

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS
ESCOLA DE ENGENHARIA CIVIL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO *STRICTO SENSU*
EM ENGENHARIA DO MEIO AMBIENTE**

ALINE DE ARVELOS SALGADO

**CARACTERIZAÇÃO DA INFLUÊNCIA DE CARGAS
POLUIDORAS DIFUSAS NA QUALIDADE DA ÁGUA NO
CÓRREGO BOTAFOGO, GOIÂNIA, GOIÁS**

GOIÂNIA

2013

ALINE DE ARVELOS SALGADO

**CARACTERIZAÇÃO DA INFLUÊNCIA DE CARGAS
POLUIDORAS DIFUSAS NA QUALIDADE DA ÁGUA NO
CÓRREGO BOTAFOGO, GOIÂNIA, GOIÁS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação *Stricto Sensu* em Engenharia do Meio Ambiente da Universidade Federal de Goiás, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Engenharia do Meio Ambiente.

Área de Concentração: Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental

Orientador: Prof. Dr. Klebber Teodomiro Martins Formiga

Goiânia, GO

2013

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação na (CIP)
GPT/BC/UFG**

S164c Salgado, Aline de Arvelos.
Caracterização da influência de cargas poluidoras difusas na qualidade da água no Córrego Botafogo, Goiânia, Goiás [manuscrito] / Aline de Arvelos Salgado. - 2013.
127 f. : il., figs, tabs.

Orientador: Prof. Dr. Klebber Teodomiro Martins Formiga

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Goiás, Escola de Engenharia Civil, 2013.

Bibliografia.

Inclui lista de figuras e tabelas.

Anexos.

1. Poluentes – Água. 2. Escoamento superficial - Córrego Botafogo – Goiânia. I. Título.

CDU: 628.1:556.51

ALINE DE ARVELOS SALGADO

**CARACTERIZAÇÃO DA INFLUÊNCIA DE CARGAS
POLUIDORAS DIFUSAS NA QUALIDADE DA ÁGUA NO
CÓRREGO BOTAFOGO, GOIÂNIA, GOIÁS**

Dissertação defendida e aprovada em 26 de julho de 2013, pela banca examinadora,



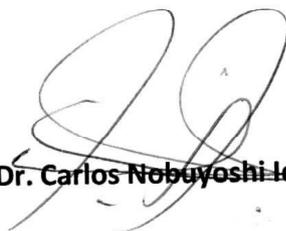
Prof. Dr. Klebber Teodomiro Martins Formiga – UFG

Presidente da Banca



Prof. Dr. Alexandre Kepler Soares – UFG

Examinador Interno



Prof. Dr. Carlos Nobuyoshi Ide – UFMS

Examinador Externo

À minha família por toda dedicação e empenho e por sempre acreditarem e torcerem por mim!

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar agradeço a Deus pelo dom da vida, à Maria mãe de Deus pelas intercessões junto ao pai e aos anjos e santos pela proteção.

À minha família amada, em especial, meus pais Aluízio e Maria Inês pelo amor, dedicação, compreensão e sacrifício que sempre fizeram para a realização dos meus sonhos. Ao meu esposo Luiz Fernando pela amizade, paciência e amor durante todo esse período. Aos meus irmãos, avós e sobrinhas que sempre torcem por mim! Amo vocês!

Ao meu querido orientador, professor Klebber Formiga, pela confiança, força, paciência, empenho, amizade e ensinamentos que serão de grande importância em minha vida.

À Universidade Federal de Goiás, à Escola de Engenharia Civil e ao Programa de Pós-Graduação (PPGEMA) da UFG que forneceram todo o apoio, material e equipamentos necessários à pesquisa. À FINEP por ter financiado a pesquisa e a CAPES pelo fornecimento da bolsa de estudo.

À Deuzélia e Joantina por toda a ajuda em todas as etapas do mestrado e pelo constante incentivo e pelas palavras de conforto e carinho durante os momentos difíceis.

A “minha equipe” de campo e laboratório, professor Saulo Bruno e Vilmar, que sem essa ajuda fundamental eu não seria capaz de concluir minha pesquisa.

As minhas amigas e colegas de classe que quero sempre ao meu lado pela amizade verdadeira e pelo apoio e incentivo mútuo Duane e Ana. Sem elas essa caminhada seria difícil. À Posch pela motivação, ajuda em todos os momentos e pelas risadas.

Aos técnicos e colegas do laboratório Guilherme, Nayara, Samara, Ana Carolina, Ana Paula e Maria Tereza que sempre me auxiliaram nas rotinas laboratoriais.

Aos demais amigos, em especial a Mariana, que me auxiliou na correção gramatical da dissertação e que sempre está ao meu lado, mesmo que distante, Thaís (irmã-miga), Ana Cláudia e Murilo, pela amizade, companheirismo, incentivo e por acreditar que nossos sonhos podem ser realizados.

À banca examinadora, composta pelos professores Dr. Alexandre Kepler Soares e Dr. Carlos Nobuyoshi Ide por disponibilizarem seu tempo e mostrarem interesse para participarem da banca.

Enfim, a todos os amigos, colegas, professores e familiares que de alguma forma estiveram ao meu lado e colaboraram para a concretização desta pesquisa, o meu muito obrigada!

RESUMO

A urbanização de forma acelerada e desorganizada tem causado diversos impactos ao meio ambiente modificando, tanto as condições de vida das populações, quanto a qualidade dos recursos hídricos. O presente trabalho teve como objetivo caracterizar a qualidade e a quantidade das águas e as cargas poluidoras do Córrego Botafogo, situado em Goiânia-GO, nos períodos seco e chuvoso por meio de análises de qualidade e quantidade, a fim de conhecer o comportamento da qualidade da água do corpo hídrico e apresentar os impactos do escoamento superficial no corpo hídrico. No período de seca foram realizados nove monitoramentos em oito pontos amostrais e no período de chuva um ponto apenas foi avaliado em 5 eventos chuvosos. As análises discriminatórias (*boxplot*), de cluster e de correlação foram essenciais para compreender as variações da qualidade da água em períodos secos, demonstrando que em monitoramentos futuros há a possibilidade da diminuição do número de pontos e parâmetros amostrais. Foi possível observar, ainda, que os parâmetros DQO, DBO₅, cor, turbidez, coliformes totais e *E.coli* apresentaram clara variação sazonal. Nos cinco eventos de chuva avaliados foi possível perceber grandes oscilações na concentração dos parâmetros durante os monitorados, em especial coliformes Totais e *E.coli*, sólidos suspensos totais e turbidez, demonstrando claramente o impacto da drenagem pluvial nas águas superficiais em áreas urbanas, sendo que é possível notar que muitos dos parâmetros avaliados apresentaram concentrações muito superiores aos limites preconizados na Resolução CONAMA 357/05, para rios de Classe II. Verificou-se, ainda, que a DBO₅, a DQO, a turbidez e os sólidos totais foram os melhores parâmetros indicadores de *first flush*. Com os resultados de carga obtidos foi possível perceber que os eventos chuvosos são grandes contribuidores para a concentração de poluentes nos corpos hídricos, uma vez que são transportadas elevadas cargas de sólidos e DQO. Dessa forma, os resultados encontrados apresentam que o escoamento superficial pode transportar elevadas concentrações de poluentes para o Córrego Botafogo e este pode vir a sofrer assoreamento e eutrofização. Assim, demonstra-se a extrema necessidade de estudar as cargas difusas nos corpos hídricos, especialmente em áreas urbanas e avaliar as medidas que possam ser realizadas na bacia como ações preventivas, adoção de alternativas para o controle e tratamento dessa poluição, bem como mitigação dos impactos causados por ações antrópicas.

Palavras-chave: *first flush*, poluentes, escoamento superficial

ABSTRACT

Accelerated urbanization and disorganized has caused many impacts on the environment, either by modifying the conditions of living and the quality of water resources. The present work aims to characterize the quality and quantity of water and pollutant loads from Botafogo stream, during the dry and rainy, through analysis of quality and quantity, in order to know the behavior of the water quality of the water body and provide impacts of runoff in the water body. During the dry season, nine monitoring were performed in eight sampling points and during the rainy season, only one point was rated 5 rainfall events. Analyses discriminatory (boxplot), cluster and correlation were essential to understand the variations of water quality in dry periods, demonstrating that monitoring in future there is the possibility of reducing the number of sampling points and parameters. It was observed that the parameters COD, BOD₅, color, turbidity, coliforms and *E.coli* showed clear seasonal variation. In the five rain events was evaluated possible to see large fluctuations in concentration during the monitored parameters, especially coliforms and *E.coli*, suspended solids and turbidity, clearly demonstrating the impact of stormwater drainage on surface water in urban areas, and it is possible to note that many of the parameters showed much higher concentrations than the limits recommended by CONAMA Resolution 357/05, for rivers Class II. It was also found that the BOD₅, the COD, turbidity, and total solids best parameters were the first flush indicators. With the results obtained load was observed that the rainfall events are large contributors to the concentration of pollutants in water bodies, since high loads are transported solids and COD. Thus, the results show that the runoff can carry high concentrations of pollutants into the stream Botafogo and this may suffer siltation and eutrophication. Thus, it is demonstrated the urgent need to study the diffuse loads in water bodies, especially in urban areas and assess the measures that can be undertaken in the basin as a preventive, adoption of alternatives for the control and treatment of pollution and mitigation of impacts caused by human actions.

Keywords: first flush, pollutants, runoff

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Dendograma apresentando análise de cluster dos pontos amostrados no Rio Gonti	20
Figura 2 – Variações temporais: (a) temperatura e (b) condutividade elétrica no Rio Gonti...	21
Figura 3 – Variações espaciais: (a) temperatura, (b) cloreto, oxigênio dissolvido e DBO ₅ no Rio Gonti	21
Figura 4 – Variação Temporal: pH, Temperatura, DBO ₅ , <i>E.coli</i> , Fe e Ni.	23
Figura 5 – Variação Espacial: pH, nitrato, amônia, <i>E.coli</i> , Fe, Ni e Zn.	24
Figura 6 – Curvas acumulativas de poluição.....	27
Figura 7 – Relações entre concentrações de sólidos suspensos totais e demanda química de oxigênio com período de tempo seco antecedente.	28
Figura 8 - Relações entre carga de sólidos suspensos totais e demanda química de oxigênio com período de tempo seco antecedente.	28
Figura 9 – Polutogramas e Hidrogramas de bacias hidrográficas residenciais e industriais. Fonte: (LEE & BANG, 2000).....	31
Figura 10 - Curvas Acumulativas Adimensionais para os eventos de chuvas selecionados....	32
Figura 11 - Curvas acumulativas adimensionais.	34
Figura 12 - Polutogramas e Hidrogramas dos eventos para DBO ₅ , Óleos e Graxas e SST.	34
Figura 13 – Polutogramas e Hidrogramas de SS e DQO para os quatro eventos de chuva monitorados.	35
Figura 14 - Polutogramas e Hidrogramas de FT, NKT, PO ₄ , HT e NO ₃ para os quatro eventos de chuva monitorados.	36
Figura 15 – Temperatura mínima e máxima e precipitação em Goiânia.....	40
Figura 16 – Gráfico das Normais Climatológicas Temperatura Média e Precipitação de 1961 a 1960.	40
Figura 17 – Mapa de localização da bacia do Córrego Botafogo.....	41
Figura 18 – Bairros pertencentes à Bacia do Córrego Botafogo	42
Figura 19 – Mapa de uso e ocupação do solo do Córrego Botafogo.....	44
Figura 20 - Sonda multiparamétrica YSI 6600 V2-2	46
Figura 21 – Mapa das bacias dos pontos monitorados	49
Figura 22 – Estação Amostral 1	50
Figura 23 – Estação amostral 2.....	50
Figura 24 – Estação amostral 3.....	50
Figura 25 – Estação amostral 4.....	51
Figura 26 – Estação amostral 5.....	51
Figura 27 – Estação amostral 6.....	51
Figura 28 – Estação amostral 7.....	52
Figura 29 – Estação amostral 8.....	52
Figura 30 – Análise de Cluster	60
Figura 31 – Variância explicada nos eixos.....	61
Figura 32 – Análise dos Componentes Principais (ACP)	62

Figura 33 – Polutogramas de Turbidez e Hidrogramas nos 5 eventos de chuva monitorados no ponto 4.....	68
Figura 34 – Polutogramas de Sólidos Totais e Hidrogramas nos 5 eventos de chuva monitorados no ponto 4.....	70
Figura 35 – Polutograma de Sólidos Suspensos Totais e Hidrograma nos dois eventos de chuva monitorados no ponto 4.....	71
Figura 36 – Polutogramas de Sólidos Dissolvidos Totais e Hidrogramas nos 3 eventos de chuva monitorados no ponto 4.....	72
Figura 37 – Polutogramas de Condutividade Elétrica e Hidrogramas nos 5 eventos de chuva monitorados no ponto 4.....	73
Figura 38 – Polutogramas de Cor e Hidrogramas nos 2 eventos de chuva monitorados no ponto 4.....	74
Figura 39 – Polutogramas de DBO ₅ e Hidrogramas nos 4 eventos de chuva monitorados no ponto 4.....	75
Figura 40 – Polutogramas de DQO e Hidrogramas nos 4 eventos de chuva monitorados no ponto 4.....	76
Figura 41 – Polutogramas de Amônia e Hidrogramas nos 3 eventos de chuva monitorados no ponto 4.....	77
Figura 42 – Polutogramas de Coliformes Totais e Hidrogramas nos 4 eventos de chuva monitorados no ponto 4.....	78
Figura 43 – Polutogramas de <i>E.coli</i> e Hidrogramas nos 3 eventos de chuva monitorados no ponto 4.....	79
Figura 44 – Curvas Acumulativas Adimensionais do Evento 01 no ponto 4.....	81
Figura 45 – Curvas Acumulativas Adimensionais do Evento 02 no ponto 4.....	81
Figura 46 - Curvas Acumulativas Adimensionais do Evento 03 no ponto 4.....	82
Figura 47 - Curvas Acumulativas Adimensionais do Evento 04 no ponto 4.....	82
Figura 48 - Curvas Acumulativas Adimensionais do Evento 05 no ponto 4.....	83

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Parâmetros físico-químicos e biológicos de avaliação da qualidade da água.	9
Tabela 2 - Resumo da qualidade de água	30
Tabela 3 - Faixa de concentrações dos parâmetros para quatro eventos de chuvas monitorados.	36
Tabela 4 – Parâmetros analisados, unidade e métodos utilizados	47
Tabela 5 – Pontos amostrais e as coordenadas	48
Tabela 6 – Meses amostrados e períodos avaliados	49
Tabela 7 – Contribuição dos parâmetros nos eixos 1 e 2	62
Tabela 8 – Correlação de Pearson entre as variáveis.....	63
Tabela 9 – Valores dos coeficientes de Correlação de Pearson	63
Tabela 10 – Teste de Significância da Análise de Correlação	64
Tabela 11 - Valores mínimos e máximos e a relação dos parâmetros da drenagem pluvial nos 5 eventos de chuva monitorados no Córrego Botafogo.....	66
Tabela 12 - CME dos parâmetros avaliados nos cinco eventos de chuva monitorados no ponto 4	84
Tabela 13 – Valores da relação entre DQO/DBO ₅	85
Tabela 14 – Carga dos poluentes nos cinco eventos monitorados no Córrego Botafogo no ponto 4.....	85
Tabela 15 – Resultados obtidos no período de seca nos pontos 3, 4, 5 e 6 no Córrego Botafogo	88
Tabela 16 – Resultados obtidos no período chuvoso no ponto 4 no Córrego Botafogo	88
Tabela 17 – Comparação dos resultados no período de seca nos pontos 1 a 4 com a Resolução CONAMA 357/05	91
Tabela 18 – Comparação dos resultados no período de seca nos pontos 5 a 8 com a Resolução CONAMA 357/05	92

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AC - Análise de Cluster

ACP - Análise dos Componentes Principais

AD - Análise Discriminante

ADV - *Acoustic Doppler Velocimeter*

AV - Avenida

CE - Condutividade Elétrica

CME - Concentração Média de Evento

CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente

CT - Coliformes Totais

Ct - Concentração no tempo t

DBO₅ - Demanda Bioquímica de Oxigênio, 5 dias, 20°C

DQO - Demanda Química de Oxigênio

E.coli - *Escherichia coli*

Fe - Ferro

FT - Fósforo Total

Ha - hectares

H -- Hora

HT - hidrocarbonetos totais

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

IDTCO - Instituto de Desenvolvimento Tecnológico do Centro Oeste

kg - quilograma

km - quilômetros

L - Litro

M - Massa

m³ - metros cúbicos

mg - miligrama

min - minutos

mm - milímetros

Ni - Níquel

NTK - Nitrogênio kjehdahl total

NH₃ – Nitrogênio amoniacal

NO₃-N - Nitrato

NT - Nitrogênio Total

OD - Oxigênio Dissolvido

OG - óleos e graxas

Pb - Chumbo

pH - potencial hidrogeniônico

PO₄-P - ortofosfato

Q - vazão

SDT - Sólidos Totais Dissolvidos

SST - Sólidos Suspensos Totais

T - Temperatura

V - Volume

Zn - Zinco

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	1
1.1	OBJETIVOS GERAIS	5
1.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	5
2	REVISÃO DE LITERATURA	6
2.1	QUALIDADE DA ÁGUA EM BACIAS HIDROGRÁFICAS X URBANIZAÇÃO	7
2.2	POLUIÇÃO DAS ÁGUAS	8
2.2.1	<i>Fonte difusa de poluição – escoamento superficial</i>	11
2.2.2	<i>Características do escoamento superficial</i>	12
2.2.3	<i>Fatores que interferem na qualidade da drenagem pluvial</i>	13
2.3	MONITORAMENTO SAZONAL DA QUALIDADE DA ÁGUA	14
2.4	MEDIDA DE CARGA DE POLUIÇÃO DURANTE CHEIAS	15
2.4.1	<i>Polutogramas e Hidrogramas</i>	15
2.4.2	<i>First Flush</i>	15
2.4.3	<i>Concentração Média de Evento (CME)</i>	16
2.5	PRÁTICAS DE MANEJO DA RETENÇÃO DE DETENÇÃO DE ÁGUAS PLUVIAIS	17
2.6	ESTUDOS CORRELATOS	19
2.6.1	<i>Monitoramento sazonal utilizando análises estatísticas multivariadas</i>	19
2.6.1.1	<i>Considerações</i>	25
2.6.2	<i>Impacto do escoamento superficial na qualidade da água</i>	26
2.6.2.1	<i>Considerações</i>	38
3	MATERIAL E MÉTODOS	39
3.1	ÁREA DE ESTUDO	39
3.1.1	<i>Uso e Ocupação do solo nas margens do Córrego Botafogo</i>	43
3.2	AMOSTRAGEM E ANÁLISE	45
3.3	PONTOS DE MONITORAMENTO	48
3.4	ANÁLISE DOS DADOS.....	52
3.4.1	<i>Avaliação dos poluentes no período de seca – monitoramento sazonal</i>	52
3.4.2	<i>Avaliação dos poluentes no período chuvoso</i>	53
3.4.2.1	<i>Polutogramas, Hidrogramas e Curvas Adimensionais de Poluição</i>	53
3.4.2.2	<i>Concentração Média de Evento</i>	54

3.4.2.3	<i>Análise das duas medições (cheia e seca)</i>	54
4	RESULTADOS	55
4.1	MONITORAMENTO SAZONAL	55
4.1.1	<i>Análise Estatística</i>	55
4.2	PERÍODO CHUVOSO	64
4.2.1	<i>Considerações gerais</i>	64
4.2.2	<i>Qualidade da água da drenagem pluvial</i>	65
4.2.3	<i>Polutogramas e Hidrogramas</i>	66
4.2.3.1	<i>Turbidez</i>	67
4.2.3.2	<i>Sólidos Totais</i>	68
4.2.3.3	<i>Sólidos Suspensos Totais</i>	70
4.2.3.4	<i>Sólidos Dissolvidos Totais</i>	71
4.2.3.5	<i>Condutividade Elétrica</i>	72
4.2.3.6	<i>Cor</i>	73
4.2.3.7	<i>DBO₅</i>	74
4.2.3.8	<i>DQO</i>	75
4.2.3.9	<i>Amônia</i>	76
4.2.3.10	<i>Coliformes Totais</i>	77
4.2.3.11	<i>E.coli</i>	78
4.2.4.	<i>Curvas Acumulativas Adimensionais</i>	79
4.2.5.	<i>Concentração Média de Evento</i>	84
4.2.6.	<i>Carga de poluentes lançadas durante os eventos de chuva monitorados</i>	85
4.3	COMPARAÇÃO ENTRE O MONITORAMENTO SAZONAL E O PERÍODO CHUVOSO	86
4.4	COMPARAÇÃO DOS RESULTADOS DO MONITORAMENTO SAZONAL COM A RESOLUÇÃO CONAMA 357/05.....	89
5	CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....	94
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	97
	ANEXOS	102

1 INTRODUÇÃO

A urbanização de forma acelerada e desordenada tem causado diversos impactos no meio ambiente, modificando tanto as condições de vida das populações quanto a qualidade dos recursos hídricos. Um dos maiores problemas decorrentes deste processo de urbanização é a falta de infraestrutura das cidades, que não conseguem suprir as necessidades do crescimento urbano, ocasionando a ocupação em áreas de preservação ambiental, locais públicos ou em áreas de risco, como as de inundações, acarretando sérios problemas no âmbito social e ambiental, refletindo então na qualidade dos ecossistemas hídricos de todo o entorno.

