	09/03/09 16:43	10/03/09 13:25	11/02/10 13:25	15/03/10 9:19	23/04/10 17:20
04	11/02/09 16:10	09/03/09 16:58	10/03/09 13:50	11/02/10 13:50	15/03/10 9:57	23/04/10 17:40
05	11/02/09 16:25	09/03/09 18:08	10/03/09 14:00	11/02/10 14:15	15/03/10 10:40	23/04/10 18:00
06	11/02/09 16:35	09/03/09 18:18	10/03/09 15:15	11/02/10 14:45	15/03/10 12:45	23/04/10 18:20
07	11/02/09 16:45	09/03/09 19:18				23/04/10 20:35
08	11/02/09 17:00					

## **5.2 DAE – Dias Antecedentes de Estiagem**

O DAE é o número de dias antecedentes de estiagem, freqüentemente utilizado em estudos de qualidade de drenagem pluvial urbana. Pesquisadores têm utilizado esse fator correlacionando-o com a concentração de determinados parâmetros durante um evento de drenagem pluvial.



A literatura mostra que mesmo em áreas urbanas não se tem registrado muito sucesso nessa correlação. Pode haver alguma influência, mas não foi possível a obtenção de resultados estatisticamente mais confiáveis neste estudo devido à quantidade de eventos amostrados. Para esta observação, seria necessário comparar várias chuvas de intensidade e duração similar, com diferentes períodos de estiagem. Se a concentração e a carga não forem uma função do DAE e, considerando que a chuva não remove todos os contaminantes da área, a carga poluidora pode ser mais uma função do efeito da lavagem pela precipitação do que pelo DAE.

Nesta pesquisa, o DAE foi comparado com as CMEs de cada evento, para cada parâmetro. Observou-se pouca relação, porém com clara tendência, em quase todos os parâmetros, em aumentar suas concentrações em função do aumento do DAE.

Os números de DAE registrados no período de monitoramento foram de 0,79 a 21 dias. A Tabela 5.2 mostra o DAE de cada evento e as características das respectivas chuvas.

**Tabela 5.2 – Características dos eventos chuvosos observados.**

<b>Evento</b>	<b>Data</b>	<b>DAE (dias)</b>	<b>Duração da chuva (minutos)</b>	<b>Altura (mm)</b>	<b>Intensidade (mm/min)</b>
01	11/2/09 15:15	6,75	53	6,5	0,12
02	9/3/09 16:20	7,75	89	65,75	0,73
03	10/3/09 12:55	0,79	32	27,25	0,85
04	11/2/10 12:50	3,9	66	10,75	0,16
05	15/3/10 8:46	15,6	120	42,5	0,35
06	23/4/10 20:35	21	112	24,5	0,21

### 5.3 Qualidade da drenagem pluvial

Os resultados das análises das águas de drenagem pluvial encontram-se no anexo A. A tabela 5.3 apresenta a média aritmética, desvio padrão e valores extremos (mínimo e máximo) dos parâmetros analisados dos seis eventos amostrados.

Foram encontrados valores interessantes quanto a relação entre concentração máxima e mínima. As relações encontradas são extremamente variadas. O parâmetro menos influenciado pelas cargas difusas na área de estudo, foi o pH apresentando relação 1,2. DBO<sub>5</sub> apresentou relação de 24,1; DQO, 12,9; oxigênio dissolvido, 4,2 e óleos e graxas de 7,1.

Fosfato total mostrou relação de 16,5, cloretos de 37,6, turbidez de 150,5, Cor aparente de 128, Surfactantes de 832 e Nitrogênio amoniacal de 10,6. Ide (1984) encontrou relação entre concentração máxima e mínima de fosfato total igual a 322,5 e para nitrogênio

amoniacal, 15,8, valores estes maiores do que aqueles encontrados na bacia do Córrego Cabaça.

**Tabela 5.3 – Concentrações dos parâmetros na drenagem pluvial nos seis eventos do Córrego Cabaça.**

PARÂMETROS	Unidades	Média	Desvio Padrão	Extremos	
				Mínimo	Máximo
Temperatura do ar	°C	24	2	20	28
Temperatura da água	°C	25	2	21	29
OD	mg.L <sup>-1</sup> O <sub>2</sub>	5,9	0,9	3,4	7,2
DBO <sub>5</sub>	mg.L <sup>-1</sup> O <sub>2</sub>	24,8	19,9	3,3	79,5
DQO	mg.L <sup>-1</sup> O <sub>2</sub>	113,5	78,8	24,9	320,0
Coliformes totais	NMP/100mL	9,5E+06	9,1E+06	8,6E+05	2,4E+07
<i>Escherichia coli</i>	NMP/100mL	3,6E+05	5,3E+05	4,1E+04	3,2E+06
Nitrogênio total	mg.L <sup>-1</sup> N	4,6	2,2	1,6	10,4
Nitrogênio orgânico	mg.L <sup>-1</sup> N- NH <sub>3</sub>	2,6	1,7	0,1	7,6
Nitrogênio amoniacal	mg.L <sup>-1</sup> N- NH <sub>3</sub>	1,5	1,0	0,4	4,5
NTK	mg.L <sup>-1</sup> N- NH <sub>3</sub>	4,1	2,1	1,6	10,2
Nitrito	mg.L <sup>-1</sup> N-NO <sup>-2</sup>	0,13	0,18	0,01	0,72
Nitrato	mg.L <sup>-1</sup> N-NO <sup>-3</sup>	0,36	0,47	0,03	2,54
Fosfato total	mg.L <sup>-1</sup> PO <sub>4</sub> <sup>-3</sup>	1,19	0,65	0,17	2,80
Cloretos	mg.L <sup>-1</sup> Cl <sup>-</sup>	4,5	5,7	1,0	37,6
Cor aparente	mg.L <sup>-1</sup> Pt	155,1	146,6	5,0	640,0
Turbidez	UNT	470,05	422,73	12,50	1881,33
pH	-	7,0	0,3	6,6	7,7
Condutividade	µS/cm	120,63	92,61	39,53	473,10
Sulfatos	mg.L <sup>-1</sup> SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup>	9,9	6,1	2,0	28,0
Alcalinidade	mg.L <sup>-1</sup> CaCO <sub>3</sub>	61,7	39,9	16,2	177,4
Óleos e Graxas	mg.L <sup>-1</sup>	12,7	6,3	4,6	32,7
Sólidos Sedimentáveis	ml/1000 ml	2,9	2,2	0,1	8,0
Surfactantes	mg.L <sup>-1</sup> Surf.Ânion	1,67	2,11	0,01	8,3
ST	mg.L <sup>-1</sup>	712,2	546,9	168,00	2528
SDT	mg.L <sup>-1</sup>	186,9	166,2	27	928
SST	mg.L <sup>-1</sup>	527,7	454,5	16,9	1793
SFT	mg.L <sup>-1</sup>	620,7	513,9	120	2294
SVT	mg.L <sup>-1</sup>	96,0	67,6	9	285
Chumbo	mg.L <sup>-1</sup> Pb	0,15	0,03	0,10	0,27
Zinco	mg.L <sup>-1</sup> Zn	0,34	0,36	0,07	2,12
Cobre	mg.L <sup>-1</sup> Cu	0,19	0,15	<LD	0,61
Cádmio	mg.L <sup>-1</sup> Cd	<LD	<LD	<LD	0,07
Manganês	mg.L <sup>-1</sup> Mn	0,45	0,31	0,01	1,21
Níquel	mg.L <sup>-1</sup> Ni	0,10	0,21	0,01	1,09
Cromo	mg.L <sup>-1</sup> Cr	<LD	<LD	<LD	<LD
Ferro	mg.L <sup>-1</sup> Fe	22,04	16,99	0,90	70,64

Nota: LD – Limite de detecção (mg.L<sup>-1</sup>): Cádmio – 0,002; Cromo – 0,006; Zinco – 0,001; Cobre – 0,003; Níquel – 0,001.

A relação de ST encontrado no estudo de Ide foi de 63,9 para 15 na bacia do Córrego Cabaça. Sólidos voláteis totais encontrados por Ide mostraram relação 124,0, valor este também maior do que o encontrado neste estudo (31,7).

É bem claro observar o impacto das cargas difusas neste estudo. Muitos dos parâmetros analisados em vários eventos ultrapassaram os padrões estabelecidos pela Resolução CONAMA N°357/2005, sendo que alguns mesmo que por um tempo, ultrapassaram os padrões de classe 4.

As concentrações de alcalinidade variaram em torno de 16,2 a 177,4 mg.L-1. Este parâmetro mede a capacidade da água em neutralizar ácidos bem como a capacidade “tampão” da água, sendo importante para a vida aquática em sistemas de água doce. As maiores concentrações foram observadas no escoamento de base, provavelmente devida a lançamentos clandestinos de esgoto que tende a elevar as concentrações deste parâmetro, devido as características físico-químicas dos mesmos. Durante o escoamento pluvial verifica-se uma diluição deste constituinte.

As concentrações máximas observadas apresentaram valores de 1,1 a 10,9 vezes maiores que as concentrações médias. Ide (1984) verificou em seu estudo que as concentrações máximas observadas foram, em geral, 3 a 7 vezes maior do que as concentrações médias, exceto cor aparente, coliformes totais, *Escherichia coli* e CBT (contagem bacteriana total) que atingiram índices maiores que 10, provavelmente pela contribuição das fezes de animais domésticos, de ratos, pássaros e de mendigos, pois na região, encontra-se a praça dos Açorianos. Aqui para a bacia do Córrego Cabaça, encontrou-se relação entre estas de 9 para *Escherichia coli*, provavelmente pelos mesmos motivos.

As concentrações de metais encontrados na área de drenagem apresentaram flutuações, sendo o cobre o que mais variou, apresentando relação entre concentração máxima e mínima de 203,3 (foi considerada concentração mínima a do limite de detecção, para o cálculo da relação). O chumbo apresentou relação de 2,7, zinco 30,3, cádmio 35, manganês 121, níquel 109, ferro 78,5 e não foi detectado cromo na área de drenagem. Ide (1984) encontrou relação entre concentração máxima e mínima de 427,8 e 100,3 para o ferro e zinco, respectivamente. Nota-se, portanto, o impacto das ações antrópicas em uma área de drenagem urbana.

### 5.3.1 Correlação entre parâmetros

Correlacionar parâmetros podem mostrar a relação causa/efeito, entre os constituintes da água. Obtidas as correlações entre determinados parâmetros, alguns podem ser determinados através das concentrações de outros que tenham sido medidos em laboratório. Esta prática proporciona considerável economia de trabalho e custos de operação.

Foi utilizado o método dos mínimos quadrados para a obtenção do coeficiente de correlação R entre dois parâmetros. A tabela 5.4 mostra o coeficiente R.

Correlações foram feitas entre NTK e SDT, assim como entre fosfato total e SDT e obtidos coeficientes de correlação iguais a 29% e 18%, respectivamente.

**Tabela 5.4 – Resultados da análise de regressão e correlação.**

Variáveis		Equação	Coeficiente de correlação R
X	Y		
Fosfato Total (mg.L <sup>-1</sup> PO <sub>4</sub> <sup>-3</sup> )	SST (mg.L <sup>-1</sup> )	Y = -109,9X + 460,8	79%
NTK (mg.L <sup>-1</sup> N- NH <sub>3</sub> )	SST (mg.L <sup>-1</sup> )	Y = -52,39x + 465,6	80,3%
DBO (mg.L <sup>-1</sup> O <sub>2</sub> )	DQO (mg.L <sup>-1</sup> O <sub>2</sub> )	Y = 3,126x + 30,15	89,2%
SST (mg.L <sup>-1</sup> )	Turbidez (UNT)	Y = 0,972x - 20,07	86,7%
Cor (mg.L <sup>-1</sup> Pt)	Turbidez (UNT)	Y = 2,028x + 93,85	91,9%
Cor (mg.L <sup>-1</sup> Pt)	SST (mg.L <sup>-1</sup> )	Y = 2,185X + 122,4	93,4%
Cor (mg.L <sup>-1</sup> Pt)	ST (mg.L <sup>-1</sup> )	Y = 2,123x + 228	91,5%
ST (mg.L <sup>-1</sup> )	SFT (mg.L <sup>-1</sup> )	Y = 0,927X - 30,57	99,2%
SFT (mg.L <sup>-1</sup> )	SST (mg.L <sup>-1</sup> )	Y = 0,948X - 41,05	97,2%
CT (NMP/100mL)	EC (NMP/100mL)	Y = 0,009X + 63500	98%

Também foram feitas correlações entre estes nutrientes e ST e obtidos coeficientes de correlação iguais a 64% e 45%, respectivamente. As correlações entre os nutrientes e sólidos suspensos apontaram altos valores de coeficientes de correlação, como mostra a tabela 5.4. Logo, pode-se inferir que grande parte da perda de nutrientes é na forma particulada.

### 5.3.2 Qualidade do escoamento de base

As concentrações médias dos constituintes do fluxo de base (amostras 01) estão listadas na tabela 5.5. O alto teor de poluentes do fluxo de base evidenciou a contaminação por esgoto sanitário. Isto é facilmente comprovado *in situ*, pelo forte odor e aspecto desagradável do corpo d'água, em baixas vazões. São notáveis altas concentrações de surfactantes no escoamento de base, indicando a presença de lançamentos clandestinos de

esgotos. Verifica-se que durante o escoamento pluvial estas concentrações decrescem, mostrando que ocorre diluição para este parâmetro durante o evento de escoamento.

Mesmo após a passagem da rede de esgoto em parte das localidades da bacia hidrográfica, as características do corpo d'água antes do escoamento pluvial, continuaram indicando lançamentos clandestinos. Nota-se que a DBO<sub>5</sub> e *Escherichia coli* do fluxo de base ultrapassam os limites de classe 3 estabelecidos pela resolução CONAMA N°357/2005.

**Tabela 5.5 – Concentrações dos parâmetros do escoamento de base (amostras 01).**

Parâmetros	Unidades	Média	Eventos					
			1	2	3	4	5	6
Temperatura do ar	°C	26	24	28	24	28	27	24
Temperatura da água	°C	26	26	25	26	26	26	25
OD	mg.L <sup>-1</sup> O <sub>2</sub>	6,00	6,4	5,1	6,6	6,6	5,2	5,9
DBO <sub>5</sub>	mg.L <sup>-1</sup> O <sub>2</sub>	12,5	11,5	11,8	6,7	12,9	22,3	9,6
DQO	mg.L <sup>-1</sup> O <sub>2</sub>	52,4	36,1	37,9	30,2	48,5	136,9	24,9
Coliformes totais	NMP/100mL	8,5E+06	4,7E+06	1,6E+06	1,9E+06	2,4E+07	1,4E+07	4,9E+06
<i>Escherichia coli</i>	NMP/100mL	7,7E+05	5,20E+05	8,6E+04	3,1E+05	3,2E+06	2,9E+05	1,7E+05
Nitrogênio total	mg.L <sup>-1</sup> N	6,0	4,6	8,1	7,3	8,3	3,6	3,9
Nitrogênio orgânico	mg.L <sup>-1</sup> N- NH <sub>3</sub>	2,4	2,3	0,8	2,1	5,8	1,8	1,4
Nitrogênio amoniacal	mg.L <sup>-1</sup> N- NH <sub>3</sub>	2,3	2,1	4,5	4,5	1,4	0,7	0,9
NTK	mg.L <sup>-1</sup> N- NH <sub>3</sub>	4,7	4,4	5,3	6,6	7,1	2,5	2,3
Nitrito	mg.L <sup>-1</sup> N-NO <sup>-2</sup>	0,10	0,11	0,22	0,05	0,01	0,09	0,10
Nitrato	mg.L <sup>-1</sup> N-NO <sup>-3</sup>	1,14	0,05	2,54	0,68	1,13	0,96	1,47
Fosfato total	mg.L <sup>-1</sup> PO <sub>4</sub> <sup>-3</sup>	1,21	1,26	1,18	2,80	0,73	0,77	0,51
Cloretos	mg.L <sup>-1</sup> Cl <sup>-</sup>	11,4	6,8	4,1	37,6	7,7	3,7	8,7
Cor aparente	mg.L <sup>-1</sup> Pt	14,2	10,0	5,0	10,0	5,0	50,0	5,0
Turbidez	UNT	64,26	84,90	15,47	98,57	18,10	156,00	12,5
pH	-	7,2	6,9	7,1	7,2	7,5	7,1	7,1
Condutividade	µS/cm	200,70	93,51	105,20	121,30	308,20	327,30	248,60
Sulfatos	mg.L <sup>-1</sup> SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup>	16,8	15,0	2,0	10,0	25,0	21,0	28,0
Alcalinidade	mg.L <sup>-1</sup> CaCO <sub>3</sub>	117,2	68,7	72,6	92,1	156,9	135,8	177,4
Óleos e Graxas	mg.L <sup>-1</sup>	9,9	13,1	5,2	4,6	11,7	11,9	12,9
Sólidos Sedimentáveis	ml/1000 ml	0,6	0,6	1,00	0,6	0,1	1,0	0,5
Surfactantes	mg.L <sup>-1</sup> Surf.Ânion	5,42	7,02	3,48	0,01	7,31	6,37	8,32
ST	mg.L <sup>-1</sup>	309,3	278,0	168,0	245,0	225,0	424,0	516,0
SDT	mg.L <sup>-1</sup>	219,8	203,5	44,0	120,0	206,0	246,5	499,1
SST	mg.L <sup>-1</sup>	89,5	74,5	124,0	125,0	19,0	177,5	16,9
SFT	mg.L <sup>-1</sup>	206,7	225,0	120,0	177,0	185,0	302,0	231,0
SVT	mg.L <sup>-1</sup>	102,7	53,0	48,0	68,0	40,0	122,0	285,0
Chumbo	mg.L <sup>-1</sup> Pb	0,14	0,13	0,11	0,27	0,11	0,13	0,12
Zinco	mg.L <sup>-1</sup> Zn	0,36	0,55	0,34	0,98	0,09	0,12	0,07
Cobre	mg.L <sup>-1</sup> Cu	0,11	0,08	0,01	0,37	0,07	0,10	0,02
Cádmio	mg.L <sup>-1</sup> Cd	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD
Manganês	mg.L <sup>-1</sup> Mn	0,29	0,30	0,07	0,93	0,12	0,31	0,01
Níquel	mg.L <sup>-1</sup> Ni	0,10	0,03	0,01	0,08	0,01	0,44	0,01
Cromo	mg.L <sup>-1</sup> Cr	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD
Ferro	mg.L <sup>-1</sup> Fe	8,91	11,57	0,90	11,54	3,18	23,93	2,32

A tabela 5.6 apresenta a relação entre as médias das concentrações das amostras de base após a drenagem e das amostras de base, na iminência do evento (amostra 01).

**Tabela 5.6 – Relação entre as concentrações médias da amostra de base após a drenagem e as concentrações médias da amostra 01.**

Parâmetros	Unidades	Relação
Fosfato Total	mg.L <sup>-1</sup> PO <sub>4</sub> <sup>-3</sup>	0,7
NTK	mg.L <sup>-1</sup> N- NH <sub>3</sub>	0,6
Norgânico	mg.L <sup>-1</sup> N- NH <sub>3</sub>	0,7
Amônia	mg.L <sup>-1</sup> N- NH <sub>3</sub>	0,4
Nitrito	mg.L <sup>-1</sup> N-NO <sup>-2</sup>	0,3
Nitrato	mg.L <sup>-1</sup> N-NO <sup>-3</sup>	0,2
Nitrogênio Total	mg.L <sup>-1</sup> N	0,5
DQO	mg.L <sup>-1</sup> O <sub>2</sub>	1,1
Cloreto	mg.L <sup>-1</sup> Cl <sup>-</sup>	0,2
pH	-	1,0
Condutividade	µS/cm	0,3
Cor Aparente	mg.L <sup>-1</sup> Pt	12,6
Turbidez	UNT	8,1
Sulfatos	mg.L <sup>-1</sup> SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup>	0,3
Alcalinidade	mg.L <sup>-1</sup> CaCO <sub>3</sub>	0,4
Chumbo	mg.L <sup>-1</sup> Pb	1,0
Zinco	mg.L <sup>-1</sup> Zn	0,5
Cobre	mg.L <sup>-1</sup> Cu	1,6
Cádmio	mg.L <sup>-1</sup> Cd	1,1
Manganês	mg.L <sup>-1</sup> Mn	1,3
Níquel	mg.L <sup>-1</sup> Ni	0,6
Cromo	mg.L <sup>-1</sup> Cr	1,0
Ferro	mg.L <sup>-1</sup> Fe	2,6
Óleos e Graxas	mg.L <sup>-1</sup>	0,8
Sólidos Sedimentáveis	ml/1000 ml	2,7
OD	mg.L <sup>-1</sup> O <sub>2</sub>	1,1
DBO <sub>5</sub>	mg.L <sup>-1</sup> O <sub>2</sub>	0,9
Surfactantes	mg.L <sup>-1</sup> Surf.Ânion	0,1
Coliformes totais	NMP/100mL	0,6
<i>Escherichia coli</i>	NMP/100mL	0,2
ST	mg.L <sup>-1</sup>	2,0
SDT	mg.L <sup>-1</sup>	0,6
SST	mg.L <sup>-1</sup>	5,5
SFT	mg.L <sup>-1</sup>	2,7
SVT	mg.L <sup>-1</sup>	0,6

Muitos parâmetros mostraram-se recuperados após a passagem da onda de cheia, mas alguns chegaram até 12,6 vezes o valor das concentrações em escoamento de base antes do evento, sendo cor aparente o parâmetro que apresentou maior relação. Os parâmetros que apresentaram maior relação foram: turbidez, oxigênio dissolvido, DQO, sólidos sedimentáveis, sólidos totais, sólidos fixos totais, sólidos suspensos totais, ferro, cobre,

cádmio e manganês. Acredita-se que isto ocorreu pelo fato da grande quantidade de sólidos na curva de recessão do hidrograma, aonde os metais provavelmente vieram adsorvidos a esses sólidos.

Foi observado em coletas de campo que a concentração de sólidos suspensos totais, durante o evento de escoamento pluvial, aumentava consideravelmente após o pico do hidrograma. De fato percebem-se valores elevados deste parâmetro na curva de recessão do hidrograma para os eventos amostrados. Associam-se valores elevados de metais ao escoamento de base após a drenagem, provavelmente pelo fato destes estarem adsorvidos a estas partículas sólidas. Para o evento 03, ocorre *first flush* deste parâmetro, por conta de ter ocorrido uma precipitação no dia anterior de amostragem, fazendo com que mais sólidos fossem arrastados no início do escoamento, e não no final da curva de recessão.

O fato de ocorrer DQO com uma relação de 1,1 provavelmente se deve aos materiais inorgânicos, sendo verificado facilmente pelas baixas relações nas concentrações médias de DBO<sub>5</sub> e SVT depois e antes da drenagem.

O Índice de Qualidade da Água do escoamento de base, na iminência dos eventos, apontou qualidade aceitável para cinco eventos, sendo que para o evento 05 qualidade foi ruim, conforme mostram os gráficos de variação temporal do IQA<sub>CETESB</sub> apresentados no anexo G. Provavelmente, isso ocorreu pelo fato de haver lançamentos clandestinos, aproveitando a precipitação, sendo que o IQA<sub>smith</sub> acusa o parâmetro *Escherichia coli*.

A qualidade da água do escoamento de base logo após os eventos apontou certa variação. Após o evento 02, 04, 05 e 06 mostraram-se com qualidade ruim, indicando a possível existência de lançamento clandestino de esgoto durante o evento de escoamento pluvial. Apenas os eventos 01 e 03 mostraram qualidade aceitável.

### 5.3.3 Aspectos físicos

A temperatura média da água e do ar no período de realização dos trabalhos (fevereiro de 2009 a abril de 2010) esteve entre 25 e 24 °C, respectivamente.

O pH médio da drenagem pluvial foi de 7. O pH em alguns eventos pareceu declinar com o tempo, provavelmente devido a diluição pela água de chuva e também ao aumento da presença de matéria orgânica e sua decomposição. Em outros sofreu sensível aumento. Isto pode ser devido à lavagem do material depositado no canal, no asfalto e nas sarjetas.

A condutividade está relacionada aos sólidos dissolvidos totais, sendo que se verificou nos eventos 01, 04, 05, 06 a diminuição da condutividade juntamente com o decréscimo de

sólidos dissolvidos totais. Nos eventos 02 e 03 houve incremento desse parâmetro juntamente com os sólidos dissolvidos totais.

A bacia do Córrego Cabaça está passando por um processo de obras. Como obra do PAC (Programa de Aceleração do Crescimento) o governo federal liberou verba para a realização do Parque Linear do Córrego Cabaça, onde esta obra começou a ser executada a partir de maio de 2009, de acordo com a Secretaria de Obras do município (Figura 5.1). Esta obra se inicia próximo a nascente do corpo d'água estudado, extendendo-se até cerca de 350m acima da seção exultória de monitoramento (Anexo I). Por isso, foi notado valores mais elevados de alguns parâmetros relacionados a sólidos, como cor e turbidez. De fato, a obra influenciou o transporte de sólidos nos eventos de escoamento pluvial a partir do evento 04 monitorado.



**Figura 5.1: Empreiteira trabalhando em obra**

Foi observado durante as amostragens do escoamento que a partir do evento sob influência da obra, na curva de recessão do hidrograma, que as concentrações de sólidos eram maiores que nos eventos anteriores ao início da obra.

A cor predominante se apresentava numa tonalidade vermelha, quando a precipitação ocorria, pelo fato dos solos predominantes na bacia serem latossolos vermelho escuro, além do latossolo roxo.

O teor médio de sólidos sedimentáveis foi de  $2,9 \text{ mL.L}^{-1}$ . Estes materiais são responsáveis pela diminuição da seção disponível da rede, exigindo a limpeza de caixas de areia e galerias após uma chuva.

A alta turbidez verificada, valores que chegaram a 1881,3 UNT, é decorrente da elevada perda de solo, decorrente da obra, pois, elevados também, são as concentrações de



sólidos suspensos, cujos valores chegaram a  $1793\text{mg.L}^{-1}$ . Antes das obras o maior valor de turbidez verificada foi de 1102 UNT, no evento 03, devido ao DAE de 0,79 e também a precipitação anterior ter sido a de maior volume escoado. Antes de percorrer a última parte canalizada do córrego, existem 3 (três) manilhas de concreto que drenam as águas para o bueiro duplo celular monitorado (Figura 5.2). No evento 02 houve um grande transporte de lixos e materiais sólidos, que fez com que a entrada do bueiro fosse obstruída. Diante deste fato a Secretaria de Obras do município realizou trabalho de limpeza, cerca de 3 horas antes de ocorrer o evento 03 (Figura 5.3). Este fato promoveu revolvimento de solo na seção o que contribuiu para o aumento excessivo de sólidos neste evento, aumentando também a cor e turbidez. Analisando-se os polutogramas, verifica-se esta ocorrência, dado a ocorrência de primeira lavagem para estes parâmetros. Os polutogramas do evento 02 constam no anexo C.



**Figura 5.2: Manilhas de concreto na entrada do canal**

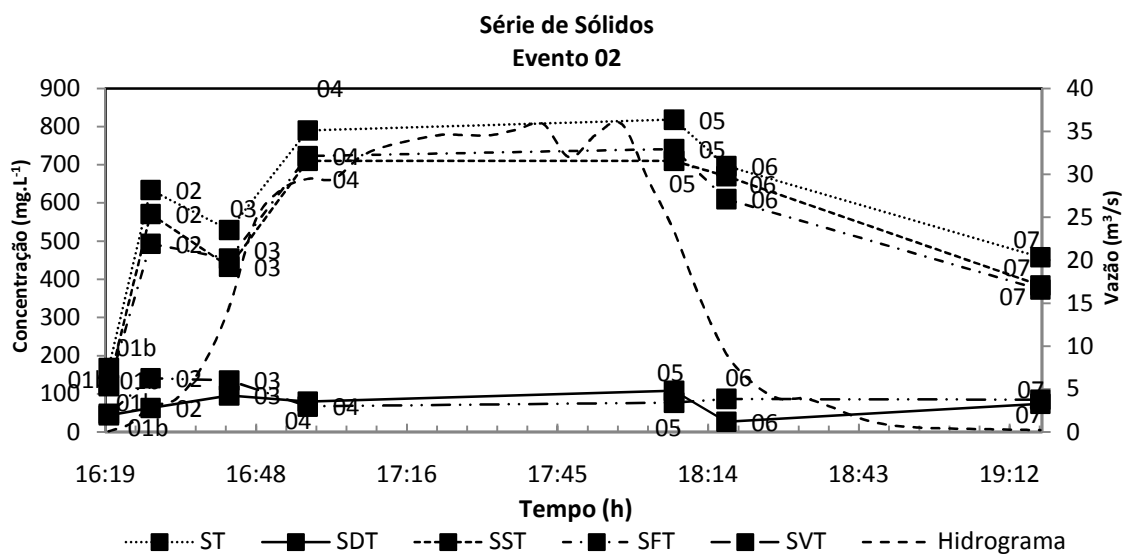


**Figura 5.3: Grelha obstruída acumulando grande quantidade de sedimentos**

A figura 5.4 mostra os polutogramas da série de sólidos do evento 02. Dentre os seis eventos amostrados, este evento melhor representa o comportamento das concentrações de sólidos presentes nas amostras. Verifica-se que a concentração de sólidos começa aumentar substancialmente próximo ao pico do hidrograma.

A observação desse fenômeno foi claramente visível em campo, pois após a verificação do pico do hidrograma, a água apresentava cor bastante maior que a amostra anterior. Durante a descida do nível fluvial, observou-se um crescente aumento do parâmetro.

Nota-se que para os parâmetros cor, turbidez e sólidos houve um atraso do polutograma em relação ao hidrograma. Foi verificado nos eventos (01, 02, 04 e 06) que, aproximadamente, no final da curva de ascensão do hidrograma a concentração de sólidos aumentava consideravelmente. Para o evento 05, em função de terem ocorrido sucessivas precipitações, fazendo o monitoramento e amostragem mais difíceis, ocorreu que o pico dos polutogramas para estes parâmetros foi anterior ao do hidrograma. Então, pela variabilidade da forma do hidrograma e por ter ocorrido precipitações de várias intensidades, deve-se ter cautela a afirmar que houve adiantamento do polutograma de sólidos, o que caracterizaria primeira lavagem para os mesmos. Para sólidos, o evento 03 apresentou efeito de primeira lavagem, pela mesmas razões explanadas acima para os parâmetros cor e turbidez.



**Figura 5.4: Polutograma dos sólidos transportados no evento**

Em geral, nos eventos, notou-se que ocorre diminuição da condutividade no decorrer do escoamento dos eventos. Para os eventos 02 e 03 a condutividade mostrou-se maior após o escoamento de base, bem como os valores de SDT.

Os resultados de SFT (concentrações que chegaram a 2294mg.L<sup>-1</sup>) foram maiores do que os SVT (concentrações que chegaram a 285mg.L<sup>-1</sup>), o que indica um maior aporte de materiais inorgânicos do que orgânicos.

### 5.3.4 Poluentes inorgânicos e orgânicos

A concentração média de oxigênio dissolvido em escoamento de base na seção de estudo foi de 6,0mg.L<sup>-1</sup>. Dentro dos eventos de precipitação notou-se declínio deste parâmetro chegando-se em um dos eventos a um valor mínimo de 3,4mg.L<sup>-1</sup>. Verifica-se que a concentração de oxigênio, em todos os eventos, tende a diminuir no início do escoamento, pelo fato do incremento de matéria orgânica. Nos momentos iniciais das coletas sob influência de cargas difusas, observou-se que a água mostrava-se com uma tonalidade escura, peculiar da lavagem do material depositado no canal e também da lavagem e arraste de resíduo de desgaste de asfalto, pneu e também resíduos acumulados na rua como óleos e graxas.

Os níveis de cloretos variaram na faixa de 1,0 a 37,6mg.L<sup>-1</sup>. Os cloretos ocorrem normalmente nas águas naturais em quantidades muito variáveis. Aumento brusco do teor do íon cloreto é uma indicação de contaminação da água, devido a cargas pontuais ou difusas. Geralmente não é prejudicial aos seres humanos, porém à vida aquática, está intimamente

relacionado com a salinidade, podendo afetar as propriedades funcionais e estruturais dos organismos através de mudanças na osmorregulação, densidade e viscosidade. Os cloretos encontrados podem ser oriundos dos resíduos na bacia, dejetos de organismos vivos, ou da dissolução e lixiviação de sais.

Provavelmente, parte do nitrogênio orgânico está na fase dissolvida, porém sua maior parte está aderida aos sólidos suspensos, uma vez que suas concentrações aumentam no decorrer do evento de drenagem, diferentemente da amônia que vem decrescendo durante o evento de escoamento. Conclui-se que este nitrogênio orgânico ainda será oxidado. As concentrações altas de amônia no escoamento de base indicam o lançamento clandestino de esgoto. As concentrações de nitrato no evento 01 aumentaram, provavelmente, pelo fato ter ocorrido baixo volume escoado, em relação aos outros eventos, que apresentou tendência em diminuir as concentrações.