O processo de urbanização desorganizado e desestruturado às margens de corpos hídricos está associado com uma gama de consequências negativas: a retirada de cobertura vegetal, a impermeabilização de áreas, o acúmulo de resíduos, dentre outros. Com isso, vários danos são ocasionados: enchentes, deslocamento de terras, assoreamento dos mananciais, devido ao desmatamento e a ocupação das áreas de preservação permanente, degradação dos corpos d'água devido à poluição lançada, etc.

Em áreas altamente adensadas nos períodos de precipitação, as seguintes consequências podem ocorrer: aumento das vazões máximas, devido à maior capacidade de escoamento nas superfícies impermeabilizadas; aumento da produção de sedimentos, uma vez que quanto maior a população, maior a quantidade de resíduos produzidos bem como sedimentos gerados em construções de ruas, estradas, residências, além dos resíduos deixados pelos automóveis; degradação da qualidade de águas superficiais e subterrâneas, devido à lavagem de ruas, transporte de materiais sólidos e ligações clandestinas de esgotos, dentre outras (TUCCI, 2008).

Para Jacobsen, Vollertsen & Nielsen (2010) o principal fator de alteração em relação ao desenvolvimento urbano é a presença de superfícies impermeáveis, sendo que estas podem causar dois grandes prejuízos: inundações devido a chuvas extremas sobre estas superfícies, se o escoamento não for gerido de forma adequada; e uma grande quantidade de poluentes no escoamento devido ao resultado de atividades humanas.

Vieira (2008) afirma que outra consequência da impermeabilização de áreas na bacia é a mudança no regime hídrico, ocasionando aumento do volume e da velocidade do escoamento superficial, gerando maior capacidade de arraste, sendo assim, favorecendo para um maior aporte de cargas poluidoras no corpo hídrico.

Sarukkalige (2012) cita que dependendo do tipo do uso que se faz do solo em torno das bacias hidrográficas, o escoamento de águas pluviais em áreas impermeáveis pode conter diferentes substâncias, tais como: metais pesados, nutrientes, matéria orgânica, hidrocarbonetos, sólidos em suspensão e microrganismos patogênicos.

O escoamento superficial em áreas urbanas pode ocasionar mudanças no ambiente, tais como: erosões; deposição de sedimentos nos sistemas de coleta e transporte de água; depleção de oxigênio dissolvido o que afeta diretamente as comunidades aquáticas; eutrofização devido ao excesso de nutrientes e matéria orgânica; presença de metais pesados nos corpos hídricos; riscos à saúde pública devido à presença de microrganismos patogênicos e vírus, a possível contaminação de alimentos como peixes e culturas em locais irrigados; além da deterioração estética que normalmente são causadas pela descarga de sólidos grosseiros e sedimentos (JACOBSEN, VOLLERTSEN & NIELSEN, 2010).

Silva (2010) cita que a poluição devida ao escoamento superficial se origina no ciclo hidrológico, uma vez que a precipitação promove a lavagem dos poluentes atmosféricos, de superfícies edificadas, além de ruas, calçadas, passeios públicos, ciclovias, estradas, telhados, quadras esportivas, estabelecimentos e jardins. Assim, o escoamento superficial produzido será o responsável por transportar os poluentes dispostos sobre as superfícies para os corpos hídricos.

Segundo von SPERLING (2007), mesmo que o corpo hídrico se encontre bem preservado em suas condições naturais, a qualidade da água é afetada pelo escoamento superficial e pela infiltração no solo, que são resultados da precipitação atmosférica. O impacto pode decorrer do contato da água em escoamento ou infiltração com as partículas, substâncias e impurezas no solo, tais como substâncias químicas, matéria orgânica, dissolução de íons do solo e de rochas, etc. Dessa forma, a cobertura e a composição do solo e subsolo exercem grande influência na qualidade do escoamento superficial e subterrânea. Além destas, há indicações que as ações antrópicas favorecem as alterações da qualidade da água.

A poluição causada pelo escoamento superficial pode ter vários fatores desencadeadores, sendo esses dependentes do tipo de ocupação da bacia, da sazonalidade do ciclo hidrológico bem como da frequência e intensidade das precipitações e, também, das características físicas da bacia.

Além dos fatores acima citados, há outro agravante para maiores deteriorações dos corpos hídricos, os projetos de drenagem urbana que visam escoar a água precipitada o mais rápido possível para jusante, aumentando várias vezes a vazão máxima, a frequência e a inundação à jusante, aumento da produção de sedimentos, deterioração da qualidade da água

superficial e subterrânea, etc. (GRIBBIN, 2009). Em busca da diminuição dos efeitos negativos causados pela poluição em decorrência do escoamento superficial é necessário um planejamento e gerenciamento dos corpos hídricos. Em virtude disto, torna-se necessário a obtenção de dados relativos à qualidade e quantidade das águas para compreender o processo como um todo e quais fatores que interferem nele.

Diante do exposto, é de grande importância conhecer o comportamento das variações da qualidade da água dos corpos hídricos ao longo do ano, a fim de avaliar o impacto do escoamento de águas pluviais nos mananciais expostos à urbanização. Uma maneira de identificar essas alterações é realizar monitoramentos da qualidade da água, por meio dos parâmetros físicos, químicos e biológicos, que são importantes indicadores da qualidade da água tanto nos períodos de seca quanto nos períodos chuvosos.

O monitoramento da qualidade da água de rios, por meio dos parâmetros de qualidade da água, tem aumentado significativamente nas últimas décadas. A criação de um programa de monitoramento eficiente e que consiga extrair as informações adequadas dos conjuntos de dados, é complexa e pode exigir a aplicação de ferramentas estatísticas multivariadas, devido à natureza dos sistemas ecológicos, que apresentam diferentes variações. Assim, com a aplicação dessas técnicas de análises é possível obter melhor compreensão da qualidade da água e do estado do sistema ecológico estudado. (BOYACIOGLU, GÜNDOĞDU & BOYACIOGLU, 2013).

Após o conhecimento desses fatores torna-se necessário evitar que maiores problemas sejam causados às bacias, sendo assim deve-se recorrer a algumas medidas mitigatórias, buscando principalmente priorizar a recuperação da infiltração natural da bacia. Tais medidas devem possuir dois objetivos básicos: controle do aumento da vazão máxima e a melhoria das condições ambientais. As principais ações compensatórias são: aumento da infiltração, armazenamento de águas pluviais com a utilização de bacias de retenção ou retenção e o aumento da capacidade de escoamento (IPH, 2005).

O presente estudo tem como enfoque caracterizar a qualidade da água nos períodos secos e chuvosos de um córrego urbano, identificando a relação entre os efeitos do impacto do escoamento superficial no corpo hídrico e os processos que causam alterações na qualidade da água ao longo do ano.

A importância deste estudo é identificar e quantificar as cargas poluidoras que adentram no manancial, para avaliar o seu potencial poluidor, os impactos que podem causar e, também, para dar suporte a um planejamento e gerenciamento da bacia em questão a fim de

que em projetos futuros esses dados possam auxiliar na escolha da melhor solução onde o escoamento superficial seja desviado antes de chegar ao corpo hídrico.

A avaliação da qualidade da água de um corpo hídrico, ao longo de sua área de drenagem, juntamente com análise de quantidade, exerce grande importância, visto que os corpos d'água devem estar em acordo com os patamares de qualidade para os usos específicos no enquadramento estabelecidos na Resolução CONAMA 357/05, para rios de Classe II (SILVA, BINOTTO, GRÄBIN & DANIELSSON, 2006).

A Resolução CONAMA 357/05 “dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões e lançamento de efluentes, e dá outras providências” (BRASIL, 2005).

1.1 OBJETIVOS GERAIS

Este estudo visa caracterizar a qualidade e a quantidade das águas, nos períodos seco e chuvoso por meio de análises dos parâmetros físicos, químicos e microbiológicos e da vazão, a fim de conhecer o comportamento da qualidade da água do corpo hídrico e apresentar os impactos do escoamento superficial na água do rio em áreas urbanas.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Avaliar as variações do comportamento da qualidade da água ao longo do ano;
- Correlacionar a carga de poluentes relacionadas com o período chuvoso por meio da construção de polutogramas e hidrogramas;
- Indicar quais os principais parâmetros que indicam a variação da qualidade da água no córrego;
- Determinar as interações entre os parâmetros monitorados;
- Comparar o quanto a chuva contribui para as alterações na qualidade da água em relação ao período seco;
- Comparar as concentrações dos poluentes com a Resolução CONAMA 357/05, para ambientes de Classe II.

Este trabalho está estruturado em cinco capítulos. O capítulo 2 apresenta a revisão de literatura, que contempla os referenciais teóricos e os estudos correlatos com os temas referentes ao trabalho apresentado, seguido pelo capítulo 3 que descreve a metodologia aplicada a pesquisa. No capítulo 4 estão apresentados os resultados e discussões, sendo no capítulo 5 descritas as conclusões da presente dissertação.

2 REVISÃO DE LITERATURA

Os rios urbanos são sistemas complexos, em que a qualidade da água é o resultado da interação de inúmeros processos. Por exemplo: as chuvas favorecem um maior aporte de poluentes via escoamento, mas, também há um maior volume de águas para diluir a carga de entrada. Em virtude disso, entender o comportamento dos corpos hídricos em áreas urbanas é um processo delicado. A abordagem para compreender a qualidade da água de rios urbanos deve considerar todas as variáveis, abrangendo uma série de parâmetros e usando vários métodos de análises. Realizar o monitoramento e analisar o conjunto de dados associados (gráficos de concentrações de poluentes ao longo do rio e durante períodos chuvosos e secos, a comparação com os padrões e critérios) pode permitir uma boa avaliação da qualidade da água (MATHEW *et al.*, 2011).

Devido às variações espaciais e temporais da qualidade da água, é necessário que se faça um programa de monitoramento em que será possível fornecer uma estimativa representativa e confiável do comportamento dessas alterações dos dados quantitativos e qualitativos (SIMEONOV *et al.*, 2003). Righetto (2009) ressalta que é muito importante que a avaliação da qualidade da água contemple monitoramento de precipitação e vazão e que as características do uso e ocupação do solo na bacia hidrográfica são importantes aspectos a serem levados em consideração na escolha das variáveis que serão monitoradas.

Dessa forma, devem-se obter dados de vazão do corpo hídrico acompanhados com dados qualitativos da água, que representam seus aspectos físicos, químicos e biológicos, que irão determinar a concentração de nutrientes, matéria orgânica e microorganismos que podem alterar as condições de uso da bacia (COSTA, 2013).

Programas de monitoramento da qualidade da água geram dados multidimensionais complexos que necessitam de análises estatísticas multivariadas para tratamento e interpretação das informações (SINGH *et al.*, 2004).

Diante do exposto, observa-se que a qualidade da água é dependente de vários fatores e estudar a sua variação envolve dados coletados em diferentes épocas por um período longo. Assim, para verificar essas variações deve-se recorrer a análises estatísticas multivariadas para que essas mudanças sejam melhores explicadas.

2.1 QUALIDADE DA ÁGUA EM BACIAS HIDROGRÁFICAS X URBANIZAÇÃO

As águas de superfície são as fontes mais vulneráveis à poluição, uma vez que essas estão suscetíveis a influências antrópicas (efluentes municipais, industriais) além dos fenômenos naturais (escoamento pluvial, erosões, intemperismo, etc). São esses fatores que vão determinar a qualidade de água dos corpos hídricos (SINGH *et al.*, 2004; SIMEONOV *et al.*, 2003).

A industrialização e urbanização trouxeram prosperidade para as cidades, porém ao mesmo tempo resultaram em grandes problemas ambientais. Tem sido reconhecido que a qualidade das águas dos corpos hídricos tem sido afetada pelas atividades humanas nas bacias hidrográficas por meio de lançamentos de efluentes bem como pelo escoamento superficial em áreas urbanas e agrícolas (WANG, 2001).

Brezonik & Stadelmann (2002) citam que o crescimento urbano gera vários impactos negativos nos corpos receptores. Ele aumenta as áreas impermeáveis, as quais diminuem a infiltração e aceleram o tempo no qual ocorre o escoamento. Além disso, as mudanças prejudiciais na qualidade da água devido ao escoamento de águas pluviais estão associadas à urbanização e ao tipo de uso que se faz do solo.

Segundo Vieira (2008), o processo de impermeabilização do solo no ambiente urbanizado é considerado o principal responsável por alterar os componentes do ciclo hidrológico natural da bacia hidrográfica, cujos efeitos mais impactantes nas águas urbanas são:

- menor taxa de infiltração de água do solo;
- redução no escoamento subterrâneo;
- aumento do escoamento superficial;
- aumento da velocidade do escoamento superficial e redução do tempo de concentração;
- aumento das vazões máximas e antecipação dos picos no tempo;
- aumento da evaporação, nas precipitações de baixa intensidade, devido ao aquecimento das superfícies urbanas.

O desenvolvimento urbano tem causado contaminações nos corpos hídricos devido aos efluentes gerados pelas populações da seguinte forma: a falta de tratamento de esgoto em algumas regiões, que acabam lançando os efluentes na rede de esgotamento

pluvial, escoando pelos rios causando a deterioração da qualidade da água; o esgoto pluvial transporta grande quantidade de poluição orgânica e metais que atingem os rios em períodos chuvosos; contaminação das águas subterrâneas por despejos industriais e domésticos; depósitos de resíduos sólidos urbanos contaminando águas superficiais e subterrâneas e a ocupação do solo urbano sem o controle do impacto sobre o sistema hídrico (TUCCI, 2008). Outro fator é a inexistência de redes de drenagem urbana em algumas regiões, fazendo com que ocorram inundações.

Segundo Tucci (2005), os esgotos podem ser do tipo combinado em que o cloacal e o pluvial são destinados no mesmo conduto (sistema unitário) e do tipo separado (sistema separador absoluto), em que há um local destinado para o cloacal separado do pluvial. No Brasil, a maioria dos esgotos é do tipo separado, porém o que mais acontece são ligações que permitem a destinação do cloacal junto com o pluvial, o que se torna um problema, pois o esgoto que não é tratado se mistura com as águas pluviais, o que também inviabiliza soluções de controle do escoamento pluvial.

2.2 POLUIÇÃO DAS ÁGUAS

A poluição das águas é a soma de substâncias que modificam suas características físicas, químicas e microbiológicas. A avaliação da qualidade desta pode ser mensurada por meio de seus parâmetros, os chamados parâmetros de qualidade da água.

A Tabela 1 apresenta algumas das principais variáveis físico-químicas e biológicas avaliadas nos corpos hídricos urbanos, que estão mais vulneráveis à deterioração devido ao recebimento dos dejetos da população como lançamentos de efluentes, além também dos resíduos sólidos e líquidos carregados pela água da chuva (COSTA, 2013).

Tabela 1 – Parâmetros físico-químicos e biológicos de avaliação da qualidade da água.

PARÂMETRO	SIGNIFICADOS/OBSERVAÇÕES
Cor	Íons metálicos naturais, matéria orgânica, corantes sintéticos e partículas em suspensão indicam cor às águas. Principal efeito ecológico de água com cor elevada: diminuição penetração da luz solar, sendo assim reduzindo a fotossíntese
pH	Variações bruscas de pH podem indicar presença de efluentes industriais. O valor do pH afeta de maneira significativa outras variáveis, como o aumento da solubilidade de metais, a redução da disponibilidade de nutrientes e os processos biológicos.
Sólidos totais, em suspensão e dissolvidos	Possibilita uma visão geral sobre a qualidade da água que está sendo analisada e pode revelar a ocorrência de processos específicos nos corpos da água e na bacia de drenagem.
Temperatura	A temperatura afeta processos químicos, físicos e biológicos os quais influenciam outras variáveis de qualidade da água.
OD	A concentração de oxigênio dissolvido nos corpos da água depende da temperatura, salinidade, turbulência, atividade fotossintética e pressão atmosférica. É essencial para todas as formas de vida aquática e tem papel fundamental no processo de autodepuração. A sua concentração na água é bastante variável, tanto a nível espacial quanto temporal.
Turbidez	Associada à presença de matéria em suspensão na água (silte, argila, partículas coloidais orgânicas e inorgânicas, plâncton e microorganismos). A turbidez afeta os processos biológicos que ocorrem na água porque interferem no processo de transmissão da luz. Turbidez elevada pode significar processos erosivos, manejo inadequado do solo e lançamento de despejos industriais e domésticos na bacia. A turbidez é significativamente afetada pelas condições hidrológicas da bacia.
Condutividade	Mede a capacidade que a água tem de transmitir corrente elétrica e está diretamente relacionada à concentração de espécies iônicas dissolvidas, principalmente inorgânicas. Esta medida pode ser relacionada com a concentração de sólidos dissolvidos totais, o que facilita a avaliação do corpo hídrico, pois é uma medida direta. Valores superiores a 1.000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ podem indicar problemas de poluição.
Nitrogênio amoniacal	A presença de nitrogênio nos corpos hídricos resulta de processos biogênicos naturais que ocorrem no solo ou na água e do lançamento de efluentes. Elevadas concentrações de compostos nitrogenados podem ser um indicativo de poluição por matéria orgânica. Quando há predominância de nitrogênio amoniacal, o foco de poluição se encontra próximo. Se prevalecer nitrito e nitrato as descargas de esgotos estão distantes.
DBO ₅	Quantidade necessária de oxigênio para que os microorganismos aeróbios, presentes na amostra, oxidem a matéria orgânica. Em águas naturais não poluídas, a medida de DBO ₅ é inferior a 2 mg/L^{-1} .
DQO	Medida indireta da quantidade de material orgânico e inorgânico, susceptível à oxidação química por um oxidante energético. Valores elevados de DQO podem indicar problemas de contaminação dos corpos hídricos por despejos industriais.
Coliformes Totais	Representam organismos de vida livre e não intestinal. Podem estar presentes em águas e solos, poluídos ou não.
<i>Escherichia coli</i>	Identificam a potencial contaminação das águas por fezes humanas ou de animais, uma vez que são veículos potenciais de transmissão de doenças e indicam a possível presença de organismos patogênicos

Fonte: Righetto, 2009

Os poluentes estão conectados ao ciclo hidrológico, assim podem ser transportados pelo vento ou pela água até grandes distâncias. Apesar de os poluentes serem diluídos em grandes quantidades de água, há um pensamento errôneo de que esses não representam um risco à saúde do corpo hídrico e da população. A maior parte destes poluentes tem uma grande dispersão espacial podendo afetar corpos receptores e assim causar um desequilíbrio no ecossistema aquático (RAMÍSIO & FERREIRA, 2011).