O nitrogênio total acompanha o comportamento do nitrogênio orgânico, sendo que sua maior parcela está associada à parcela de nitrogênio orgânico. Os sólidos suspensos apresentam comportamento semelhante a este.

À medida que aumenta a concentração da matéria orgânica, lançada num ambiente aquático, seja lântico ou lótico, aumenta o consumo de oxigênio dissolvido, devido à atividade bacteriana que deverá transformar e estabilizar aquela matéria. A  $DBO_5$  é o parâmetro fundamental para o controle da poluição das águas por matéria orgânica. Nas águas naturais a  $DBO_5$  representa a demanda potencial de oxigênio dissolvido que poderá ocorrer à estabilização dos compostos orgânicos biodegradáveis, o que poderá trazer os níveis de oxigênio nas águas abaixo dos exigidos pelos peixes, levando-os à morte. Os peixes mais sensíveis morrem primeiro, depois os outros organismos aquáticos, tais como crustáceos e os protozoários, permanecendo somente os organismos que não necessitam de oxigênio para sobreviver.

Os níveis de  $DBO_5$  variaram de 3,3 à  $79,5\text{mg.L}^{-1}$ . A  $DBO_5$  média encontrada nesta bacia foi de  $24,8\text{mg.L}^{-1}$ . Valores elevados deste parâmetro nos eventos de escoamento urbana indicam a presença de resíduos biodegradáveis acumulados na bacia. De acordo com Planurb (1998) a região conta com coleta de lixo de 3 em 3 dias. Foram notados o arraste de resíduos durante os eventos de drenagem, como restos de alimentos, latas e garrafas, etc. Também contribuem para o aumento produtos como excrementos animais e humanos. Se a varrição de rua fosse cumprida mais efetivamente, a carga poluidora residual poderia ser diminuída, resultando conseqüentemente numa melhoria da qualidade da água.

Os valores de DQO encontrados foram altos (25 a 320mg.L<sup>-1</sup>). Nota-se que a concentração de DQO foi maior no início do escoamento pluvial, tendendo a decrescer na curva de recessão do hidrograma, em todos os eventos.

A relação DQO/DBO<sub>5</sub> apresentou certa variação. Foram encontrados valores desde 3,21 a 11,36, valores estes calculados pela CME, ou seja, pela relação  $CME\ DQO / CME\ DBO_5$ .

Souza (1982) e Braile & Cavalcanti (1993), consideram um resíduo facilmente biodegradável aquele que apresentar relação DQO/DBO<sub>5</sub> < 2, embora diversos autores consideram o limite de 1,7, segundo Giansante (2002), para uma contribuição que fosse exclusivamente de esgoto doméstico. Logo, as relações encontradas nos eventos apresentavam valores acima de 1,7 o que se infere uma carga não biodegradável. Analisando a quantidade de sólidos fixos totais em relação a sólidos voláteis totais, pode-se também inferir a afirmação acima, ou seja, verifica-se maior quantidade de sólidos fixos totais. A demanda química de oxigênio é a quantidade necessária de oxigênio para estabilização completa da matéria orgânica e parte inorgânica. Como no teste da DQO parte da matéria inorgânica é contabilizada, representada pelos sólidos fixos totais, visualiza-se graficamente que a maior parte oxidada pelo agente oxidante forte, ocorre antes do pico do hidrograma, justificando os picos da DBO<sub>5</sub> e DQO antes dos picos dos hidrogramas. Verificou-se que as concentrações de sólidos voláteis totais diminuem após o pico do hidrograma, aumentando os sólidos fixos totais, sendo que a DQO e DBO<sub>5</sub> diminuem, onde provavelmente se infere que grande parte destes sólidos fixos totais não é medida no teste de DQO.

Provavelmente, a fonte de hidrocarbonetos na drenagem pluvial urbana são os óleos, graxas e resíduos de combustíveis sobre as ruas. A concentração média encontrada de óleos e graxas foi 12,7 mg.L<sup>-1</sup>. Em uma ocasião foi verificado uma concentração de 32,8mg.L<sup>-1</sup>. O aumento ocasional de concentrações de óleos e graxas pode ser devido a derramamentos acidentais em caso de transferência de combustível, de vazamentos de óleos e graxas de veículos ou descarga deliberada. Os compostos inorgânicos no estado reduzido podem ter influenciado nos valores da DQO.

### 5.3.5 Nutrientes

Os nutrientes investigados neste estudo foram, nitrogênio amoniacal (variações de 0,4 a 4,5 mg.L<sup>-1</sup>), nitrito (variações de 0,01 a 0,72 mg.L<sup>-1</sup>), nitrato (variações de 0,03 a 2,54 mg.L<sup>-1</sup>), fósforo total (variações de 0,17 a 2,8 mg.L<sup>-1</sup>) e sulfatos (variações de 2 a 28 mg.L<sup>-1</sup>).

Os sulfatos encontrados no escoamento são provavelmente devidos aos dióxidos de enxofre e outros produtos sulfurosos contidos nos combustíveis.

As concentrações de amônia verificadas neste estudo são maiores que no estudo de Ide (1984), no escoamento de base e no decorrer do evento de drenagem. O fosfato também apresentou maiores concentrações, comparado ao estudo do mesmo pesquisador. Para nitratos a bacia dos Açorianos apresentou maiores concentrações no decorrer do evento e para nitritos ambos os estudos apresentaram baixas concentrações. Para sulfatos o escoamento de base deste estudo apresentou maiores concentrações em relação ao de Ide (1984) que revelou maiores concentrações no decorrer do evento.

As perdas de nutrientes, no caso o nitrogênio total (NT) e fósforo total, nos seis eventos amostrados encontram-se na Tabela 5.7.

**Tabela 5.7 – Perda de nutrientes na drenagem pluvial**

Tabela 3.7 – Perda de nutrientes na drenagem pluvial							
Parâmetro	Perda de nutrientes						Média
	Evento						
	1	2	3	4	5	6	
NT (kg N/km²)	13,32	516,57	89,75	22,39	110,45	67,42	136,65
Fósforo total (kg P/km²)	2,05	21,01	8,65	4,11	11,13	10,89	9,64
SST (kg/km²)	804.96	49,8E+03	16,5E+03	6,87E+03	27,7E+03	31,1E+03	22,1E+03

O evento 02, por ter sido o maior evento de precipitação e drenado o maior volume de água pela área de drenagem, proporcionou o maior aporte de nutrientes dentre os eventos.

### 5.3.6 Metais

Oito metais pesados foram escolhidos para análise. Concentrações de chumbo atingiram 0,27mg.L<sup>-1</sup>, zinco 2,12mg.L<sup>-1</sup>, cobre 0,61mg.L<sup>-1</sup>, manganês 1,21mg.L<sup>-1</sup>, níquel 1,09 mg.L<sup>-1</sup> e cádmio 0,07mg.L<sup>-1</sup> em pelo menos uma amostra de um dado evento. Concentrações de ferro sempre foram maiores que 0,90mg.L<sup>-1</sup>, atingindo 70,64mg.L<sup>-1</sup> uma vez. O alto nível de ferro total talvez seja devido, as características do solo da bacia.

As concentrações de cromo, em todas as amostras, não foram detectadas pelo espectômetro de absorção atômica, apresentando limite de detecção de 0,006mg.L<sup>-1</sup>.

As concentrações de metais pesados encontrados no escoamento pluvial urbano, são mais altos do que no efluente secundário de uma estação de tratamento de esgotos domésticos.

Os metais pesados são provavelmente derivados de materiais sedimentados e de produtos de queima de combustíveis dos veículos e desgaste de pavimento.

### 5.3.7 Coliformes totais e *Escherichia coli*

As concentrações de coliformes totais encontrados foram entre  $8,60\text{E}+05$  e  $2,42\text{E}+07/100\text{mL}$  e as de *Escherichia coli* foram entre  $4,10\text{E}+04$  à  $3,25\text{E}+06/100\text{mL}$ .

A Portaria N° 518 de 2004, do Ministério da Saúde, “estabelece os procedimentos e responsabilidades relativos ao controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade, e dá outras providências”. Esta portaria estabelece que a água para consumo humano deva estar ausente de coliformes totais e *Escherichia coli*, em 100 mL. Entretanto, foi verificado, mesmo em fluxo de base, concentrações médias de *Escherichia coli* e coliformes totais, respectivamente, de  $7,71\text{E}+05$  e  $8,50\text{E}+06/100\text{mL}$ , o que tornam as águas impróprias para o consumo humano. Foi constatada a presença de pessoas pescando logo após a seção exultória de estudo.

Quanto à balneabilidade, segundo Resolução CONAMA N°274 de 2000, em fluxo de base, foi verificado que não há condições de balneabilidade no corpo d’água. O menor valor de concentração de *Escherichia coli* em escoamento de base foi de  $8,6\text{E}+04/100\text{mL}$  estando muito acima de 2000 *Escherichia coli* por 100 mL. Percorrendo a seção de estudo, algumas vezes foi verificada a presença de crianças tomando banho no córrego.

Lançamentos clandestinos de esgoto são os principais causadores da alteração destes parâmetros.

### 5.3.8 Transporte de Massa e Volume

Analizando o transporte de massa de poluentes durante os eventos de drenagem pluvial, verificam-se quantidades elevadas. As cargas de poluente foram obtidas através da multiplicação do valor da característica de qualidade da água em questão, pela vazão de escoamento superficial no instante considerado. Os valores destas cargas foram sendo acumulados durante todo o evento de precipitação. A Tabela 5.8 mostra as massas transportadas pela exultória nos eventos de drenagem pluvial.

Como o corpo d’água apresenta uma carga poluente de base, devido ao lançamento clandestino de esgoto e sua vazão de base, este valor foi calculado e descontado do montante, já que objetiva-se avaliar apenas o impacto do escoamento superficial, ou seja, da poluição difusa que aporta no córrego.

**Tabela 5.8 – Massa transportada nos eventos de drenagem**

Parâmetro	Eventos					
	1	2	3	4	5	6
Volume (m <sup>3</sup> )	9,09E+03	1,85E+05	7,25E+04	20,8E+03	8,95E+04	7,04E+04
Fósforo (kg)	5,20	53,15	21,88	10,39	28,16	27,55
Norgânico (kg)	18,45	961,37	138,28	36,26	250,55	167,89
Amônia (kg)	11,53	214,62	165,22	13,63	44,92	57,24
Nitrito (kg)	0,55	6,30	2,35	5,96	8,53	0,43
Nitrato (kg)	3,16	28,42	16,81	2,00	5,50	3,08
Nitrogênio Total (kg)	33,70	1.306,91	227,07	56,65	279,44	170,58
DQO (kg)	1.098,98	17.395,05	3.917,20	2.116,74	17.042,27	6.598,95
Óleos e Graxas (kg)	105,76	1.412,55	464,53	438,03	851,42	729,48
DBO <sub>5</sub> (kg)	171,38	1.524,32	751,21	661,37	2.417,46	2.158,98
ST (kg)	2,70E+03	1,35E+05	5,09E+04	2,14E+04	1,12E+05	8,55E+04
SDT (kg)	6,61E+02	2,20E+04	9,22E+03	4,01E+03	4,43E+04	8,24E+03
SST (kg)	2,04E+03	1,26E+05	4,17E+04	1,74E+04	7,00E+04	7,87E+04
SFT (kg)	2,30E+03	1,31E+05	5,47E+04	1,98E+04	1,00E+05	8,85E+04
SVT (kg)	4,03E+02	1,45E+04	5,79E+03	1,65E+03	1,19E+04	1,08E+04
Chumbo (kg)	1,36	33,01	12,82	2,15	13,55	9,51
Zinco (kg)	4,35	30,63	13,81	4,84	17,03	12,93
Cobre (kg)	1,11	30,44	9,91	6,50	22,49	29,68
Cádmio (kg)	0,07	1,23	0,78	0,59	0,83	0,51
Manganês (kg)	3,20	77,25	23,03	15,87	50,53	69,69
Níquel (kg)	0,25	7,71	3,00	0,54	35,64	0,65
Ferro (kg)	137,54	2.292,63	618,58	951,90	3.832,86	2.078,67

Neste estudo, as massas de poluentes e o volume escoado foram calculados por um método de integração numérica, portanto utilizando-se as equações (3.6) e (3.7). Os métodos de integração numérica permitem calcular o valor aproximado de uma integral definida sem conhecer uma expressão analítica para sua primitiva, sendo o método envolvido nesta aproximação de quadratura numérica. Então, para o cálculo, utilizou-se o método de integração numérico de Simpson.

A massa de sólidos transportada varia de algumas dezenas a centenas de toneladas por evento. O maior evento, representado pelo evento 02, com uma intensidade de 0,73 mm/min, duração de 89 minutos e DAE de 7,75 dias, transportou cerca de 135 toneladas de sólidos totais e 126 toneladas de sólidos suspensos totais. Ressalta-se que neste evento a bacia não estava sob influência das obras. O volume de água que passou pela seção de estudo foi de 185 mil m<sup>3</sup>. O evento 02 transportou também a maior quantidade de nutrientes. Foram carreados 53,15 kg de fósforo e 1.306,91 kg de nitrogênio total. Apesar de ter havido pouca correlação entre DAE e concentração de poluentes, verifica-se que provavelmente que por ter um DAE de 7,75, a massa de DBO<sub>5</sub> transportada não foi muito elevada, em relação à eventos com



maior DAE, sendo que foram carreados 1.524,32 kg. Verifica-se que esta precipitação teve alta intensidade no início do escoamento. A massa de DQO transportada no evento foi de 17,395 toneladas, provavelmente pela grande quantidade de sólidos transportada. Ressalta-se que este evento transportou também, a maior massa de óleos e graxas, 1.412,55 kg.

Verificou-se uma elevada massa de sólidos fixos totais em relação aos sólidos voláteis totais. Este fato evidencia o grande transporte de massa de DQO em relação a  $\text{DBO}_5$ , para todos os eventos. Ressalta-se que a DQO é relativa aos sólidos voláteis totais e parte dos sólidos fixos totais. A  $\text{DBO}_5$  é relativa a SVT.

O transporte de metais durante os eventos acompanha a tendência de aumentar com o aumento de sólidos transportados. Somente para os metais níquel e ferro não se verifica esta tendência, ocorrendo para estes os maiores aportes no evento 05, sendo transportados 35,64 e 3.832,86 kg, respectivamente. Este evento transportou 112 toneladas de sólidos totais e 70 toneladas de sólidos suspensos totais. Os metais provavelmente estão adsorvidos nos SST e em parte dos SST. O volume escoado no evento foi de 89,5 mil  $\text{m}^3$ , sendo o segundo maior evento. O mesmo apresentou sucessivas precipitações sendo mais intenso o monitoramento do nível fluvial. A intensidade da precipitação foi de 0,35 mm/min, duração de 120 min e DAE de 15,6 dias. As obras na bacia em questão haviam sido iniciadas. A massa transportada de  $\text{DBO}_5$  foi de 2.417,46 kg, acreditando-se estar ligada aos 15,6 DAE, que favorece maior acúmulo de poluentes orgânicos na bacia.

O transporte de sólidos totais no evento 03 foi de 50,9 toneladas e 41,7 toneladas de sólidos suspensos totais. Com um DAE de 0,79 dias, intensidade de precipitação de 0,85 mm/min e 32 min de duração, salienta-se que este evento foi posterior ao maior evento, que no caso foi o evento 02. Este evento também apresentou alta intensidade logo após o início do escoamento. Apesar de ter ocorrido lavagem da bacia no dia anterior, o transporte de sólidos foi bastante elevado, pelo fato da precipitação ter sido a mais intensa e num curto período de tempo. Este foi o único evento em que o pico dos sólidos ocorreu antes do pico do hidrograma, pelo fato de ter ocorrido uma precipitação um dia antes e pela Secretaria de Obras ter desobstruído a grelha que fornece acesso ao escoamento da água pelo canal, favorecendo devido ao revolvimento um maior transporte de sólidos. A  $\text{DBO}_5$  transportada no evento foi de 751,21 kg provavelmente pela alta intensidade da precipitação no início do escoamento superficial, promovendo maior lavagem das superfícies da bacia do córrego cabaça.

O evento 06, com uma intensidade de 0,21 mm/min, duração de 112 minutos e DAE de 21 dias apresentou um transporte de sólidos totais de 85,5 toneladas e 78,7 toneladas de sólidos suspensos totais. Salienta-se que este evento começou na parte da manhã, sendo amostrado o escoamento de base e mais um ponto na curva de ascensão do hidrograma, logo depois cessando a precipitação. Na parte da tarde tornou a chover com alta intensidade, reiniciando-se as observações do nível fluviométrico e as coletas. Apesar desta não ter sido a maior precipitação, verificou-se que carregou uma massa elevada de  $\text{DBO}_5$ , 2.158,98 kg, acreditando ser pelo elevado DAE.

O evento 04, com intensidade de precipitação de 0,16 mm/min, duração de 66 min e DAE de 3,9 dias, transportou 21,4 toneladas de sólidos totais e 17,4 toneladas de sólidos suspensos totais. Esta precipitação foi de baixa intensidade no início do escoamento, apresentando-se posteriormente com intensidade média, diminuindo bruscamente a intensidade porém não cessando, ocorrendo mesmo após a descida do hidrograma. Verifica-se neste evento uma carga de  $\text{DBO}_5$  de 661,37 kg. O evento drenou um volume de  $20,8 \cdot 10^3 \text{ m}^3$  de água pela seção exultória da bacia.

O menor evento de precipitação foi o 01, apresentando uma intensidade de precipitação de 0,12 mm/min, duração de 53 minutos e DAE de 6,75 dias, transportou 2,7 toneladas de sólidos totais e 2,04 toneladas de sólidos suspensos totais. O volume escoado foi de  $9,09 \cdot 10^3 \text{ m}^3$  de água, sendo que este evento foi mais intenso no início do escoamento. Acredita-se pelo baixo volume de água drenado este evento proporcionou o menor transporte de poluentes, sendo que a  $\text{DBO}_5$  transportada foi de 171,38 kg.

### 5.3.9 Concentração Média dos Eventos – CME

As CMEs podem ser calculadas por duas equações (3.8 e 3.9). Como já mencionado anteriormente, teoricamente, quanto maior o valor do número de amostragem (n) em um evento, maior será a aproximação da igualdade das expressões. A definição do valor de n pode gerar maior ou menor precisão em uma amostragem de qualidade de drenagem pluvial.

É notória a verificação dessa teoria, de acordo com os resultados práticos apresentados na Tabela 5.9, na qual consta o erro relativo entre os valores das equações 3.8 e 3.9 para cada evento. Este erro foi calculado baseado nos cálculos das CMEs dos seguintes parâmetros:  $\text{DBO}_5$ , DQO, Fósforo Total, NT, SDT e SST.

**Tabela 5.9 – Resultados da determinação do número de amostragem por evento (n).**

Eventos	n	Erro relativo entre as Equações 3.8 e 3.9 (%)
01	8	4,7
02	7	23,8
03	6	42,8
04	6	5,9
05	6	34,9
06	7	53,6

Verifica-se na tabela 5.9, que existe um erro considerável de cálculo das CMEs, utilizando a média ponderada das concentrações no tempo, considerando as vazões como peso. Portanto, optou-se utilizar um método numérico para estimá-las, obtendo-se valores mais confiáveis do pulso de poluição de cada parâmetro nos eventos de drenagem. As CMEs representam melhor os eventos de drenagem pluvial, uma vez que os corpos d'água respondem lentamente as vazões pluviais, quando comparadas com a taxa nas quais as concentrações dos constituintes modificam-se durante um evento de precipitação.

Ressalta-se que o erro relativo tende a zero não tão somente pelo valor de n. Por exemplo, tendo-se o hidrograma uma forma acentuada aproxima a função  $Q(t)$  em funções do primeiro grau, reduzindo dessa forma o erro relativo entre as equações.

A equação (3.9) é uma média ponderada dentre vários valores de concentração, onde o peso é a respectiva vazão dos pontos amostrados. Vários autores sugerem seu uso para o cálculo da CME. Porém, neste estudo, a CME foi calculada pelo método de integração numérica de Simpson. A Tabela 5.10 apresenta as CMEs de cada evento pela equação (3.8).

**Tabela 5.10 – CMEs dos eventos amostrados.**

Parâmetros	Unidades	Eventos						Média
		1	2	3	4	5	6	
Temperatura do ar	°C	23	20	22	25	22	23	23
Temperatura da água	°C	26	22	25	28	27	27	26
OD	mg.L <sup>-1</sup> O <sub>2</sub>	5,8	6,8	6,7	6,2	6,5	6,4	6,4
DBO <sub>5</sub>	mg.L <sup>-1</sup> O <sub>2</sub>	19,8	8,3	5,0	32,6	24,9	15,0	17,6
DQO	mg.L <sup>-1</sup> O <sub>2</sub>	123,7	94,3	54,5	104,8	195,3	73,4	107,7
Coliformes totais	NMP/100mL	1,1E+07	1,89E+06	1,7E+06	7,3E+06	8,5E+06	2,7E+07	9,6E+06
<i>Escherichia coli</i>	NMP/100mL	3,5E+05	1,2E+05	6,6E+04	7,5E+05	1,7E+05	3,0E+05	2,9E+05
Nitrogênio total	mg.L <sup>-1</sup> N	3,6	6,9	3,0	2,8	3,1	2,0	3,6
Nitrogênio orgânico	mg.L <sup>-1</sup> N- NH <sub>3</sub>	1,4	1,2	1,8	0,7	0,5	1,0	1,1
Nitrogênio amoniacal	mg.L <sup>-1</sup> N- NH <sub>3</sub>	2,2	5,2	1,2	2,1	2,8	1,0	2,4
Nitrito	mg.L <sup>-1</sup> N-NO <sup>-2</sup>	0,35	0,17	0,24	0,17	0,10	0,28	0,22
Nitrato	mg.L <sup>-1</sup> N-NO <sup>-3</sup>	4,07	7,11	3,25	3,25	3,25	2,24	3,86

Fosfato total	mg.L <sup>-1</sup> PO <sub>4</sub> <sup>-3</sup>	1,85	0,89	0,97	1,57	0,99	1,28	1,26
Cloretos	mg.L <sup>-1</sup> Cl <sup>-</sup>	4,0	1,9	2,9	4,1	2,5	2,3	2,9
Cor aparente	mg.L <sup>-1</sup> Pt	53,6	211,5	169,8	241,5	169,2	369,1	202,4
Turbidez	UNT	187,36	618,40	520,00	740,74	519,03	1044,45	604,99
pH	-	56,0	95,6	131,0	118,8	132,3	46,8	96,8
Condutividade	µS/cm	7,84	7,24	5,95	13,05	8,35	7,89	8,39
Sulfatos	mg.L <sup>-1</sup> SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup>	39,9	16,1	19,0	83,2	51,8	48,2	43,0
Alcalinidade	mg.L <sup>-1</sup> CaCO <sub>3</sub>	12,6	7,7	6,5	21,8	9,9	12,5	11,8
Óleos e Graxas	mg.L <sup>-1</sup>	2,0	3,5	2,3	2,8	3,2	7,3	3,5
Sólidos Sedimentáveis	ml/1000 ml	1,5	0,2	0,2	2,00	1,1	1,3	1,0
Surfactantes	mg.L <sup>-1</sup> Surf. Ânion	6,77	7,03	7,17	7,13	7,04	7,17	7,05
ST	mg.L <sup>-1</sup>	318,6	730,0	706,0	1041,83	1226,71	1299,1	887,0
SDT	mg.L <sup>-1</sup>	88,8	116,9	129,1	205,6	504,0	185,7	205,0
SST	mg.L <sup>-1</sup>	229,8	681,6	576,9	836,2	724,5	1120,5	694,9
SFT	mg.L <sup>-1</sup>	270,1	709,6	757,2	960,1	1093,0	1294,7	847,5
SVT	mg.L <sup>-1</sup>	48,5	78,4	81,0	81,7	137,6	14,5	73,6
Chumbo	mg.L <sup>-1</sup> Pb	0,16	0,18	0,18	0,11	0,16	0,15	0,16
Zinco	mg.L <sup>-1</sup> Zn	0,52	0,17	0,21	0,24	0,19	0,20	0,25
Cobre	mg.L <sup>-1</sup> Cu	0,13	0,16	0,14	0,32	0,26	0,42	0,24
Cádmio	mg.L <sup>-1</sup> Cd	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD
Manganês	mg.L <sup>-1</sup> Mn	0,38	0,42	0,33	0,77	0,58	0,99	0,58
Níquel	mg.L <sup>-1</sup> Ni	0,03	0,04	0,04	0,03	0,41	0,01	0,09
Cromo	mg.L <sup>-1</sup> Cr	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD
Ferro	mg.L <sup>-1</sup> Fe	16,04	12,41	8,71	45,94	43,68	29,90	26,11

### 5.3.10 Comparação dos resultados com a Resolução CONAMA N°357/2005

As concentrações de oxigênio dissolvido encontradas nas amostras mostraram certa variação no decorrer dos eventos. Após o pico do hidrograma observou-se melhora da concentração deste parâmetro em todos os eventos, encontrando-se o corpo d'água dentro do limite de classe 1. De maneira geral o oxigênio dissolvido em escoamento de base, permite enquadrá-lo em classe 2. No início da influência de escoamento pluvial, o corpo d'água decaía de classe para este parâmetro, chegando no evento 6 a ultrapassar os limites de classe 3.

O parâmetro DBO<sub>5</sub> mostrou que em escoamento de base o corpo d'água está dentro dos limites de classe 3. Ressalta-se a influência de lançamentos clandestinos na bacia. Somente no evento 03 que o escoamento de base encontrava-se abaixo do limite de classe 2. Nota-se que após começar o escoamento na bacia, ocorre um substancial incremento deste parâmetro, sendo que na curva de recessão do hidrograma verifica-se decréscimo, porém na

maioria dos eventos o corpo d'água ainda continua com concentrações que o colocam dentro dos limites de classe 2 ou 3, revelando a possibilidade de ocorrência de lançamentos clandestinos de esgotos.

As concentrações de *Escherichia coli* de todos os eventos ultrapassaram os limites de classe da classe 3. Mesmo em escoamento de base verificou-se que o córrego apresenta concentrações que o enquadram em classe 3. Observou-se para os eventos 03 e 04 ocorreu diluição deste parâmetro, no decorrer dos eventos. Para os outros eventos as concentrações aumentam substancialmente, a partir do início do escoamento.

Somente o evento 05 apresentou um pico de concentração de SDT ( $928\text{mg.L}^{-1}$ ) que ultrapassou os limites das três classes, sendo que as concentrações das demais amostras dos eventos mostraram-se abaixo dos limites das classes 1, 2 e 3.

As concentrações de fósforo total do escoamento de base dos seis eventos amostrados estiveram acima do limite da classe 3. Durante os eventos de precipitação para maioria dos pontos amostrados este parâmetro ainda apresentou-se com concentrações acima da classe 3. Somente nos eventos 02 e 06 ocorreram concentrações abaixo do limite das classes 1 e 2.

Os níveis de nitrogênio amoniacal encontrados no decorrer dos eventos foram inferiores ao limite da classe 1 e 2. Porém no escoamento de base dos eventos 02 e 03 a concentrações deste parâmetro excediam os limites estabelecidos para tais classes.

As concentrações de nitrito e nitrato nos eventos apresentaram-se abaixo dos limites de classe 1, 2 e 3 estabelecidos ( $<1\text{mg.L}^{-1}$  e  $<10\text{mg.L}^{-1}$ )

A influência da turbidez na classe do corpo d'água foi notória dentro dos eventos de escoamento pluvial. Sob influência de drenagem urbana, o corpo d'água apresenta-se muito acima do limite de classe 3 ( $>100\text{UNT}$ ). O escoamento de base do evento 01 colocou o corpo d'água dentro da classe 2, apresentando concentração de  $84,9\text{UNT}$ . Para os eventos 02, 04 e 06 o escoamento de base apresentava limites inferiores ao de classe 01 ( $15,47$ ,  $18,1$  e  $12,5\text{UNT}$ ). Para o evento 05 o escoamento de base apresentava concentrações de  $156\text{UNT}$ , colocando o corpo d'água acima dos limites de classe 3, provavelmente por conta da influência das obras na bacia.

As concentrações de chumbo em todos os eventos ultrapassaram o limite da classe 3 ( $>0,033\text{mgPb.L}^{-1}$ ).

Em todas as amostras dos eventos 01, 02, 03 e 05, as concentrações de níquel estiveram acima do limite das classes 1, 2 e 3 ( $>0,025\text{mgNi.L}^{-1}$ ), apresentando picos, respectivamente de  $0,034$ ,  $0,053$ ,  $0,046$  e  $1,09\text{mgNi.L}^{-1}$ . No evento 04 ocorreu leve aumento

na curva de ascensão do hidrograma, em relação ao fluxo de base, fazendo com que o corpo d'água ultrapasse os limites das 3 classes. Na curva de recessão do mesmo evento ocorreu certa diluição e a concentração do parâmetro após o evento fez o corpo d'água ultrapassar os limites de classe 3.

As concentrações de Zinco para os eventos 01, 02 e 03 ultrapassaram o limite da classe 1 e 2 ( $>0,18\text{mgZn.L}^{-1}$ ), com picos, respectivamente, de 2,12, 0,94 e 0,98. Para os eventos 04, 05 e 06, o escoamento de base apresentou limite inferior a classe 1 e 2. No decorrer do escoamento destes eventos a concentração foi superior aos limites destas classes. Os eventos 05 e 06 apresentaram, nas curvas de recessão, efeito de diluição, com concentrações abaixo do estabelecido pelo enquadramento da CONAMA N°357/2005. O evento 04 apresentou após a curva de recessão do hidrograma, concentrações que ultrapassavam os limites de classe 1 e 2.

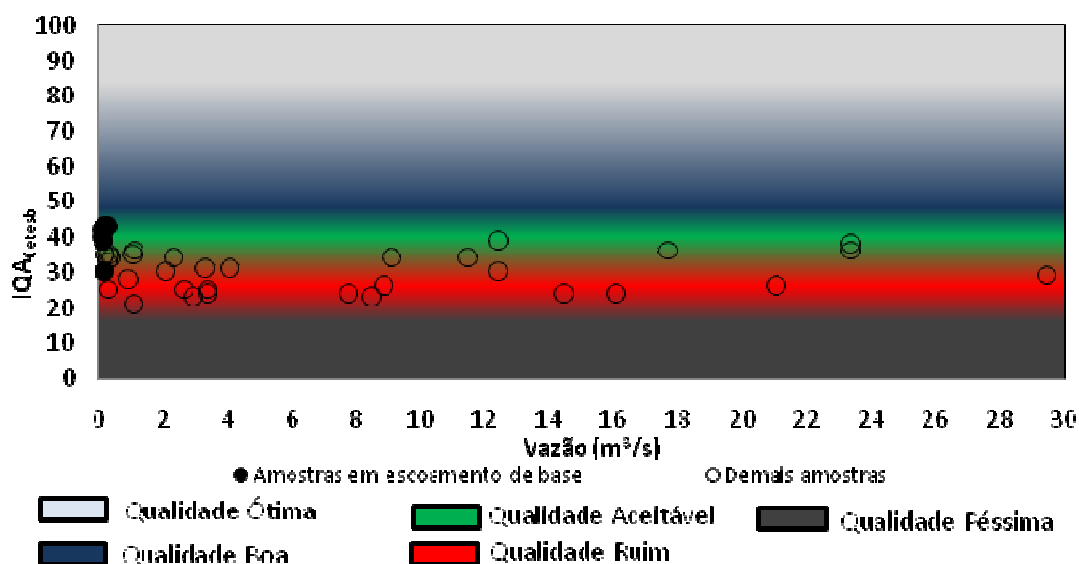
Durante e após todos os eventos de drenagem pluvial o parâmetro ferro ultrapassou os limites da classe 3 ( $>5\text{mgFe.L}^{-1}$ ). O escoamento de base dos eventos 02, 04 e 06, estavam acima do limite de classe 2 ( $>0,35\text{mgFe.L}^{-1}$ ), sendo que nos outros eventos o ferro ultrapassou os limites de classe 3.

O Anexo F mostra os polutogramas de OD,  $\text{DBO}_5$ , turbidez, nitrogênio amoniacal, nitrito, nitrato, SDT, *Escherichia coli*, fósforo total e de Ferro para o evento 02 e os respectivos limites de classes estabelecidas na Resolução CONAMA N°357/2005.

#### **5.3.11 $\text{IQA}_{\text{CETESB}}$ e o regime de vazões**

Os dados de concentrações dos parâmetros de qualidade da água mostraram-se bastante variáveis com a vazão, pois foi observado que o impacto do uso e ocupação do solo é refletido sobre a qualidade da água do córrego em eventos de drenagem pluvial. Assim, um método é sugerido para retratar a qualidade de água de um corpo d'água, com uma visualização mais completa, utilizando o “ $\text{IQA}_{\text{CETESB}}$  versus vazão”. Neste método de análise, é possível verificar o comportamento da qualidade da água de um córrego em função das vazões.

De acordo com a Figura 5.5, os pontos pretos são amostras em escoamento de base e os demais são amostras durante a passagem da onda de cheia.



**Figura 5.5: Gráfico  $IQA_{CETESB}$  e regime de vazões**

Infere-se, portanto, duas possíveis observações, indicadas no gráfico: 1) as amostras de escoamento de base apresentam os melhores estados de qualidade de água, apesar de ocorrer lançamentos clandestinos na bacia de estudo; e 2) à medida que a vazão aumenta o corpo d'água piora sua qualidade, apresentando na curva de recessão do hidrograma, para muitos parâmetros uma melhora no estado de qualidade da água, pois houve primeira lavagem, apresentando, assim, a partir do pico de vazão, baixas concentrações, fazendo com que o corpo d'água se recuperasse, voltando ao estado de qualidade próximo ao do escoamento de base. É conveniente afirmar que a qualidade do escoamento de base após o evento de precipitação, apresentou-se na faixa de qualidade ruim, para a maioria dos eventos, indicando possíveis lançamentos clandestinos de esgoto no momento de precipitação. Ressalta-se que nos últimos três eventos de amostragem, parte da bacia do Córrego Cabaça era atendida por rede de esgoto, segundo a concessionária de água e esgoto da cidade.

### 5.3.12 Variação temporal do $IQA_{CETESB}$ e $IQA_{SMITH}$

Considerou-se conveniente introduzir um índice que representa o evento de drenagem pluvial, em sua totalidade, denominado aqui por IME – Índice Médio do Evento, para definir um estado de qualidade de água do evento. Este índice pode ser calculado para qualquer

Índice de Qualidade da Água, porém, utilizando CMEs dos parâmetros para o cálculo de cada sub-índice.

Uma forma imediata de visualização do impacto das cargas difusas é a aplicação do Índice de Qualidade de Água modificado pela CETESB ( $IQA_{CETESB}$ ). O anexo G mostra os gráficos de variação do  $IQA_{CETESB}$  no tempo, durante a passagem das ondas de cheia amostradas. O anexo H contém o resultado do  $IQA_{CETESB}$  e  $IQA_{SMITH}$  (Índice de Qualidade de Água de Smith) e os respectivos IMEs.

O  $IME_A$  é calculado pelo produtório ponderado, utilizando a CME dos 9 parâmetros do  $IQA_{CETESB}$  para o cálculo de cada sub-índice. O  $IME_B$  é calculado utilizando o menor Sub-Índice encontrado no cálculo do  $IME_A$ .

Os eventos 01, 02, 04, 05 e 06 apresentaram  $IME_A$  qualidade ruim. No evento 03, o  $IME_A$  mostrou qualidade aceitável, no limite da qualidade ruim. Este fato ocorreu provavelmente, pelo baixo DAE.

As amostras de escoamento de base (amostras 01), dos eventos 01, 02, 03, 04 e 06, na iminência do escoamento superficial, apresentaram qualidade aceitável. No evento 05 o escoamento de base apresentou qualidade ruim, provavelmente por lançamentos de esgoto clandestino na área. Ressalta-se que parte da bacia nesta época já contava com rede esgoto. Provavelmente as ligações de todas as economias não haviam sido implementadas.

A tabela 5.11 apresenta os resultados do  $IQA_{CETESB}$  e  $IQA_{SMITH}$  e respectivos IMEs para todas as amostras durante os eventos.

**Tabela 5.11 –  $IQA_{CETESB}$  e  $IQA_{SMITH}$  das amostras dos eventos observados.**

<b>Amostra</b>	<b><math>IQA_{CETESB}</math></b>	<b><math>IQA_{SMITH}</math></b>	<b>Parâmetro responsável</b>
<b>Evento 01</b>			
01	40	3	<i>Escherichia coli</i>
02	25	2	DBO <sub>5</sub>
03	30	3	<i>Escherichia coli</i>
04	31	3	<i>Escherichia coli</i>
05	25	3	<i>Escherichia coli</i>
06	35	3	<i>Escherichia coli</i>
07	35	3	<i>Escherichia coli</i>
08	41	3	<i>Escherichia coli</i>
IME	31	3	<i>Escherichia coli</i>
<b>Evento 02</b>			
01	42	4	<i>Escherichia coli</i>
02	23	2	DBO <sub>5</sub>
03	24	2	DBO <sub>5</sub>



04	29	3	<i>Escherichia coli</i>
05	36	4	<i>Escherichia coli</i>
06	34	4	<i>Escherichia coli</i>
07	35	4	<i>Escherichia coli</i>
IME	34	3	<i>Escherichia coli</i>
<b>Evento 03</b>			
01	39	3	<i>Escherichia coli</i>
02	24	2	DBO <sub>5</sub>
03	36	4	<i>Escherichia coli</i>
04	38	4	<i>Escherichia coli</i>
05	39	4	<i>Escherichia coli</i>
06	39	4	<i>Escherichia coli</i>
IME	38	4	<i>Escherichia coli</i>
<b>Evento 04</b>			
01	43	3	<i>Escherichia coli</i>
02	24	2	DBO <sub>5</sub>
03	31	3	<i>Escherichia coli</i>
04	26	2	DBO <sub>5</sub>
05	36	3	<i>Escherichia coli</i>
06	35	3	<i>Escherichia coli</i>
IME	26	2	DBO <sub>5</sub>
<b>Evento 05</b>			
01	30	3	<i>Escherichia coli</i>
02	25	2	DBO <sub>5</sub>
03	23	2	DBO <sub>5</sub>
04	24	2	DBO <sub>5</sub>
05	34	4	<i>Escherichia coli</i>
06	33	4	<i>Escherichia coli</i>
IME	30	3	<i>Escherichia coli</i>
<b>Evento 06</b>			
01	32	3	<i>Escherichia coli</i>
02	21	2	DBO <sub>5</sub>
03	28	2	DBO <sub>5</sub>
04	34	3	<i>Escherichia coli</i>
05	26	2	DBO <sub>5</sub>
06	30	3	<i>Escherichia coli</i>
07	34	3	<i>Escherichia coli</i>
IME	33	3	<i>Escherichia coli</i>

Legenda: Azul: qualidade ótima; Verde: boa; Amarelo: aceitável; Vermelho: ruim; Preto: péssima.

Foi notório observar que quando começa haver escoamento, e o nível do córrego começa a se elevar, o IQA<sub>CETESB</sub> passa a ter qualidade ruim. Foi visto que existe, para maioria dos parâmetros avaliados, antecipação do polutograma em relação ao hidrograma. Este fato é coerente indicando a piora do IQA<sub>CETESB</sub>. No evento 03, o IQA<sub>CETESB</sub> apresentou qualidade ruim na amostra 02, e no decorrer do evento este índice se recuperou. Isto pode ser devido à ocorrência de uma precipitação anterior com um DAE de 0,79 dias.

Verifica-se, também, que após a ocorrência do evento de drenagem pluvial, o IQA<sub>CETESB</sub> ainda apresenta valores na faixa de qualidade ruim. Este fato, provavelmente, ocorre pelo fato de também durante os eventos de drenagem haver lançamentos clandestinos na área de estudo. Observando os anexos dos polutogramas e os limites de classes de uso segundo CONAMA N°357/2005, verifica-se que os parâmetros DBO<sub>5</sub> e *Escherichia coli* continuam após o evento, acima dos padrões de classe 3, reforçando a suposição. No Anexo F visualiza-se tal suposição para o evento 02, nos gráficos.

O IQA<sub>SMITH</sub> apontou valores baixíssimos, qualificando a água como péssima em todas as amostras dos eventos.

Observando o IME<sub>B</sub> verifica-se que os valores encontram-se entre 2 e 4. Os parâmetros referentes aos sub-índices mínimos calculados no IQA<sub>SMITH</sub> foram *Escherichia coli* e DBO<sub>5</sub>. Sugere-se a proposição de índices de qualidade da água para corpos de água de áreas urbanas, devido a grande maioria no Brasil ser extremamente poluído e sempre susceptível a modificações, devido ao uso e ocupação do solo, e pelo fato de parâmetros como a *Escherichia coli* e DBO<sub>5</sub>, serem normalmente elevados nestas áreas.

Foi calculado o IME<sub>A</sub> (Índice Médio do Evento) para cada evento e, então, verificado que a média dos IMEs apresentou qualidade ruim. De fato o corpo d'água piora de qualidade, devido à carga de drenagem urbana, em todos os eventos.

### 5.3.13 Efeito de *first flush*

Existem, de acordo com a literatura, duas maneiras de explicar a ocorrência do fenômeno de primeira lavagem ou *first flush*.

De acordo com Lee & Bang (2000), o efeito de primeira lavagem ocorre quando L for maior que F, ou seja, quando a curva adimensional acumulada estiver acima da bissetriz, como é mostrado na figura 3.7. As curvas acumulativas adimensionais mostram, com clareza, o que acontece com o poluente durante o seu transporte, e, ao mesmo tempo, o comportamento do volume drenado.

Porém, o *first flush*, pode ser observado também ao se analisar sobrepondo-se as curvas do hidrograma e polutograma durante o evento de escoamento. Se o pico do polutograma ocorrer antes do pico do hidrograma define-se a ocorrência de primeira lavagem, e o efeito de diluição, pelo contrário do efeito de primeira lavagem, pode ser observado quando o pico do polutograma estiver depois do pico do hidrograma.

São apresentadas no anexo D para os todos os eventos as curvas acumulativas adimensionais de alguns parâmetros analisados neste estudo. Em uma bacia hidrográfica estas curvas podem variar de evento para evento, dependendo de: intensidade de precipitação; dias antecedentes de estiagem; total precipitado; condições da rede de drenagem; quantidade de deposição; acúmulo de massa de poluente sobre a bacia; característica da bacia e da rede de drenagem. Estas têm sido amplamente utilizadas para definir a remoção inicial do material acumulado sobre a superfície, no período entre chuvas, pelo escoamento superficial. Esta remoção de material produz um pico na concentração dos poluentes no início do escoamento superficial.

Analisando as curvas acumulativas adimensionais de DBO<sub>5</sub>, DQO, óleos e graxas e SVT verifica-se a ocorrência de *first flush* em todos os eventos. Para coliformes totais e *Escherichia coli* ocorreu primeira lavagem para os eventos 01, 02, 05 e 06. Para fósforo total ocorre *first flush*, segundo as curvas adimensionais, para os eventos 02, 03 e 05. Os eventos 03 e 05, indicam *first flush*, para os parâmetros cor e turbidez. As curvas adimensionais, indicam primeira lavagem para os eventos 01, 02, 03, 04 e 05. Para metais como o Níquel ocorre *first flush* para os eventos 04 e 05, e para o ferro ocorre *first flush* para os eventos 03 e 05. Pela variabilidade da forma do hidrograma e por ter ocorrido precipitações de várias intensidades, deve-se ter cautela a afirmar que houve adiantamento do polutograma de sólidos, no evento 05, o que caracterizaria primeira lavagem para os mesmos.

As curvas do nitrogênio total, NTK, amônia e nitrito indicam *first flush* para todos os eventos. Já para o nitrato apenas o evento 03 apresentou efeito de diluição. Para os SVT somente nos eventos 01, 02, 03 e 05 ocorreu *first flush*.

Os parâmetros que sofreram diluição foram turbidez e cor, para os eventos 01, 02, 04 e 06, sulfatos eventos 02 e 03, manganês e fósforo eventos 01, 04 e 06, cobre eventos 01, 02, 04 e 06, ST, SST, SDT, para os eventos 01, 02, 04 e 06. O chumbo para todos os eventos apresentou concentração próxima a CME, então as curvas adimensionais não refletiram *first flush* nem diluição, apresentando que este parâmetro se distribui uniforme ao longo dos eventos. O cádmio, ao longo dos eventos 01, 03, 05 e 06, apresentou, também, distribuição uniforme. A amônia, para os eventos 01 e 06, também apresentou distribuição uniforme ao longo do escoamento.

Seguindo-se esta proposição verifica-se que os polutogramas dos sólidos indicaram fenômeno de diluição, onde o pico do polutograma ocorre após o do hidrograma para os eventos 01, 02, 04, 05 e 06. Provavelmente, ocorre atraso dos polutogramas dos sólidos,

devido a estes serem mais pesados, e o escoamento arrastá-los posteriormente no evento de drenagem. Isso foi verificado nas coletas de campo, pois foi visto para todos os eventos que a concentração de sólidos aumentava substancialmente após o pico do hidrograma.

No que tange ao fenômeno de diluição foi observado que o mesmo pode ocorrer, seguindo outro comportamento. Verificou-se que quando um determinado parâmetro diminui suas concentrações, chegando a níveis menores que a do escoamento de base, no decorrer do evento de escoamento, verifica-se nestes casos também a ocorrência de diluição. Esta ocorrência foi notada para o parâmetro alcalinidade em todos os eventos. Para condutividade nos eventos 01, 04 e 06 também foi confirmada tal ocorrência. Para cloretos somente não ocorreu para o evento 05, talvez pela ocorrência de sucessivas precipitações. Observa-se que todos os metais no evento 03 apresentaram efeito de diluição, seguindo este comportamento.

Analisando a primeira lavagem, sobrepondo-se as curvas do hidrograma e polutograma, para alguns parâmetros, em alguns eventos, verifica-se uma controvérsia entre as duas vertentes de análise do fenômeno. Isto ocorre com a alcalinidade, onde para todos os eventos as curvas adimensionais indicaram primeira lavagem, sendo que a análise do polutograma indicou diluição. Para a condutividade nos eventos 01, 04, 05 e 06 ocorreu *first flush*, segundo análise polutograma versus hidrograma, sendo que as curvas adimensionais indicaram primeira lavagem. Para cloretos, ocorreu *first flush* segundo as curvas adimensionais, sendo que os polutogramas indicaram *first flush* para o evento 05 e para os demais diluição.

Verificou-se que para parâmetros como DBO<sub>5</sub>, DQO, óleos e graxas, em todos os eventos, as duas teorias para explicar o fenômeno indicaram *first flush*, mostrando que estes parâmetros foram bons indicadores de *first flush* neste estudo. Em bacias urbanas talvez este fenômeno seja comum, para determinados parâmetros de qualidade, principalmente na ocorrência de precipitações que começam intensas e vão enfraquecendo ao longo do tempo.

Então, supõe-se que determinados parâmetros são mais sensíveis a essa teoria de *first flush*, pelas curvas adimensionais. Isto porque existem diversos fatores que podem influenciar na variação da curva em torno da bissetriz. Um exemplo deste fato é a forma de coleta, se foi manual ou automatizada, a frequência de coleta nos eventos, a ocorrência de sucessivas precipitações no evento, o método utilizado nas medições de vazões, etc. Acredita-se que o método de análise do fenômeno pelas curvas dos polutogramas e hidrogramas, são mais confiáveis pelo fato de serem provenientes de dados primários, e também as formas das curvas não mudariam caso ocorresse uma associação da incerteza nos métodos de análise e

coleta dos parâmetros. Se fosse adotado o cálculo da incerteza, com base nas curvas adimensionais, observa-se que estas estariam susceptíveis a mudar o comportamento em torno da bissetriz de 45°, tornando a análise do fenômeno por essas curvas menos confiável.

Em sistemas unitários, o conhecimento da ocorrência de *first flush* e para que parâmetro ocorre o fenômeno, fornece diretrizes para o dimensionamento das ETEs e tanques pulmões que armazenam a carga de poluentes para depois ser realizado o tratamento de toda a água escoada nos eventos. Em sistemas separadores unitários, como ocorre no Brasil, o conhecimento do *first flush* serve para o dimensionamento de estruturas hidráulicas para conter os pequenos e frequentes eventos de precipitação e poluição associados.

#### **5.3.14 Efeito de *second flush***

Analisando-se todos os eventos não foi identificado o efeito de segunda lavagem na bacia do Córrego Cabaça. Segundo Wanielista & Yousef (1993), este efeito ocorre quando 50% da massa total de um dado poluente são transportados, em qualquer porção de 25% do volume escoado, além dos primeiros 25% do volume drenado. Foram buscados, na literatura, mais estudos relativos à ocorrência deste fenômeno, porém este parece ser um assunto de pouca relevância ou mesmo de pouca ocorrência nas bacias urbanas, dado que a segunda lavagem é um assunto pouco citado em praticamente todos os artigos. O grande interesse dos pesquisadores é a ocorrência da primeira lavagem, pelo fato de estar associada a possibilidade de dimensionamento de estruturas para conter os pequenos eventos de precipitação, ou a primeira parcela de precipitação escoada tratando, assim, apenas um pequeno volume de efluente pluvial desviando-se dos problemas econômicos e/ou técnicos. Esse fato parece ser coerente dentro de um programa de drenagem sustentável e/ou avaliações dentro de um programa de monitoramento de águas urbanas.

## 6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

### 6.1 Conclusões

O estudo teve como objetivo geral, avaliar a qualidade de água da drenagem pluvial, de uma bacia urbana. Foram amostrados seis eventos e foi verificada, em coletas de campo, a influência que as cargas difusas podem ocasionar ao equilíbrio ambiental de corpos d'água. A alteração da maioria dos parâmetros foi evidente durante os eventos, fazendo com que o corpo d'água ultrapassasse os limites de aceitável para ruim. O escoamento pluvial urbano pode alterar as concentrações da maioria dos poluentes de corpos d'água, tais como nutrientes, metais, bactérias, matéria orgânica e materiais suspensos.

Na legislação brasileira não consta medidas diretivas e corretivas para gestão, monitoramento, controle ou mitigação e fiscalização das cargas difusas em áreas urbanas e rurais. Esse fato, porém, não justifica a criação de legislação tratando de cargas difusas, sem haver experiência e estrutura para articular o que está previsto em planos que concebiam uma possível drenagem sustentável. Além disso, o controle da poluição difusa urbana causada pelo escoamento pluvial urbano tem tendência de ser bastante custoso, nos aspectos técnicos e econômicos. Ante a isto, a atenção às formas de manejo utilização e uso dos solos deve ser revistos, quanto às medidas preventivas, recuperadoras e mitigadoras dentro de uma base legislativa e executiva.

Estas tipologias de estudo apresentam sérias dificuldades em termos de instrumentação. Quanto à previsão de precipitações, não se tem precisão disponível; quanto à medição de vazão, as águas fortes inviabilizam a prática de hidrometria. Não havendo automação, os trabalhos de campo tornam-se árduos, pela exigência da presença de um observador 24 horas, à espera de um evento de escoamento pluvial.

Enfim, as análises dos dados obtidos geraram as seguintes conclusões:

- 1) A poluição gerada é de natureza passageira no tempo e no espaço, sendo, portanto uma poluição “instântanea”, com reflexos à jusante, dentro da esfera temporal, podendo ser estimada com precisão pela amostragem a intervalos frequentes em bacias razoavelmente pequenas.
- 2) O evento chuvoso é o preponderante agente natural causador das variações de concentração, diante do uso e ocupação do solo da bacia hidrográfica.
- 3) Em bacias de pequenas dimensões, há maior probabilidade da ocorrência do pico do polutograma antes do pico do hidrograma para alguns parâmetros, indicando queda

acentuada da qualidade da água logo após o início do escoamento. Este fato é melhor observado pela piora dos índices de qualidade de água do corpo d'água, durante os eventos.

- 4) A utilização da teoria da CME foi aplicada no estudo, permitindo uma melhor comparação dos parâmetros de qualidade da água entre os eventos. Foi utilizado neste estudo um método de integração numérica para o cálculo das CMEs, pela equação 3.8 (calculada pelas integrais). Verifica-se melhor precisão no cálculo da CME, em relação a equação (3.9) (calculada, considerando a vazão como peso), verificada em uso na literatura. Ressalta-se, porém, que quanto maior o valor de  $n$  (número de amostras em um evento), maior será a definição dos polutogramas, e assim das curvas.
- 5) O escoamento de base apresenta evidência de que há lançamentos clandestinos de esgoto na bacia. Isto é facilmente observado em campo, pelo fato das águas do córrego ter aspecto desagradável e odor forte. Os parâmetros de qualidade da água tais como *Escherichia coli* e  $DBO_5$  também apontam para mesma explicação. Segundo a concessionária de água e esgoto da cidade, a rede de esgoto passou em parte da bacia do Cabaça no mês de Junho de 2009, após a coleta dos 3 primeiros eventos de precipitação. Verifica-se que o corpo d'água não diminuiu o odor forte e aspecto desagradável, após a rede de esgoto. Verifica-se ainda pelo escoamento de base dos últimos 3 eventos valores de índices de qualidade de água próximos aos verificados sem rede de esgoto, indicando ainda a presença de lançamentos clandestinos na região.
- 6) Foi constatada a ocorrência de um atraso do polutograma de sólidos em relação ao hidrograma, caracterizando diluição. Este fato provavelmente ocorre nesta bacia pelo fato dos sólidos serem carregados com maior dificuldade, por serem mais pesados que a matéria orgânica. Para parâmetros orgânicos como a  $DBO_5$ , verifica-se um adiamento do polutograma em relação ao hidrograma, ou seja, a ocorrência de primeira lavagem. Logo quando começa o escoamento superficial, os materiais orgânicos em suspensão começam a ser arrastados mais facilmente.
- 7) Através da análise dos polutogramas foi possível averiguar outra maneira de visualizar a ocorrência de diluição dos parâmetros de qualidade da água nos eventos. Portanto, esta ocorre também, quando a concentração de um poluente, diminui consideravelmente dentro do evento de escoamento, chegando a valores inferiores ao do escoamento de base, após o evento.

- 8) Acredita-se que o método de análise do fenômeno de *first flush* seja mais confiável pelas curvas dos polutogramas e hidrogramas, pelo fato de serem provenientes de dados primários. A incerteza associada às curvas adimensionais faz com que as mesmas possam apresentar um comportamento bastante variável em torno da bissetriz de 45°.
- 9) Foi verificado a não ocorrência do fenômeno de segunda lavagem (*second flush*) na bacia do Córrego Cabaça. De fato este fenômeno é pouquíssimo discutido na literatura, parecendo de certa maneira um efeito secundário dentro de estudos desta natureza. Provavelmente a literatura cita o *second flush* somente para mostrar que se a maior parte dos poluentes não é carregada numa primeira lavagem de precipitação; os mesmos podem ocorrer em uma lavagem posterior, dentro do mesmo evento, bastando haver um incremento de precipitação no evento. O interesse é a ocorrência de *first flush*, para o controle da poluição de pequenos e frequentes eventos pluviais.
- 10) A partir do quarto evento as obras do parque Linear do Córrego Cabaça se iniciaram na bacia de estudo. A obra influenciou na produção e aporte de sólidos nos eventos monitorados. As CMEs para os sólidos, a partir do evento 04, mostram com clareza esta tendência.
- 11) Os óleos e graxas são provavelmente derivados dos produtos de exaustão e vazamentos dos veículos que circundam pela bacia hidrográfica estudada e também podem estar presentes nos esgotos clandestinos lançados no córrego. Os metais também podem ter a mesma origem, somando-se a isso os que estão adsorvidos aos sólidos suspensos totais. As concentrações de metais pesados na drenagem pluvial urbana podem ser mais altas do que os contidos no efluente de esgoto doméstico tratado.
- 12) Quanto à resolução CONAMA N°357/2005, verifica-se que o corpo d'água em escoamento de base se enquadra na classe 3, devido principalmente aos parâmetros *Escherichia coli* e DBO<sub>5</sub>. Acompanhando o IQA<sub>CETESB</sub> do corpo d'água, ao longo dos eventos, verifica-se que o corpo d'água piora a qualidade da água, influenciado pelas cargas difusas de drenagem, passando de qualidade aceitável a ruim, durante o escoamento pluvial. Observando o IQA<sub>CETESB</sub> e o regime de vazões, também se verifica a afirmação acima. Os parâmetros que prejudicam a qualidade da água durante os eventos de drenagem é a *Escherichia coli* e DBO<sub>5</sub>, indicados pelo IQA<sub>SMITH</sub>. A média dos IME<sub>A</sub> apresentou qualidade ruim. De fato o corpo d'água piora de



qualidade, devido à carga de drenagem urbana, em todos os eventos. O IME<sub>B</sub>, também apontou a *Escherichia coli* e DBO<sub>5</sub>, como responsável pela péssima qualidade da água durante os eventos.

Os resultados encontrados mostram que as redes de drenagem urbana, em eventos de precipitação, podem transportar grandes quantidades de poluentes para os corpos d'água. Em se tratando de ambientes urbanos, estes corpos d'água podem vir desaguar em lagos e estes posteriormente vir sofrer com processos de assoreamento e eutrofização, e o próprio corpo d'água. No cálculo do transporte de massa de poluentes, verificou-se carreamento de sólidos e outros poluentes na ordem de toneladas por evento. Os resíduos sólidos são provavelmente a maior porção de poluentes encontrados na superfície das ruas.

Constatou-se que o carreamento de sólidos em áreas urbanas, decorrentes de eventos de precipitação é bastante elevado. É verificado, também, que com o tempo a bacia hidrográfica sofre transformações, decorrentes de obras e ações antrópicas, modificando totalmente as características do terreno e aquáticas originais. É importante salientar que os sólidos são capazes de transportar, adsorvidos na sua superfície, nutrientes como fósforo e nitrogênio, e compostos tóxicos como os metais. O encaminhamento de nutrientes aos mananciais causa prejuízos ambientais na qualidade das águas superficiais, principalmente, devido ao aumento da atividade primária das plantas e algas.

## 6.2 Recomendações

Este estudo gerou as seguintes recomendações:

- 1) Desenvolver mais estudos sobre cargas difusas em áreas urbanas e rurais, para que este assunto comece a ter pauta no Brasil, considerando os vários atores envolvidos (Prefeituras, Entidades de classe, ONGs, Universidades, Agentes Financeiros de Financiamento, Mídia, Sociedade Civil, etc.).
- 2) Como se sabe, o Brasil ainda se encontra no período higienista da drenagem, em grande parte dos municípios, onde de fato estamos distante da drenagem sustentável. Os primeiros estudos e o monitoramento no Brasil de cargas difusas deveriam começar em bacias experimentais, principalmente naquelas onde existem problemas de conflitos pelo uso da água. Neste caso, sugere-se as bacias hidrográficas urbanas paulistanas, pelo fato destas possuírem uma estruturação técnica e econômica que garantiria a condução e a manutenção de tais estudos e monitoramento. Evidentemente as relações de conflito pelo uso da água justificam o empenho.

- 3) Determinar, visando um monitoramento viável, a forma da amostragem dos eventos, sendo-os por amostradores automáticos, garrafas de espera, ou por coleta manual. Uma avaliação prévia dos hidrogramas quanto à forma, tempo de base e de concentração, para o dimensionamento dos intervalos de coletas, é sem dúvida, indispensável para não haver imprevistos em campo.
- 4) Definir uma metodologia precisa para o monitoramento fluviométrico na quantificação do deflúvio da drenagem pluvial na seção exultória de monitoramento. A avaliação precisa das vazões influencia o comportamento das curvas acumulativas adimensionais em torno da bissetriz de 45° e, portanto, na análise de ocorrência de primeira lavagem na bacia.
- 5) Realizar estudos avaliando a parcela de contribuição das cargas difusas da bacia do Córrego Cabaça para o Lago em questão e suas influências. Em tal estudo avaliaria-se o aporte de poluentes por lançamentos pontuais e difusos. Isto seria para melhor compreender dentro de um panorama global, se desaparecendo os lançamentos pontuais clandestinos ou não da bacia, o lago se recuperaria.
- 6) Realizar estudos da ecotoxicidade, especialmente os efeitos tóxicos a longo prazo, para avaliar a influência dos poluentes e da associação destes, provenientes da drenagem urbana, dado que as análises químicas tradicionais de parâmetros de qualidade da água não detectam os efeitos nos organismos, onde nestes são determinados também as concentrações dos agentes tóxicos que causam mortalidade ou imobilidade, respectivamente, a 50% dos organismos depois de um determinado tempo de exposição.

Por fim, as cargas difusas como foi visto neste estudo não podem ser subestimadas e devem ser avaliadas em programas de monitoramento, pois mostram claramente o reflexo das condições do uso e ocupação do solo. Em estudos desta natureza o ideal seria manter um programa de monitoramento, em termos fluviométricos, pluviométricos e de qualidade da água, para se poder averiguar com clareza a ocorrência de determinados fenômenos relativos às cargas difusas de poluição. Como consequência desenvolver modelos matemáticos adequados às condições brasileiras, que simulem a qualidade da drenagem pluvial urbana e seus efeitos no corpo receptor. A falta de medidas preventivas, corretivas e de gestão quanto ao uso e ocupação do solo na bacia do Córrego Cabaça evidencia, em termos qualitativos, principalmente, uma grande produção de poluentes, em termos de transporte de sedimentos,

materiais orgânicos e nutrientes. Pode-se extrapolar como um cenário nacional, a ocorrência de poluição difusa e suas implicações para corpos d'água urbanos.

## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

APHA, AWWA; WPCF. **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**. 21<sup>th</sup> edition, Washington, 2005.

ARMITAGE, N.; ROOSEBOOM, S.; The removal of litter from stormwater conduits and streams: paper 1 – the quantities involved and catchment litter management options. **Water Research**. v.26, n.2, p.181-187. July. 2000.

AZIMI, S.; ROCHER, V.; MULLER, M.; MOILLERON, R., THEVENOT, D.R.; Sources, distribution and variability of hydrocarbons and metals in atmospheric deposition in an urban area. **Science of the Total Environment**. v.337 (1-3), p.223-239. February. 2005.

BARCO, O. J. Quantitative and qualitative analysis of storm water runoff in an urban experimental catchment. In: World Wide Workshop for Young Environmental Scientists, 2, 2003, France. **Anais...** France: WWW-YES, 2003. 10p.

BAKRI, D.A.; RAHMAN, S.; BOWLING, L.; Sources and management of urban stormwater pollution in rural catchments, Australia. **Journal of Hidrology**. n.356, p.299-311. April, 2008.

BERTRAND-KRAJEWSKI, J.L.; CHEBBO, G.; SAGET, A.; Distribution of pollutant mass vs. volume in stormwater discharges and the first flush phenomenon. **Water Research**. n.32(8), p.2341-2356. January. 1998.

BRODIE, I.M.; ROSEWELL, C.J.; Using soil loss models to estimate suspended solids concentrations in stormwater from pre-urban areas. **Australian Journal of Water Resources**. n.12(1), p.49-60. February, 2007.

BRASIL. Conselho Nacional de Meio Ambiente. Resolução CONAMA Nº 274, de 29/11/2000. Brasília-DF. 2000.

BRASIL. Conselho Nacional de Meio Ambiente. Resolução CONAMA Nº 357, de 17/03/2005. Brasília-DF. 2005.

BRITES, A.P.Z.; **Avaliação da qualidade da água e dos resíduos sólidos no sistema de drenagem urbana**. Santa Maria, 2005. 177p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Universidade Federal de Santa Maria.

BRODIE, I.M.; ROSEWELL, C.J.; DUNN, P.K.; Using soil loss models to estimate suspended solids concentrations in stormwater from pre-urban areas. **Australian Journal of Water Resources**. n.12 (1), p.49-60. September. 2007.

BRUIJNZEEL, L. A. **Hydrology of moist tropical forests and effects of conversion: A state of knowledge review**. IHP. IAHS. UNESCO, 1990. 224p.

BULLIN, J.A.; MOE, R.D.; Measurement and analysis of aerosols along texas roadways. **Environment Science and Technology**. n.16(4), p.197-202. November. 1982.

CAMERON, D.M.; LEHNER, P.H., APONTE CLARKE, G.P.; FRANK, A.G.; Stormwater strategies: community responses to runoff pollution. **Natural Resources Defense Council**, New York, New York. 1999.

CETESB, Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. **Relatório de qualidade das águas interiores do estado de São Paulo 2008**. (Série Relatórios/ Secretaria de Estado do Meio Ambiente, ISSN 0103-4103). São Paulo: CETESB, 2008.

CHOE, J.S.; BANG, K.W.; LEE, J.H.; Characterization of surface runoff in urban areas. **Water Science and Technology**, v.45, n. 9, p. 249-254, 2002.

CHEN, C. W. Water quality analysis of urban runoff. In: **Curso Latino-Americano Sobre Técnicas Modernas em hidrologia**. Córdoba, 1983. np.

CHOW, V.T., **Handbook of Applied Hydrology**: a compendium of water-resources technology. New York: Mc Graw – Hill Book Company, 1964.