Segundo Jacobsen, Vollertsen & Nielsen (2010), os poluentes presentes nos sistemas de escoamento de águas pluviais se originam a partir de uma grande variedade de fontes locais e regionais, podendo ser subdivididos da seguinte maneira:

- Poluentes originários de áreas urbanas impermeáveis ou semipermeáveis, em que estes podem ter origem primária, em que estão presentes no ar e são transportados com a precipitação;
- O fluxo diário de águas residuais municipais que é misturado com a água de escoamento na rede de esgoto antes de transbordar em algum lugar;
- Poluentes que se acumulam na rede de esgoto durante os períodos secos, em que a sedimentação e o crescimento do biofilme podem acarretar no acúmulo desses sólidos resultando em ressuspensão e transporte destes no escoamento de águas pluviais.

Segundo Porto (1995), as redes de drenagem urbana são as grandes causadoras da veiculação das cargas poluidoras para os rios, o que favorece para sua degradação. Dois grandes fatores são responsáveis pela degradação do corpo hídrico, ou seja, duas formas distintas são responsáveis pela poluição atingir um corpo receptor: as fontes de poluição pontuais e difusas.

As fontes de poluição pontuais são aquelas em que se conhece a carga, a natureza e a frequência com que os poluentes entram no corpo receptor (ex: esgotos industriais e domésticos) e as fontes difusas de poluição, as quais não se sabem a origem no corpo receptor, sua carga, natureza e duração do evento e que se encontram espalhadas por grandes áreas na bacia de drenagem (ex: drenagem pluvial urbana e rural) (VIEIRA, 2008).

Segundo Pisinaras *et al.* (2010) muitos esforços têm sido feitos em todo o mundo para combater fontes de poluições pontuais como evitar o lançamento de esgotos nos rios, aumentando os locais de tratamento desses e como resultado, uma das maiores causas de degradação de corpos hídricos estão associadas com fontes difusas de poluição.

O Brasil é um exemplo de país que se preocupa mais em conter as poluições pontuais, uma vez que os órgãos ambientais exigem no processo de licenciamento ambiental, o tratamento dos efluentes. Sendo assim, o país se distancia da problemática das cargas difusas, fazendo com que os corpos d'água estejam submetidos muitas vezes a toneladas de poluentes ao longo do ano (SILVA, 2010).

Uma das maiores fontes de poluição difusa é o escoamento superficial em áreas urbanas que carregam para o corpo hídrico elevadas cargas de poluentes que, por sua vez, favorecem para a degradação do mesmo (TUCCI, 2008).

Silva (2010) cita que a poluição dita difusa acontece pela ação da água das chuvas ao lavar e transportar a poluição, em suas diversas formas espalhadas sobre a superfície para os corpos hídricos, não se concentrando em um único local como ocorre na poluição pontual. A chuva, por si só, é uma fonte significativa de alguns poluentes. Em um estudo para avaliar a água da chuva realizado no leste de Minnesota foram encontrados maiores concentrações de nitrato e amônia na água da chuva em comparação às encontradas nas rodovias (MITTON & PAYNE, 1997).

2.2.1 Fonte difusa de poluição – escoamento superficial

Pode-se dizer que a poluição causada devido ao escoamento superficial das águas pluviais em áreas urbanizadas é de origem difusa, devido ao fato de ser originada de atividades que depositam poluentes de forma esparsa sobre a área de contribuição da bacia hidrográfica (SILVA *et al.*, 2011).

A identificação das poluições difusas, bem como a quantificação dessas cargas poluidoras que adentram ao corpo hídrico, se torna uma importante ferramenta para avaliação do grau de poluição e fonte de dados para uma adequada adoção de medidas de controle. Li-Qing *et al.* (2007) cita que a poluição gerada pelo escoamento é mais difícil de controlar do que as poluições pontuais, devido a natureza intermitente da chuva e do escoamento, a grande variedade de fontes de poluição e a natureza variável das cargas poluidoras.

Jacobsen, Vollertsen & Nielsen (2010) também afirmam que o processo de gestão da poluição do escoamento de águas pluviais em áreas urbanas é mais complexo do que a poluição de fontes pontuais, em decorrência do escoamento ser calculado "baseado em eventos". Além de considerar as características da bacia hidrográfica e as atividades antrópicas relacionadas a ela, outros fatores têm que ser levados em conta, como:

- a poluição pluvial urbana está associada com probabilidade, frequência de ocorrência e o período de retorno;
- o clima determina o padrão de precipitação, sendo assim possui ligação direta com a carga de poluentes durante o ano;
- dificuldade de especificar quais poluentes adentram o manancial devido ao escoamento de águas pluviais ser uma fonte difusa de poluição;
- a carga de poluentes pode variar e poluentes diferentes têm diversos destinos e podem causar diferentes impactos ambientais, dependendo do tipo de cada ambiente receptor;
- a variabilidade das concentrações de poluentes e de cargas é dependente do tempo e ocorre dentro de cada único evento;
- mesmo eventos moderados irão gerar grandes volumes de água durante um curto período de tempo e com baixas concentrações de poluentes.

2.2.2 Características do escoamento superficial

Segundo Barco (2003) o escoamento superficial de águas pluviais é caracterizado por apresentar qualidade semelhante a esgotos, tanto em termos de massa e concentração máxima de poluentes.

Paoletti, Sanfilippo & Becciu (2011) citam que há uma gama de problemas relacionados ao escoamento causado pela água de chuvas no corpo receptor, tais como: o acúmulo de poluentes na época de estiagem; a lavagem dos poluentes acumulados e o escoamento para as redes de esgoto a montante, o qual se mistura com águas residuais, o que pode ocasionar em possível ressuspensão de materiais que estavam previamente sedimentados; e a desordem ambiental nos corpos hídricos, relacionados com a sua vulnerabilidade ecológica.

Os poluentes presentes em áreas urbanas variam de compostos orgânicos a metais tóxicos. Os poluentes mais comumente encontrados devido a atividades humanas são inseticidas, fertilizantes e óleos de vazamento de caminhões, ônibus e automóveis. Há ainda a fuligem resultante das emissões de gases dos veículos, das indústrias, da queima de resíduos e que se depositam na superfície e são carregados pela água das chuvas, contaminando a mesma, chegando então aos rios (TUCCI, 2005).

A caracterização dos poluentes do escoamento de águas pluviais é de grande importância para o gerenciamento da qualidade da água de córregos urbanos (LEE & BANG,

2000). Segundo Tucci (2005), os principais poluentes encontrados no escoamento de águas pluviais urbanas são: nutrientes, sedimentos, substâncias consumidoras de oxigênio, metais pesados, hidrocarbonetos de petróleo, bactérias e vírus patogênicos. Jacobsen, Vollertsen & Nielsen (2010) citam que águas pluviais urbanas são em grande parte caracterizadas por substâncias inorgânicas associadas com pequenas partículas e tem tipicamente um teor relativamente baixo de matéria orgânica biodegradável.

Hathaway & Hunt (2011) citam que o escoamento de águas pluviais tem sido identificado como um contribuinte de bactérias indicadoras de contaminação fecal em águas superficiais. No entanto, apesar das preocupações sobre a degradação da qualidade da água devido à presença dessas, o processo de transporte e destinação são ainda mal compreendidos.

Tucci (2005) ainda afirma que a qualidade de águas pluviais urbanas é tão ruim quanto ao de um efluente de tratamento secundário e que a quantidade de sólidos suspensos encontrada no escoamento pluvial urbano é superior ao encontrado em esgoto sem tratamento. Segundo o autor, a concentração de sólidos suspensos é pequena nos primeiros instantes da chuva, tendo um aumento significativo após alguns minutos e que geralmente nos primeiros 25 mm de chuva se concentram 95% da carga de sólidos.

A poluição gerada pela carga difusa tem sido pouco estudada no Brasil, uma vez que os lançamentos orgânicos de esgoto doméstico ainda não foram suficientemente solucionados. Porém, esse tipo de poluição veicula concentrações de poluentes algumas vezes superiores as do esgoto doméstico (BRITES, 2005).

2.2.3 Fatores que interferem na qualidade da drenagem pluvial

A qualidade da drenagem pluvial está associada a vários fatores. A própria precipitação é um fator direto que influencia na qualidade desta. Além disso, características do uso e ocupação do solo, fisiográficas, meteorológicas, geológicas e litológicas, justificam a variação nos parâmetros de qualidade da água. O relevo exerce grande importância nos fatores meteorológicos e hidrológicos, uma vez que a velocidade do escoamento superficial é função da declividade da área. A altitude em que está a bacia, influencia na temperatura, precipitação, evaporação, dentre outros (SILVA, 2010).

A poluição gerada pelo escoamento superficial apresenta-se diversificada e depende de alguns fatores, como: uso e ocupação do solo; densidade populacional; sazonalidade do ciclo hidrológico; topografia; geologia; características; e frequência das precipitações. A concentração de poluentes neste escoamento depende da acumulação no

período de estiagem e a exposição ao escoamento durante os eventos de chuva (PIMENTEL, 2009).

Segundo Rasmussen (1998), dependendo do tipo do uso que se faz do solo, contaminantes diferentes podem se acumular durante os períodos de estiagem, como exemplo, pode-se citar as superfícies pavimentadas, em que contaminantes de automóveis e caminhões podem se acumular até que uma grande chuva aconteça para lavar esse pavimento e então escoar até os rios.

Lee *et al.* (2004) afirmam que condições climáticas como um período longo de estiagem ou períodos úmidos podem afetar grandemente as emissões de poluentes nas descargas de águas pluviais urbanas. Em regiões onde há um longo período sem chuvas, há um acúmulo de poluentes e a chuva inicial da estação pode ter maiores concentrações de poluentes do que as chuvas que virão posteriormente, a qual denomina de carga de lavagem sazonal (*seasonal first flush*).

2.3 MONITORAMENTO SAZONAL DA QUALIDADE DA ÁGUA

A conseqüência da expansão, sem uma visão ambiental, acarreta em deterioração dos corpos hídricos urbanos e na redução da quantidade de água limpa desses, ocorrendo a escassez qualitativa. Outro risco também é a escassez quantitativa, uma vez que quanto maior a impermeabilização, menor é a infiltração, o que altera os níveis do lençol freático, além de diminuir a vazão de base dos rios. Sendo assim é preciso que ocorram diferentes ações preventivas de planejamento urbano e ambiental, visando minimizar os impactos e na busca do desenvolvimento sustentável (TUCCI, 2008). Portanto, antes de se planejar quais ações devem ser tomadas para melhores gerenciamentos dos corpos hídricos, é preciso conhecer as variações do comportamento da qualidade dos corpos hídricos ao longo do ano.

Segundo Pauletti & Siqueira (2011) investigar a qualidade da água dos córregos urbanos exerce grande importância, uma vez que a poluição dos corpos hídricos em áreas urbanas afeta seriamente a utilidade da água para diversos fins, além de comprometer a “saúde” dos ecossistemas aquáticos.

O desenvolvimento de estratégias de avaliação para investigar mudanças espaciais e temporais causadas por fenômenos naturais ou ações antrópicas ao longo dos anos são importantes ferramentas de práticas de gestão. Essas estratégias constituem em análises estatísticas multivariadas, a fim de se obter melhores informações sobre a qualidade das águas

superficiais, propiciando o melhor entendimento do comportamento sazonal (SIMEONOV *et al.*, 2003).

2.4. MEDIDA DE CARGA DE POLUIÇÃO DURANTE CHEIAS

2.4.1 *Polutogramas e Hidrogramas*

Polutogramas são relações temporais das variações dos parâmetros de qualidade da água, durante aumento ou diminuição das vazões. As concentrações dos poluentes no escoamento gerado variam ao longo do evento hidrológico, assim como variam as vazões. É de esperar que esses valores formem um polutograma, com a mesma forma genérica do hidrograma correspondente (PRODANOFF, 2005).

Hidrograma representa a distribuição da vazão ao longo do tempo, em que apresenta o resultado da interação dos componentes do ciclo hidrológico, precipitação e vazão, na área de drenagem (FERREIRA, 2008).

Segundo Bonumá (2006) em uma bacia hidrográfica, as curvas dos polutogramas e hidrogramas podem sofrer algumas variações de um evento a outro, o qual irá depender de uma série de fatores, tais como: intensidade da precipitação, período de tempo seco (sem chuva) antecedente ao evento e ao total precipitado, acúmulo de massa poluente sobre a bacia, característica da bacia, dentre outros.

Ainda de acordo com Pimentel (2009) as perdas iniciais dependendo da rugosidade e do estado conservação do pavimento são maiores e possibilitam a retenção de uma parte dos poluentes.

2.4.2 *First Flush*

A ocorrência do *first flush*, tem sido definida como sendo a remoção inicial do material acumulado sobre a superfície, no período entre chuvas, pelo escoamento superficial, transportando-o para a rede de drenagem. Esta remoção de material produz um pico na concentração dos poluentes no início do escoamento superficial (BRITES, 2005). Dessa forma, o pico do polutograma ocorreria antes do pico das vazões.

O pico da concentração de poluentes, que ocorre antes do pico da vazão, é causado pelo início do escoamento, que lava os poluentes acumulados nas ruas e nos esgotos antes do maior fluxo de escoamento chegar a foz (LEE & BANG, 2000).

Em geral, a intensidade de uma precipitação é um dos fatores mais críticos para a ocorrência do *first flush*, além de toda a carga de poluentes, que é maior durante eventos mais longos de precipitação. Sendo assim, essa alta carga de poluentes deve ser monitorada nos estágios iniciais de escoamento. (LEE *et al.*, 2011). O fato desta carga de lavagem às vezes ocorrer e outras não, pode estar relacionado com as perdas iniciais no escoamento superficial (PIMENTEL, 2009).

Na literatura há duas formas principais de avaliar se ocorreu o fenômeno de *first flush*. De acordo com Chui (1997); Lee & Bang (2000) e Hathway & Hunt (2011) este fenômeno acontece quando a curva da razão da carga cumulativa do poluente é plotada sobre a curva da razão cumulativa da vazão e está acima de 1:1. Este fenômeno é referido como *flushing* de poluente, e pode ser descrito pelas equações (1) e (2) de análise adimensional acumulativa, a qual $[P_i/\sum P_i]$ é a razão acumulativa adimensional da carga de poluentes e $[Q_i/\sum Q_i]$ é a razão acumulativa adimensional do escoamento.

$$[P_i/\sum P_i]/[Q_i/\sum Q_i]>1: \text{“Ocorreu o } Fisrt Flush\text{”} \quad (1)$$

$$[P_i/\sum P_i]/[Q_i/\sum Q_i]>1: \text{“Não ocorreu o } Fisrt Flush\text{”} \quad (2)$$

Outra forma bastante utilizada em que também foram apresentados nos trabalhos de Chui (1997); Hathway & Hunt (2011) e Silva *et al.* (2011), é a sobreposição do polutograma sobre o hidrograma, em que é possível perceber o *first flush* se o pico do polutograma ocorrer antes do pico do hidrograma.

A verificação da ocorrência do *first flush* é uma informação de grande importância para locais em que se deseja controlar o escoamento superficial urbano a fim de reter as cargas que são lançadas nos corpos hídricos (BRITES, 2005).

2.4.3 Concentração Média de Evento (CME)

As concentrações dos poluentes apresentam grandes variações durante o evento chuvoso bem como as vazões, o qual irá gerar uma curva semelhante ao hidrograma correspondente. Assim, sendo o escoamento de natureza aleatória, além de apresentar influências devido a outros fatores físicos, torna-se difícil calcular ou prever a variação temporal da concentração desses poluentes. Assim, para uma avaliação geral do impacto do escoamento nos corpos hídricos, pode-se calcular a Concentração Média de Evento (SILVA, 2010).

Segundo Lee & Bang (2000) a CME é um parâmetro que permite representar um conjunto de dados que tem uma grande variabilidade, a qual é calculada pela seguinte equação:

$$CME=M/V= (\sum C_t Q \Delta_t)/(\sum Q \Delta_t) \quad (3)$$

Onde:

CME: concentração média no evento (mg/L^{-1}); M= Massa total do poluente durante o evento (g); V= Volume total durante o evento (m^3); C_t : Concentração no tempo t (mg/L^{-1}); Q: Vazão no tempo t (m^3/s) e Δt o intervalo de tempo (s).

A massa foi calculada como:

$$\text{Massa} = \text{Carga (concentração} \times \text{vazão)} \times \text{Tempo} \quad (4)$$

Onde:

Carga é a concentração no tempo t x vazão no tempo t (mg/s) e tempo é o intervalo entre as coletas (s).

2.5 PRÁTICAS DE MANEJO DA RETENÇÃO DE DETENÇÃO DE ÁGUAS PLUVIAIS

As medidas de controle das cargas difusas podem ser classificadas em não estruturais, incluindo controle na fonte e prevenção da poluição; e as estruturais, que incluem construções de instalações para que possam tratar o escoamento superficial, antes que cheguem aos corpos hídricos (PIMENTEL, 2009). Essas serão descritas abaixo.

Algumas estruturas típicas comuns utilizadas para reter o escoamento de águas pluviais, como galerias, bueiros e canalizações de fundo de vale, são empregadas para transportar o escoamento de forma segura e eficaz para longe da área construída. Porém, outras estruturas, como bacias de detenções, são usadas para realmente reduzir a vazão máxima à jusante por meio do controle da vazão de pico e do volume decorrente do escoamento, além de promoverem o controle da qualidade da qualidade das águas pluviais, como a redução de sólidos suspensos e a recarga dos aquíferos (GRIBBIN, 2009).

Ainda de acordo com Gribbin (2009), bacias de detenções armazenam água em um poço ou reservatório, podendo ser uma área aberta no solo ou uma série de câmaras ou

tubulações subterrâneas. A saída lenta da água se faz por uma estrutura de liberação, vertedor ou uma combinação de dispositivos de controle de escoamento. A maioria das bacias de detenções é projetada em modelo a céu aberto no solo, o qual apresenta o volume necessário para armazenar as águas pluviais durante a chuva. Quando o espaço é pequeno, as bacias de detenções são implantadas no subsolo, com a utilização de tubos com grande diâmetro ou de outros tipos de câmaras. Porém, esse tipo de bacia apresenta algumas desvantagens em comparação com a de céu aberto, uma vez que armazena menor volume de água, não possuem capacidade de retenção de poluentes e apresentam maiores custos.

Outra estrutura utilizada para deter o escoamento de águas pluviais e os poluentes são as trincheiras de infiltração. Essas são formadas por valas (longas e estreitas) escavadas no solo sendo preenchidas por britas, as quais têm a capacidade de reter a água que fica armazenada entre as pedras, se infiltrando no solo. Essas trincheiras possuem alta capacidade de remoção de poluentes, especialmente sedimentos, nutrientes, lixo, metais, bactérias, óleos e graxas e substâncias orgânicas, por mecanismos de adsorção e filtração (SILVA, 2009).

Há ainda as bacias de infiltração, que tem a capacidade de controlar o volume e a qualidade do escoamento, além de promover a recarga do lençol freático. Esse tipo de reservatório não possui volume de água permanente, uma vez que o volume de água é infiltrado em até 48 horas, ficando seco após esse processo. Em alguns casos, poderá ser acoplado uma caixa separadora onde a água relativa ao volume a ser armazenado (*first flush*) será desviada, sendo o restante encaminhado para o córrego mais próximo (TOMAZ, 2010).

As valas de infiltração são técnicas compensatórias formadas por pequenas depressões escavadas no solo, recobertos por vegetação, que tem a função de transportar lentamente o escoamento superficial de águas pluviais até seu ponto de lançamento. Os principais objetivos são a melhora da qualidade das águas pluviais por meio da filtração, promover a infiltração para as camadas superficiais e profundas do solo e diminuir a velocidade do escoamento superficial (SILVA, 2009; K,FILHO, MARTINS & PORTO, 2011).

Bacias de retenção possuem um nível permanente de água ao longo do ano, as quais possuem capacidade de remoção de sedimentos, nutrientes, lixo, metais, bactérias, óleos e graxas e substâncias orgânicas, por mecanismos de sedimentação e por processos biológicos. Acima do nível permanente para controle da poluição, esta possui volumes utilizados para controle de erosão de canais e de alagamentos (SILVA, 2009).