CHUI, P.C.; Characteristics of stormwater quality from two watersheds in Singapore. **Environmental Monitoring Assessment**., v.44, p. 173-176, may. 1997.

COOMBES, P.J.; KUCZERA, G.; KALMA, J.D.; **Economic benefits arising from use of water sensitive urban development source control measures**. In: INT'L HYDROLOGY AND WATER RESOURCES SYMP, 3., 2002, Australia, Perth. Proceedings... Australia, Perth: Inst. Eng. Aust, 2002. p. 152-160.

CRITCHLEY, W. R. S.; L. A. BRUIJNZEEL. **Environmental impacts of converting moist forest to agriculture and plantations**. IHP. IAHS. UNESCO, 1996. 48p.

DAVIES, A.S.; HERNEBRING, C.; SVENSSON, G.; GUSTAFSSON, L.G.; **The impacts of climate change and urbanization on drainage in Helsingborg**, Sweden: suburban stormwater. *Journal of Hydrology*. n.350,p.114-125. June, 2008.

DAVIS, M.L.; CORNWELL, D.A. **Introduction to environmental engineering**. McGraw-Hill, 1998.

DELETIC, A.; The first flush load of urban surface runoff. **Water Research**. n.32(8), p.2462-2470. November. 1998.

DRISCOLL, E.D.; SHELLEY, P.E.; STRECKER, E.W. Pollutant loadings and impacts from highway stormwater runoff, Volume III – Analytical Investigation and Research Report, McLean, VA. **US Department of Transportation**. Federal Highway Administration, Report #FHWA-RD-88-008. 1990.

ECKLEY, C.S.; BRANFIREUN, B.; Simulated rain events on an urban roadway to understand the dynamics of mercury mobilization in stormwater runoff. **Water research**. n.43, p.3635-3646. May, 2009.

ELLIOTT, A. H.; TROWSDALE, S. A.; A review of models for low impact urban stormwater drainage. **Environmental modelling & software**. n.22, p.394-405, march. 2007.

EPA. **Results of the nationwide urban runoff program NURP**. Water Planning Division, PB 84-185552 - Washington, D.C. December, 1983.

EPA. **National water quality inventory**. *Report to Congress*. In: Office of Water. EPA 841-R-95-005. Washington, D.C. October, 1995.

ERIKSSON. E.; BAUN, A.; SCHOLLES, L.; LEDIN, A.; AHLMAN, L.A.; AHLMAN, S.; REVITT, M.; NOUTSOPOULOS, C.; MIKKELSEN, P.S; Selected stormwater priority pollutants – A European perspective. **Science of the Total Environment**. n.383, p.41-51. July. 2007.

FLINT, R. K.; DAVIS, A. P; Pollutant mass flushing characterization of highway stormwater runoff from an ultra-urban area. **Journal of Environmental Engineering**, n.6, p. 616-626, June. 2007.

GOMES, L. A. **Aspectos qualitativos das águas pluviais urbanas**. São Carlos, 1981. 102p. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Escola de engenharia da USP.

GNECCO, I.; BERRETTA, C.; LANZA. L.G.; BARBERA, P.L.; Storm water pollution in the urban environment of Genoa, Italy. **Atmospheric Research**. n.77, p.60-73. October. 2005.

GRAY, J.R., GLYSSON, G.D., TURCIOS, L.M. **Comparability and reliability of total suspended solids and suspended-sediment concentration data**. U.S Geological Survey Water-Resources Investigations Report 00-4191. U.S. Geological Survey. 2002.

GROMAIRE-MERTZ, M.C., GARNAUD, S., GONZALEZ, A., Characaterisation of urban runoff pollution in Paris. **Water Science and Technology**, n.2,1. V.39. August, 2000.

HA, H., STENSTROM, M.K.; Identification of land use with water quality data in stormwater using a neural network. **Water Research**. n.37, p.4222–4230. July, 2003.

HSIEH, C.D.; YANG, W.F.; Optimal nonpoint source pollution control strategies for a reservoir watershed in Taiwan. **Journal of Environmental Management**. V.85.p.908-917. January, 2007.

HOFFMAN, E.J.; LATIMER, J.S.; HUNT, C.D.; MILLS, G.L.; QUINN, J.G.; Stormwater runoff from highways. **Water, Air, and Soil Pollution**. V.25. p.349-364. October, 1985.

HONGBING, L.; LUO L.; HUANG GU, L.P.; WANG, F.; XU RUI, H.X.; Total pollution effect of urban surface runoff. **Journal of Environmental Sciences**. n.21, p. 1186-1193. March, 2009.

HODGES, K. J. **Assessing urban non-point source pollutants at the Virginia tech extended dry detention pond**. Blacksburg, 1997. 187p. Dissertation (Master of Science in Civil Engineering) – Virginia Polytechnic Institute and State University.

HUNTER, J. V.; SABATINO, T.; GOMPERTS, R.; MACKENZIE, M. J. Contribution of urban runoff to hydrocarbon pollution. **Journal Water Pollution Control Federation**. v.58, p. 2129-2139. August, 1979.

HUSTON, R.; CHAN, Y.C.; GARDNER, T.; SHAW, G.; H, CHAPMAN.; Characterisation of atmospheric deposition as a source of contaminants in urban rainwater tanks. **Water Research**. n.43. p.1630-1640. January, 2009.

IDE, C. N. **Qualidade da drenagem pluvial urbana**. Porto Alegre, 1984. 137p. Dissertação (Mestrado em Saneamento Ambiental e Recursos Hídricos) – IPH, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

JASROTIA A.S.; MAJHI A.; SINGH S.; Water balance approach for rainwater harvesting using remote sensing and GIS techniques. **Water Resources Management**, n.23, p.3035-3055, may. 2009.

KANG, J. H.; KAYHANIAN, M.; STENSTROM, M.K.; Predicting the existence of stormwater first flush from the time of concentration. **Water Research**. n. 42, p.220-228. May. 2007.

KAYHANIAN, M.; C. STRANSKY.; S. BAY, S-L.; STENSTROM, M.K.; Toxicity of urban highway runoff with respect to storm duration. **Science of the Total Environmental**. n.389, p.386-406, October. 2008.

KRAJEWSKI, J.L.; BARDIN, S.B.; Uncertainties, performance indicators and decision aid applied to stormwater facilities. **Urban Water**. n.4,p.163-179. February, 2002.

LAJO, A. A. M. **Uso da legenda corine para estimar as alterações no escoamento superficial em uma microbacia de drenagem urbana através do método racional e hidrograma unitário de snyder**. Campo Grande, 2003. 81p. Dissertação (Mestrado em Tecnologias Ambientais) – PGTA, Universidade Federal de Mato Grosso do Sul.

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, p. 163–175, dez. 2001.

LEE, J. H.; BANG, K.W. Characterization of urban stormwater runoff. **Water Resources**, v. 34, n. 6, p. 1773-1780. 2000.

LEE, G.F.; JONES-LEE, A.; 1993. Water quality impacts of stormwater-associated contaminants: focus on real problems. **Water Science and Technology**, n.28(3), p.231-240, July. 1993.

LEE, J.H.; BANG, K.W.; KETCHUM, L.H.; CHOE, J.S.; YU, M.J.; First Flush analysis of urban storm runoff. **Science Total Environmental**. n.293, p.163-175. November. 2002.

LEE, J.H.; STENSTROM, M.K.; SWAMIKANNU, X.; RADULESCU, D.; KIM, S.; Design of stormwater monitoring programs. **Water Research**. n.41,p.4186-4196. August, 2007.

LIANG JIN, H.; DU PENG, F.; AO CHI-TAN.; LEI, M.H.; ZHAO, D.Q.; WANG, Z.S.; Characterization of surface runoff from a subtropics urban catchment. **Journal of Environmental Sciences**, n.19, p.148-152, June. 2007.

LINDHOLM, O. & BALMÉR, P. Pollution in storm runoff and combined sewer overflows. In: HELLWELL, P. R., ed. **Urban Storm Drainage**. London, Pentech, 1978. 575p.

LUO HONGBING, LUO LIN.; HUANG GU, LIU PING.; LI JINGXIAN, HU SHENG.; WANG FUXIANG, XU RUI.; HUANG XIAOXUE.; Total pollution effect of urban surface runoff. **Journal of Environmental Sciences**. v.21,p.1186-1193. March. 2009.

MITCHELL, V.G.; MEIN, R.G.; MCMAHON, T.A.; **Modelling the urban water cycle**. Journal of environmental modelling & software, n.16, p.615-629, february. 2001.

NEVES, M.G.F.P; TUCCI, C.E.M, **Gerenciamento integrado em drenagem urbana: quantificação e controle de resíduos sólidos**. In: XV Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos/ ABRH, Curitiba, 2003.

NOVOTNY, V. Urban diffuse pollution: sources and abatement. **Water Environment and Technology**, n. 1, v. 4, p. 40-43, January. 1992.

OLIVEIRA, H.A.R. **Qualidade da drenagem pluvial rural: Rio Taquarizinho – MS**. Campo Grande, 2007. 171p. Dissertação (Mestrado em Tecnologias Ambientais) – PGTA, Universidade Federal de Mato Grosso do Sul.

PAIVA, E.M.C.D.; PAIVA, J.B.D.; COSTAS, M.F.T. & SANTOS, F.A. **Concentração de Sedimentos em Suspensão em uma Pequena Bacia Hidrográfica em Urbanização**. In: 21º CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, João Pessoa, 2001.

PARKER, J.K.; MCINTYRE, D.; NOBLE, R.T.; Characterizing fecal contamination in stormwater runoff in coastal North Carolina, USA. **Water Research**. n.44, p.4186-4194, May. 2010.

PAZ, M. **Estudo Comparativo da Carga de Lavagem em Bacias Urbana e Rural**. Santa Maria, 2004. 161p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Departamento de Hidráulica e Saneamento – HDS – Universidade Federal de Santa Maria.



PETAVY, F.; RUBAN, V.; CONIL, P.; Treatment of stormwater sediments: Efficiency of an attrition scrubber – laboratory and pilot-scale studies. **Chemical Engineering Journal**. n.145,p.475-482. April, 2009.

PINTO, N.S. **Hidrologia Básica**. São Paulo: Edgard Blucher, 1995. 278p.

PITALUGA, G.M. **Limnologia e Avaliação da Qualidade da Água no Reservatório “Lago do Amor” (Campo Grande, MS)**. 74p. Dissertação (Mestrado em Tecnologias Ambientais) – PGTA, Universidade Federal de Mato Grosso do Sul.

PLANURB – INSTITUTO MUNICIPAL DE PLANEJAMENTO URBANO E MEIO AMBIENTE. **Carta de Drenagem de Campo Grande – MS**. Campo Grande, PMCG. 1998. 4p.

PLANURB – INSTITUTO MUNICIPAL DE PLANEJAMENTO URBANO E MEIO AMBIENTE. **Carta Geotécnica de Campo Grande – MS**. Campo Grande, PMCG. 1991. 22 p.

PLANURB – INSTITUTO MUNICIPAL DE PLANEJAMENTO URBANO E MEIO AMBIENTE. **Carta Geotécnica de Campo Grande – MS**. Campo Grande, PMCG. 1991. 22 p.

PORTO, M. & MASINI, L.S. **Avaliação Preliminar na Carga Difusa na Bacia do Rio Cabuçu de Baixo**. In: I SEMINÁRIO DE DRENAGEM URBANA DO MERCOSUL, Porto Alegre, 2001.

PORTO, M. F. A. **Aspectos Qualitativos do escoamento superficial em áreas urbanas**. Porto Alegre: Editora da UFRGS, ABRH. 1998.

PROGRAMA DE PESQUISAS EM SANEAMENTO BÁSICO. **Manejo de águas pluviais urbanas**. Coordenador: Antônio Marozzi Righetto (coordenador). Rio de Janeiro: ABES, 2008.

RAVANELLO, M. M.; MARTINS, J. R. S.; LAGE FILHO, F.; PORTO, M. F. A.; ARMELIN, L. F.; **Equipamento de baixo custo para análise de poluição urbana difusa: garrafas NAVA**. XXIII Congresso Latinoamericano de Hidráulica. Cartagena, Colômbia: IAHR, 2008.

REBOUÇAS, A. C. (org). **Água doce no mundo e no Brasil**. In: **Águas doces no Brasil e no mundo: capital ecológico, uso e conservação**. São Paulo, 1999. 688p.

ROESNER, L. A. Quality of urban runoff. In: HEC. **Training Course on Urban Hydrology**. Davis, 1974. 17p.

SANSALONE, J.; YING, G.; Partiotining and granulometric distribution of metal leachate from urban traffic dry deposition particulate matter subject to acidic rainfall and runoff retention. **Water Research**. n.42. p 4146-4162, 2008.

SARTOR, J.D.; BOYD, G.B.; AGARDY, F.J.; Water pollution aspects of street surface contaminants. **Journal of Water Pollution Control Federation**, vol.46. 1972.

SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE SANEAMENTO. **Visão geral dos serviços de água e esgoto 2004**. Ministério das Cidades. Disponível em: <http://www.snis.gov.br>. Acesso em 20 de abril de 2010.

SOLLER, J.; STEPHENSON, J.; OLIVIERI, K.; DOWNING, J.; OLIVIERI, A. W. Evaluation of seasonal scale first flush pollutant loading and implications for urban runoff management. **Journal of environmental management**, n. 76, p. 309-318, may. 2005.

SORIANO, B. M. A.; CLARKE, R.T.; GALDINO, S. **Evolução da erosividade das chuvas na bacia do alto Taquari**. Corumbá: Embrapa Pantanal, 2001. 18p.

THOMSON, N.; MCBEAN, E. A.; SNODGRASS, W.; MONSTRENKO, J.B.; Highway stormwater runoff quality: development of surrogate parameter relationships. **Water, Air, and Soil Pollution**. n.94, p.307-347. February, 1997.

TUCCI, C. E. M.; Águas urbanas. **Revista Estudos avançados**, n.22 , p.97-112, junho. 2008.

UNITED NATIONS. United States Environmental Protection Agency. **Urban Stormwater BMP Performance Monitoring. A Guidance Manual for Meeting the National Stormwater BMP Database Requirements**. EPA-821-B-02-001. Washington, 2002. 248p.

USEPA. **National management measures for the control of nonpoint pollution from agriculture**. EPA-841-B-03-004. Washington, 2003. 302p.

VAN, BUREN M.A.; WATT, W.E.; MARSALEK, J.; Application of the log-normal and normal distributions to stormwater quality parameters. **Water Research**. V.31(1),p.95-104. July, 1997.

VIVACQUA, M.C.R. **Qualidade da água do escoamento superficial urbano – revisão visando o uso local**. 189p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Hidráulica e Sanitária) – USP, Universidade de São Paulo.

WANIELISTA, M.P.; YOUSEF, Y.A.; 1993. **Stormwater Management**. John Wiley & Sons, Inc., New York, N.Y., 1-579.

WILKEN, P. S. **Engenharia de drenagem Superficial**. São Paulo: CETESB, 1978. 477p. WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION (WMO). **Comprehensive Assessment of the Freshwater Resources of the World**. Genebra: WMO. 1997. 54p.

WEIBEL, S. R.; ANDERSON, R. J.; WOODWARD, R. L. Urban land runoff as a factor in stream pollution. **Journal Water Pollution Control Federation**, n.36, p. 914-924, July. 1964.

YOUSEF, Y.A.; HVITVED-JACOBSEN, T.; WANIELIST, M.P.; HARPER, H.H.; Removal of contaminants in highway runoff through swales. **The Science of the Total Environment**. n.59. p.391-397. February, 1987.

ZHAO J. W.; SHAN B. Q.; YIN C. Q.; Pollutant loads of surface runoff in Wuhan City Zoo, an urban tourist area. **Journal of Environmental Sciences**, n.19(4), p.464–468. August, 2007.

**ANEXO A - Resultado das análises físicas, químicas e bacteriológicas das  
águas de drenagem pluvial e vazão dos pontos amostrados**

## TEMPERATURA DO AR

[illegible]

## TEMPERATURA DA ÁGUA

[illegible]

## OXIGÊNIO DISSOLVIDO

[illegible]



[illegible]

## NITROGÊNIO TOTAL

[illegible]

## NTK

[illegible]

**NITRATO**

[illegible]

## NITROGÊNIO AMONÍACAL

[illegible]

## NITRITO

[illegible]





[illegible]

## COR APARENTE

[illegible]

## TURBIDEZ

[illegible]

## SÓLIDOS SEDIMENTÁVEIS

[illegible]



[illegible]

[illegible]

## CÁDMIO

[illegible]

# CHUMBO

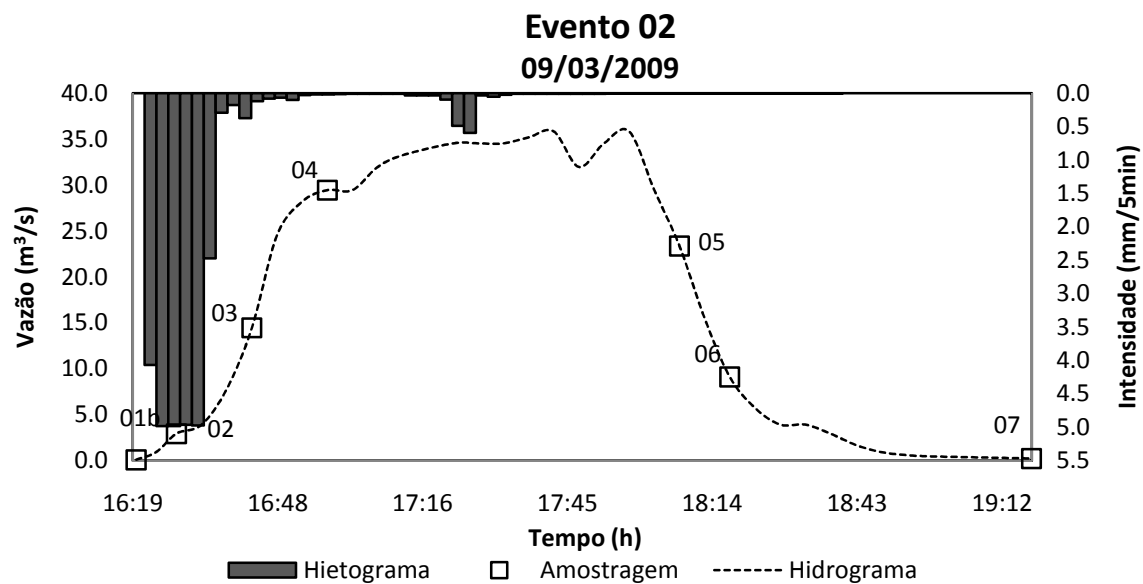
[illegible]

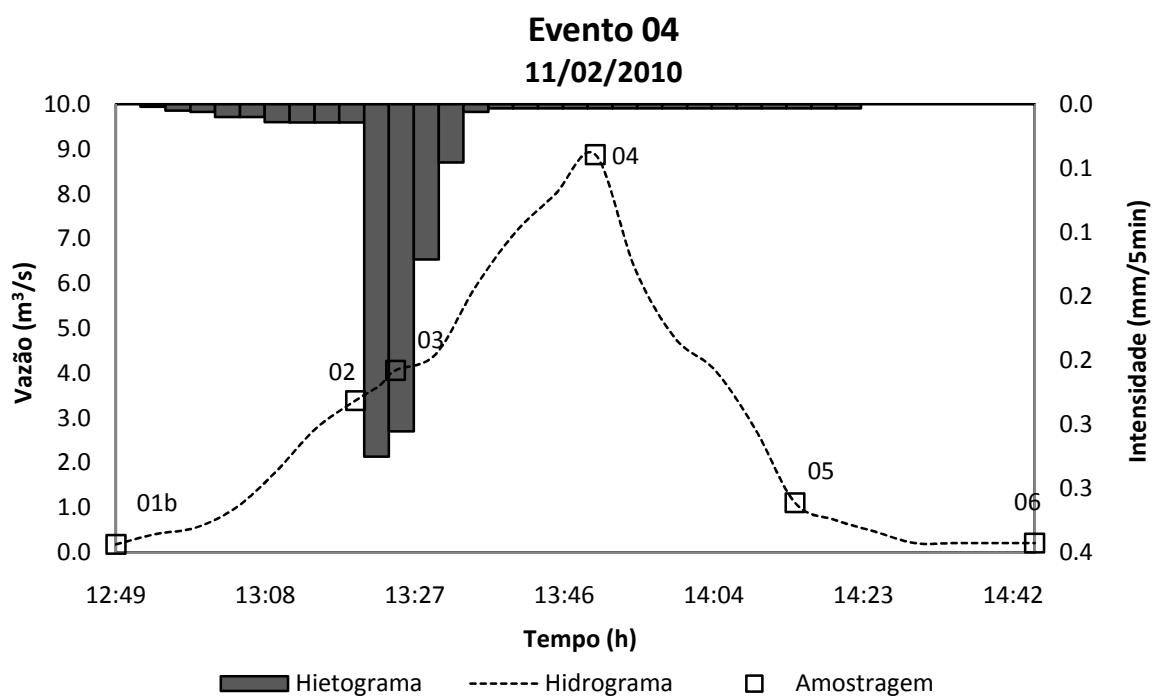
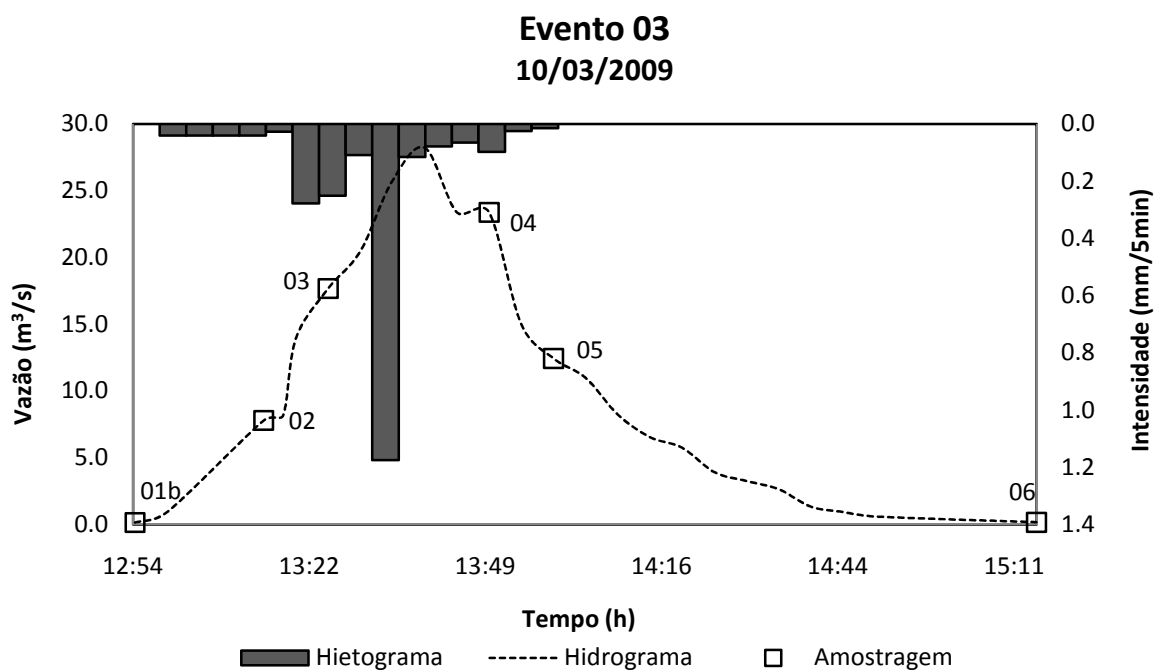
[illegible]

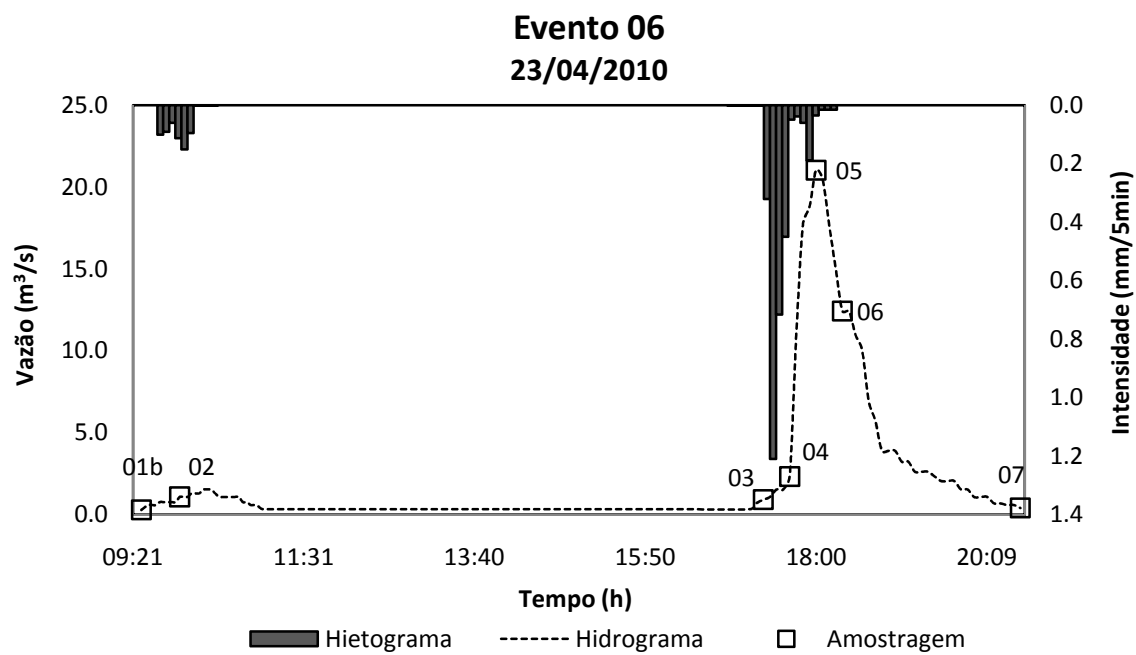
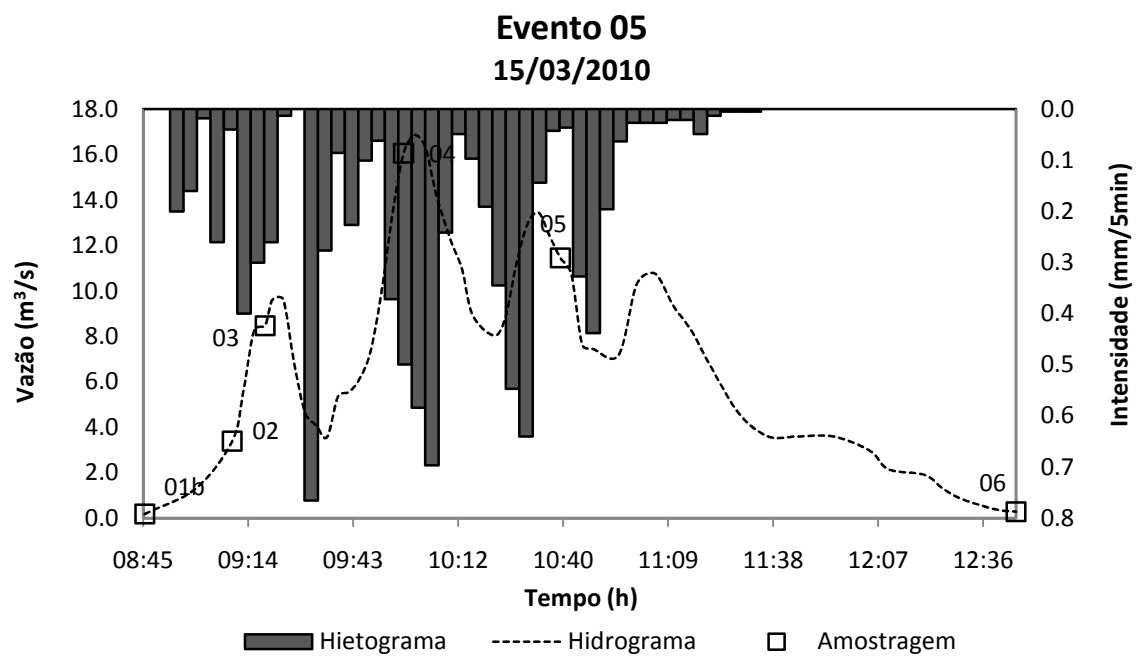
[illegible]