Diante do exposto, observa-se que há uma série de tratamentos possíveis para a remoção dos poluentes contidos nas águas pluviais e para o controle do volume desses. Estes

tratamentos são executados em estruturas específicas e estão condicionados a restrições relacionadas a cada região que se pretende implantar, tais como: topografia, ao solo, subsolo e aos objetivos que se pretende atingir com seus usos (SILVA, 2009).

2.6 ESTUDOS CORRELATOS

2.6.1 *Monitoramento sazonal utilizando análises estatísticas multivariadas*

Simeonov *et al.* (2003) realizaram um monitoramento das águas superficiais dos principais sistemas fluviais, além de córregos afluentes e valas no Norte da Grécia. Durante 3 anos, foram avaliados mensalmente vinte e sete parâmetros em 25 locais de amostragem, para verificar as mudanças na qualidade da água causados pelo ciclo hidrológico anual. Foram utilizadas diferentes abordagens estatísticas multivariadas, tais como: análise de cluster, análise de componentes principais e de regressão múltipla em componentes principais.

Os resultados das análises de cluster do trabalho de Simeonov *et al.* (2003) apresentaram quatro diferentes grupos de similaridade entre os locais de amostragem, em que apresentaram variações físico-químicas e diferentes níveis de poluição dos corpos hídricos estudados.

A análise de componentes principais do trabalho acima citado indicou que seis principais fatores foram os determinadores das alterações, que explicam 90% da variância do conjunto de dados, que são as cargas orgânicas, os nutrientes, os parâmetros físico-químicos, o intemperismo e a lixiviação do solo. Os resultados mostraram que as poluições pontuais (efluentes municipais e industriais) e difusas (resíduos agrícolas) são os principais contribuintes dos parâmetros biológicos e de nutrientes. A lixiviação do solo representou a principal fonte da maioria dos elementos que representam atividades antrópicas (chumbo, zinco e cádmio).

Singh *et al.* (2004) realizaram um estudo para avaliar a qualidade da água no rio Gomti, um dos principais tributários do rio Ganga, na parte norte da Índia, em um período de 5 anos, onde as análises foram divididas em três estações (verão, inverno e monções), em que foram avaliados 24 parâmetros em oito pontos amostrais situados em locais de baixa, moderada e alta poluição. Devido ao período longo de monitoramento, foram gerados muitos dados complexos. Para tanto, escolheram diferentes técnicas de estatística multivariada, como

Análise de Cluster, Análise de Componentes Principais e Análise Discriminante (*boxplot*), para a avaliação das variações temporais e espaciais da qualidade da água.

A análise de cluster mostrou bons resultados, em que foi possível agrupar os oito pontos amostrais em apenas três, que apresentaram características semelhantes referentes à qualidade da água e as fontes de poluição (natural e antrópica) (Figura 1). A análise de componentes principais indicou que os parâmetros responsáveis pelas variações de qualidade da água são principalmente relacionados com sais solúveis (natural) e carga de poluição orgânica (antrópicos). A análise discriminante (*boxplot*) mostrou os melhores resultados para a redução de dados e reconhecimento de padrões durante a análise temporal e espacial, em que mostrou que cinco parâmetros (pH, temperatura, condutividade, alcalinidade total e magnésio) foram os que mais explicaram as variações temporal (Figura 2), enquanto nove parâmetros (pH, temperatura, alcalinidade, dureza, OD, DBO₅, cloreto, sulfato e nitrogênio total kjeldahl) explicaram as variações espaciais (Figura 3). Essa análise permitiu demonstrar que a temperatura apresentou clara variação sazonal, que a condutividade elétrica é maior no verão, mas que há uma diminuição no período de monções, devido ao fato de que no verão há maior desgaste nas bacias hidrográficas e nas chuvas ocorrer diluição e que o pH é determinado na maioria das vezes por fatores de alcalinidade e ocorre aumento mais no verão (SINGH *et al.*, 2004).

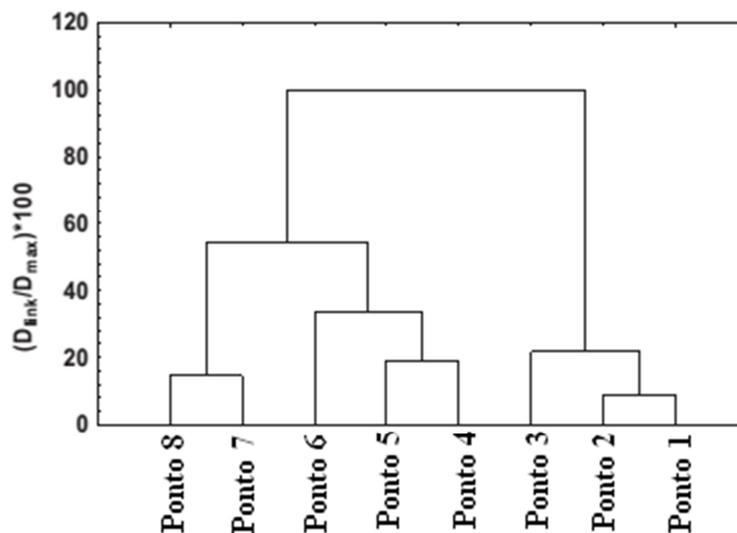


Figura 1 – Dendrograma apresentando análise de cluster dos pontos amostrados no Rio Gonti

Fonte: SINGH *et al.* (2004).

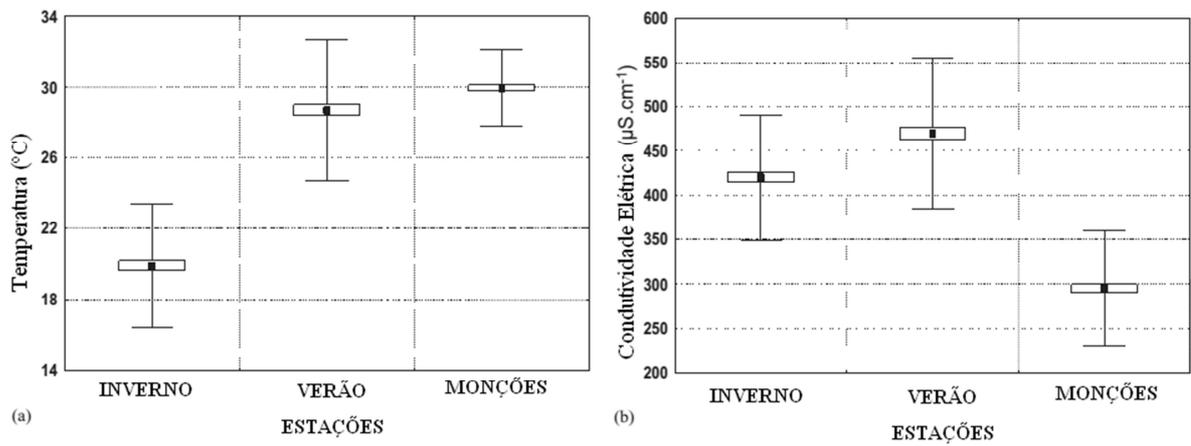


Figura 2 – Variações temporais: (a) temperatura e (b) condutividade elétrica no Rio Gonti

Fonte: Adaptado de SINGH *et al.* (2004).

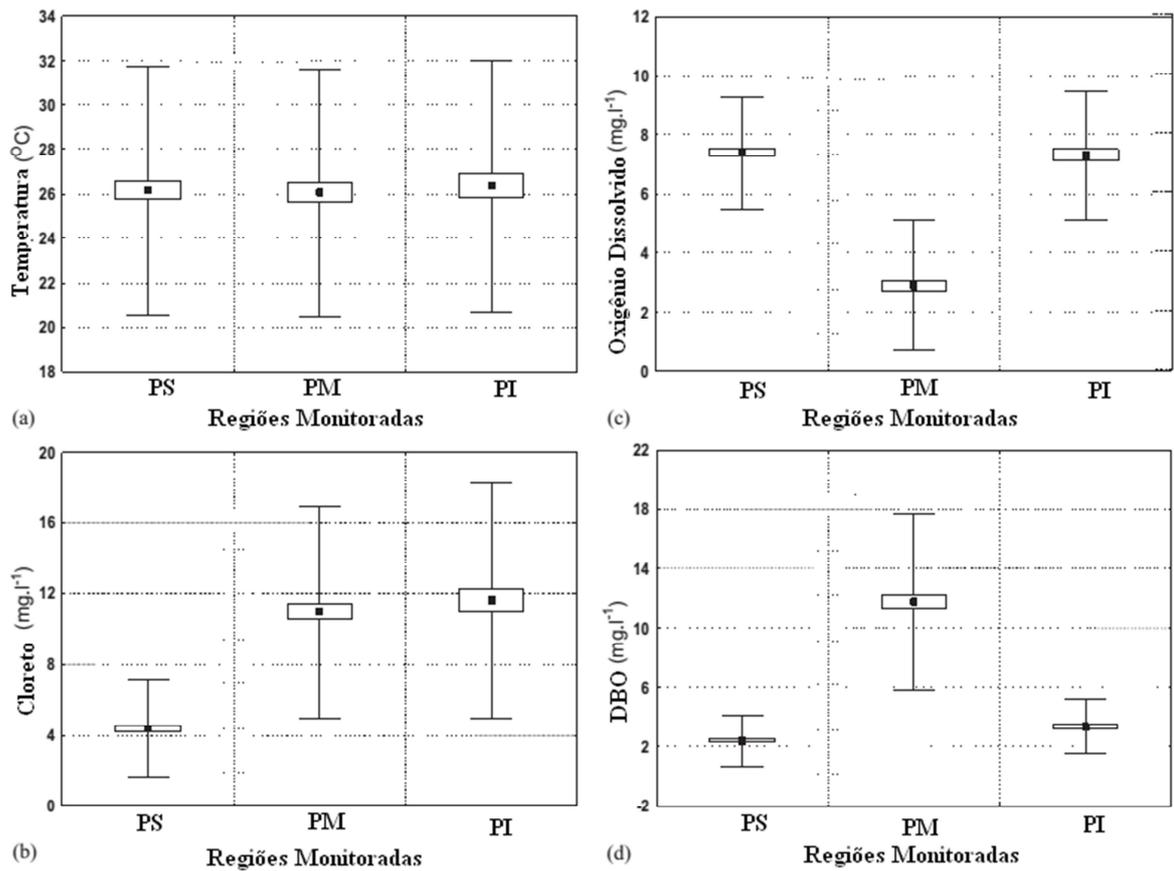


Figura 3 – Variações espaciais: (a) temperatura, (b) cloreto, oxigênio dissolvido e DBO₅ no Rio Gonti

Fonte: Adaptado de SINGH *et al.* (2004).

Zhou, Liu & Guo (2007) realizaram um monitoramento durante um período de cinco anos (2000-2004) para analisar as variações temporais e espaciais na qualidade da água dos cursos d'água em 23 locais diferentes no noroeste de Novos Territórios em Hong Kong. Foram analisados 23 parâmetros. Para verificar tais variações foram utilizadas análises estatísticas multivariadas, sendo a análise de cluster e análise discriminante (*boxplot*). A análise de cluster agrupou 12 meses em dois períodos (seca e chuva) e classificou os locais de monitoramento em três grupos (A, B e C), com base em similaridades de características de qualidade da água.

A análise discriminante realizada no trabalho de Zhou, Liu & Guo (2007) demonstrou que apenas seis parâmetros (pH, temperatura, DBO₅, coliformes fecais, ferro e níquel) explicam a maior variação temporal da qualidade da água (Figura 4), em que a temperatura foi a que mais ocasionou essa variação, sendo que a menor correlação para OD, nitrato, *E.coli*, chumbo e zinco indicam fontes de poluição antrópicas nos locais de estudo, sendo observado ainda que pH, ferro e níquel estiveram mais alto no primeiro período (seca) e temperatura e *E.coli* apresentaram-se mais elevada no segundo período (chuva).

Os resultados apontados no trabalho acima citado, indicam que sete parâmetros (pH, amônia, nitrato, coliformes fecais, ferro, níquel e zinco) foram os principais responsáveis pela variação espacial (Figura 5) em que a amônia, nitrato, *E.coli*, ferro, níquel e zinco apresentaram maiores valores no grupo C, sendo que o grupo A apresentou a menor concentração em comparação aos demais. No grupo C, a maioria dos locais de monitoramento está localizada a jusante ou perto de áreas urbanas, recebendo então resíduos provenientes das residências à montante. Já o grupo A e B, encontravam-se áreas em relativamente longe das fontes poluidoras.

Dessa forma, a análise estatística multivariada mostrou ser uma ferramenta valiosa para reconhecer os parâmetros mais importantes para avaliar as variações temporais e espaciais da qualidade da água e que fazendo uma comparação entre os grupos, a poluição do grupo C é relativamente grave e deve ser controlada (ZHOU, LIU & GUO, 2007).

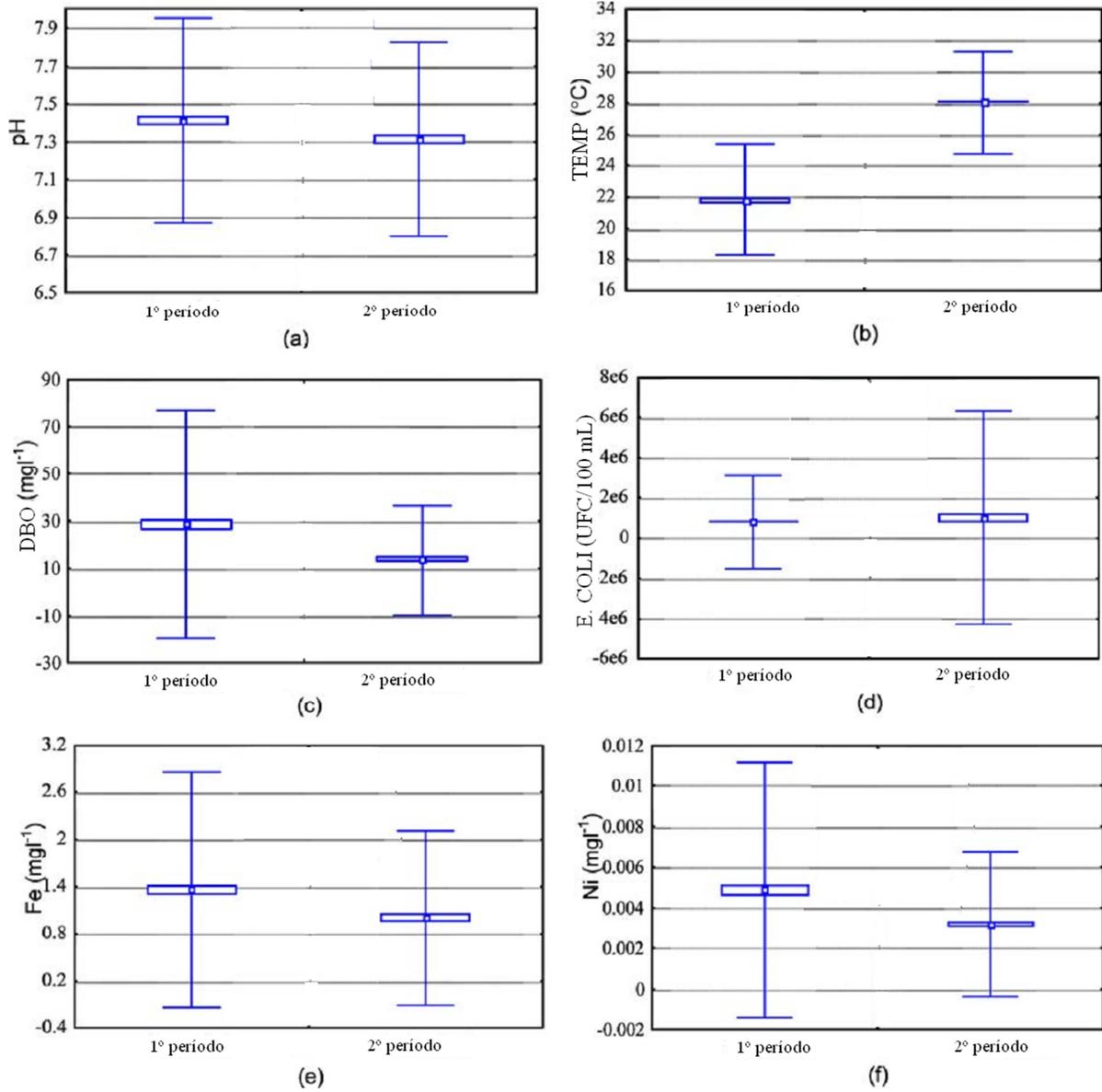


Figura 4 – Variação Temporal: pH, Temperatura, DBO₅, *E.coli*, Fe e Ni.
Fonte: Adaptado de Zhou, Liu & Guo (2007)

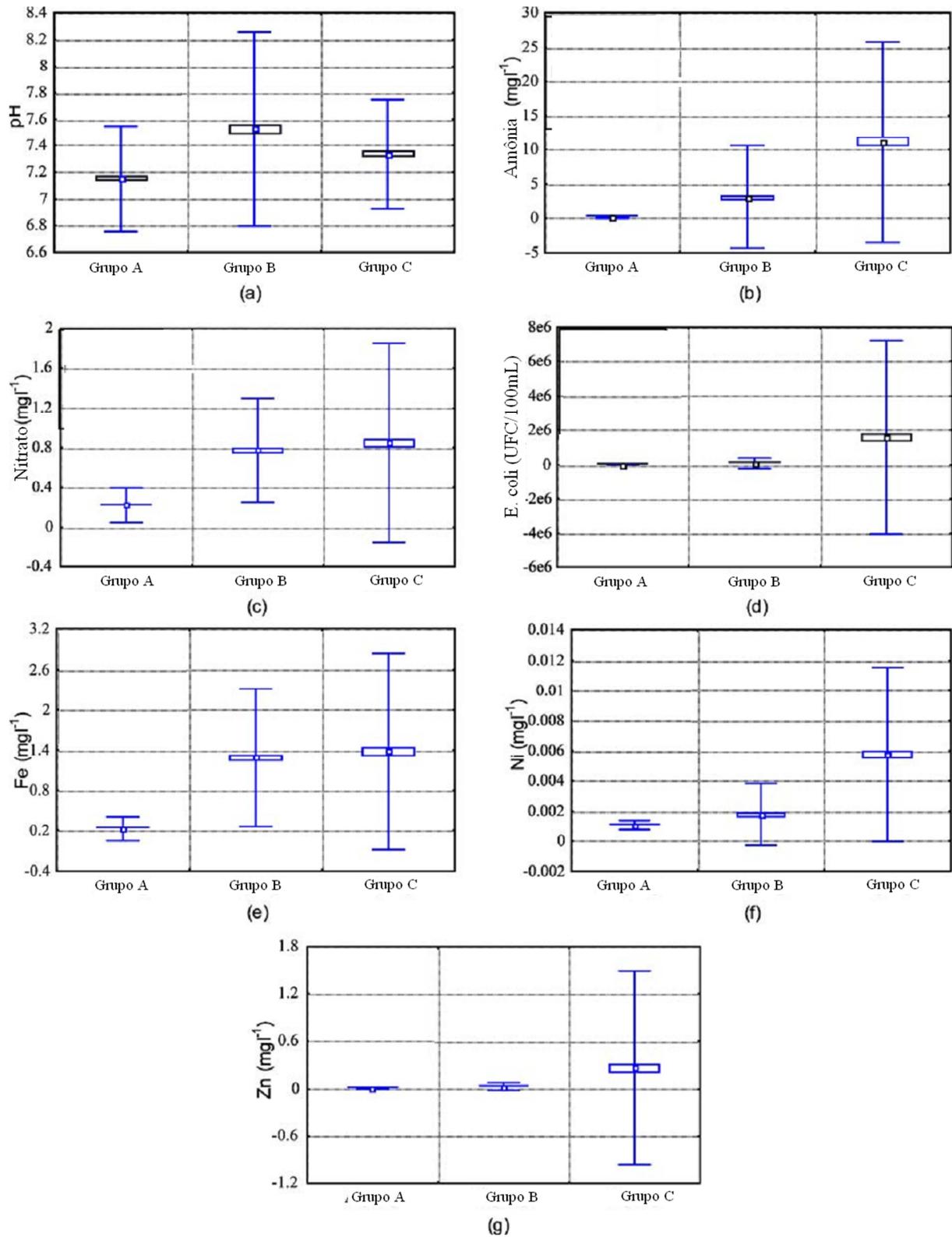


Figura 5 – Variação Espacial: pH, nitrato, amônia, *E.coli*, Fe, Ni e Zn.
Fonte: Adaptado de Zhou, Liu & Guo (2007)

2.6.1.1 Considerações

Diante dos trabalhos apresentados verifica-se a necessidade e a utilidade da avaliação estatística multivariada para se obter melhores conclusões acerca dos locais e parâmetros avaliados.