**VAZÃO**[illegible]

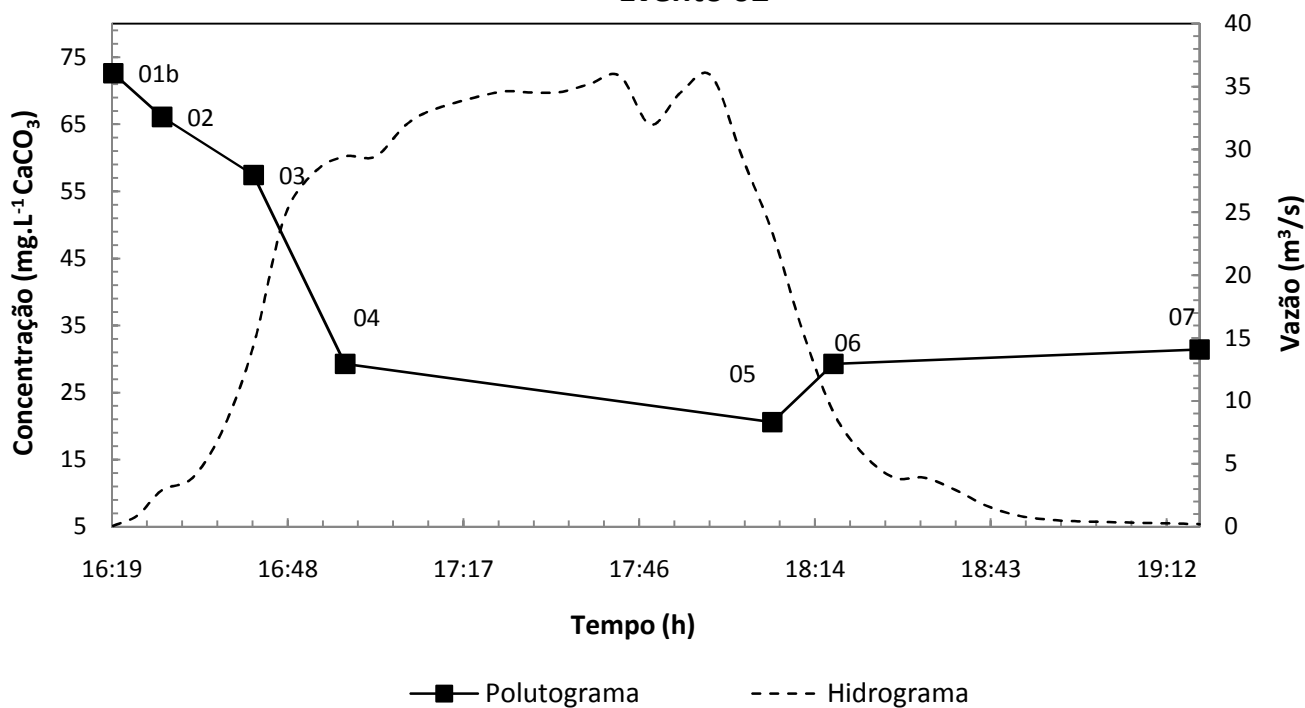




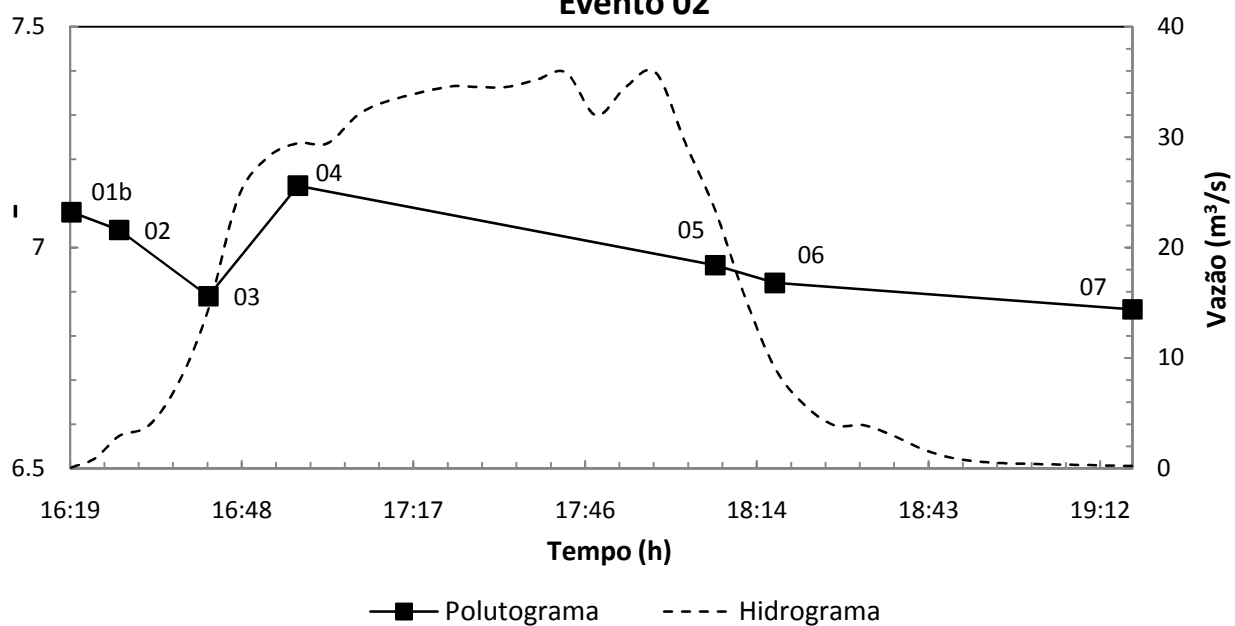


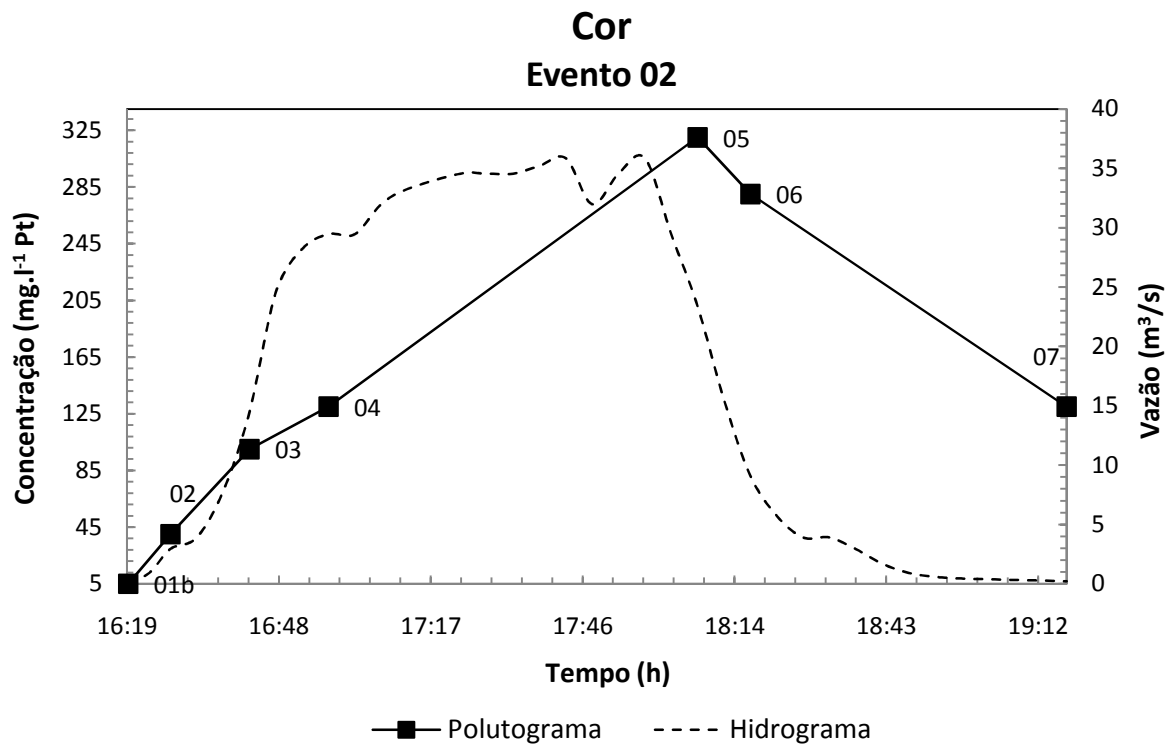
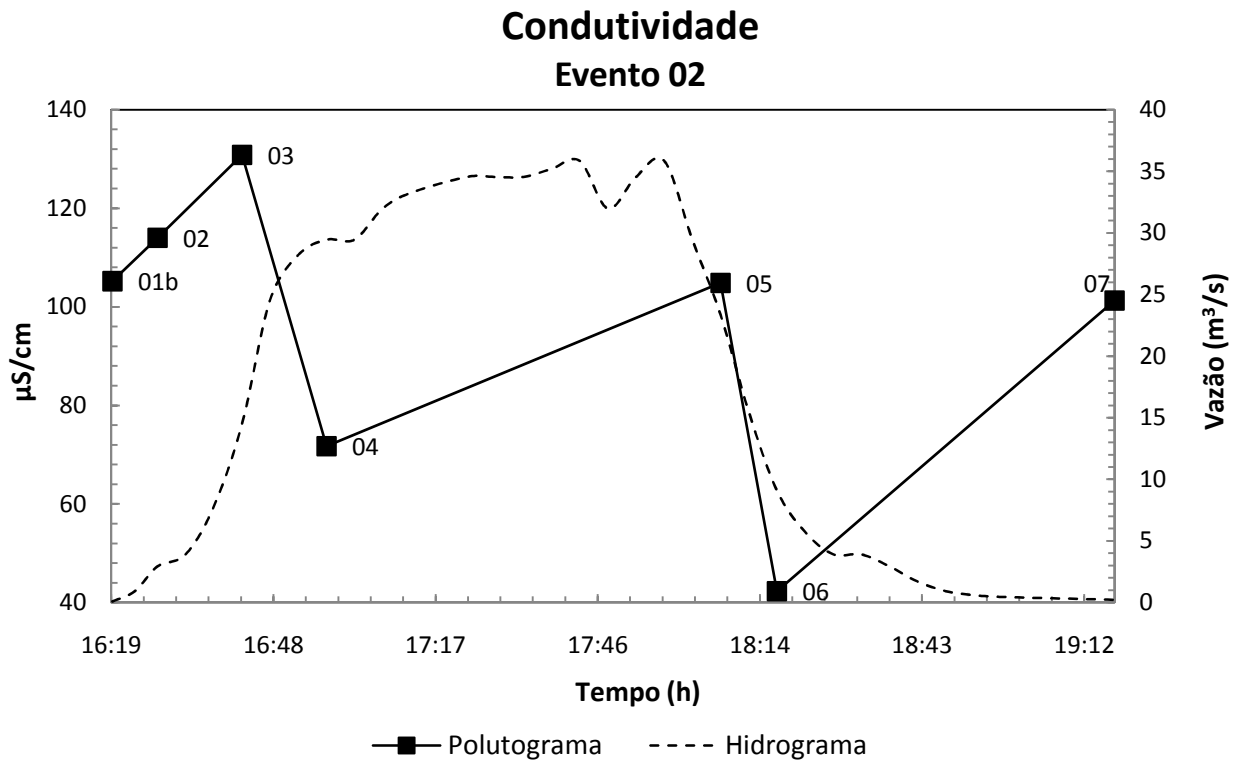
## ANEXO C - Polutogramas dos parâmetros de qualidade de água do evento 02

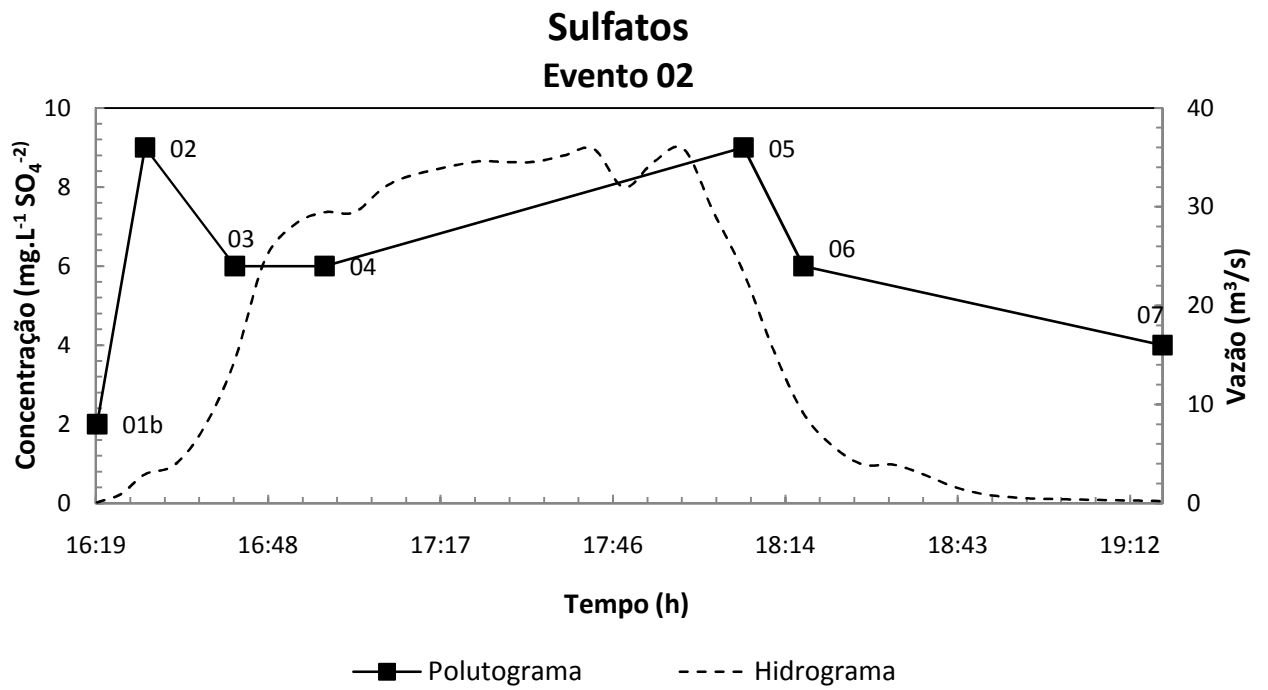
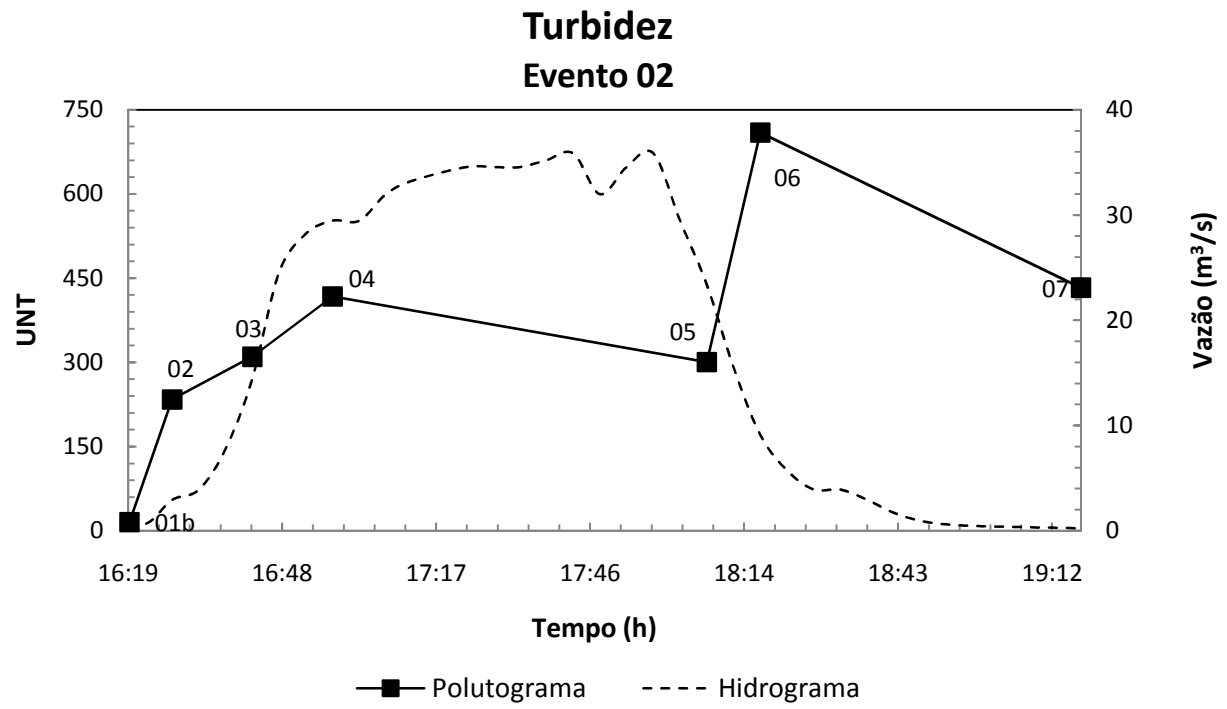
### Alcalinidade Evento 02

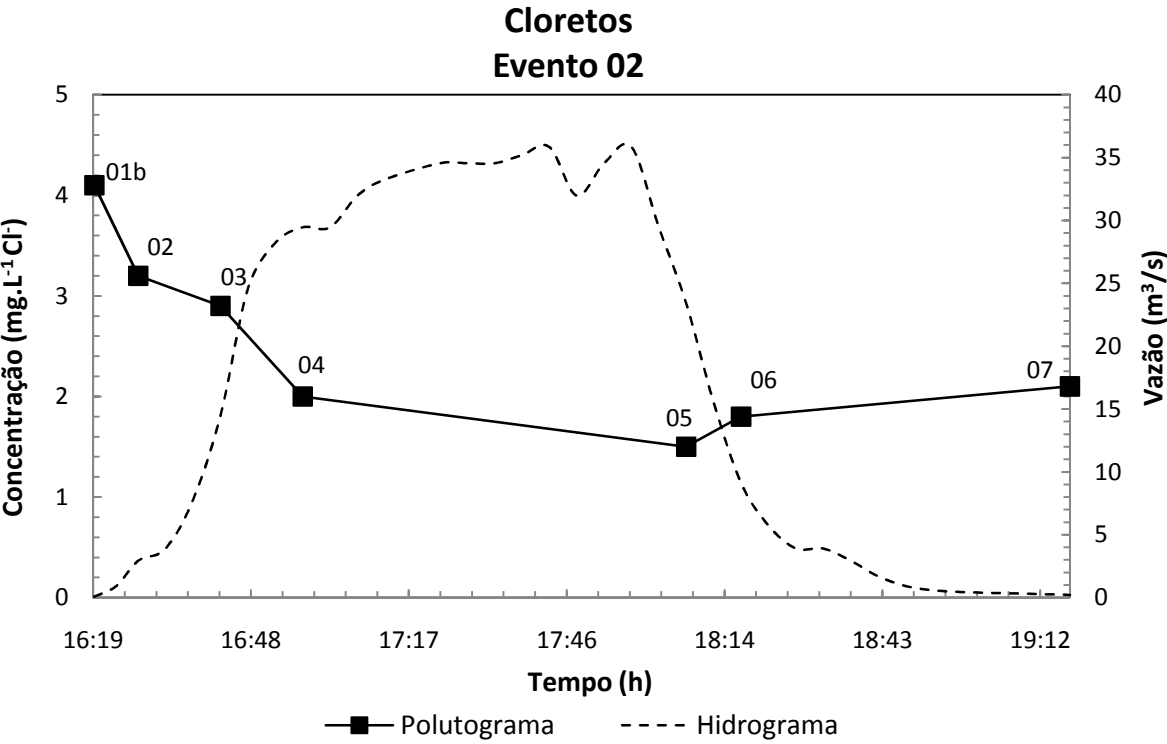
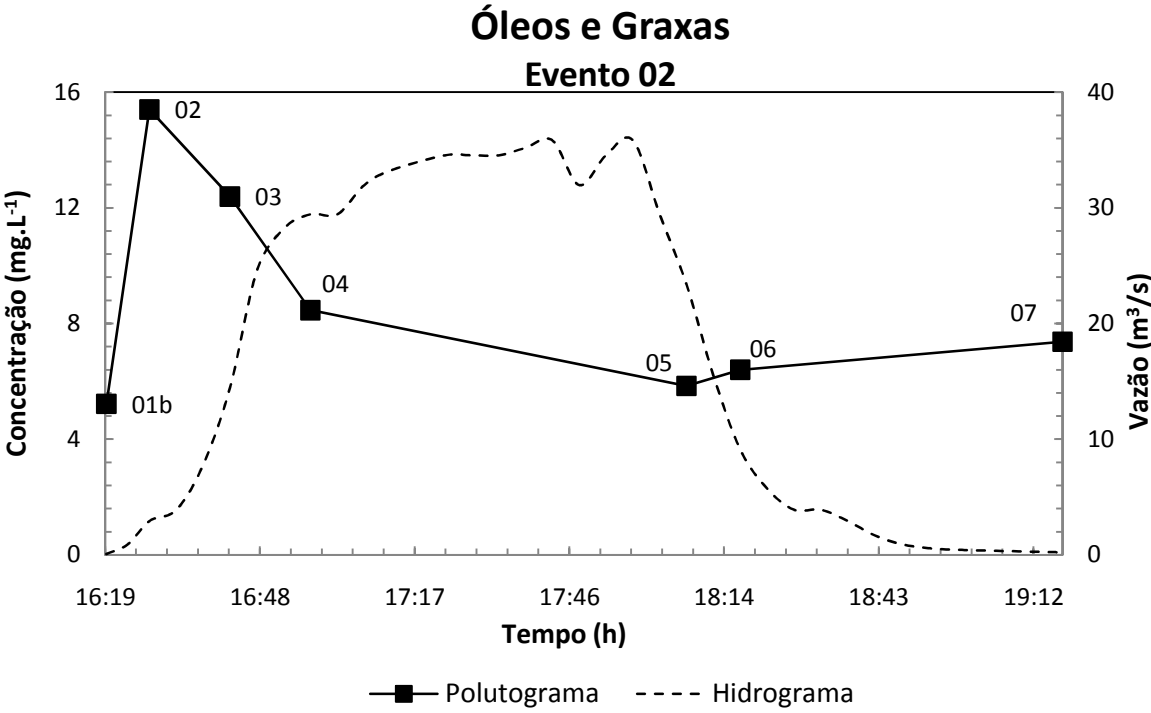


### pH Evento 02





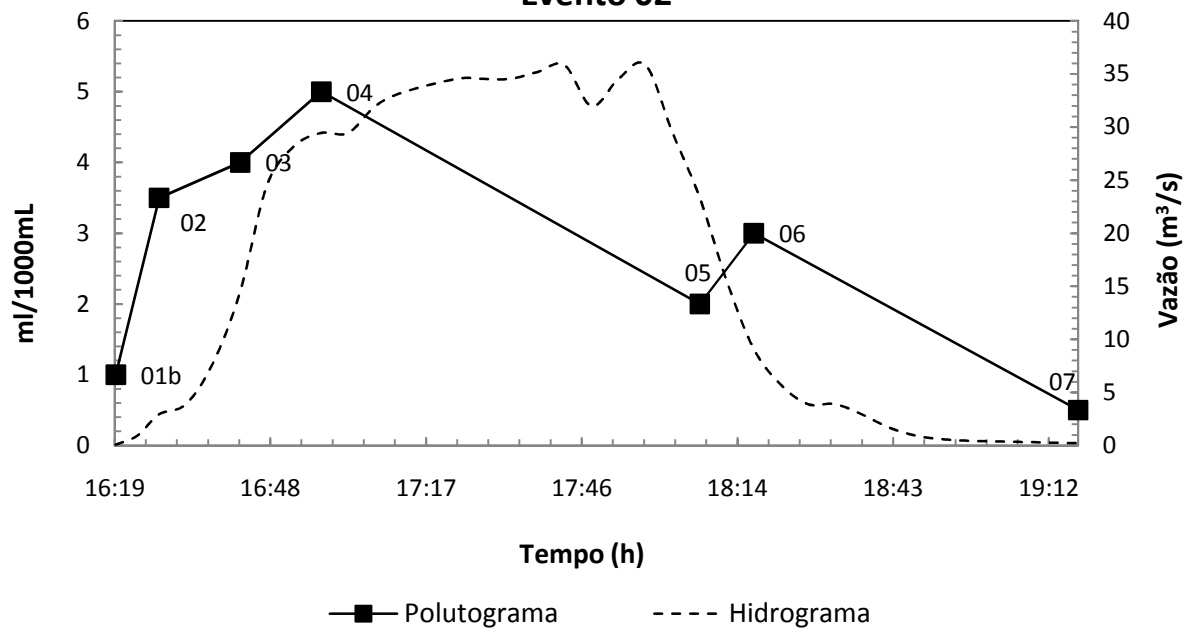






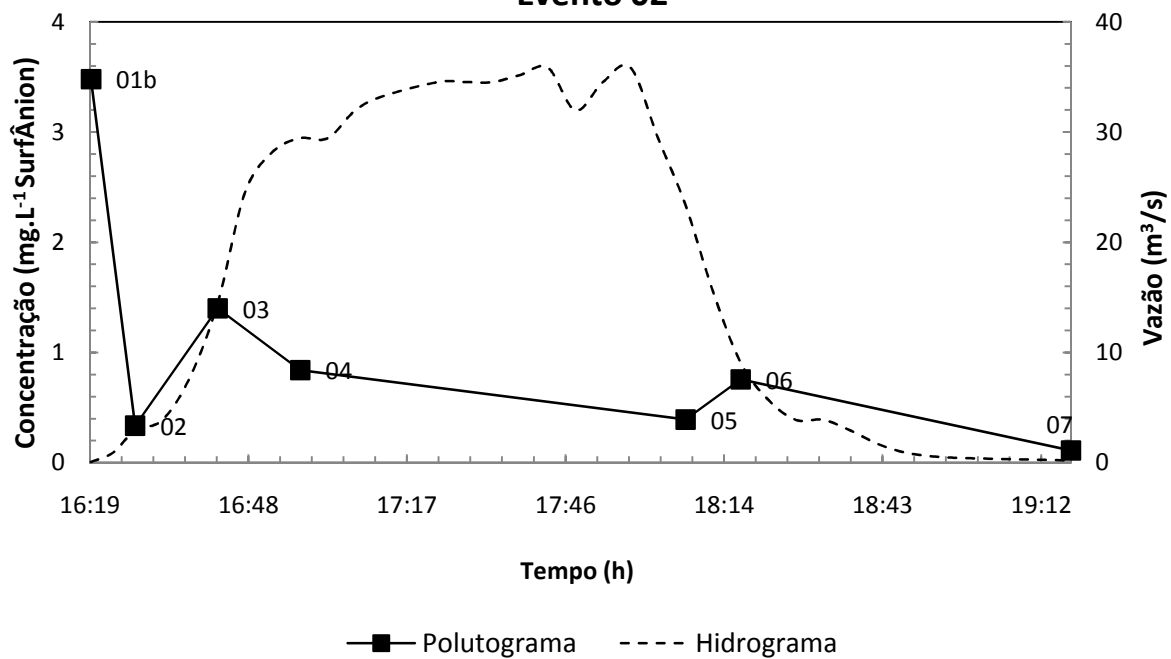
## Sólidos Sedimentáveis

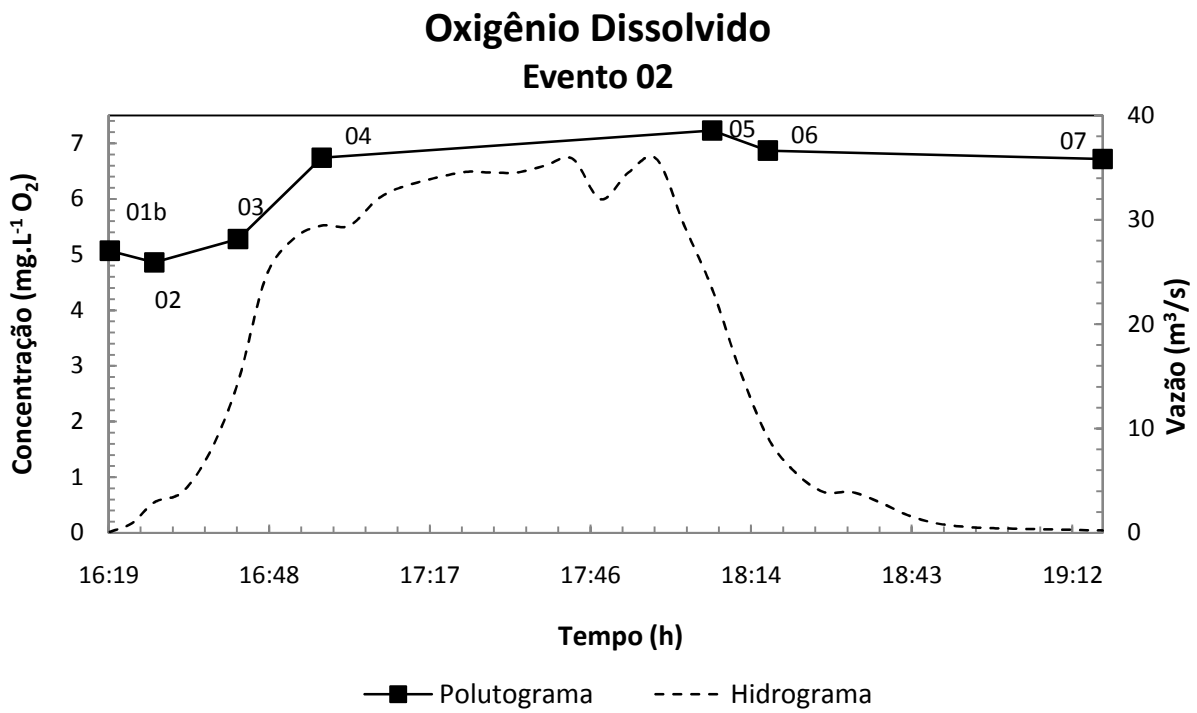
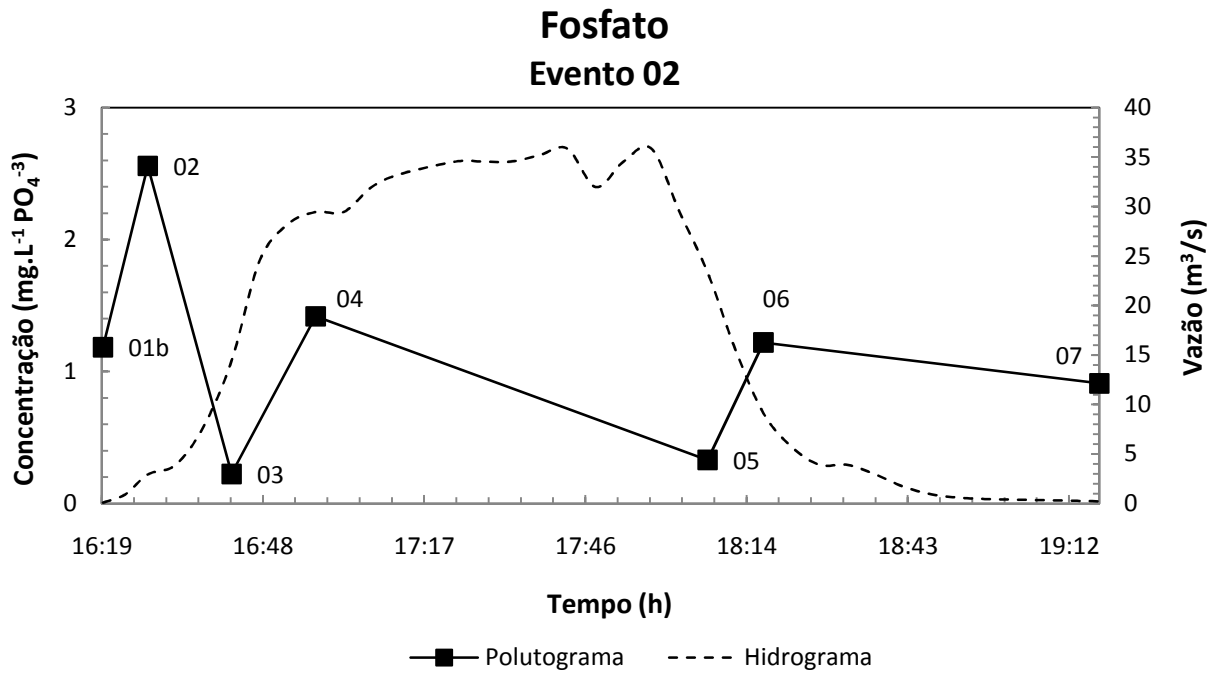
### Evento 02

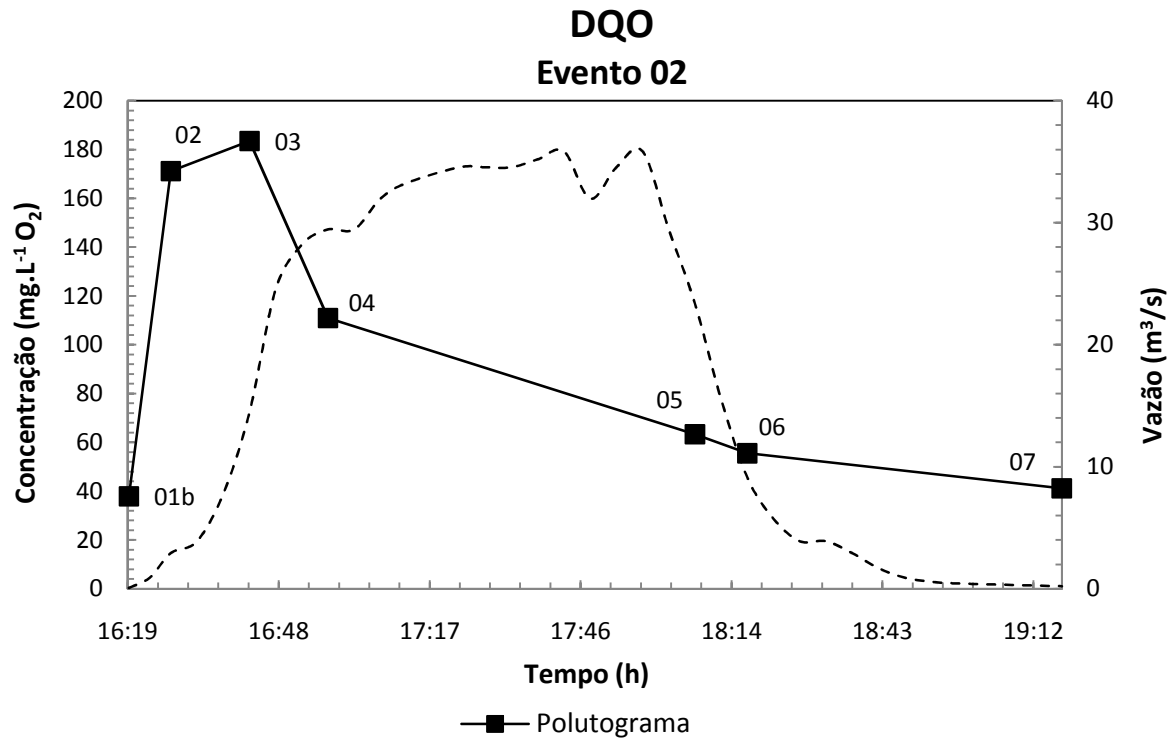
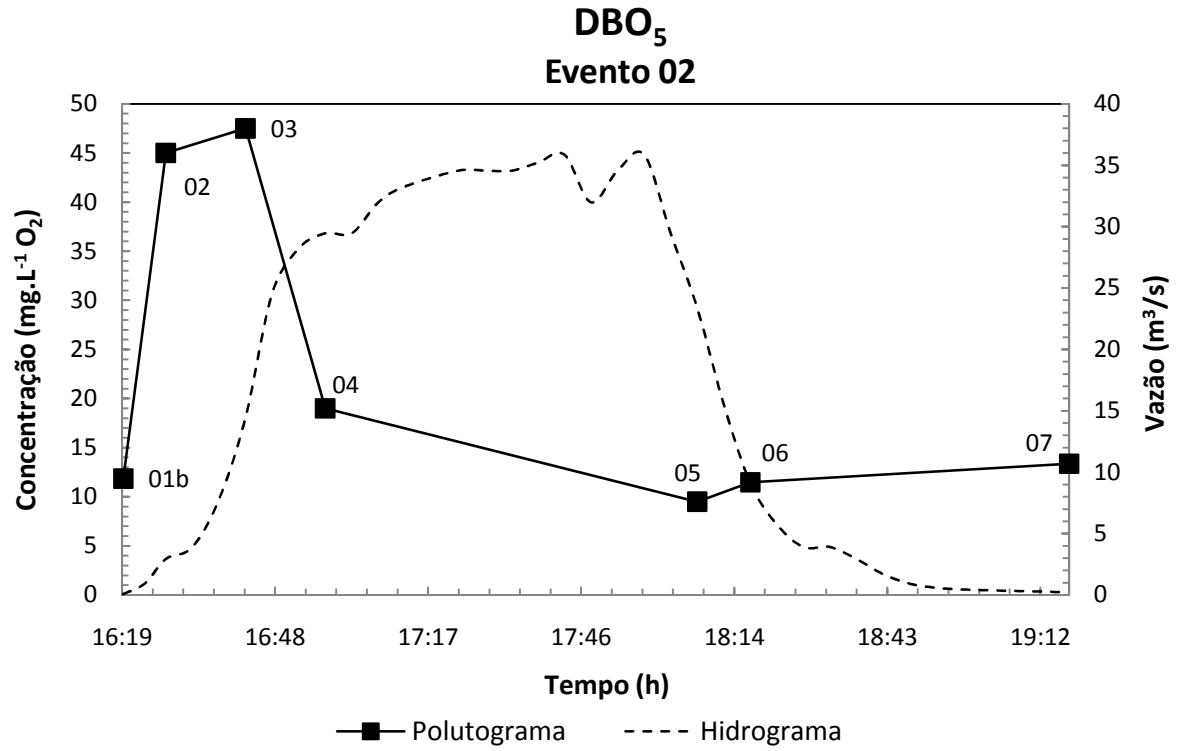


## Surfactantes

### Evento 02

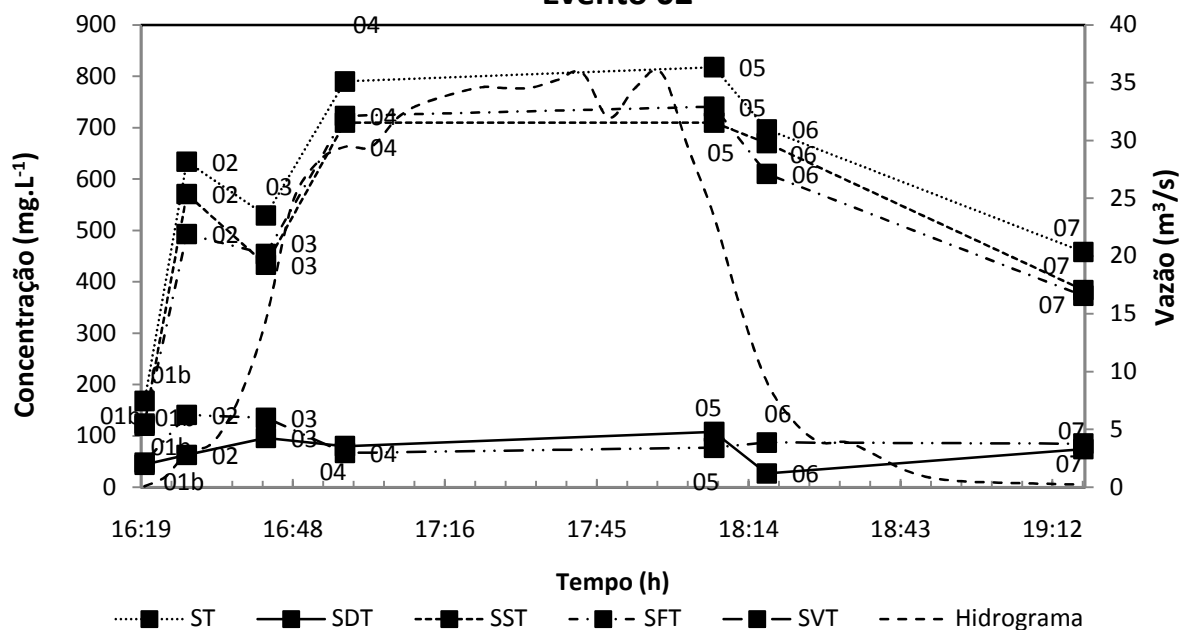






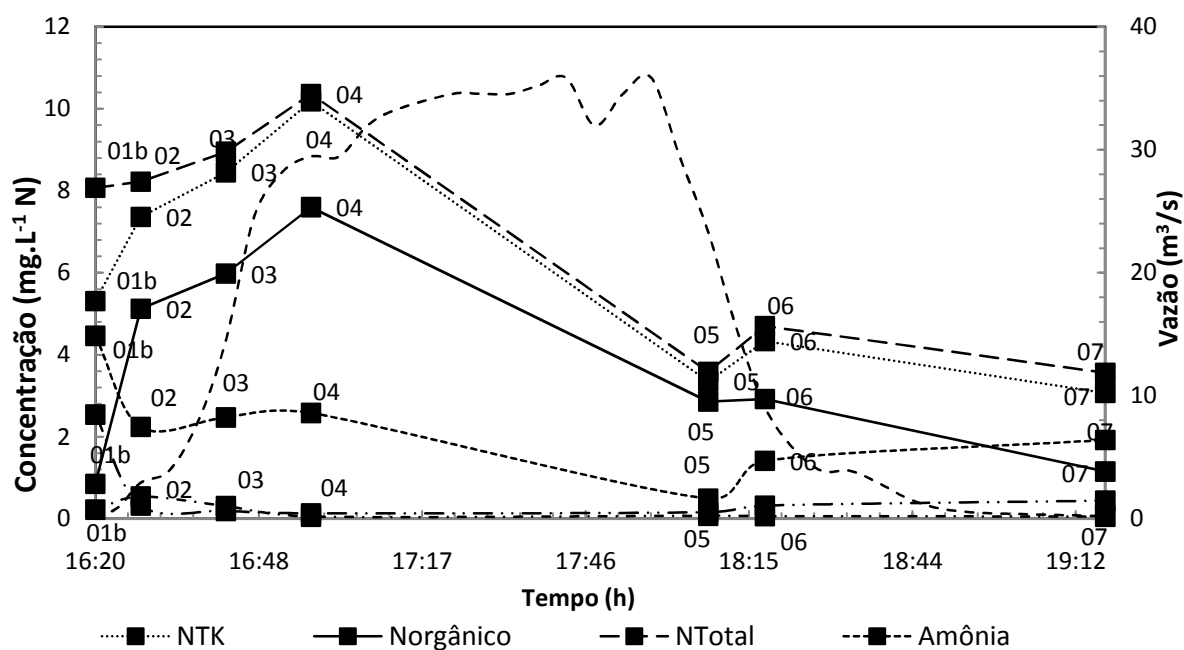
## Série de Sólidos

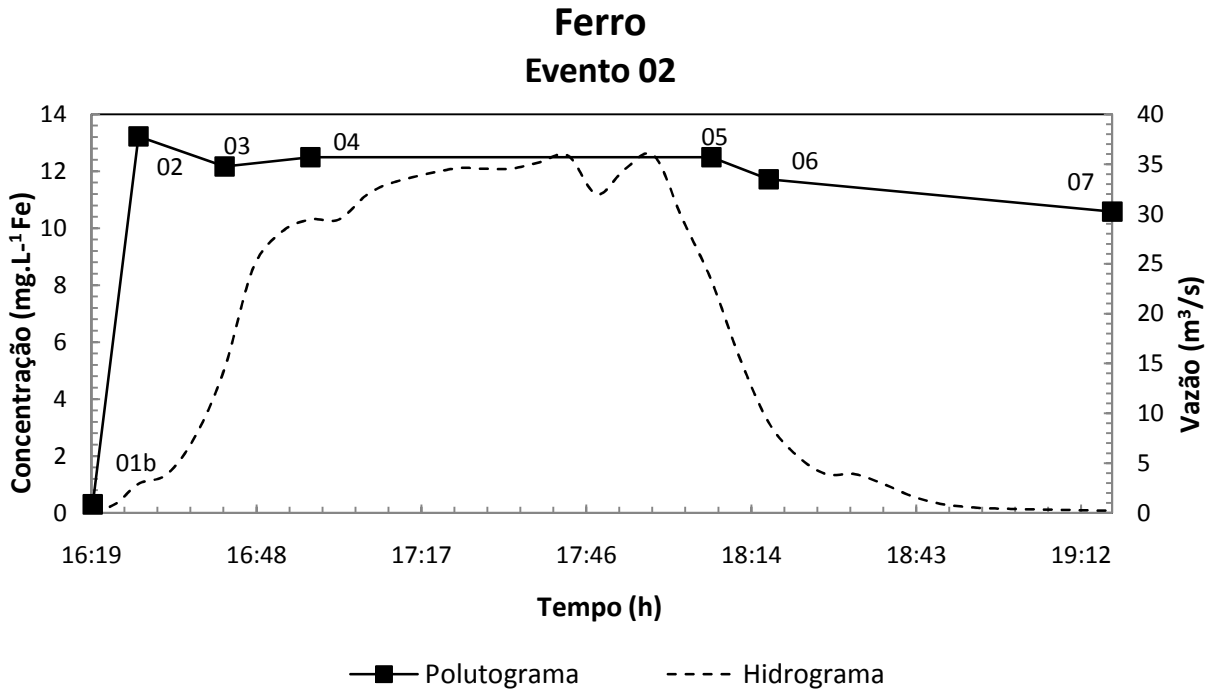
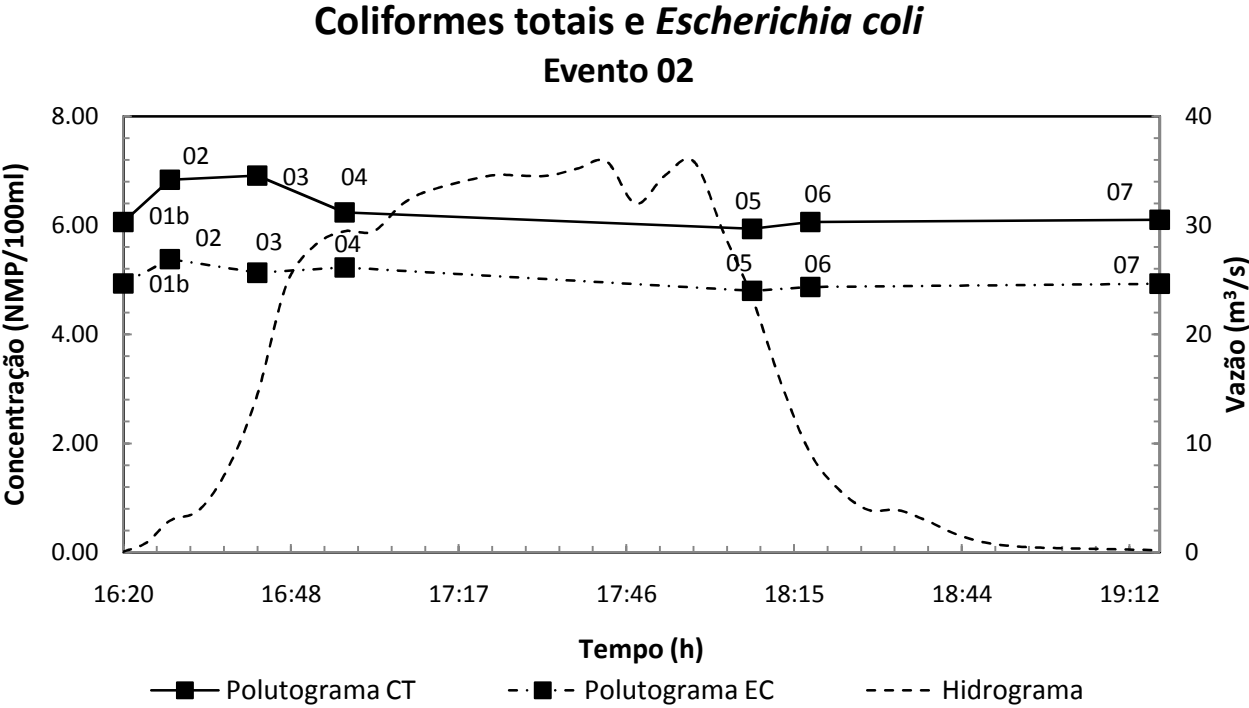
### Evento 02

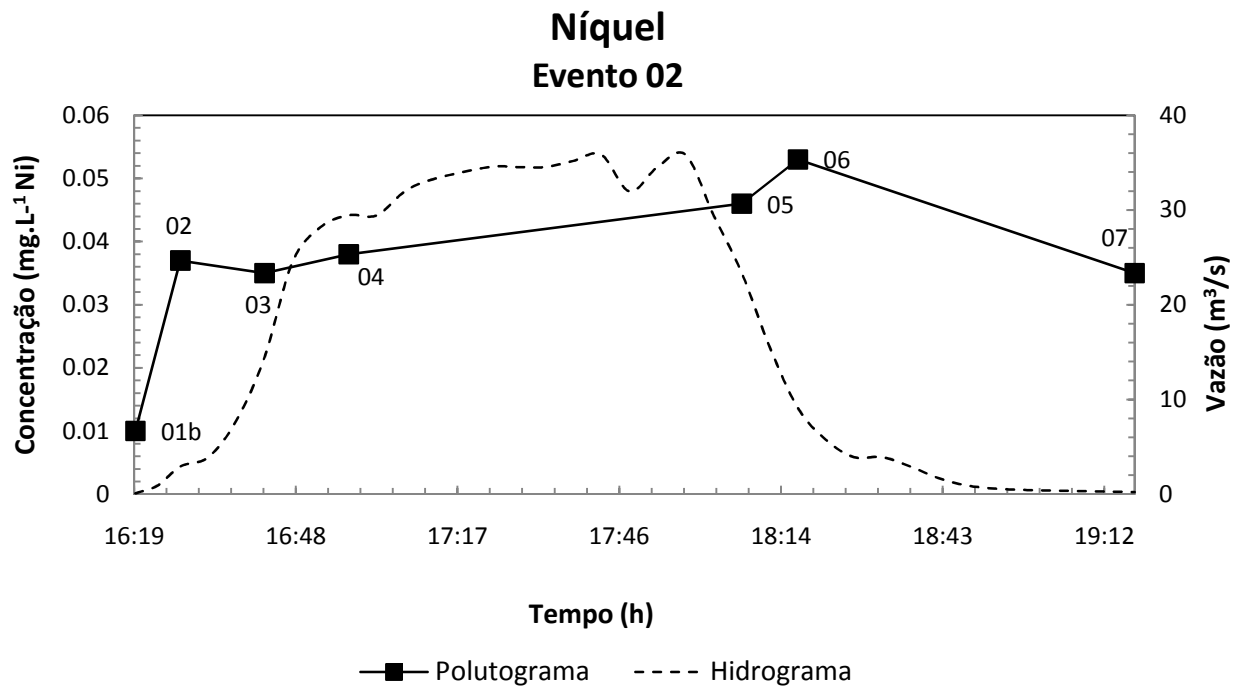
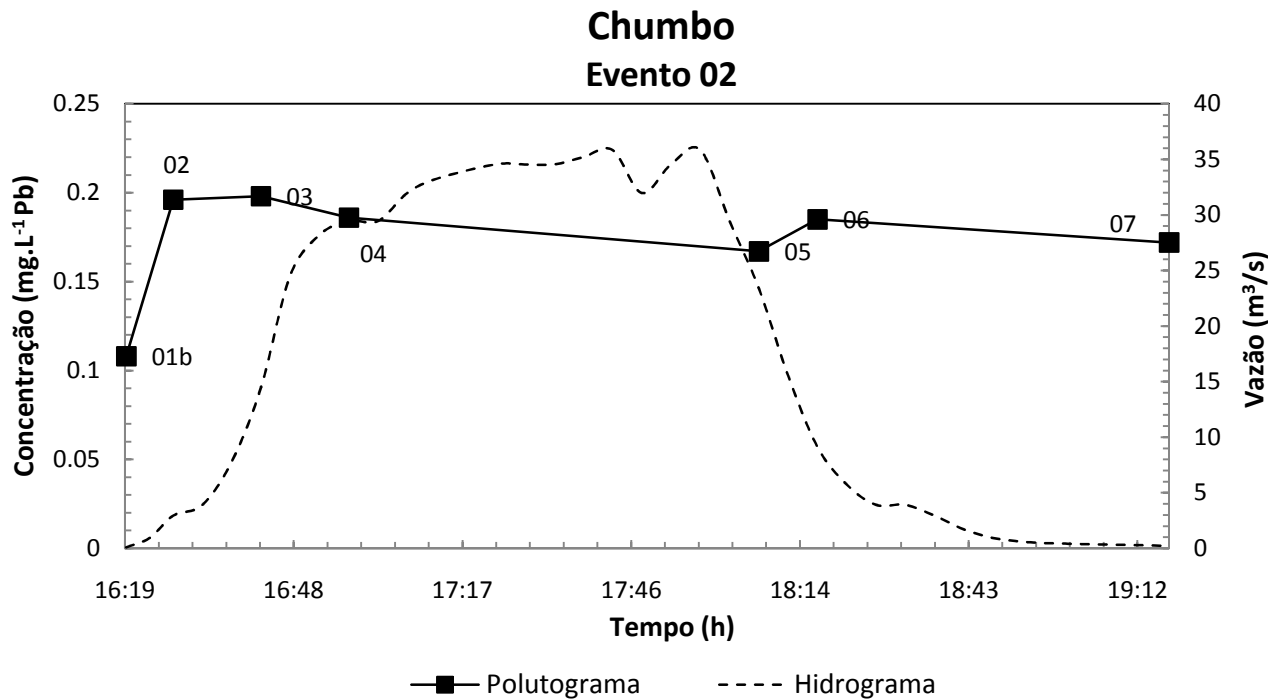


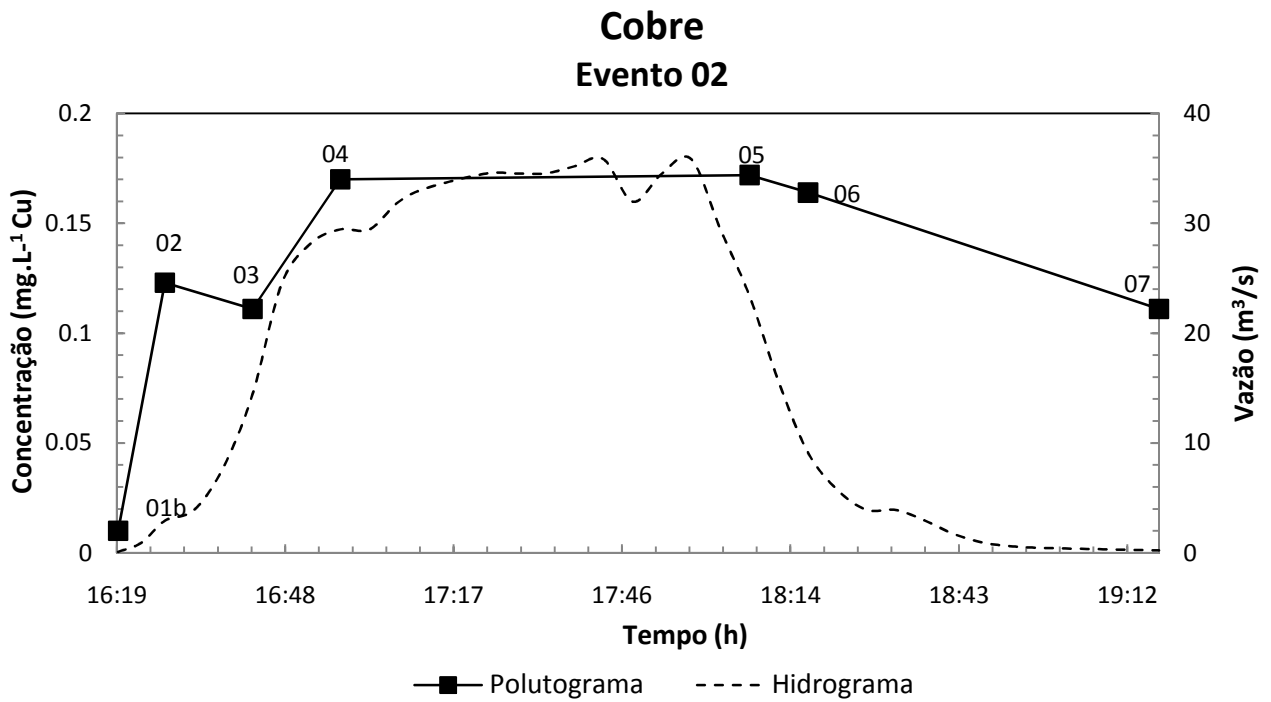
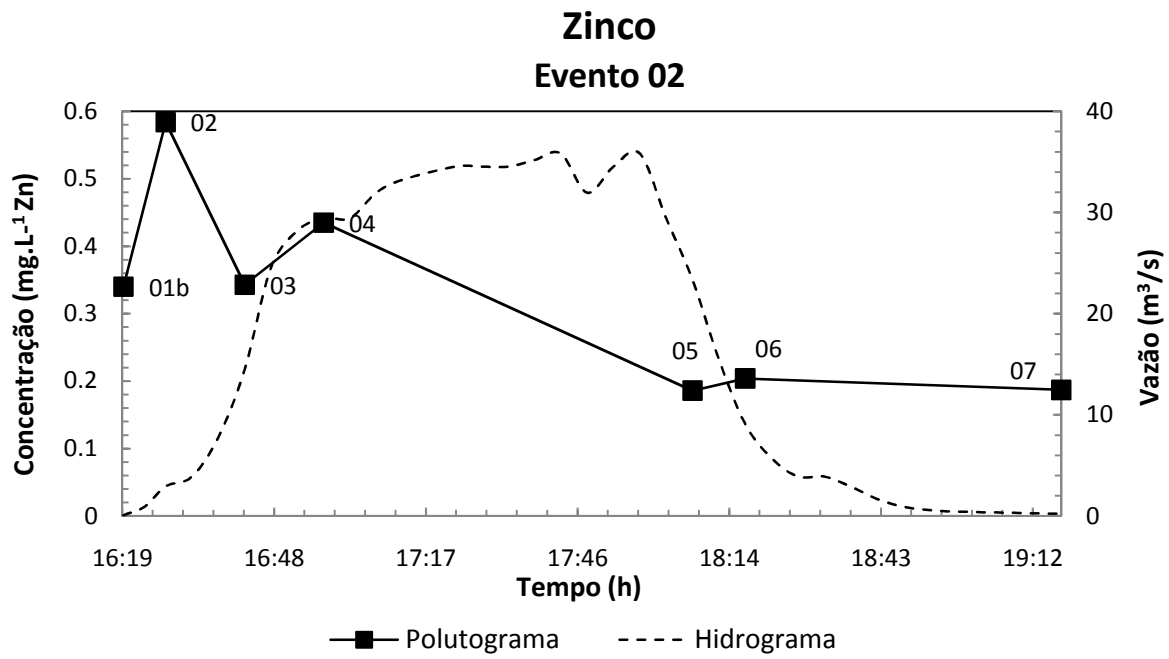
## Série de Nitrogênio

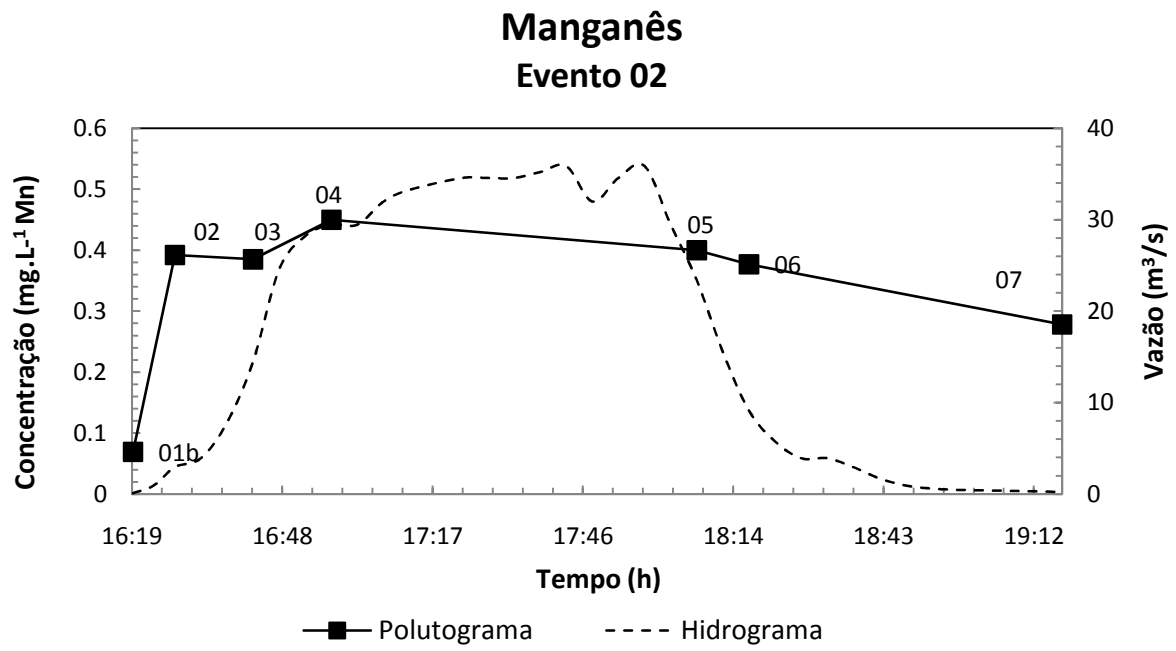
### Evento 02





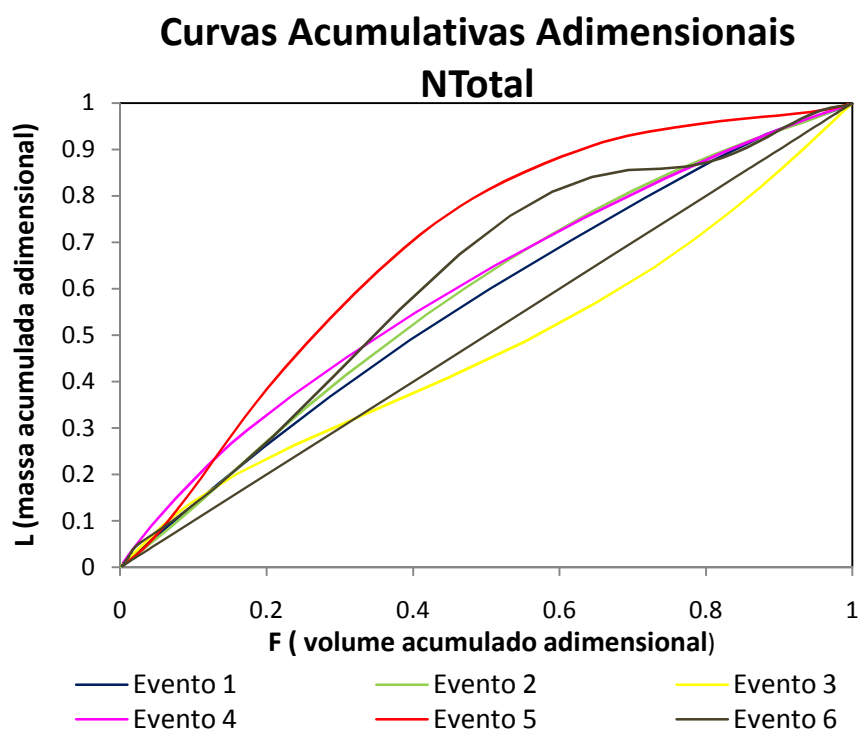
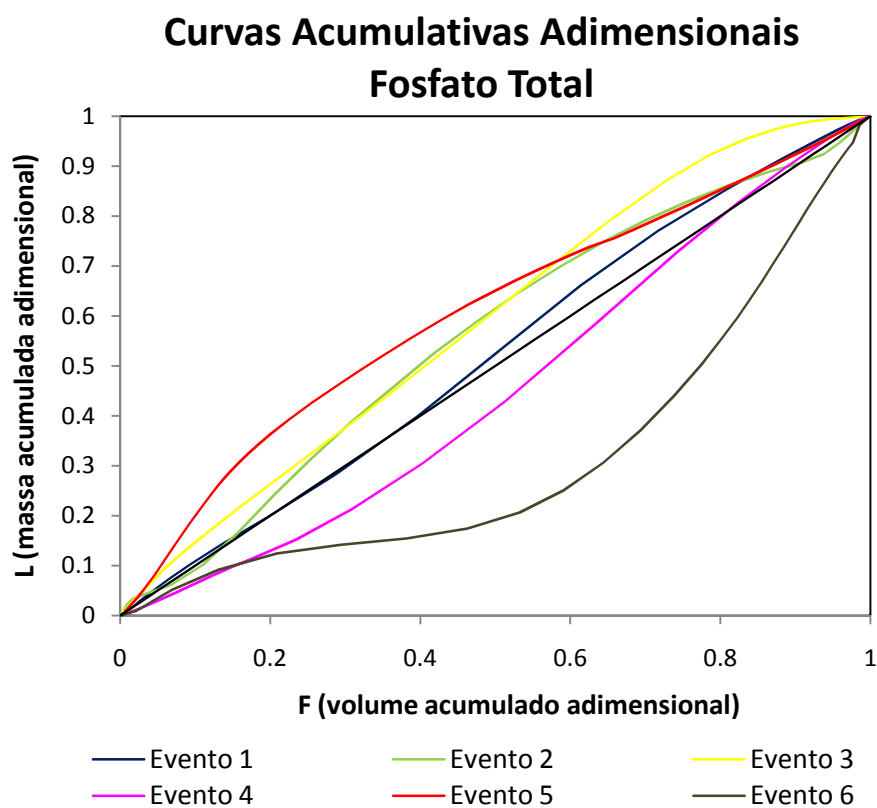




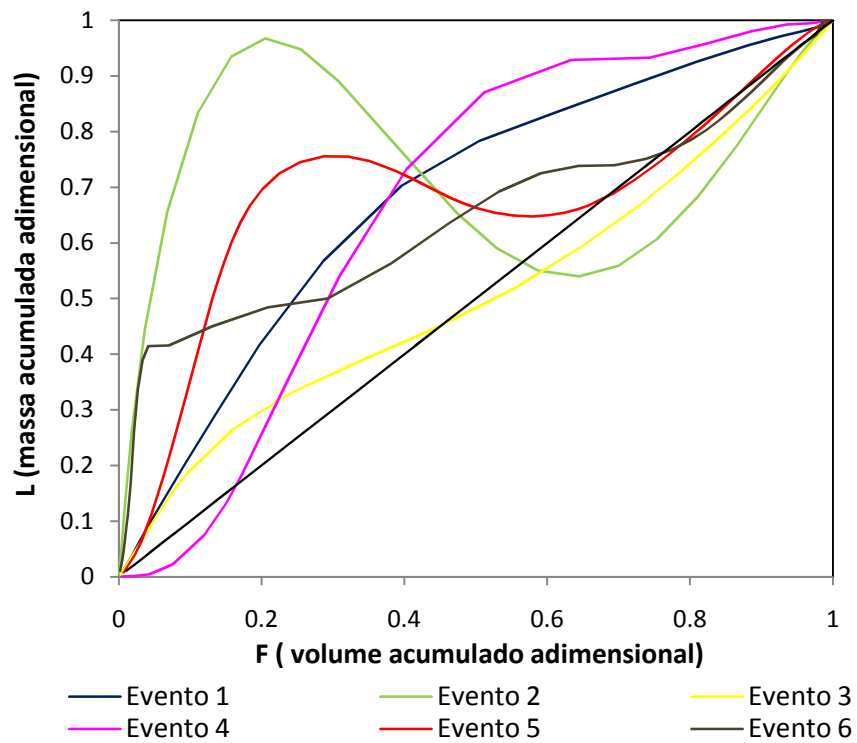




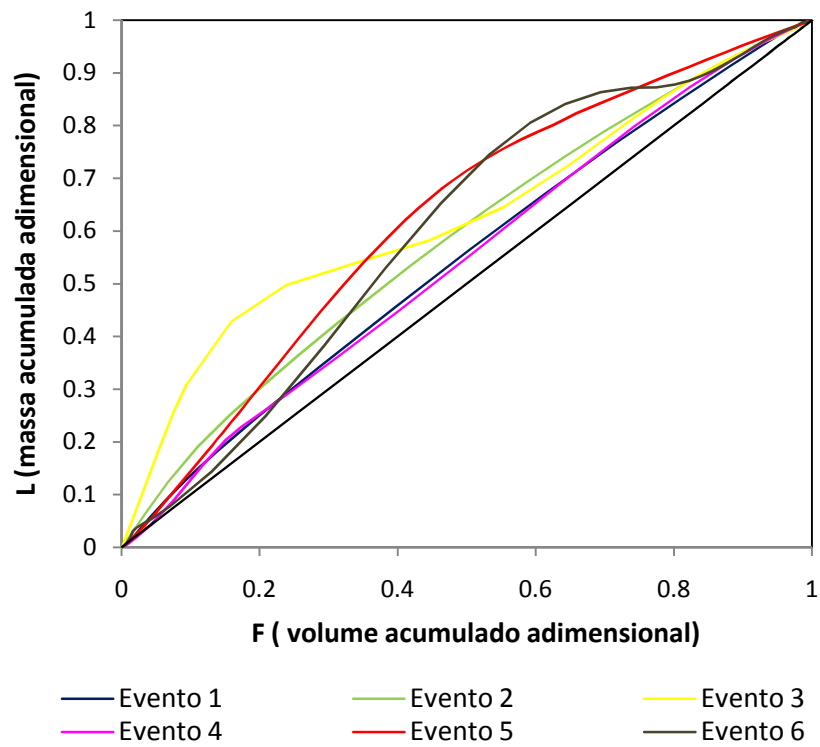
## ANEXO D – Curvas Acumulativas Adimensionais dos eventos