No trabalho apresentado por Simeonov *et al.* (2003), os locais de amostragem (25 pontos), segundo a análise de cluster, pode ser subdivido em 4 grupos em que estes apresentaram características de qualidade de água semelhantes entre si. Assim, o número do local de amostragem pode ser otimizado de tal forma que, para em monitoramentos futuros, apenas um ponto de cada um desses grupos poderá ser utilizado, reduzindo assim a quantidade e os custos das análises. Já a análise dos componentes principais não reduziu significativamente o número de parâmetros avaliados, porém essa análise permitiu identificar que os principais fatores causadores das alterações na qualidade da água são as cargas orgânicas, os nutrientes, os parâmetros físico-químicos, o intemperismo e a lixiviação do solo. Assim, esses resultados serão úteis para a gestão dos recursos hídricos.

A análise de cluster utilizada na pesquisa realizada por Singh *et al.* (2004) compilou oito pontos de amostragem em três grupos com características semelhantes referentes a qualidade da água e suas fontes de poluição. Já a análise dos componentes principais também não apresentou grandes reduções nos parâmetros avaliados, uma vez que 14 parâmetros dos 24 avaliados foram responsáveis por explicar a maior variabilidade dos dados. Porém, a análise discriminatória apresentou os melhores resultados, sendo que para explicar as variações temporais utilizou-se apenas de cinco parâmetros e para avaliar as variações espaciais, nove parâmetros foram necessários. Dessa forma, essas análises exploratórias de dados mostraram ser uma excelente ferramenta para entender as variações temporais e espaciais da qualidade da água.

Na pesquisa efetuada por Zhou, Liu & Guo (2007) a análise de cluster classificou os locais de monitoramento em três grupos, de acordo com similaridades de características de qualidade da água, e a análise discriminatória apresentou grande redução dos parâmetros para análises espaciais e temporais, os quais foram responsáveis pela maior parte das variações na qualidade da água. Sendo assim, foi possível observar que com os resultados da análise de cluster será possível diminuir frequência e o número de pontos de monitoramento, sendo escolhidos para os próximos monitoramentos apenas os grupos A, B e C, uma vez que os três grupos apresentaram semelhanças entre si e um menor número de parâmetros, sendo que a análise discriminatória permitiu uma redução na dimensionalidade dos dados apresentando

apenas os parâmetros mais significativos responsáveis pela maior parte das variações na qualidade da água

Assim, este estudo e os demais acima citados, demonstram que as análises estatísticas multivariadas são muito úteis para a interpretação dos conjuntos de dados que buscam analisar espacial e temporalmente as variações na qualidade da água, além de demonstrar quais são os parâmetros que mais influenciam na qualidade da água e quais os pontos que apresentam características semelhantes entre si.

2.6.2 *Impacto do escoamento superficial na qualidade da água*

Chui (1997) realizou um estudo para verificar as características do escoamento de águas de chuvas em duas bacias urbanas em Singapura, as quais possuem área de drenagem de 107 e 62 hectares. Dois pluviógrafos foram instalados para gravar a profundidade da chuva no intervalo de um minuto. Para a coleta das águas pluviais foi utilizado um amostrador sequencial que consegue capturar até 24 garrafas de 1 litro de amostras. As coletas foram feitas de quinze em quinze minutos durante cada evento de chuva e para cada intervalo foram coletadas três garrafas de 1 litro cada uma. Para avaliar os efeitos do *first flush* dos parâmetros de qualidade da água, traçou-se as curvas de poluição, em que a carga de poluição acumulada é plotada contra o volume do escoamento acumulado. Assim ele observou o efeito de *first flush* para os parâmetros sólidos suspensos totais, demanda química de oxigênio e óleos e graxas, pois estes parâmetros estavam acima da linha 1:1 nas curvas de poluição. Já a carga de sólidos dissolvidos totais foi razoavelmente constante ao longo da chuva, como pode-se observar na Figura 6, em que manteve a proximidade com a linha 1:1.

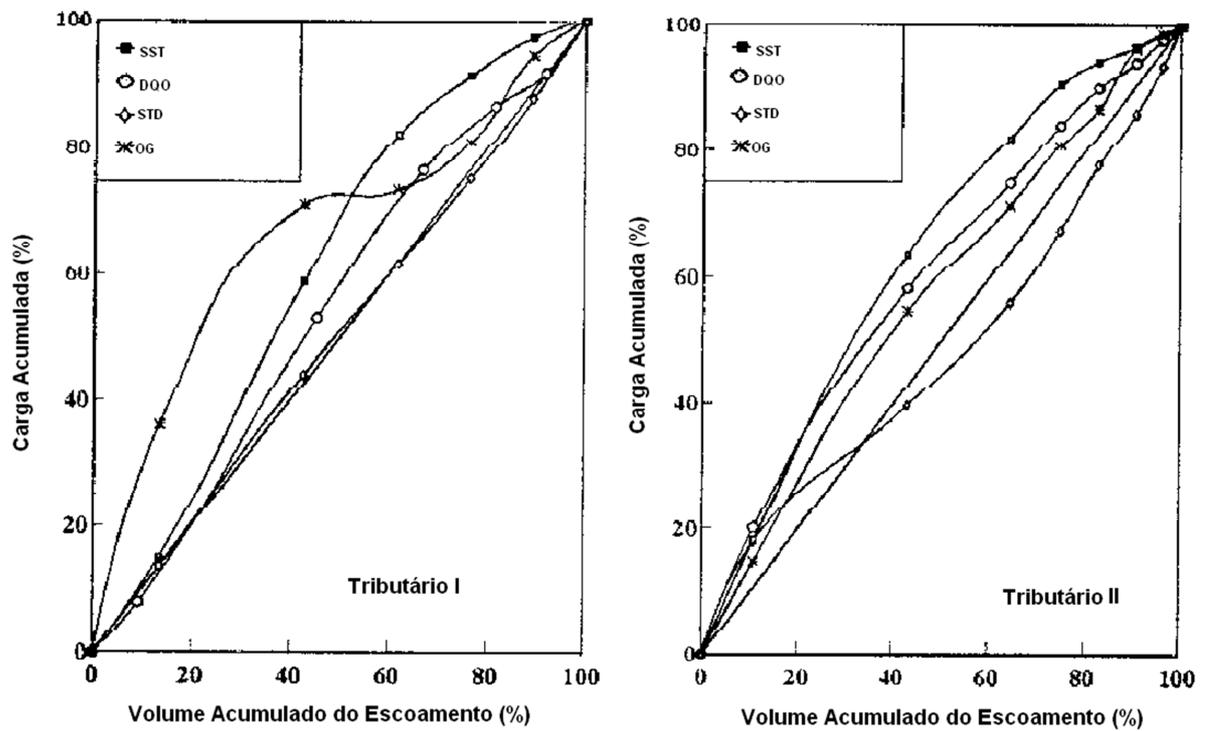


Figura 6 – Curvas acumulativas de poluição.
Fonte: Chui (1997)

Chui (1997) também avaliou o período de tempo seco antecedente, o qual se espera ter uma influência significativa na carga de poluentes no escoamento de águas pluviais. Para tanto, fez uma correlação entre concentrações de sólidos suspensos totais e demanda química de oxigênio com período seco antecedente, o qual pode se estabelecer essa relação de maior concentração com maior tempo sem chuvas (Figura 7). Fez também uma correlação entre a carga de sólidos suspensos totais e demanda química de oxigênio com o período seco antecedente, em que nenhuma relação distinta foi observada entre a carga desses parâmetros com as condições antecedentes, uma vez que a maior carga foi observada em dias próximos aos dias chuvosos, como ilustra a Figura 8. Portanto, o autor afirma que as cargas de poluição são mais estreitamente relacionadas com as características da chuva e não pelo período de tempo seco antecedente. Sendo assim, a carga de poluição é fortemente dependente do volume total precipitado.

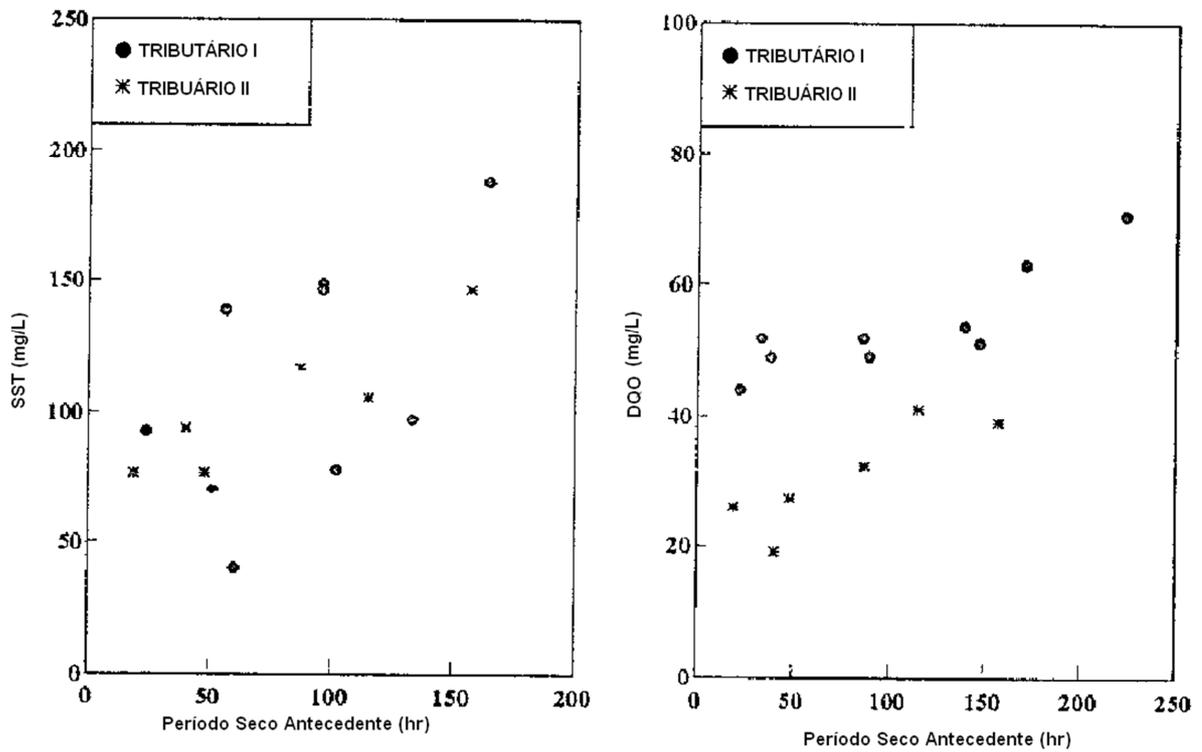


Figura 7 – Relações entre concentrações de sólidos suspensos totais e demanda química de oxigênio com período de tempo seco antecedente.
 Fonte: Chui (1997).

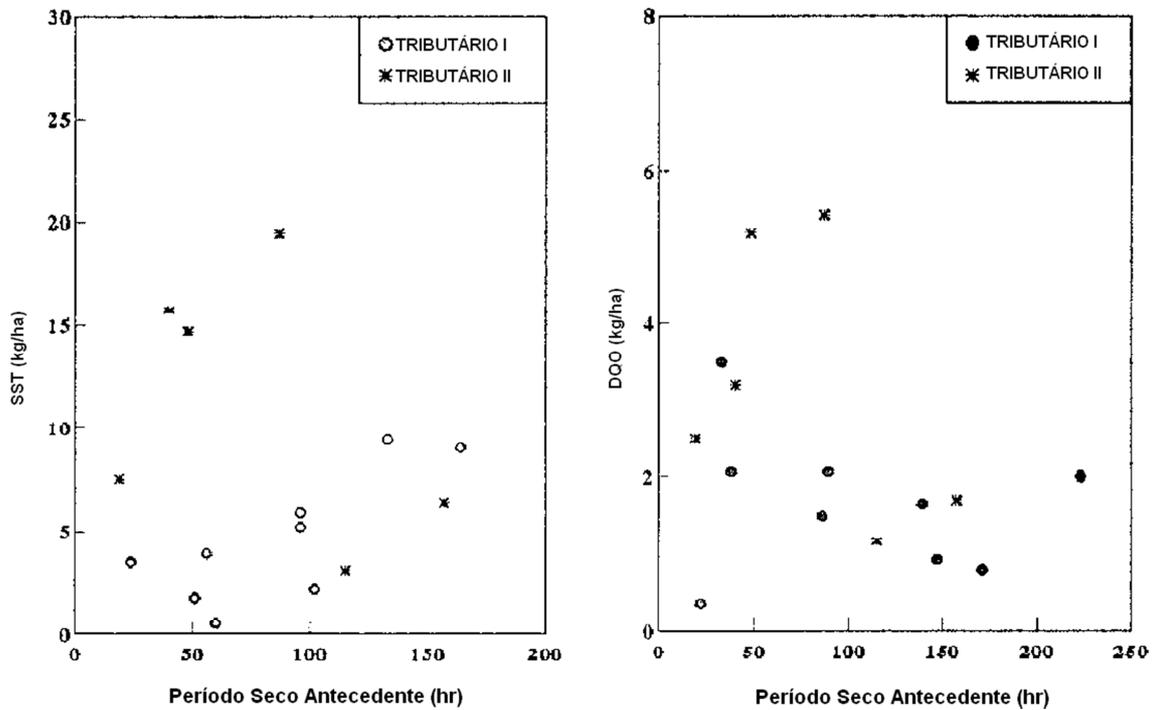


Figura 8 - Relações entre carga de sólidos suspensos totais e demanda química de oxigênio com período de tempo seco antecedente.
 Fonte: Chui (1997).

Rasmussen (1998) realizou um estudo em uma bacia em Fort Leavenworth, Kansas, nos Estados Unidos em que observou que a concentração média de sólidos suspensos em eventos de chuvas fortes foram 24 vezes maior do que a amostragem realizada em períodos de baixa vazão para uma bacia que continha construções sendo realizadas no local. Isso representa que mais de 70% da média da carga anual de sólidos em suspensão foram contribuídos em eventos de chuvas fortes. No geral, o escoamento da água de chuva contribuiu com mais da metade da média anual da produção de demanda química de oxigênio, sólidos em suspensão e a maioria dos nutrientes. Essa alta produção está provavelmente relacionada com a erosão dos solos expostos nos canteiros de obras em uma bacia hidrográfica. Já a baixa concentração em outra bacia, provavelmente está relacionada aos efeitos da bacia de retenção situadas nos lagos a montante do local de amostragem.

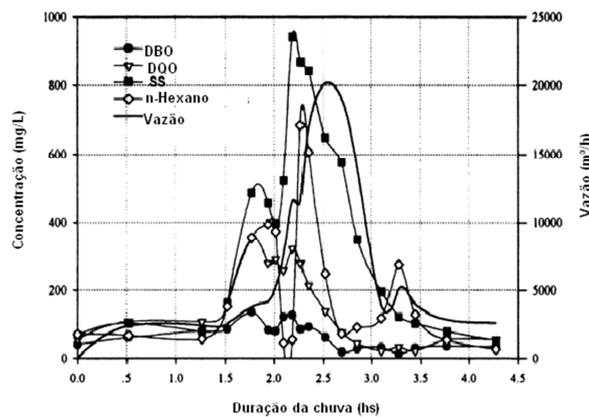
Lee & Bang (2000) realizaram um estudo de caracterização do escoamento de águas pluviais urbanas em nove bacias nas cidades de Taejon e Chongju, na Coreia, as quais foram classificadas em três categorias de uso do solo: “residenciais”, “subdesenvolvidas” e “industriais”. As bacias “residenciais” denominadas por BBW, YMN e MSW, possuem área de drenagem de 74.4, 230, e 86.5 hectares, respectivamente. As bacias “subdesenvolvidas” denominadas por GYM e YJM, apresentam área de drenagem de 557.9 e 348 hectares, respectivamente. As bacias “industriais”, CICW-1, CICW-2, CICW-3 e CICW-4, possuem áreas de drenagem de 650, 10.5, 6 e 1.5 hectares, respectivamente. Foram apresentados polutogramas e hidrogramas de duas bacias em dois eventos de chuvas diferentes. A Figura 9 (a) e 9 (b) ilustram dados coletados na bacia que possui uma alta densidade residencial, em que a concentração de sólidos suspensos, extratos de n-Hexano e demanda química de oxigênio aumentou significativamente com o aumento do escoamento. A Figura 9 (c) e 9 (d) apresentam dados coletados em uma bacia com tipo de ocupação industrial, em que a concentração de demanda química de oxigênio, sólidos suspensos e extratos de n-Hexano também aumentaram significativamente. Analisando o hidrograma e o polutograma, pode-se notar que o pico da concentração dos poluentes ocorreu antes do pico da vazão em uma bacia com uma área menor que 100 hectares a qual possui uma área impermeável maior que 80%. No entanto, o pico do poluente foi seguido pelo pico da vazão em uma área maior que 100 hectares a qual a área impermeável é menor que 50%.

Ainda de acordo com Lee & Bang (2000), as concentrações de poluentes de bacias “residenciais” são maiores do que as bacias “industriais”, como pode se observar na Tabela 2.

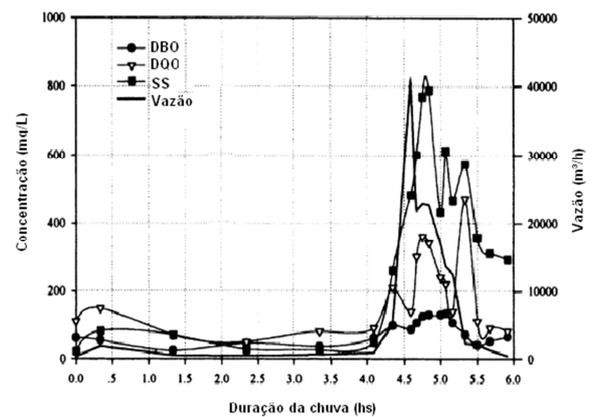
Tabela 2 - Resumo da qualidade de água

Parâmetros	Bacias residenciais		Bacias Industriais	
	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo
Demanda Bioquímica de Oxigênio (mg/L ⁻¹ O ₂)	12	254	6	324
Demanda Química de Oxigênio (mg/L ⁻¹ O ₂)	21	1455	10	810
Sólidos Suspensos (mg/L ⁻¹)	13	2796	3	530
Nitrato (mg/L ⁻¹)	0,01	4,31	0,01	5,43
Nitrogênio kjeldahl total (mg/L ⁻¹)	0,1	35,2	0,04	47,2
Fosfato (mg/L ⁻¹)	0,89	21,05	0,09	7,02
Fósforo Total (mg/L ⁻¹)	2,4	22,4	0,01	10,1
Extratos n-Hexano	2,0	1965	1,0	825,8
Chumbo (mg/L ⁻¹)	0,002	0,89	0,004	0,891
Ferro (mg/L ⁻¹)	0,1	22,9	-	-

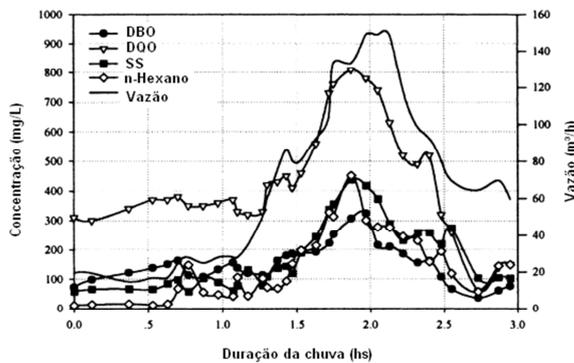
Fonte: Adaptado de Lee & Bang (2000)



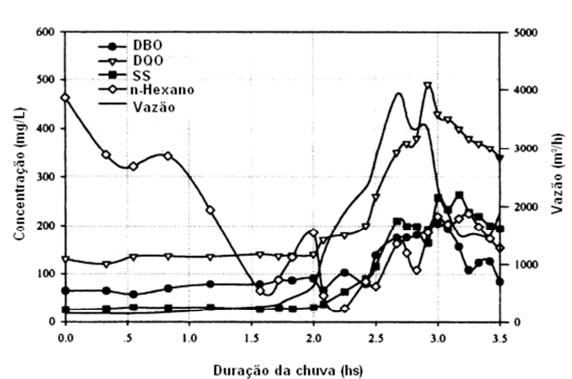
(a) MSW, 15 de Julho, 1996
(Chuva 33,1 mm, Duração 8.5 hs)



(b) GYW, 29 de Junho, 1996
(Chuva 7,0 mm, Duração 8 hs)



(c) CICW-3, 11 de Julho, 1997
(Chuva 28,1 mm, Duração 7.8 hs)



(d) CICW-1, 11 de Julho, 1997
(Chuva 28,1 mm, Duração 7.8 hs)

Figura 9 – Polutogramas e Hidrogramas de bacias hidrográficas residenciais e industriais.
Fonte: LEE & BANG (2000).