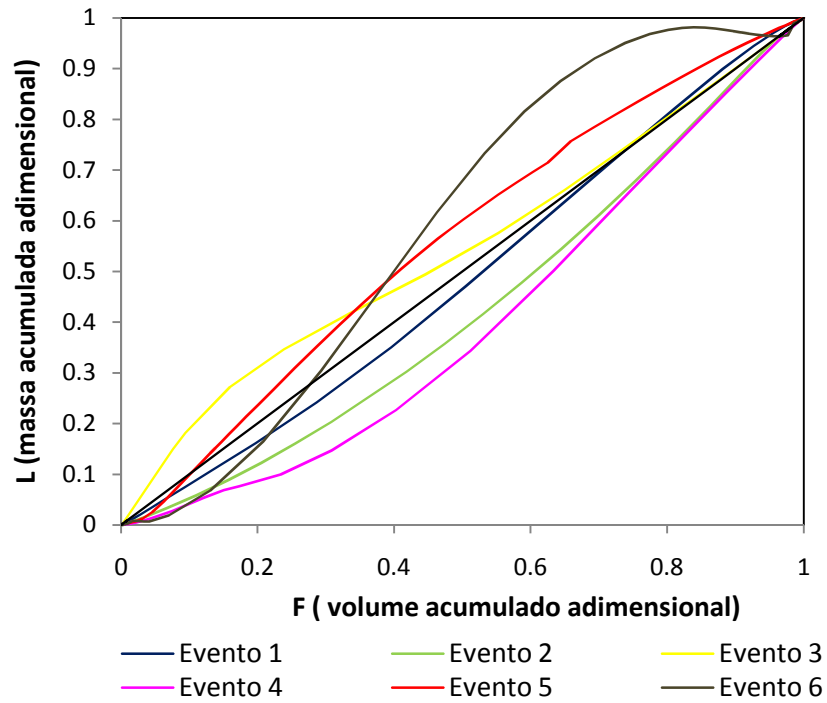
### Curvas Acumulativas Adimensionais Nitrito



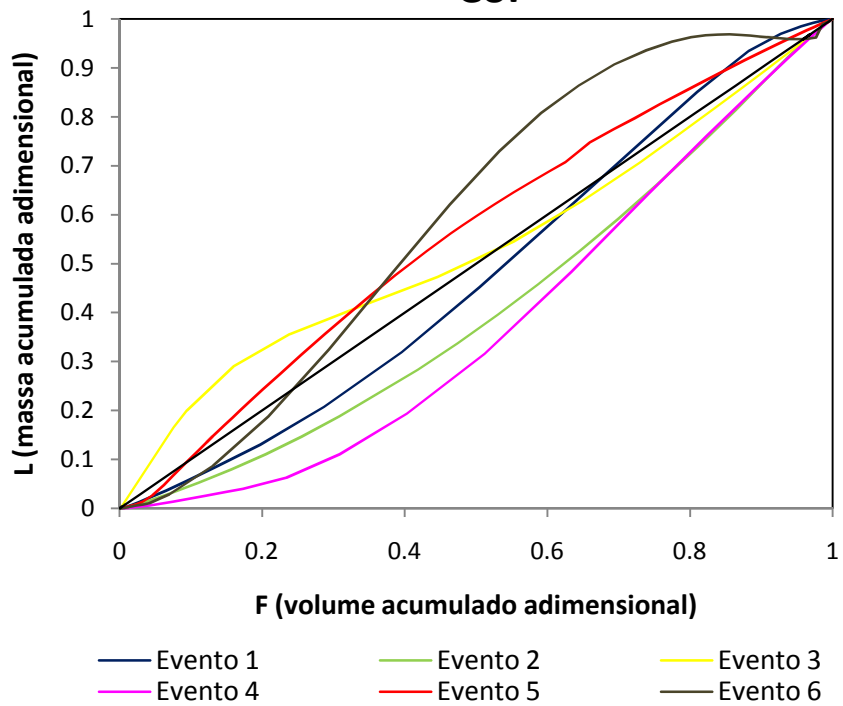
### Curvas Acumulativas Adimensionais DQO



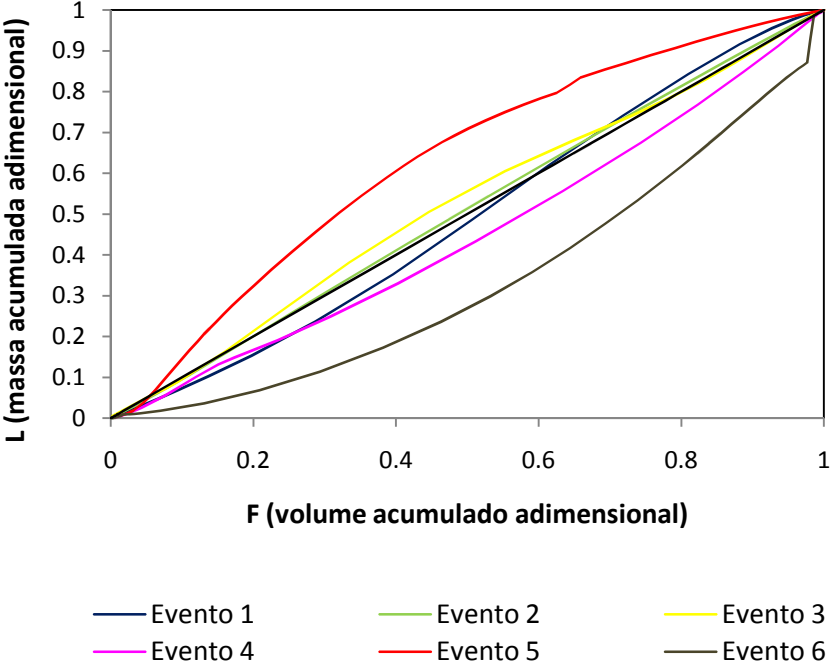
### Curvas Acumulativas Adimensionais Turbidez



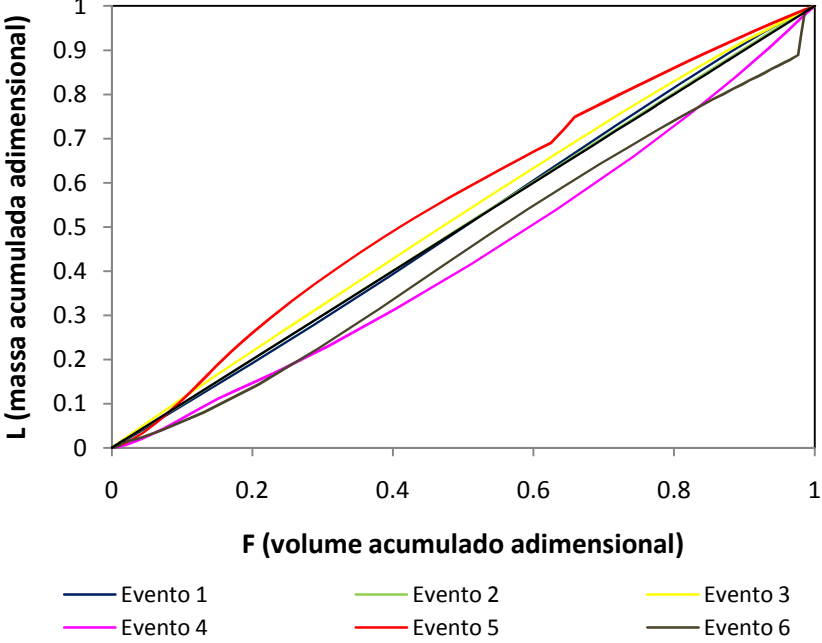
### Curvas Acumulativas Adimensionais Cor



**Curvas Acumulativas Adimensionais**  
**Manganês**

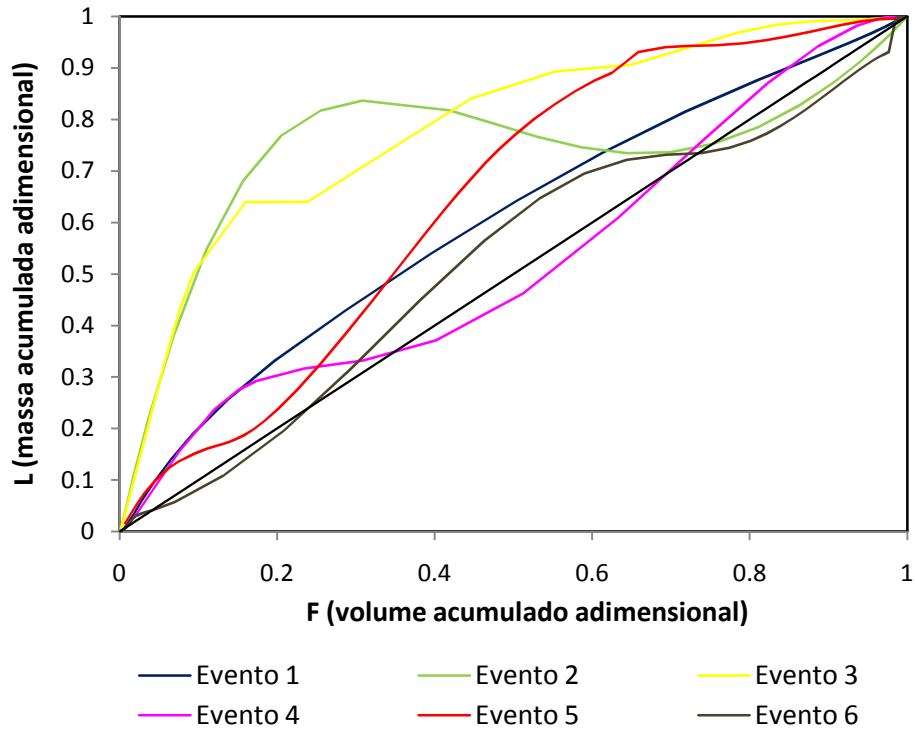


**Curvas Acumulativas Adimensionais**  
**Ferro**



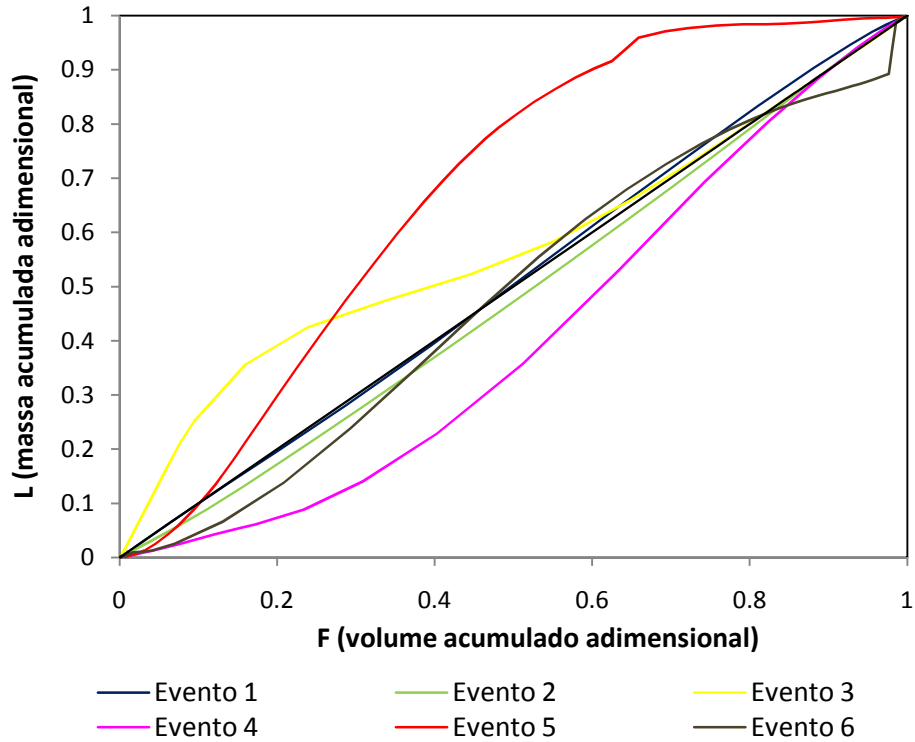
### Curvas Acumulativas Adimensionais

#### DBO<sub>5</sub>

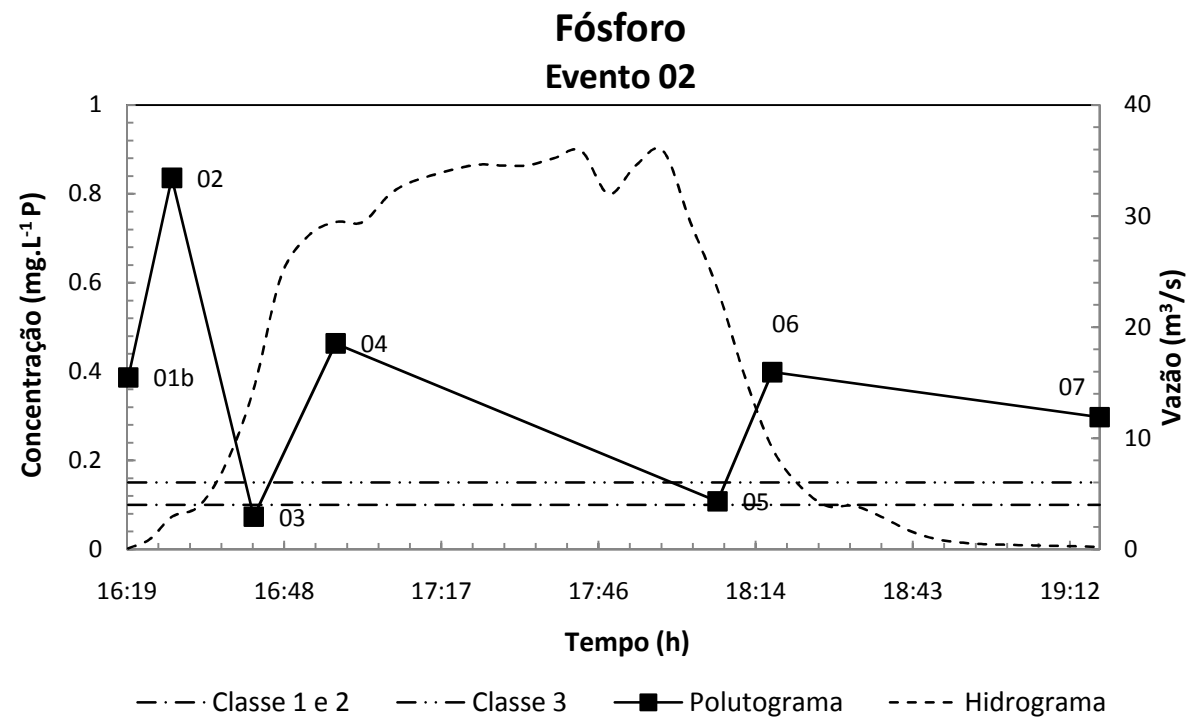
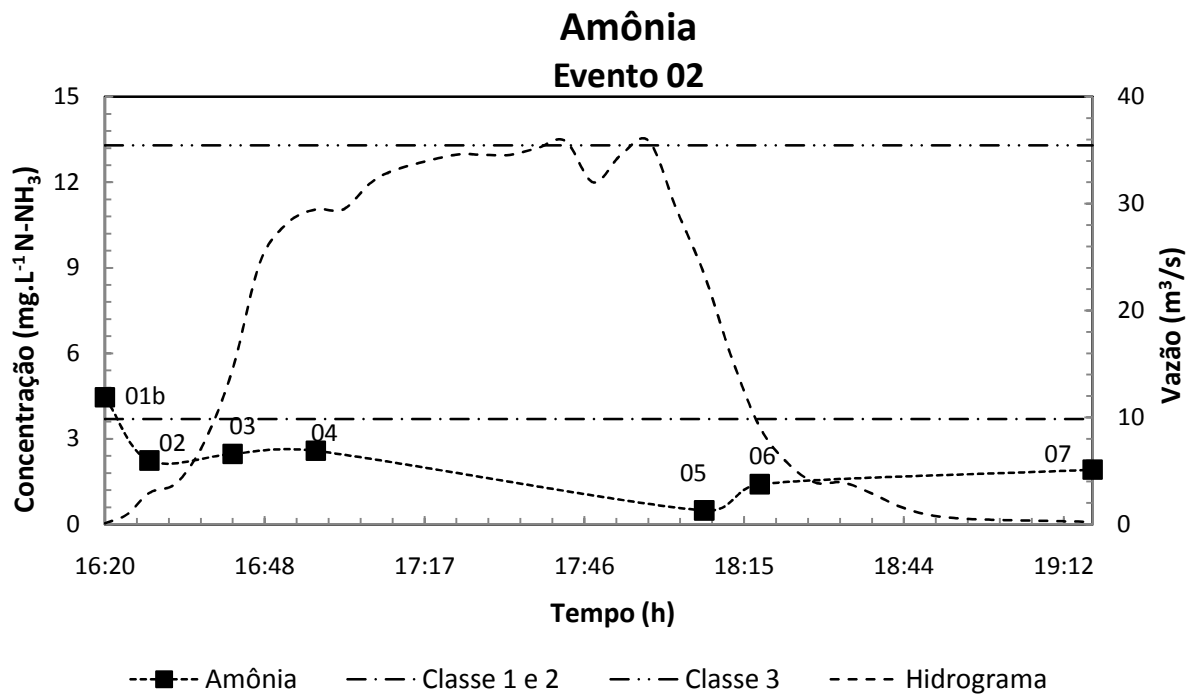


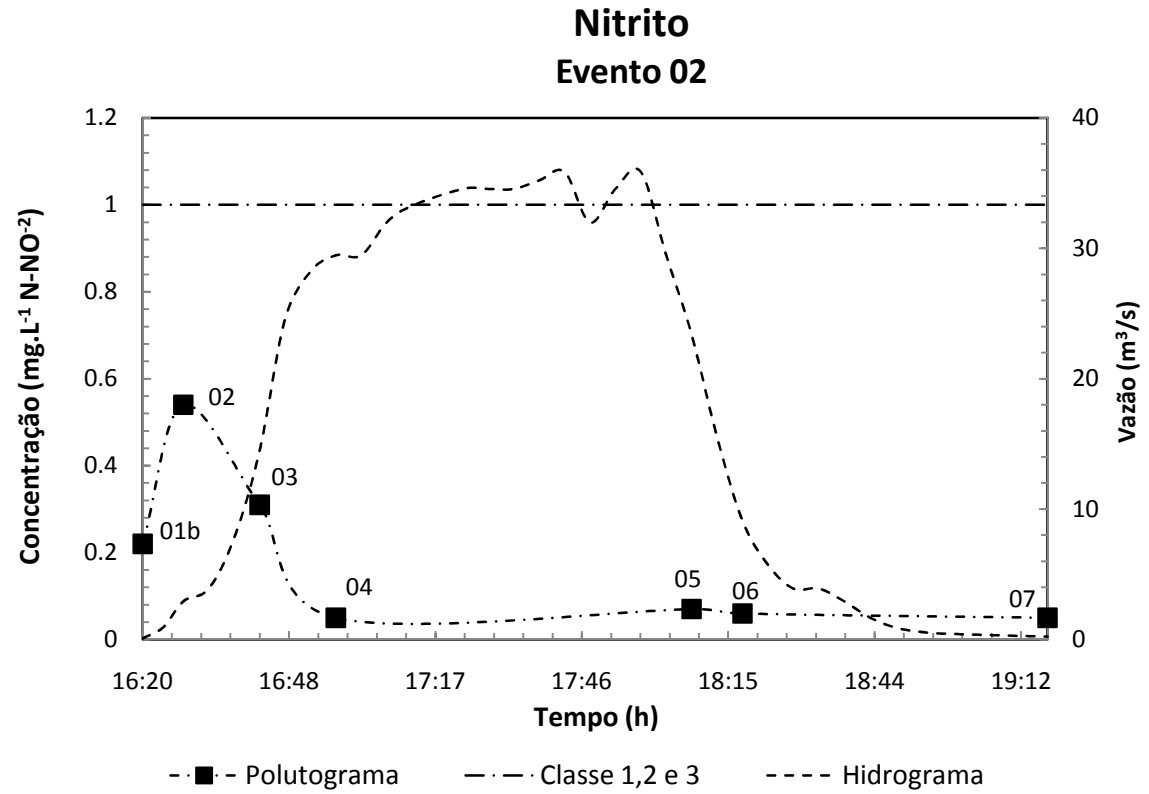
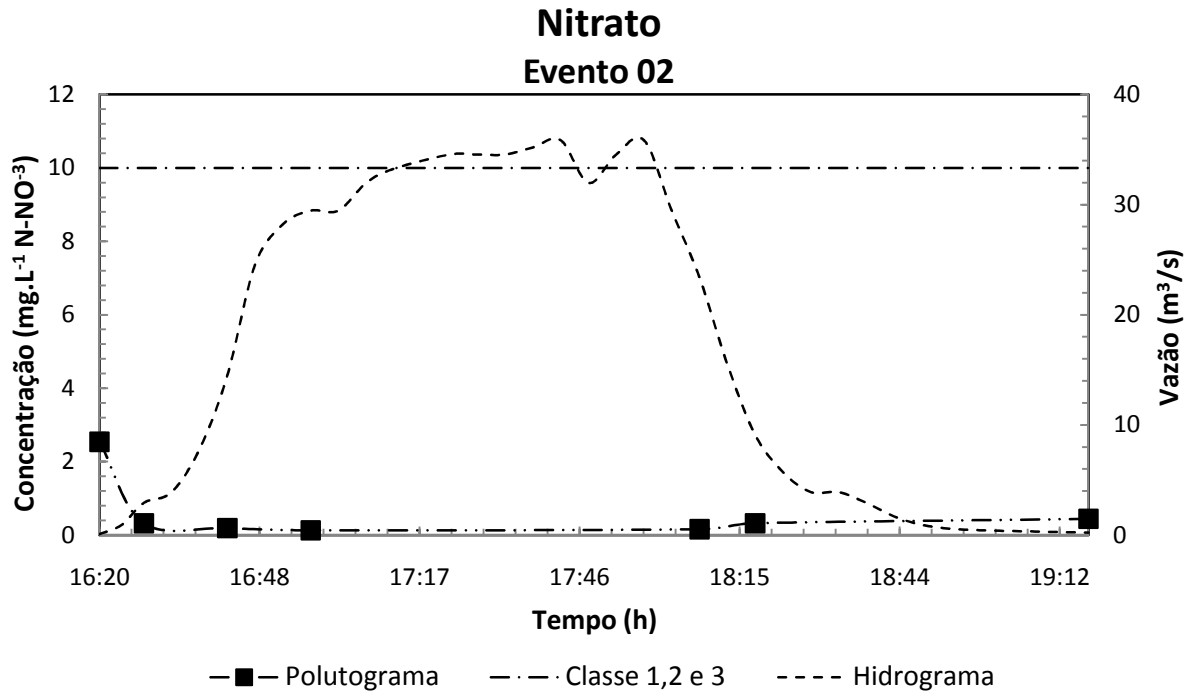
### Curvas Acumulativas Adimensionais

#### Sólidos Totais

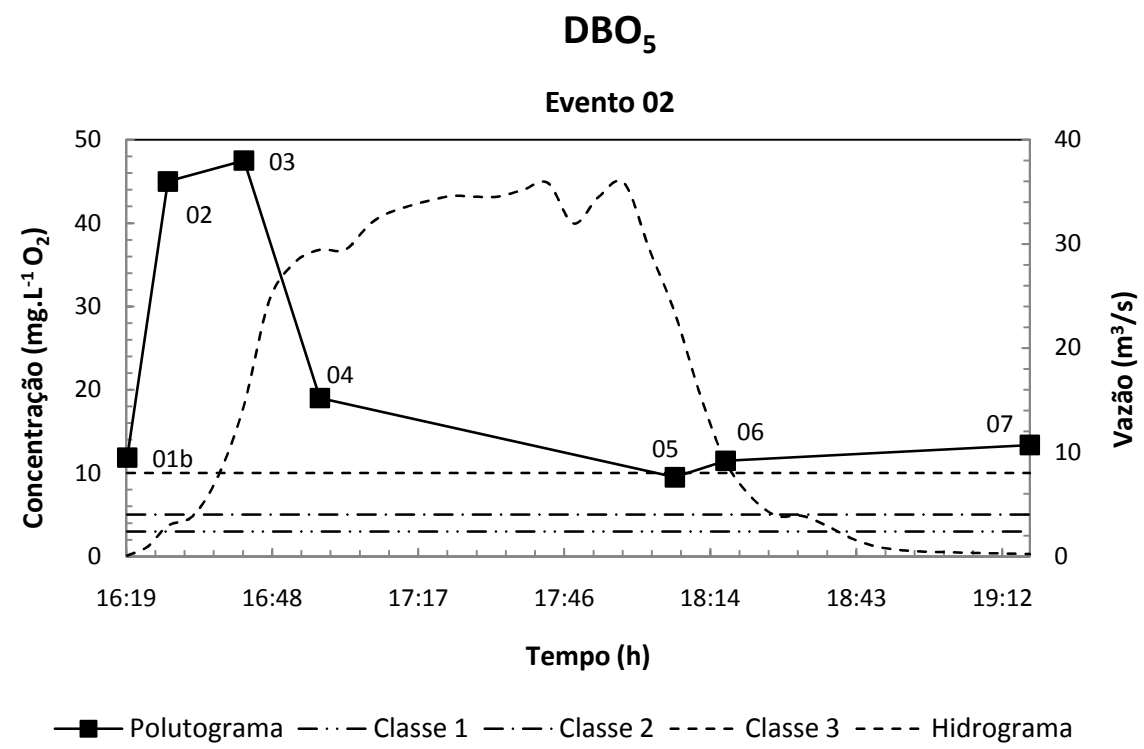
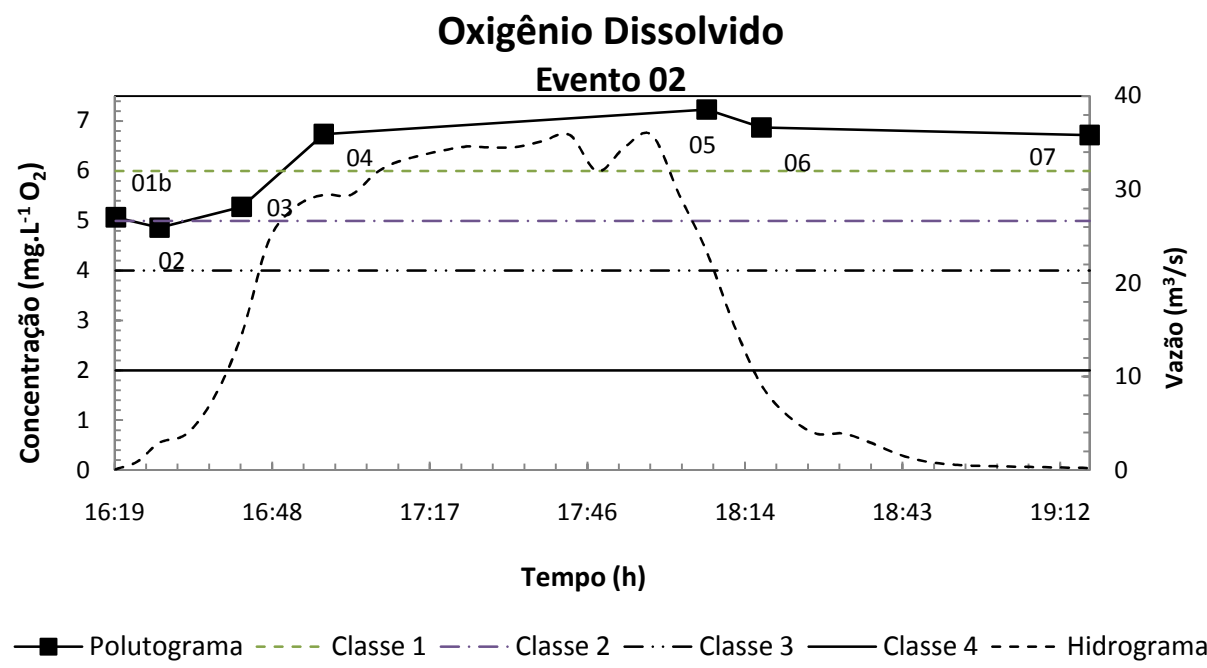


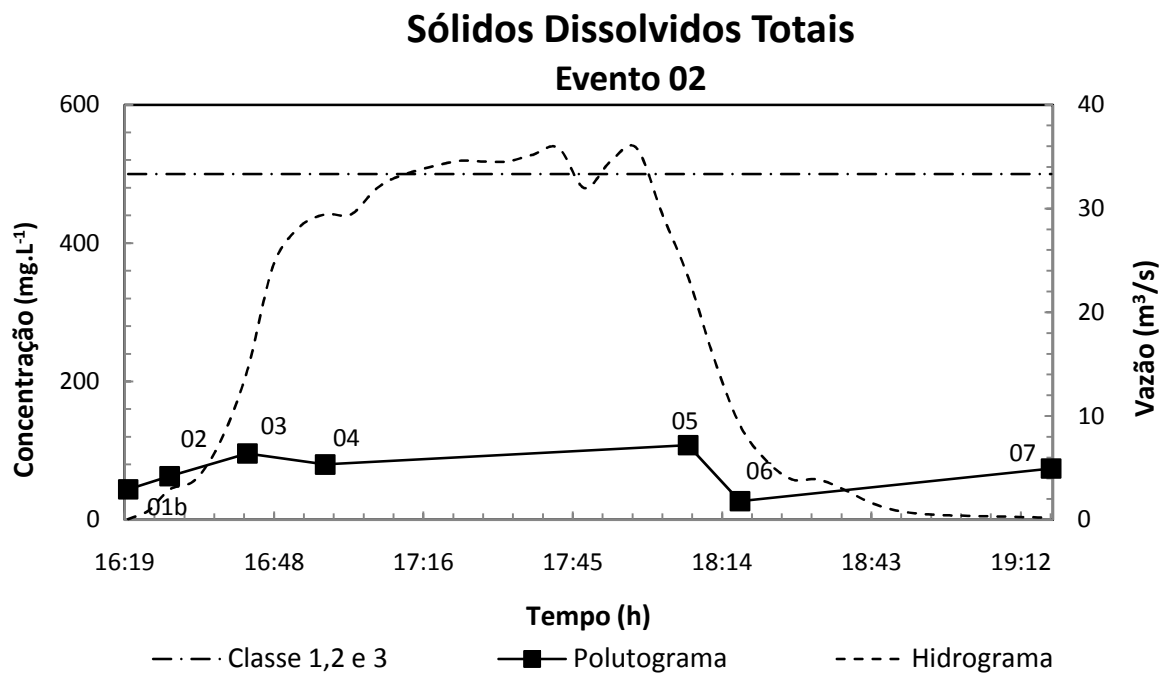
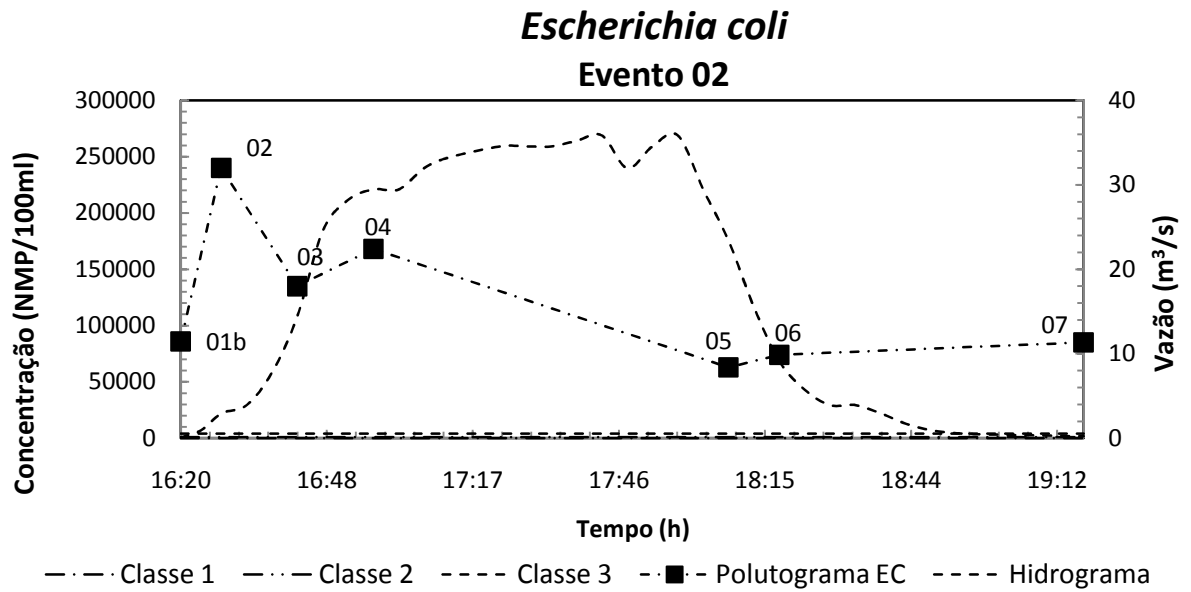
**ANEXO F - Polutogramas do evento 02 e os respectivos limites das classes  
segundo Resolução CONAMA 357/05**

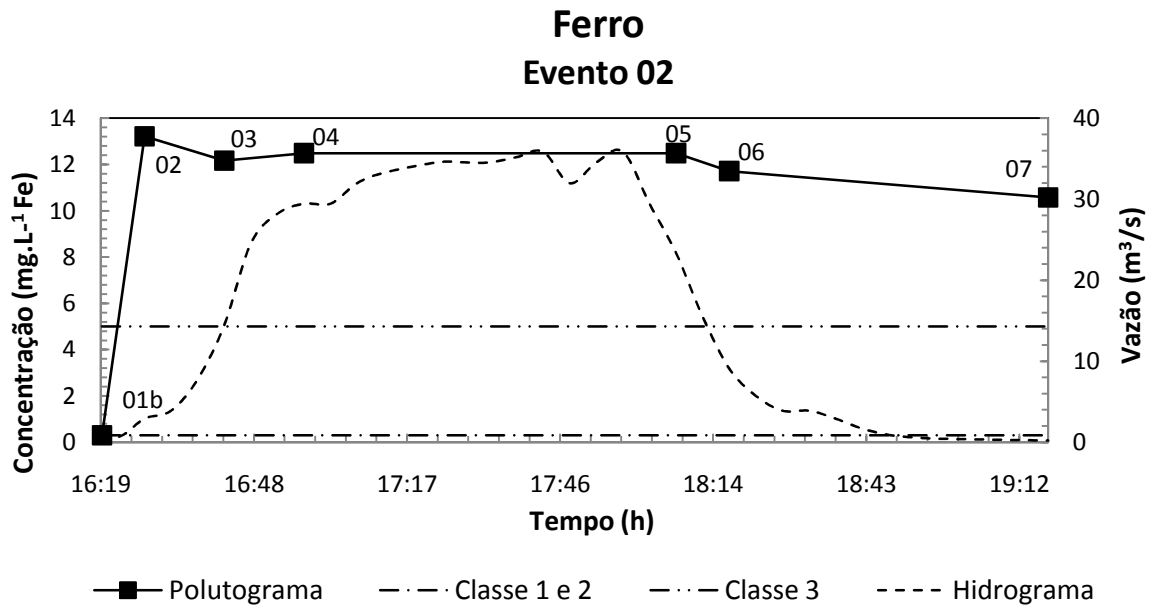
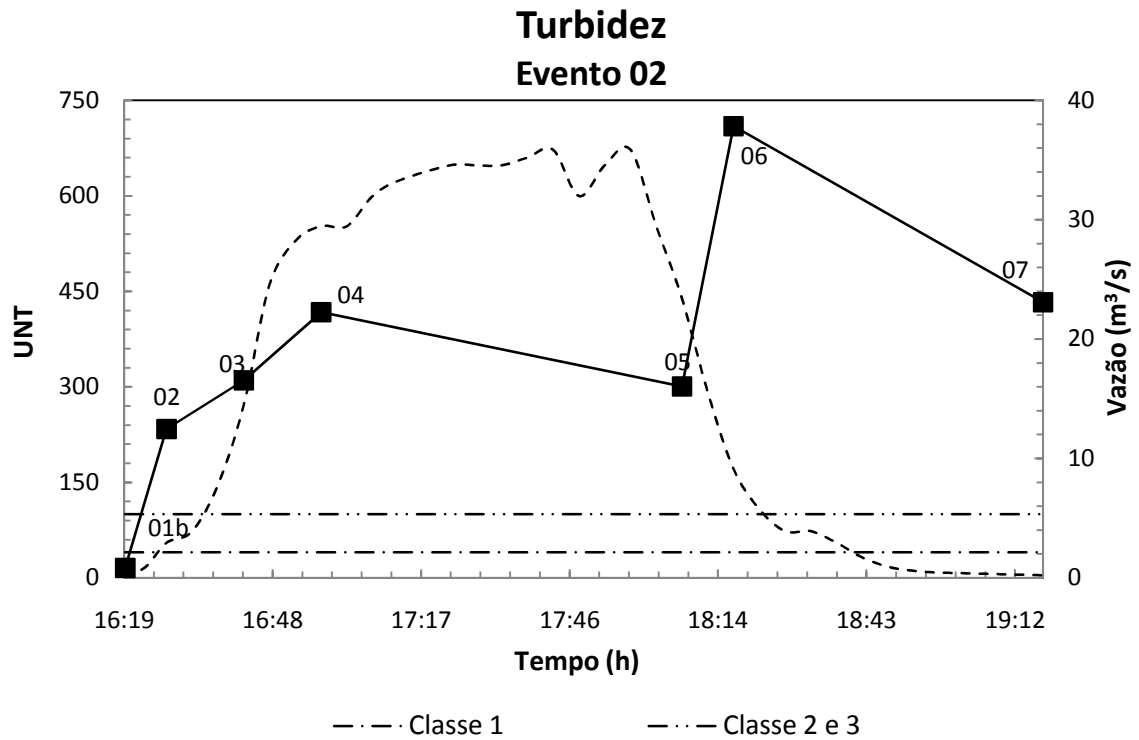




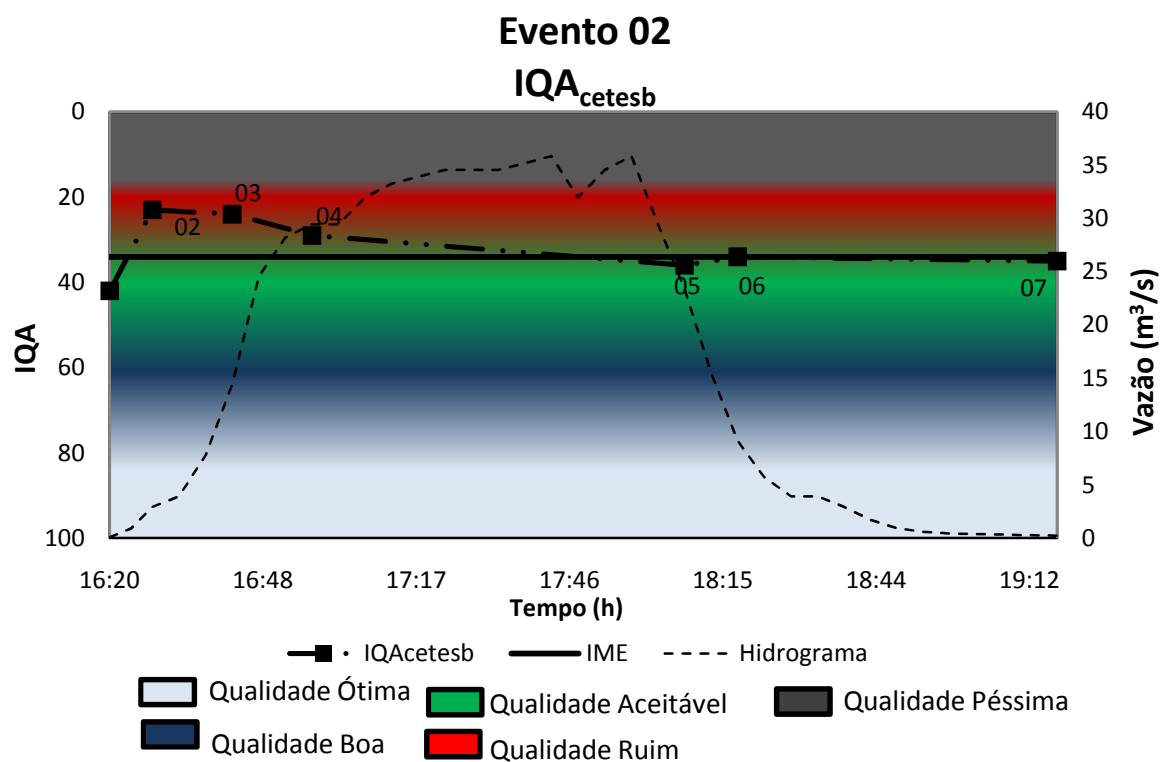
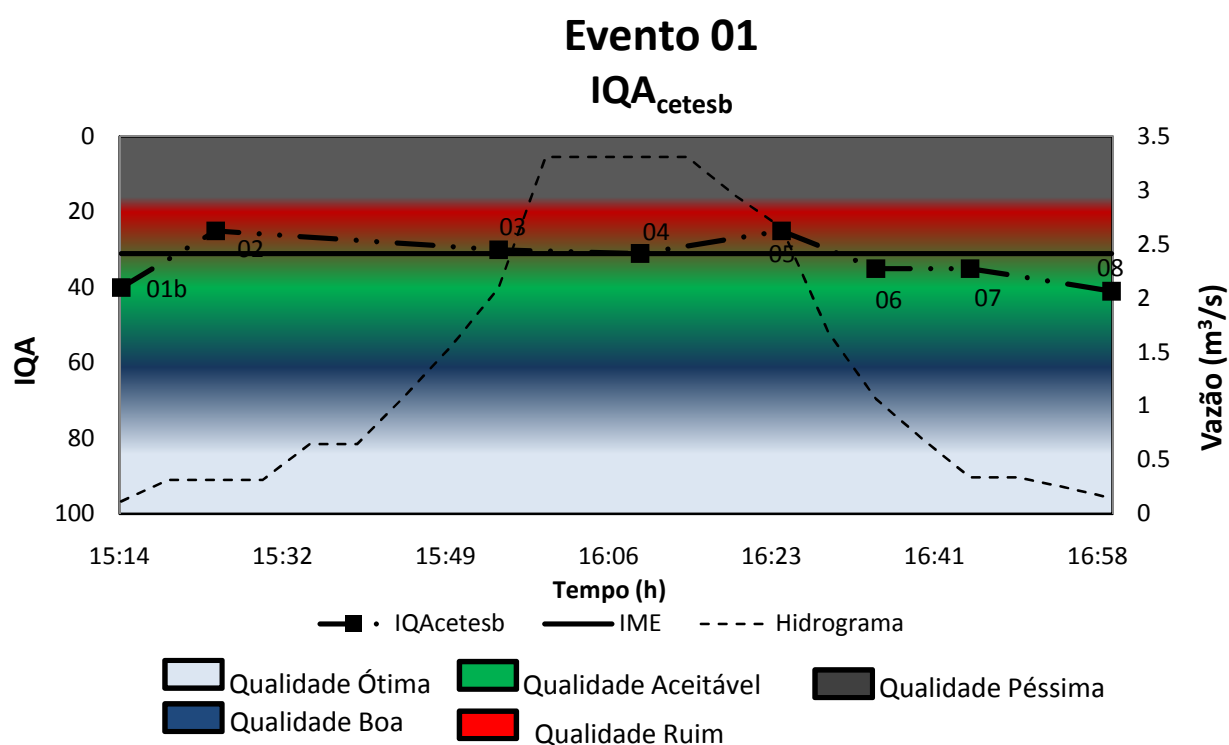


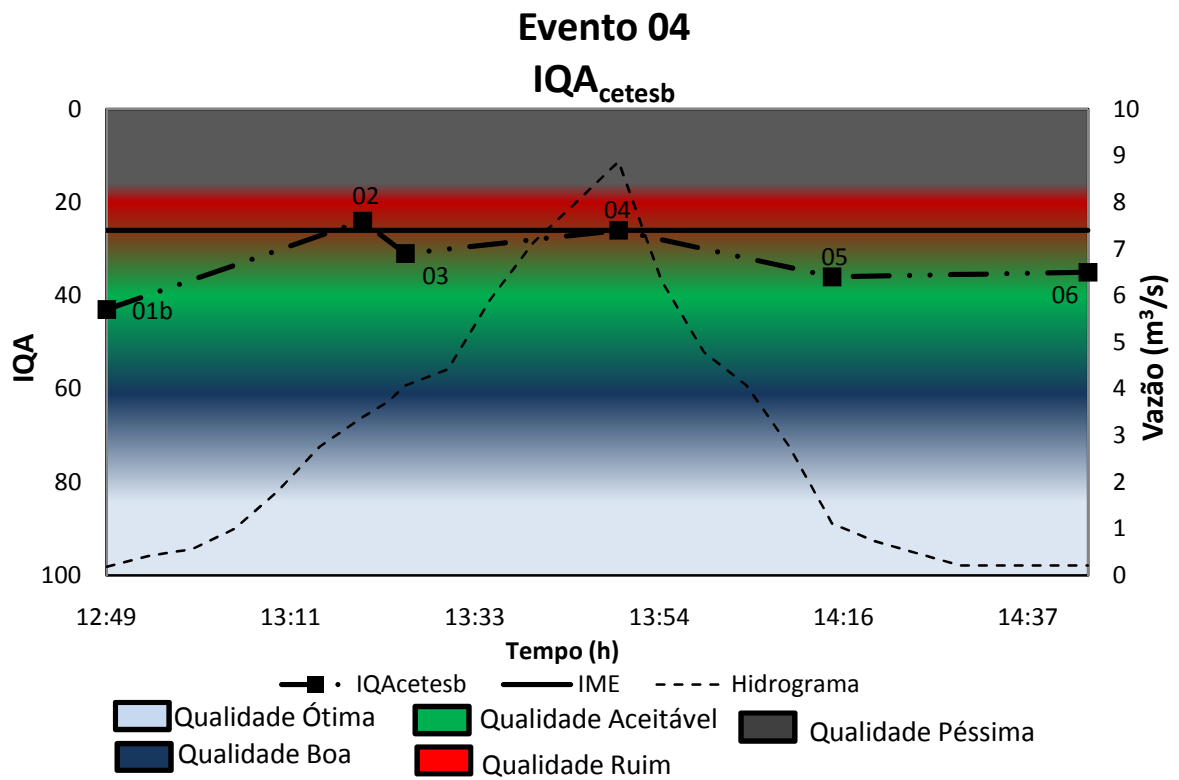
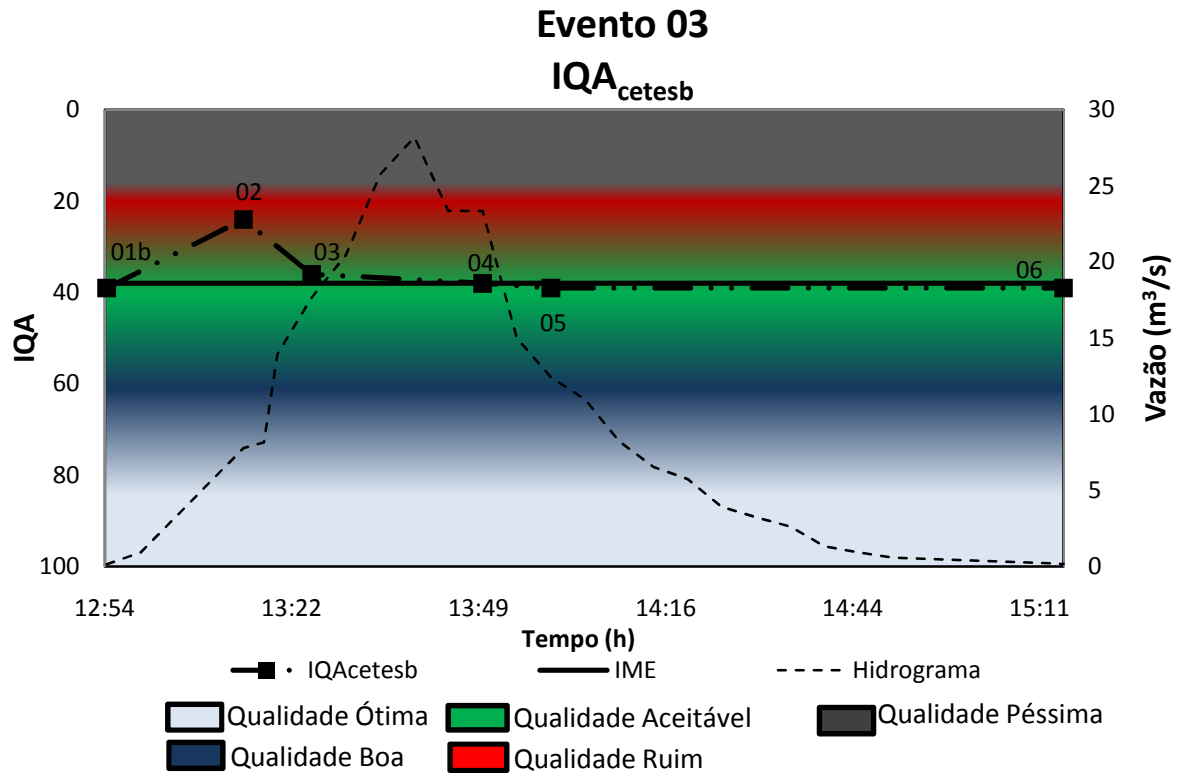


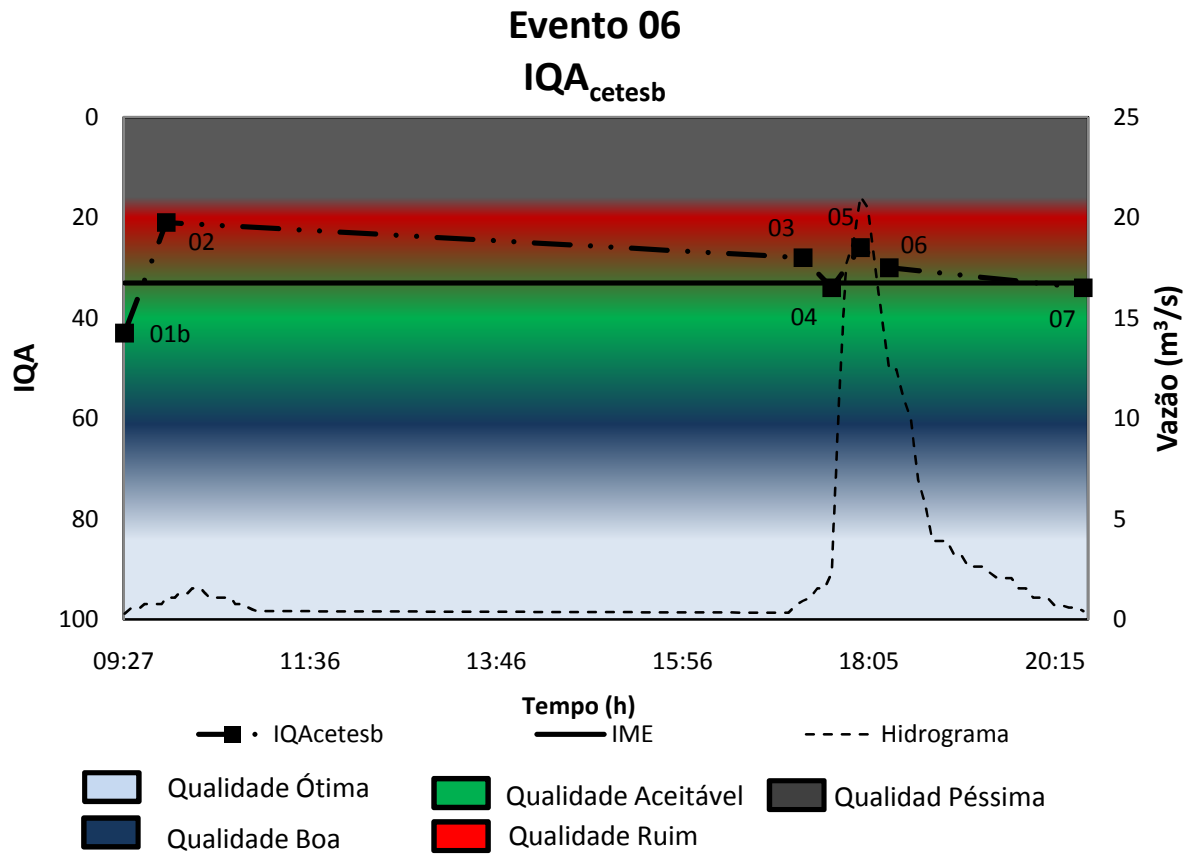
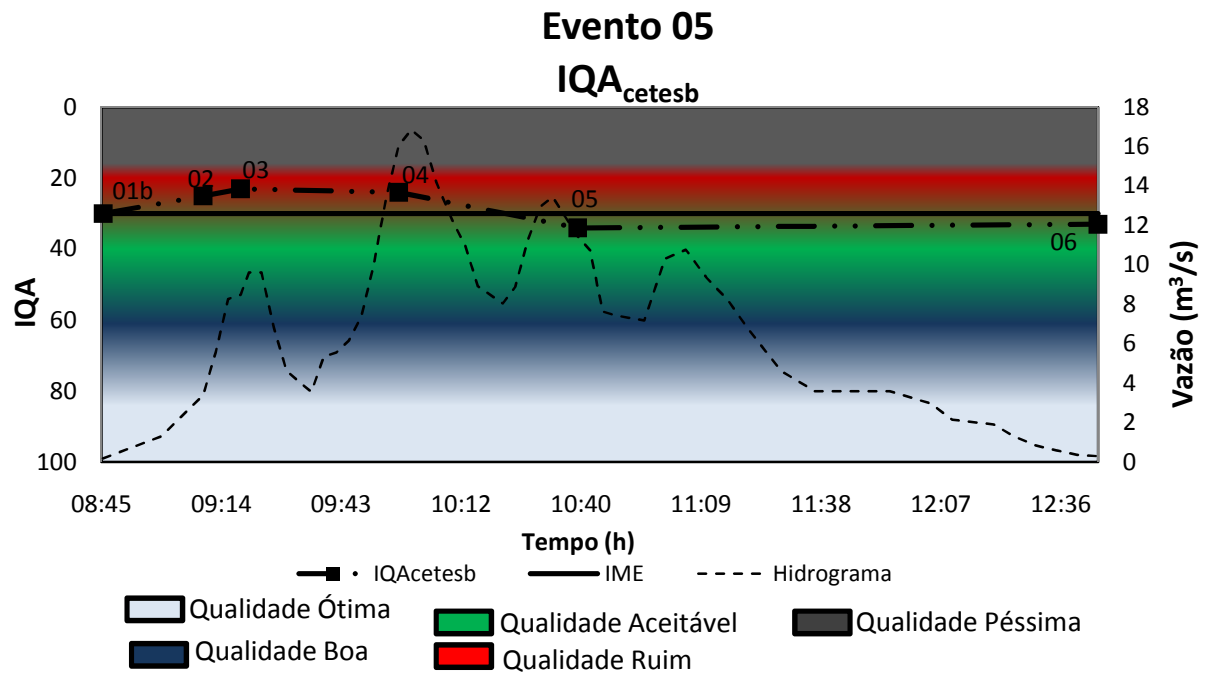




## ANEXO G - Gráficos de variação temporal do IQA<sub>CETESB</sub> dos eventos







**ANEXO H - Resultados dos índices de qualidade de água IQA<sub>CETESB</sub> e  
IQA<sub>SMITH</sub> dos eventos**

Evento 01

Parâmetros		Amostra																
	01	Sub- índice	02	Sub- índice	03	Sub- índice	04	Sub- índice	05	Sub- índice	06	Sub- índice	07	Sub- índice	08	Sub- índice	CME	Sub- índice
Escherichia coli	5,20E+05	3	2,31E+05	3	8,44E+05	3	1,35E+05	3	1,48E+05	3	2,46E+05	3	2,61E+05	3	2,14E+05	3	3,48E+05	3
pH	6,93	90	6,58	76	6,80	87	6,75	84	6,8	7	6,78	86	6,77	85	6,84	89	6,76	85
DBO <sub>5</sub>	11,5	28	54,0	2	22,5	9	17,8	14	12,2	26	12,6	25	15,3	18	12,2	26	19,8	12
NT	4,61	69	5,82	63	5,16	66	3,91	73	3,45	75	1,93	85	2,42	82	2,87	79	4,07	72
FT	0,420	74	0,790	57	0,530	69	0,790	57	0,510	70	0,480	71	0,420	74	0,270	82	0,617	65
Temperatura	27	94	27	94	26	94	27	94	26	94	27	94	27	94	26	94	26,3	94
Turbidez	84,9	21	153,5	5	157	5	216	5	214	5	176	5	128	5	86,5	21	187,35	5
ST	278,0	63	334,0	55	301,0	60	349,0	53	327,0	56	281,0	63	210,0	73	193,0	75	318,616	57
OD	6,4	88	5,2	72	5,6	76	5,9	82	5,8	79	6,4	88	6,3	87	6,1	84	5,8	80
IQ <sub>A</sub> <sup>CETESB</sup>	40		25		30		31		25		35		35		41	IME <sub>A</sub>	31	
IQ <sub>A</sub> <sup>SMITH</sup>	3		2		3		3		3		3		3		3	IME <sub>B</sub>	3	

Evento 02

Parâmetros		Amostra														
	01	Sub- índice	02	Sub- índice	03	Sub- índice	04	Sub- índice	05	Sub- índice	06	Sub- índice	07	Sub- índice	CME	Sub- índice
Escherichia coli	8,60E+04	4	2,40E+05	3	1,35E+05	3	1,68E+05	3	6,30E+04	4	7,40E+04	4	8,50E+04	4	1,18E+05	3
pH	7,08	92	7,04	92	6,89	91	7,14	90	6,96	91	6,92	89	6,86	90	7,03	92
DBO <sub>5</sub>	11,9	27	45,0	2	47,5	2	19,0	13	9,5	35	11,5	28	13,4	23	8,3	40
NT	8,07	54	8,22	54	8,95	51	10,36	48	3,58	75	4,7	68	3,56	75	7,10	57
FT	0,390	76	0,850	55	0,070	94	0,470	72	0,110	92	0,410	75	0,300	81	0,295	81
Temperatura	25	94	25	94	25	94	22	94	21	94	21	94	22	94	21,8	94
Turbidez	15,47	68	239,67	5	310	5	417,33	5	900,67	5	709,33	5	433	5	618,4	5
ST	168,0	78	634,0	30	697,0	30	529,0	30	818,0	30	697,0	30	458,0	38	730,002	30
OD	5,1	64	4,9	59	5,3	68	6,7	85	7,2	88	6,9	85	6,7	85	6,81	85
IQ <sub>CETESB</sub>	42		23		24		29		36		34		35	IME <sub>A</sub>	34	
IQ <sub>SMITH</sub>	4		2		2		3		4		4		4	IME <sub>B</sub>	3	



**Evento 03**

Parâmetros			Amostra											
	01	Sub- índice	02	Sub- índice	03	Sub- índice	04	Sub- índice	05	Sub-índice	06	Sub-índice	CME	Sub- índice
<i>Escherichia coli</i>	3,1E+05	3	1,5E+05	3	8,5E+04	4	6,3E+04	4	4,1E+04	4	6,3E+04	4	6,7E+04	4
pH	7,2	91	7,25	92	7,12	90	7,16	91	7,2	91	7,61	92	7,2	91
DBO <sub>5</sub>	6,7	49	64,0	2	8,8	38	4,3	63	4,0	65	3,3	71	5,0	58
NT	7,29	57	4,74	68	2,85	79	2,97	78	3,77	74	4,09	72	3,25	77
FT	0,930	52	0,470	72	0,370	77	0,370	77	0,240	84	0,140	90	0,323	79
Temperatura	25,5	94	25	94	24,5	94	24	94	25,5	94	25	94	24,76	94
Turbidez	98,57	17	1102	5	587	5	480,6	5	505	5	569,67	5	520	5
ST	245,0	68	2089,0	30	834,0	30	620,0	30	690,0	30	756,0	30	706,03	30
OD	6,6	88	5,2	67	6,6	87	6,9	89	6,7	89	6,6	88	6,71	88
IQACETESB	39		24		36		38		39		39	IME <sub>A</sub>	38	
IQASMITH	3		2		4		4		4		4	IME <sub>B</sub>	4	

**Evento 04**

Parâmetros		Amostra												
	01	Sub-índice	02	Sub-índice	03	Sub-índice	04	Sub-índice	05	Sub-índice	06	Sub-índice	CME	Sub-índice
Escherichia Coli	3,3E+06	3	4,5E+05	3	9,8E+05	3	7,3E+05	3	1,5E+05	3	1,3E+05	3	7,5E+05	3
pH	7,5	93	7,16	91	6,84	89	7,2	91	7,21	91	7,15	90	7,2	91
DBO <sub>5</sub>	13,0	24	50,4	2	20,3	11	44,7	2	9,0	37	11,0	30	32,6	2
NT	8,28	53	5,06	66	4,09	72	2,59	81	1,63	87	2,17	84	3,25	77
FT	0,242	84	0,381	76	0,297	81	0,716	60	0,450	73	0,260	83	0,525	69
Temperatura	27	94	28	94	29	94	29	94	28	94	28	94	28,4	94
Turbidez	18,1	64	451	5	201	5	1041	5	984	5	706,3	5	740,7	5
ST	225,0	71	424,0	42	328,0	56	1602,0	30	1010,0	30	613,0	30	1041,83	30
OD	6,7	89	4,4	56	5,2	75	6,7	93	6,9	94	6,6	91	6,155	88
IQA <sub>CETESB</sub>	43		24		31		26		36		35	IME <sub>A</sub>	26	
IQA <sub>SMITH</sub>	3		2		3		2		3		3	IME <sub>B</sub>	2	

**Evento 05**

Parâmetros		Amostra												
	01	Sub- índice	02	Sub- índice	03	Sub- índice	04	Sub- índice	05	Sub- índice	06	Sub- índice	CME	Sub- índice
<i>Escherichia coli</i>	2,9E+05	3	2,4E+05	3	5,1E+05	3	2,2E+05	3	4,1E+04	4	8,5E+04	4	1,7E+05	3
pH	7,08	92	7,69	91	6,98	91	6,88	91	7,05	92	6,89	91	7,04	92
DBO <sub>5</sub>	22,3	9	68,0	2	32,0	2	49,0	2	21,0	11	18,0	14	24,9	7
NT	3,58	75	4,39	70	6,15	61	5,63	64	1,92	85	2,07	84	3,25	77
FT	0,260	83	0,590	66	0,750	59	0,350	78	0,220	85	0,270	82	0,33	79
Temperatura	27	94	28	94	29	94	27	94	28	94	26	94	27,1	94
Turbidez	156,0	5	181	5	729	5	695	5	442	5	242,0	5	519,06	5
ST	424,0	42	616,0	30	1533,0	30	2528,0	30	832,0	30	504,0	30	1226,71	30
OD	5,2	70	5,1	71	4,2	53	4,8	64	7,1	94	7,2	94	6,541	89
IQA <sub>CETESB</sub>	30		25		23		24		34		33	IME <sub>A</sub>	30	
IQA <sub>SMITH</sub>	3		2		2		2		4		4	IME <sub>B</sub>	3	

**Evento 06**

Parâmetros			Amostra													
	01	Sub- índice	02	Sub- índice	03	Sub- índice	04	Sub- índice	05	Sub- índice	06	Sub- índice	07	Sub- índice	CME	Sub- índice
<i>Escherichia coli</i>	1,71E+05	3	9,31E+05	3	8,44E+05	3	3,54E+05	3	3,32E+05	3	2,56E+05	3	3,05E+05	3	2,99E+05	3
pH	7,05	92	6,69	81	6,62	78	6,63	79	6,85	89	6,88	91	6,79	86	7,17	91
DBO <sub>5</sub>	9,6	35	79,5	2	43,2	2	12,7	25	48,9	2	21,2	10	11,9	27	15,0	19
NT	3,92	73	9,16	51	5,71	63	2,96	78	4,97	67	2,22	83	2,78	80	2,24	83
FT	0,170	88	0,210	86	0,110	92	0,430	74	0,060	95	0,390	76	0,340	78	0,428	74
Temperatura	25	94	26	94	28	94	28	94	26	94	26	94	25	94	26,52	94
Turbidez	12,5	73	873	5	80,8	23	102	5	1881,3	5	1322,7	5	1098,7	5	1044,45	5
ST	516,0	30	893,0	30	274,0	64	311,0	58	1669,0	30	1438,0	30	1242,0	30	1299,15	30
OD	5,9	14	3,4	33	4,2	51	5,3	74	6,1	83	5,9	80	6,4	86	6,441	88
IQA <sub>CETESB</sub>	43		21		28		34		26		30		34	IME <sub>A</sub>	33	
IQA <sub>SMITH</sub>	3		2		2		3		2		3		3	IME <sub>B</sub>	3	

## **ANEXO I – Parque Linear do Córrego Cabaça**