No estudo realizado por Lee & Bang (2000), os parâmetros demanda química de oxigênio, sólidos suspensos, nitrato, extratos de n-Hexano e chumbo foram utilizados para analisar o fenômeno de *first flush*, devido ao fato de extratos de n-Hexano e sólidos suspensos se comportarem como partículas, ortofosfato, nitrato e chumbo se apresentarem principalmente no estado dissolvido e a demanda química de oxigênio por representar características típicas de escoamento de águas pluviais urbanas. Como resultado observou-se um forte fenômeno de *first flush* para as bacias industriais e urbanas, para os parâmetros demanda química de oxigênio, extratos de n-Hexano e ortofosfato. Já para nitrato, exceto na estação CICW-3 Figura 10 (c), e chumbo mostraram um fraco fenômeno de *first flush*. O parâmetro que evidenciou a maior força do efeito foi demanda química de oxigênio e o menor

foi o chumbo. Segundo o mesmo autor, o *first flush* ocorre fortemente se a área da bacia for menor e a intensidade da chuva for maior.

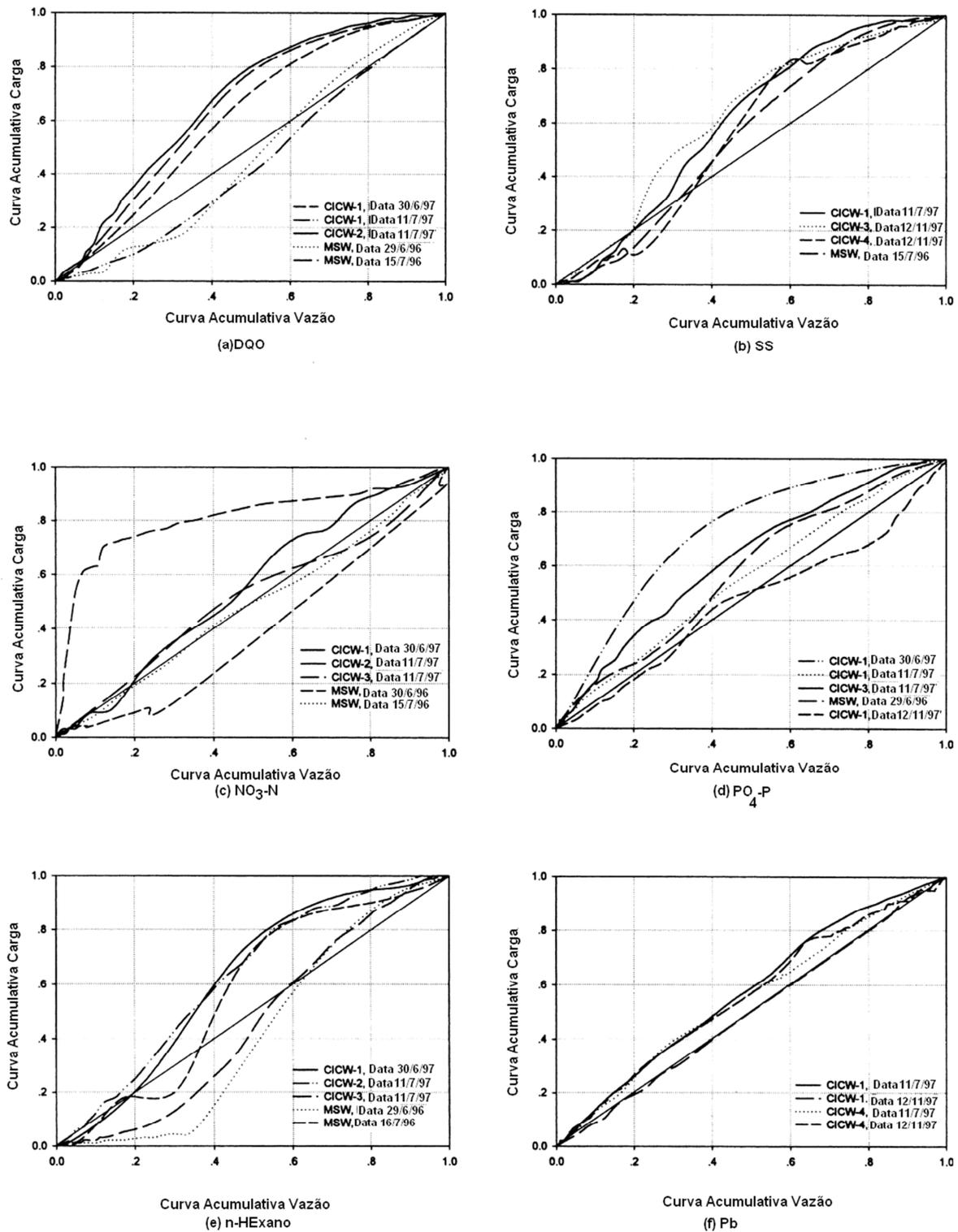


Figura 10 - Curvas Acumulativas Adimensionais para os eventos de chuvas selecionados. Fonte: LEE & BANG (2000).

Brezonik & Stadelmann (2002) analisaram o volume, a carga e a concentração dos poluentes do escoamento de águas pluviais de bacias hidrográficas na área metropolitana de Twin Cities em Minnesota nos Estados Unidos, onde pôde observar que a Concentração Média de Evento (CME) dos poluentes foi positivamente correlacionada com os dias secos antecedentes ao evento, demonstrando que os poluentes se acumulam durante os períodos secos. A maioria dos constituintes analisados foi inversamente correlacionada com a duração da chuva, o que sugere que as tempestades de longa duração geram escoamento mais diluído. O volume precipitado, a intensidade da chuva e área de drenagem foram os parâmetros mais importantes para prever cargas de eventos. A duração das chuvas e os dias antecedentes secos foram as variáveis mais significantes da concentração média de evento.

Silva *et al.* (2011) realizou um estudo para avaliar a qualidade do escoamento pluvial na Bacia Hidrográfica Cabaça, na cidade de Campo Grande-MS, que apresenta uma área de 2,53 km², sendo 63% de área impermeável e 37% de área permeável. Neste estudo observaram que não houve nenhuma relação do aumento de concentração dos constituintes devido ao tempo seco antecedente aumentado e em decorrência deste fato, da concentração e carga não serem função das condições antecedentes, a carga de poluição pode estar mais relacionada com as características das chuvas. Neste mesmo trabalho foram analisados os fenômenos de *first flush* por meio de curvas acumulativas adimensionais, em que são plotadas as frações da massa total de poluentes versus a fração do volume total escoado e por meio também da sobreposição de polutogramas sobre o hidrograma, onde o fenômeno de *first flush* fica evidenciado quando o pico do polutograma ocorre antes do pico do hidrograma, e que ao contrário, evidencia uma diluição. Assim, foi possível observar nas curvas acumulativas adimensionais (Figura 11) que ocorreu *first flush* para nitrogênio total, demanda química de oxigênio, demanda bioquímica de oxigênio e óleos e graxas, sendo que para sólidos suspensos totais foi evidenciada uma diluição, pois este estava muito próximo ou abaixo da linha 1:1. Observando a sobreposição do polutograma sobre o hidrograma, o fenômeno pode também ser percebido para demanda bioquímica de oxigênio e óleos e graxas, e novamente ocorrendo uma diluição para sólidos suspensos totais (Figura 12).

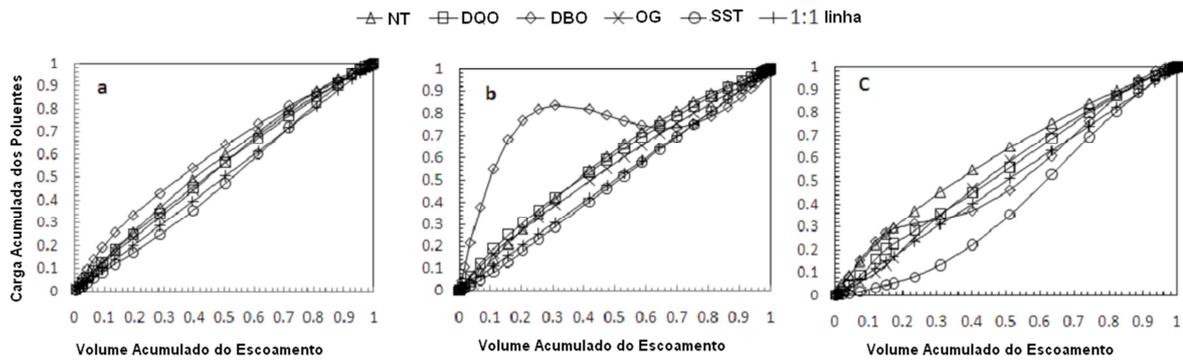


Figura 11 - Curvas acumulativas adimensionais.
Fonte: Silva *et al.* (2011)

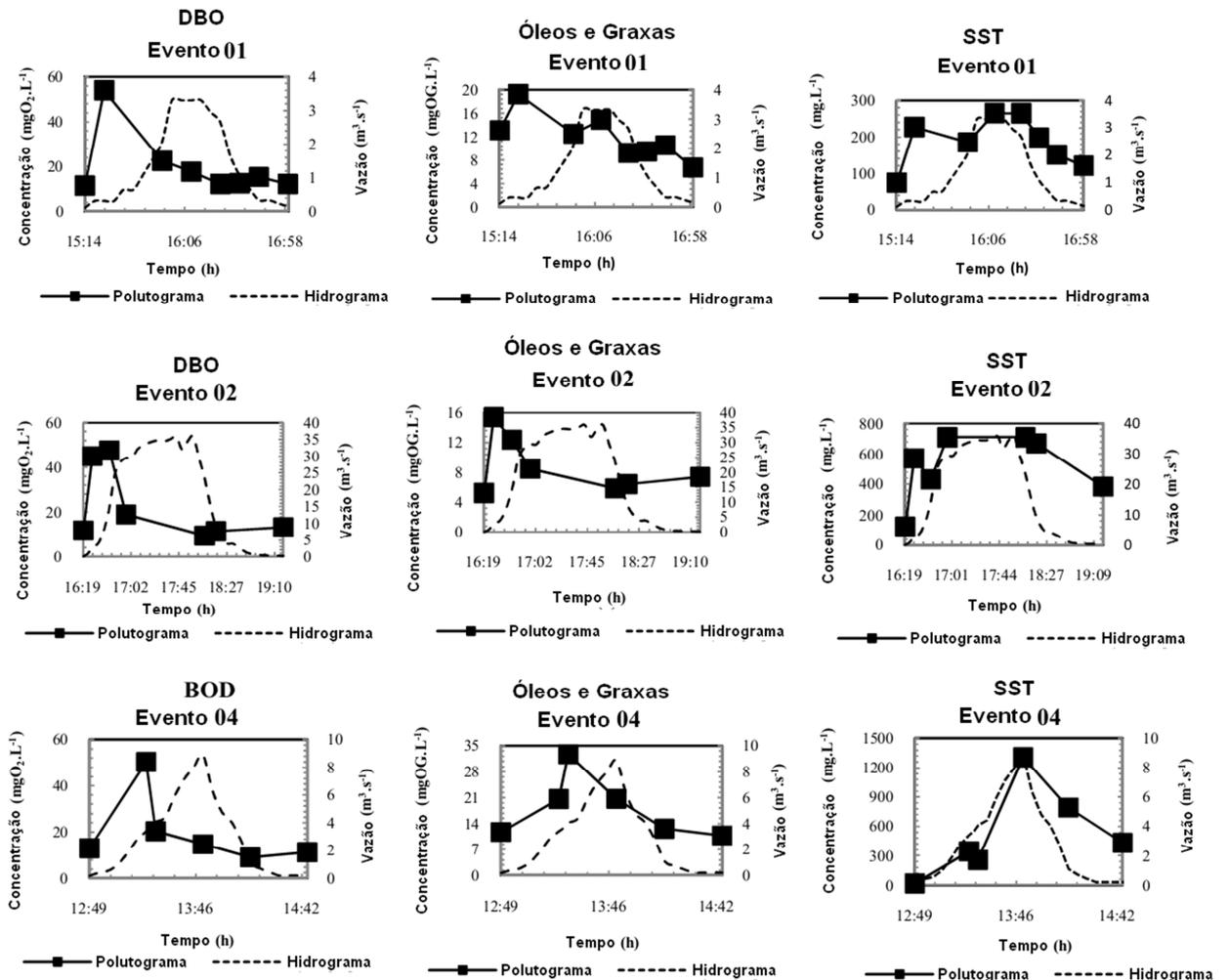


Figura 12 - Polutogramas e Hidrogramas dos eventos para DBO₅, Óleos e Graxas e SST.
Fonte: Silva *et al.* (2011)

Lee *et al.* (2011) realizaram um estudo para verificar a concentração média de evento do escoamento da água de chuva em uma estrada urbana localizada na Província de

Gangwon-do na Coréia do Sul, em que observaram que para sólidos suspensos e demanda química de oxigênio, o pico da concentração para quatro eventos de chuva monitorados aconteceram 20 minutos após o escoamento ter iniciado, como ilustra a Figura 13. Segundo os autores, o fenômeno de *first flush* depende da intensidade da chuva, em que no estudo apresentado foram de 3, 5.7, 2.1 e 1.88 m³/h.

Ainda de acordo com Lee *et al.* (2011), para hidrocarbonetos totais, fósforo total, nitrogênio kjeldahl total, nitrato e ortofosfato foi observado um comportamento semelhante ao de sólidos suspensos totais e demanda química de oxigênio, em que o *first flush* ocorreu após 20 minutos o escoamento ter início (Figura 14). As concentrações foram relacionadas com os dias secos antecedentes.

A Tabela 3 apresenta as faixas de concentrações dos parâmetros em quatro eventos de chuvas monitorados.

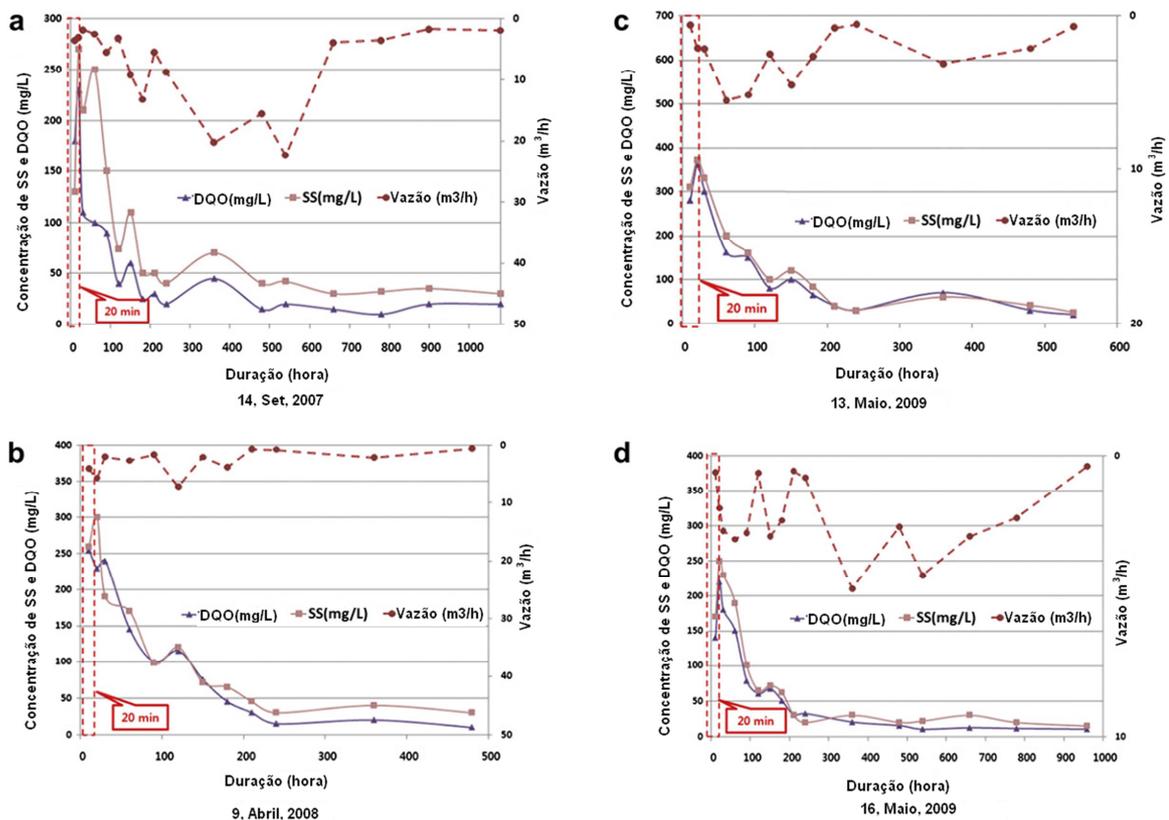


Figura 13 – Polutogramas e Hidrogramas de SS e DQO para os quatro eventos de chuva monitorados.

Fonte: Lee *et al.* (2011)

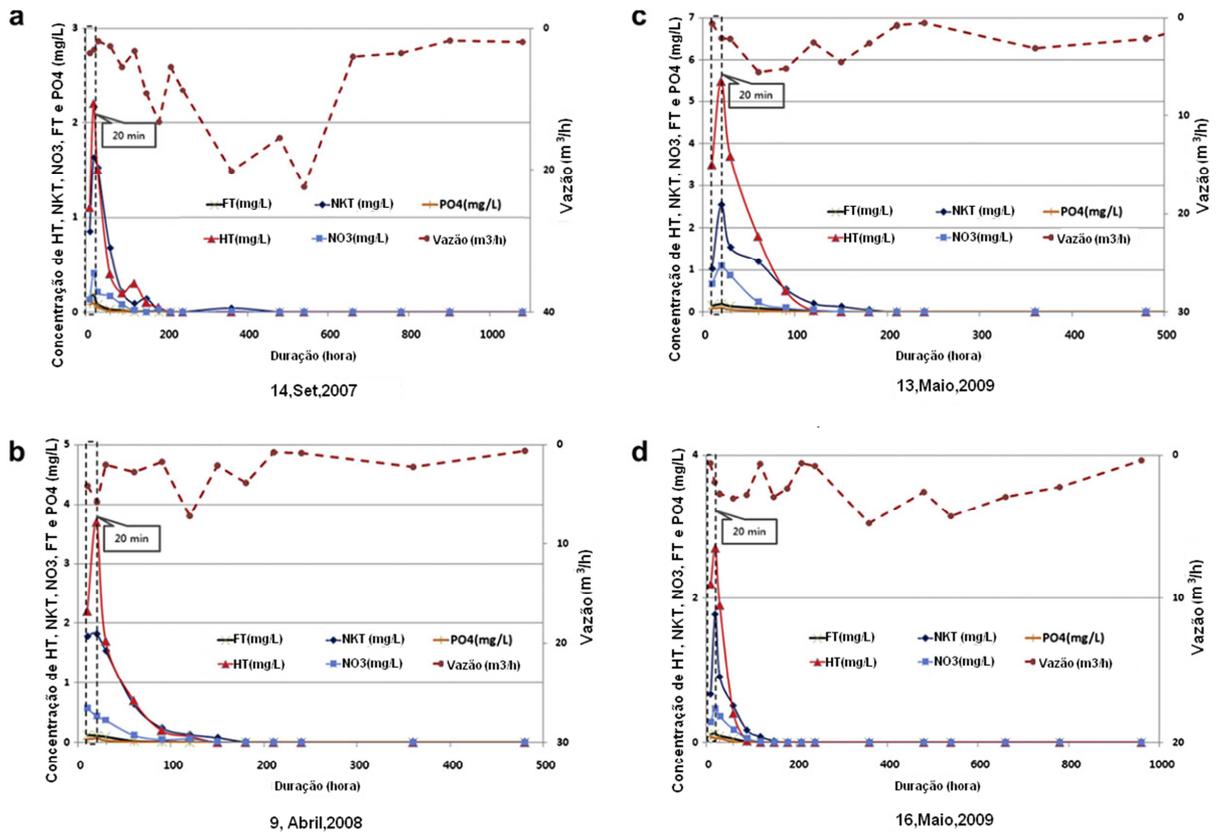


Figura 14 - Polutogramas e Hidrogramas de FT, NKT, PO₄, HT e NO₃ para os quatro eventos de chuva monitorados.
Fonte: Lee et al. (2011)

Tabela 3 - Faixa de concentrações dos parâmetros para quatro eventos de chuvas monitorados.

Parâmetros	Eventos			
	14 Set. 2007	9 Abril 2008	13 Março 2009	16 Maio 2009
Sólidos Suspensos (mg/L ⁻¹)	30-250	30-300	25-370	15-250
Demanda Química de Oxigênio (mg/L ⁻¹ O ₂)	20-230	10-255	20-360	10-200
Nitrogênio kjeldahl total (mg/L ⁻¹)	0-1,63	0-1,82	0-2,54	0-1,78
Nitrato (mg/L ⁻¹)	0-0,41	0-0,57	0-1,1	0-0,47
Fósforo total (mg/L ⁻¹)	0-0,18	0-0,12	0-0,19	0-0,12
Ortofosfato (mg/L ⁻¹)	0-0,09	0-0,07	0-0,09	0-0,08
Hidrocarbonetos totais (mg/L ⁻¹)	0-2,2	0-3,7	0-5,5	0-2,7

Fonte: Lee et al. (2011)

Hathaway & Hunt (2011) realizaram um estudo em uma bacia hidrográfica de 5.1 hectares em Raleigh, capital do estado americano da Carolina do Norte, para avaliar se o fenômeno de *first flush* estava presente para bactérias indicadoras de contaminação fecal e sólidos suspensos totais em escoamento de águas pluviais. Os resultados apresentaram o fenômeno de *first flush* para sólidos suspensos totais e um fraco efeito para bactérias indicadoras. Além disso, foi observada uma fraca correlação entre o *first flush* com os dias secos antecedentes e com as características de chuva e vazão. A partir deste estudo foi possível concluir que o escoamento de águas pluviais apresenta um risco potencial à saúde pública devido ao elevado nível de bactérias indicadoras presentes em todos os eventos de chuva.

Zhang *et al.* (2011) realizaram um estudo para avaliar o escoamento em galerias de águas pluviais a partir de várias bacias hidrográficas urbanas. Os dados revelaram que valores de demanda química de oxigênio, sólidos suspensos totais, nitrogênio total, fósforo total e amônia estavam acima dos limites de Classe V dos padrões de qualidade de água do Ministério de Proteção Ambiental da República Popular da China. Nesta pesquisa foram instaladas três estações de monitoramento automáticas nas saídas das três bacias hidrográficas estudadas, em que estas foram calibradas para coletar 500 mL de amostras em intervalos de 1-10 minutos nos primeiros 60 minutos de chuva e depois, em um intervalo de 20-30 minutos até o fim da precipitação. Foram também instalados pluviógrafos.

Na pesquisa realizada por Zhang *et al.* (2011) foi observado o efeito de *first flush* para demanda química de oxigênio, sólidos suspensos totais, nitrogênio total e fósforo total para duas bacias em questão (A e B). Porém na bacia denominada de C, esse efeito não pode ser percebido devido à influência de sedimentos de esgoto, característica de captação e ao sistema de esgoto no local. Portanto, concluíram que o *first flush* é mais pronunciado em bacias de pequeno porte.

2.6.2.1 Considerações

Com base nos trabalhos citados, percebe-se que há grandes diferenças entre as pesquisas realizadas. Foi possível observar que alguns autores (Brezonik & Stadelmann, 2002 & Lee *et al.*, 2011) notaram que o tempo seco antecedente foi um grande influenciador do aumento da concentração de alguns parâmetros. Já outros (Chui, 1997 e Silva *et al.*, 2011) afirmam que a concentração não depende do tempo seco antecedente, mas sim das características da chuva como volume precipitado, duração das chuvas, dentre outros.

Outro fator que cabe ser aqui citado é a presença do *first flush* para alguns parâmetros, que nos trabalhos de Chui (1997), Hathaway & Hunt (2011) e Zhang *et al* (2011) citam que esse fenômeno pode ser percebido para sólidos suspensos totais e demanda química de oxigênio. Já na pesquisa realizada por Silva *et al* (2011) para sólidos suspensos totais foi evidenciado uma diluição. Segundo Lee & Bang (2000) e Zhang *et al.* (2011) o fenômeno de *first flush* pode ser percebido, em grande parte, nas bacias de menor porte. Porém, em todos os trabalhos pesquisados, o que se pode perceber é que o escoamento de águas pluviais urbanas tem afetado substancialmente a qualidade das águas superficiais. Sendo assim, mais uma vez, destaca-se a importância de conhecer e analisar o escoamento de águas pluviais, para verificar seu efeito poluidor e assim criar medidas de controle e gerenciamento deste, a fim de se evitar a degradação dos corpos hídricos.

3 MATERIAL E MÉTODOS

A pesquisa foi efetuada em três fases: etapa de campo (determinação dos locais de amostragem, instalação de equipamentos, aferições *in situ* e coleta de amostras), de laboratório (análises das amostras de água) e etapa da escrita da pesquisa (interpretação e tratamento dos dados, busca por referenciais teóricos etc.).

3.1 ÁREA DE ESTUDO

A Bacia Hidrográfica do Córrego Botafogo (BHCB) localiza-se na cidade de Goiânia, no estado de Goiás, que era inicialmente uma cidade planejada para 15 mil habitantes, com capacidade de suporte para no máximo 50 mil habitantes de acordo com Daher (2009), teve um crescimento acelerado e desorganizado. Segundo dados do IBGE (2010), o último censo contou uma população de 1.302.001 habitantes, o que coloca a cidade como a segunda maior do Centro - Oeste, com um crescimento de aproximadamente 16 % nos últimos dez anos, possuindo uma população residente predominantemente urbana de 99,62%, sendo a população residente rural de 0,38%.

Apesar de ser uma cidade relativamente nova, com 79 anos, Goiânia já enfrenta graves problemas relacionados à antropização de seus fundos de vale, em que suas áreas de preservação permanente foram bastante degradadas (NAVES *et al.*, 2004).

A cidade de Goiânia está situada na latitude 16°41'sul na longitude 49°17'oeste, com predominância de clima tropical úmido sendo dividido em duas estações: chuvosa, com 5 meses (novembro a março) com precipitações em média de 200 mm e seca, sendo 3 meses (sem precipitações – junho a agosto e 2 meses com pouca chuva – maio e setembro). Há os meses de transições entre os períodos de chuva e seca (abril) e de seca a chuvoso (outubro). Essas estações são decorrentes de duas características principais: a continentalidade, uma vez que se encontra distante do litoral, sendo sua altitude na faixa de 700 metros; e a regularidade do processo cíclico de deslocamentos de massas de ar, o qual determina padrões de ventos com predominância de direções evidentes, sendo assim estabelecendo as estações distintas (FERNANDES, 2007).

A temperatura média anual é em torno de 23,87°C, devido à influência da altitude. Os registros mais baixos de temperatura se dão nos meses de maio a agosto. No mês de setembro, que se dá início à primavera, é considerado o período mais quente. A precipitação

pluviométrica média anual é de 1487,2 mm, variando de 7 mm no mês de julho a 268 mm em dezembro (PREFEITURA DE GOIÂNIA, 2013 e CLIMATEMPO, 2013). A Figura 15 ilustra a temperatura mínima e máxima e a precipitação média anual em Goiânia, calculadas a partir de uma série de 30 anos de dados observados. A Figura 16 apresenta as normais climatológicas de precipitação e temperatura média de Goiânia no período de 1961 a 1990.

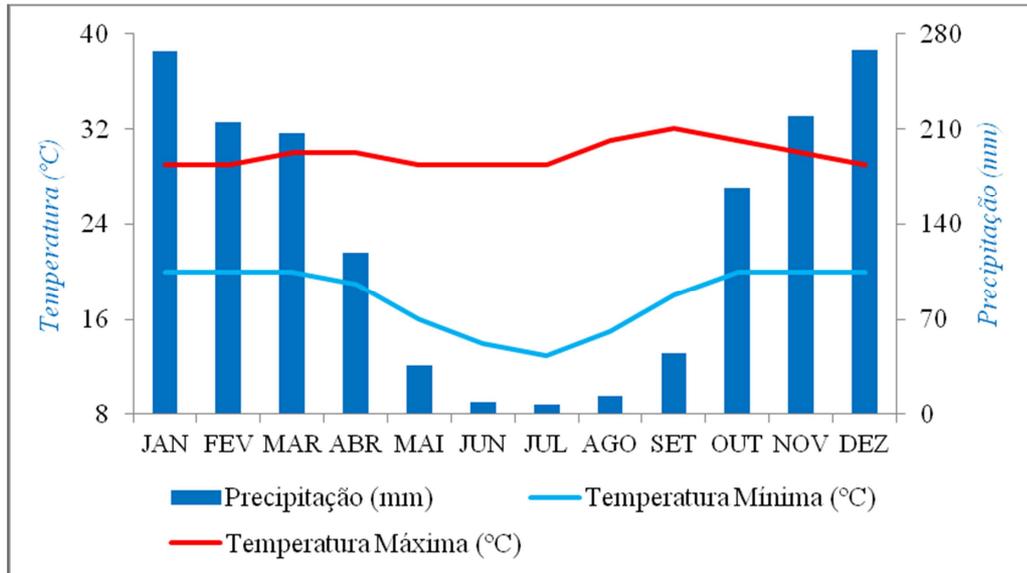


Figura 15 – Temperatura mínima e máxima e precipitação em Goiânia.
Fonte: Adaptado de CLIMATEMPO (2013)

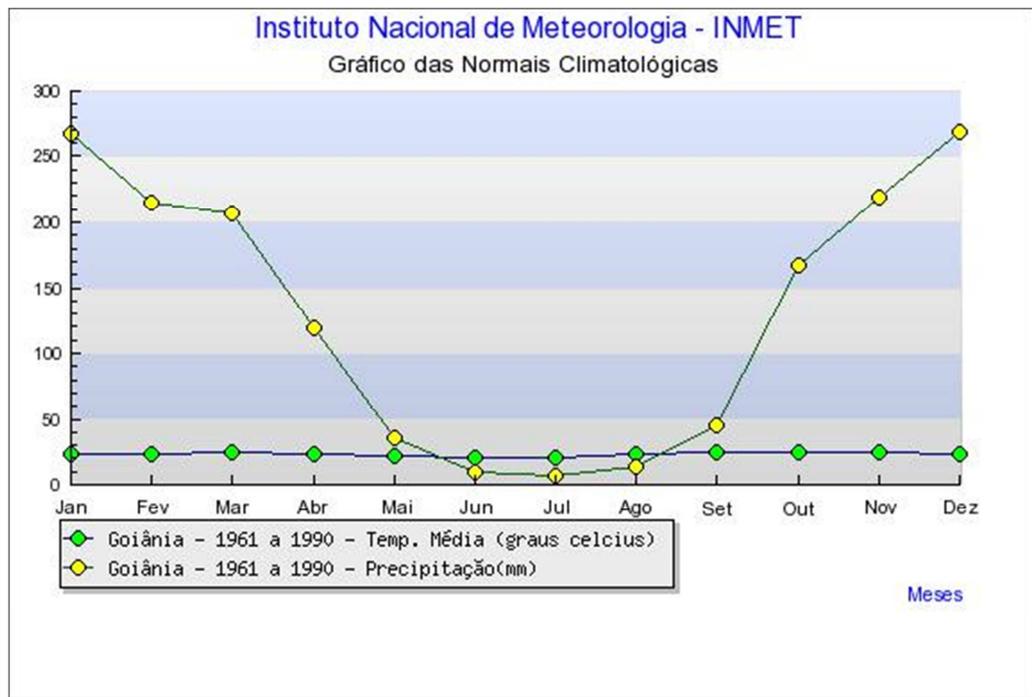


Figura 16 – Gráfico das Normais Climatológicas Temperatura Média e Precipitação de 1961 a 1990.

Fonte: INMET (2013)

O município de Goiânia está dividido em Macrozonas: Área urbana que constitui uma Macrozona Construída e Área Rural que compreende a Macrozona Rural do Barreiro, do Lajeado, do João Leite, do Capivara, do São Domingos do Alto Anicuns e do Alto Dourados (IDTCO, 2008).

O estudo foi realizado no Córrego Botafogo, localizado em uma área muito adensada da cidade de Goiânia, no Estado de Goiás, situado na Macrozona Construída (Figura 17). Esta pode ser dividida em dois compartimentos geológicos distintos, formados pelo Rio Meia Ponte e Ribeirão Anicuns: um compartimento a norte, onde há o predomínio de rochas metamórficas de alto grau e um compartimento a sul, com preponderância de rochas metamórficas de baixo a médio grau. Quanto à pedologia, os tipos mais frequentes são os latossolos avermelhados e os de natureza areno-argiloso vermelhos amarelados, de granulometria fina, areno-argilosos, localmente com os horizontes bem desenvolvidos. (IDTCO, 2008).

O Córrego Botafogo pertence à bacia do Rio Meia Ponte, afluente do Rio Paranaíba. Este possui uma nascente no bosque Municipal Jardim Botânico e outra no Parque Areião, percorre 10,2 km até o exutório. Possui uma área de aproximadamente 20 km² e percorre 29 bairros (SILVA & ARAÚJO, 2013), Figura 18.

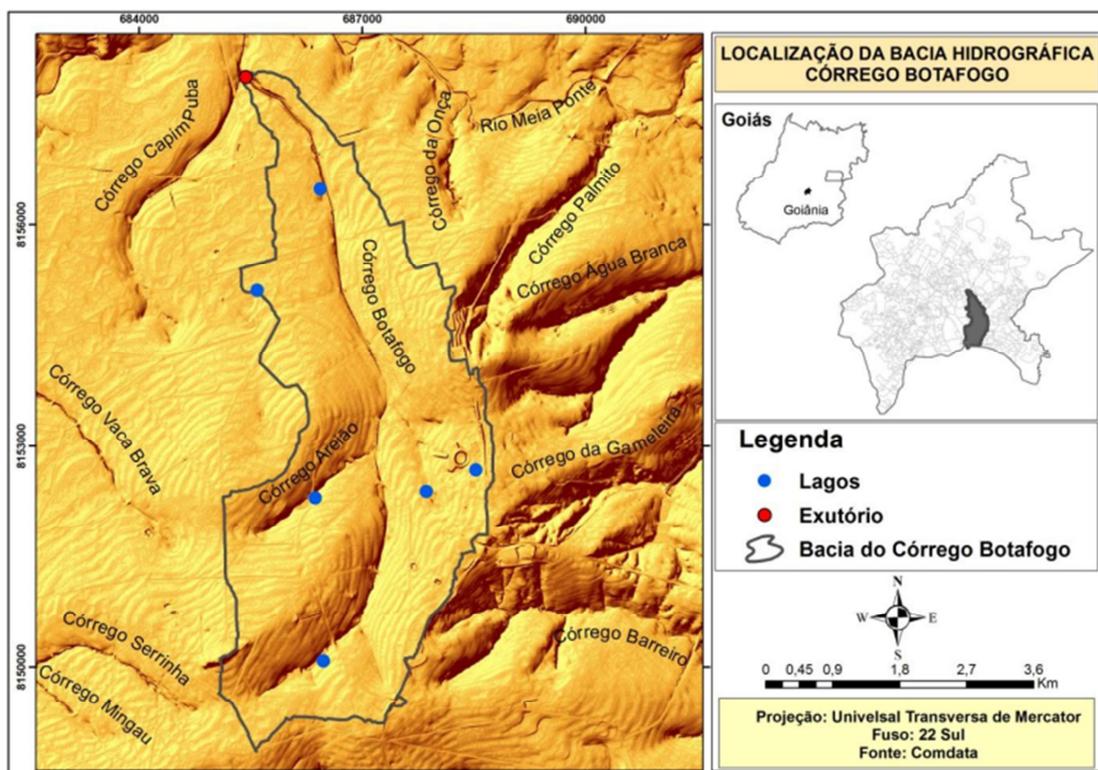


Figura 17 – Mapa de localização da bacia do Córrego Botafogo.
Fonte: Silva e Araújo, 2013

3.1.1 *Uso e Ocupação do solo nas margens do Córrego Botafogo*

As nascentes dos principais córregos de Goiânia encontram-se desprotegidas e estas sofrem principalmente devido ao lançamento de resíduos, desmatamentos e ocupações irregulares, que acarretam na impermeabilização do solo.

O Córrego Botafogo possui suas nascentes, que são compostas por três lagos situados no Jardim Botânico, ainda protegidas pela vegetação, porém logo abaixo segue canalizado, que de acordo com Silva & Araújo (2013), representa 58,8% de sua extensão.

No Jardim Botânico, onde se localiza a nascente do Córrego Botafogo, há anos vem sofrendo com habitações irregulares à suas margens e conseqüentemente vem sofrendo os impactos decorrentes desse tipo de moradia ilegal. Além disso, foi feita a pavimentação de uma Área de Preservação Permanente (APP) para a construção de uma via de trânsito. Para a construção da Marginal Botafogo foi utilizado material impermeabilizante, o que agrava as condições ambientais, uma vez que esse tipo de material aumenta o escoamento superficial, impede a infiltração da água no solo, aumenta as ilhas de calor, prejudica a qualidade da água, dentre outros (ARAÚJO & PASQUALETTO, 2008).

Segundo Araújo & Silva (2013) a impermeabilização do solo do Córrego Botafogo representa 68,2% da área total da bacia, sendo que a vegetação remanescente (áreas permeáveis) somadas corresponde a 31,2% (Figura 19). Essa área apresenta ainda problemas decorrentes do mau uso do solo e dos recursos hídricos como, por exemplo, pontos de alagamento que foram identificados pelo Zoneamento Ecológico de Goiânia.

As matas ciliares às margens do Córrego Botafogo sofreram devidos aos impactos da urbanização por meio de ocupações irregulares, impermeabilização, compactação, erosão e poluição do solo, acúmulo de entulhos e outros tipos de resíduos sólidos, presença de animais domésticos e desmatamento, que superaram seus limites de resiliência (NAVES *et al.*, 2004).

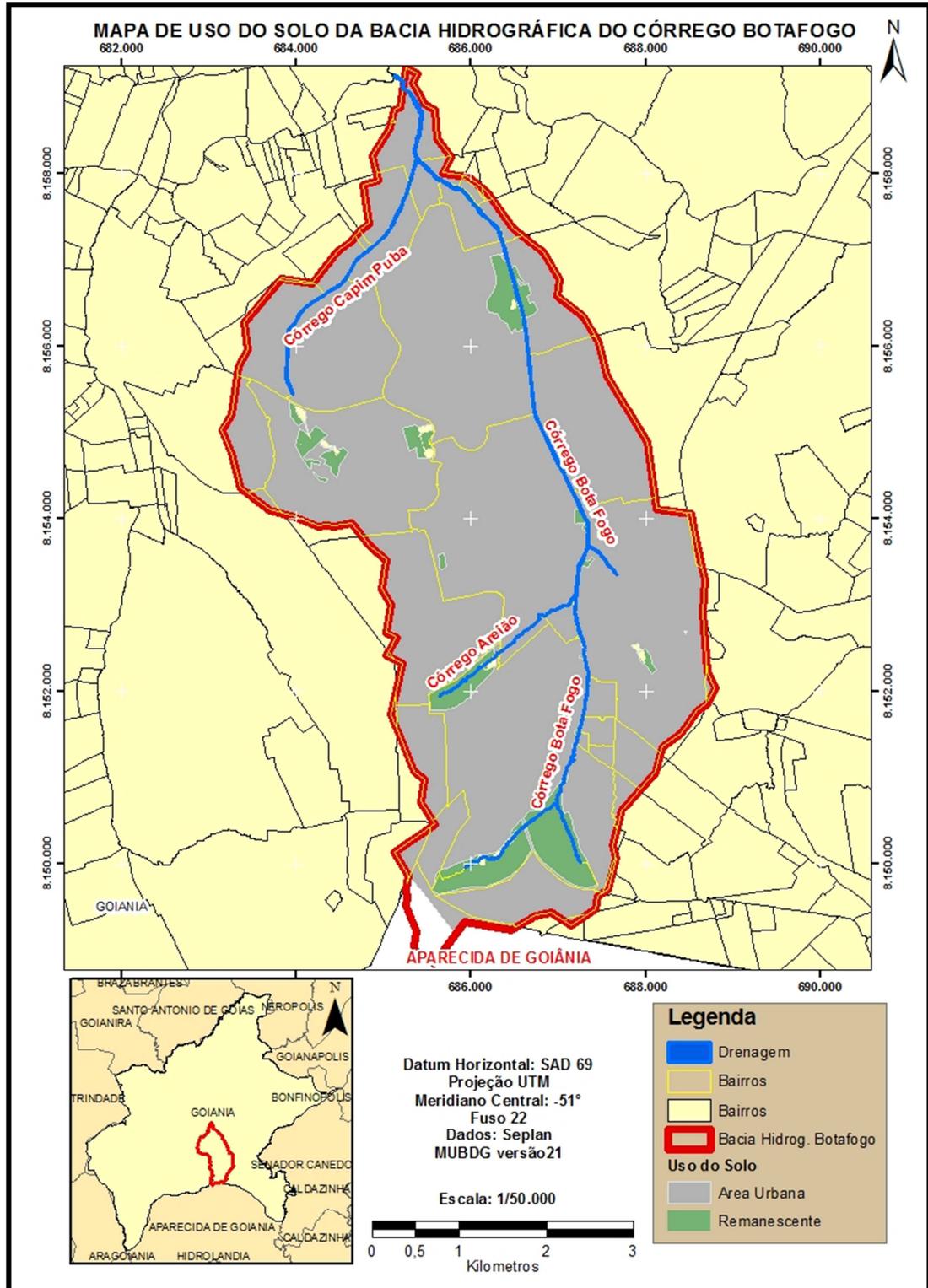


Figura 19 – Mapa de uso e ocupação do solo do Córrego Botafogo

3.2 AMOSTRAGEM E ANÁLISE

A coleta de dados teve início em agosto de 2011 e se encerrou em abril de 2013, compreendendo o período de estiagem da região, concentradas nos meses de maio a setembro e o período chuvoso, que abrange os meses de outubro a abril.

A medição foi realizada de duas formas, visando obter dados nos períodos de seca e cheia. O período de seca, também denominado na presente pesquisa de monitoramento sazonal, corresponde às coletas efetuadas nos meses considerados de estiagem e também em alguns meses correspondentes ao período chuvoso, porém nesses, as coletas foram realizadas em momentos que não estava chovendo. Já o monitoramento considerado como período de chuvas, as coletas foram realizadas durante a precipitação. Portanto, para a amostragem realizada no período seco, as alíquotas de água foram coletadas mensalmente em 8 pontos de coleta, o qual busca retratar uma avaliação espacial e temporal do Córrego Botafogo, pois o percorre desde sua nascente até a foz, sendo avaliado em diferentes tempos (meses). Um dos pontos monitorados no período de seca, o ponto 7, corresponde a um tributário do Córrego Botafogo, o Córrego Capim Puba. Esse ponto foi escolhido para verificar se interfere na qualidade do Córrego Botafogo. Já para a medição realizada no período chuvoso, apenas uma estação amostral foi escolhida (Ponto 4), a fim de obter uma análise temporal do córrego. Neste período hidrológico considerado, os dados foram coletados durante a ascensão e recessão do hidrograma.

A qualidade da água foi avaliada pontualmente por meio da sonda multiparamétrica YSI 6600 V2-2 (Figura 20) que realiza análises *in situ* de oxigênio dissolvido, turbidez, condutividade elétrica, pH, amônia, temperatura e profundidade em que o intervalo de tempo entre as coletas pode ser ajustado e que são necessárias calibrações dos parâmetros, realizadas antes de cada monitoramento. Na pesquisa em questão, para as coletas realizadas no período de seca, a sonda foi regulada para realizar leitura de 15 em 15 segundos durante 10 minutos. Para efetuar o monitoramento no período de estiagem, era necessário colocar escada e descer até o local onde continha água, uma vez que a lâmina de água nesse período era pequena. Assim, era necessário posicionar a sonda de forma que pudesse cobrir todos os sensores da mesma. Já para as coletas durante o período de cheia, a sonda foi programada para uma leitura de 30 em 30 segundos do início ao fim das chuvas, o qual varia de um evento para outro. Nesse período, como a velocidade da água é muito alta, para evitar que a sonda sofresse impactos ou até mesmo que ela se perdesse, foi instalada uma estrutura

em PVC no gabião para proteger a sonda, sendo que essa estrutura possuía vários furos, para que a água pudesse passar durante os eventos chuvosos.



Figura 20 - Sonda multiparamétrica YSI 6600 V2-2

As demais análises, coliformes (totais e termotolerantes), demanda bioquímica de oxigênio (DBO_5), demanda química de oxigênio (DQO), cor e série de sólidos (totais, suspensos e dissolvidos), foram realizadas no laboratório de Saneamento da Universidade Federal de Goiás de acordo com o preconizado no *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (APHA;AWWA;WEF, 2005). As amostras de água para posteriores análises de qualidade que foram realizadas no laboratório foram coletadas em frascos de vidro de borossilicato devidamente limpos e conduzidos em caixa térmica ao laboratório. A Tabela 4 apresenta os parâmetros analisados, as unidades e os respectivos métodos utilizados.

Tabela 4 – Parâmetros analisados, unidade e métodos utilizados

Parâmetros	Unidades	Método utilizado
Físicos		
Temperatura da água	°C	Sonda multiparamétrica
pH		Sonda multiparamétrica/ <i>Standard Methods</i> -Método 4500-H+ B
Condutividade	µS/cm	Sonda multiparamétrica/ <i>Standard Methods</i> -Método 2510 B
Turbidez	UNT	Sonda multiparamétrica/ <i>Standard Methods</i> -Método 2130 B
Cor	mg/L ⁻¹ Pt	<i>Standard Methods</i> - Método 2120 B
Sólidos totais	mg/L ⁻¹	<i>Standard Methods</i> - Método 2540 B
Sólidos suspensos totais	mg/L ⁻¹	<i>Standard Methods</i> - Método 2540 D
Sólidos dissolvidos totais	mg/L ⁻¹	<i>Standard Methods</i> - Método 2540 D
Químicos		
DBO ₅	mg/L ⁻¹ O ₂	<i>Standard Methods</i> - Método 5210 B
DQO	mg/L ⁻¹ O ₂	<i>Standard Methods</i> - Método 5220 D
OD	mg/L ⁻¹ O ₂	Sonda multiparamétrica
Nutriente		
Nitrogênio amoniacal (NH ₃)	mg/L ⁻¹	Sonda multiparamétrica
Bacteriológicos		
<i>Escherichia coli</i>	NMP/100mL	<i>Standard Methods</i> - Método 9223 B / Colilert
Coliformes totais	NMP/100mL	<i>Standard Methods</i> - Método 9223 B / Colilert

Os dados de vazão no período chuvoso foram obtidos pelo nível de água de um linígrafo instalado no ponto de estudo. A vazão foi determinada para cada evento por meio de um modelo hidrodinâmico calibrado para o local, método proposto por Oliveira (2012). Esse método foi empregado uma vez que, as curvas chaves tradicionais associam dados de vazão x cota, consideram um regime de escoamento permanente. Isso é válido para situações em que não ocorrem grandes mudanças no fluxo. No entanto, para a avaliação no período com chuvas, o hidrograma sofre grandes variações criando uma curva-chave em laço. Essa curva muda de um evento para outro, estando associada às velocidades de ascensão e recessão do

hidrograma. Já no período de seca, a vazão foi medida com molinete ou ADV – *Acoustic Doppler Velocimeter*, uma vez que nesta situação o regime é praticamente permanente.

3.3 PONTOS DE MONITORAMENTO

Foram selecionados oito (8) pontos amostrais, os quais estão descritos na Tabela 5, para a caracterização da qualidade na água na estação de seca, a fim de verificar a variação espacial e temporal. Na estação chuvosa foi selecionado apenas um ponto amostral, o ponto 4 que está situado na Avenida Marginal Botafogo, localizado no Jardim Goiás. Esse ponto foi escolhido por estar situado em área bastante urbanizada, além de ter maior facilidade de acesso e segurança em comparação aos demais. Além disso, não havia equipe e equipamentos suficientes para monitoramento em demais áreas. Na Tabela 6 estão descritos quais os meses monitorados, indicando os períodos considerados de seca e a avaliação no período chuvoso. A Figura 21 ilustra a disposição dos pontos de coleta ao longo do Córrego Botafogo e a inserção nas respectivas bacias e nas Figuras 22 a 29 estão apresentados os registros fotográficos das estações amostrais.

Tabela 5 – Pontos amostrais e as coordenadas

Pontos de coleta	Coordenadas
Ponto 1 - Próximo à nascente do Córrego Botafogo – Jardim Botânico	16°43'30.39"S 49°15'15.62"O
Ponto 2 - Lago situado nas proximidades do Jardim Botânico	16°43'19.60"S 49°15'00.80"O
Ponto 3 – Av. Marginal Botafogo com Av. Jamel Cecílio	16°42'20.89"S 49°14'40.34"O
Ponto 4 – Av. Marginal Botafogo com Av. A, no Jardim Goiás;	16°41'37.79"S 49°14'38.77"O
Ponto 5 - Localizado na Avenida Marginal Botafogo com Av. Universitária;	16°39'35.45"S 49°15'11.68"O
Ponto 6 - Localizado na Avenida Marginal Botafogo com Av. Independência	16°39'35.24"S 49°15'11.86"O
Ponto 7 - Córrego Capim Puba	16°39'12.99"S 49°15'45.71"O
Ponto 8 - Corresponde a Foz –Bairro Criméia Leste	16°39'04.55"S 49°15'39.19"O

Tabela 6 – Meses amostrados e períodos avaliados

Meses amostrados	Períodos avaliados
Agosto e Setembro de 2011	Seca
Outubro e Novembro de 2011	Chuva
Fevereiro 2012	Seca
Abril de 2012	Chuva
Maio, Junho, Julho, Agosto e Setembro de 2012	Seca
Novembro 2012	Chuva
Janeiro 2013	Seca
Abril 2013	Chuva

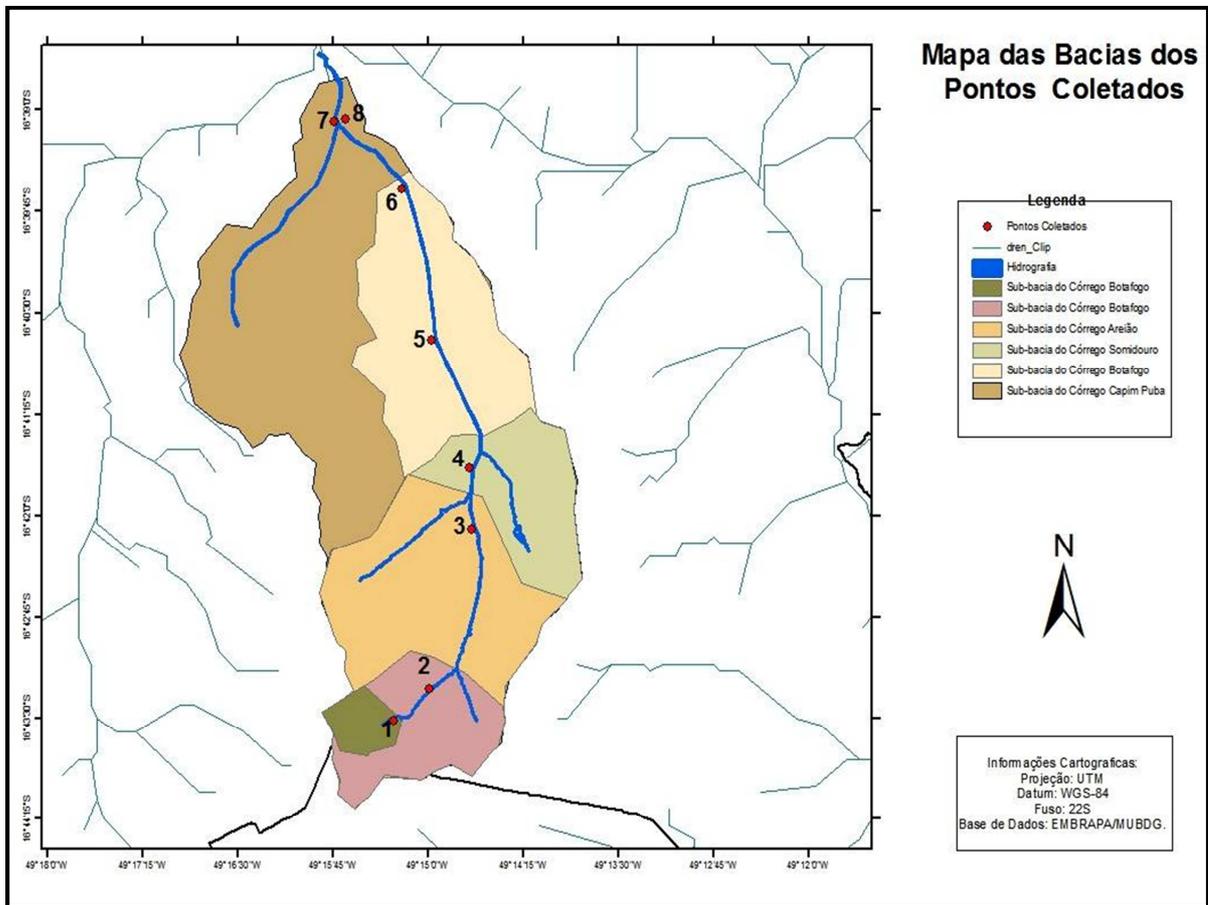


Figura 21 – Mapa das bacias dos pontos monitorados



Figura 22 – Estação Amostral 1



Figura 23 – Estação amostral 2



Figura 24 – Estação amostral 3



Figura 25 – Estação amostral 4



Figura 26 – Estação amostral 5



Figura 27 – Estação amostral 6



Figura 28 – Estação amostral 7



Figura 29 – Estação amostral 8

3.4 ANÁLISE DOS DADOS

3.4.1 Avaliação dos poluentes no período de seca – monitoramento sazonal

Para a análise dos dados obtidos no período da seca (monitoramento sazonal), foi utilizado o *software* R versão 3.0, que permite tratamentos dos dados, avaliação e interpretação de procedimentos estatísticos aplicados a resultados (SOUZA, PETERNELLI & MELO, 2007).

Os procedimentos executados no software foram: a análise discriminatória, usualmente denominada *boxplot* ou diagrama de caixas, que segundo Triola (2005) são análises estatísticas exploratórias dos dados que resulta em gráficos para representar o centro, a dispersão dos dados, além da presença dos *outliers* (compreendidos como valores extremos

dos resultados); a análise de componentes principais (ACP), que é uma excelente ferramenta para reconhecimento de padrões, que busca explicar a variação de um grande conjunto de dados que são correlacionados entre si, transformando em um conjunto menor de variáveis (não correlacionados). A ACP pode ser muito útil na redução do número de pontos de amostragem sem perder informações importantes (SINGH *et al.*, 2004).

Foi efetuada também a análise de cluster, que é um método de reconhecimento de padrões, que divide um grande grupo de casos (ex: variáveis, parâmetros, pontos de monitoramento, etc.) em grupos menores ou classes (cluster) que apresentam semelhanças dentro de uma classe e diferenças entre as demais classes (SINGH *et al.*, 2004 & ZHOU, LIU & GUO, 2007).

Além das análises acima citadas, foram realizados outros procedimentos estatísticos como análise de ANOVA (*Analysis of Variance*) para observar a variância dos dados, testes de correlações, para verificar se as relações entre os parâmetros, pontos e meses avaliados foram estaticamente significáveis.

3.4.2 Avaliação dos poluentes no período chuvoso

3.4.2.1 Polutogramas, Hidrogramas e Curvas Adimensionais de Poluição

A evolução temporal da qualidade da água durante os eventos de precipitação na rede de drenagem, no ponto monitorado, foi realizada utilizando a concentração de cada um desses ao longo do evento de chuva. Com a obtenção desses dados foi possível construir os polutogramas e os hidrogramas. Assim foram feitas análises comparativas de acordo com os trabalhos propostos por Chui *et al.* (1997), Hathway & Hunt (2011), aplicado também na pesquisa realizada por Silva *et al.* (2011) em que diz que é possível avaliar o fenômeno de *first flush* com a sobreposição do polutograma sobre o hidrograma. Se o pico do polutograma ocorrer antes do pico do hidrograma, é evidenciado o efeito de *first flush*. Se, ao contrário, evidencia uma diluição do poluente.

Foram construídas as curvas acumulativas adimensionais, em que se torna possível avaliar se houve o efeito de *first flush*. Essa análise foi realizada conforme o trabalho realizado por Lee & Bang (2000) em que diz que se a taxa com que os poluentes foram lavados a partir das bacias hidrográficas é proporcional ao escoamento ao longo do evento de tempestade, a linha plotada para a carga de escoamento irá ser direta com a passagem da

inclinação passando pela origem. Se a taxa da carga poluente for maior do que a do escoamento, o declive da linha será mais do que 1.

3.4.2.2 Concentração Média de Evento

Foi calculada a concentração média do evento (CME), que permite uma avaliação global do impacto das cargas difusas, indicando a carga poluidora total que será lançada no corpo receptor. Essa carga pode ser obtida por meio de várias amostras coletadas durante o evento chuvoso (PIMENTEL, 2009).

Segundo Lee & Bang (2000), a CME é uma concentração média ponderada do escoamento, a qual fornece uma estimativa do total de poluente distribuído pelo volume total escoado. Como o corpo receptor promove uma mistura, a concentração é uma resposta à carga total lançada ao invés da variabilidade de concentração dentro de cada evento particular.

3.4.2.3 Análise das duas medições (cheia e seca)

Para comparar os resultados apresentados nos períodos avaliados (seca e chuva), foram utilizados os valores máximos, mínimos e médios apresentados nestes, bem como a mediana. É importante comparar os resultados obtidos entre os dois períodos monitorados, para verificar se o corpo hídrico avaliado apresenta impacto quando em contato com o escoamento superficial.

4 RESULTADOS

4.1 MONITORAMENTO SAZONAL

4.1.1 Análise Estatística

Para avaliação dos resultados do monitoramento sazonal (período de seca), foi realizada uma análise exploratória de dados com o emprego da ferramenta *boxplot*. As extremidades do gráfico representam os valores máximos e mínimos dos resultados. A linha mais escura determina a mediana, ou segundo quartil (Q2), a parte inferior da caixa é o primeiro quartil (Q1) e a parte superior da mesma é o terceiro quartil (Q3). Os pontos fora dos gráficos são os *outliers*, que pode representar valor bem mais alto em comparação aos demais ou algum erro na coleta de dados.

Os resultados da análise dos parâmetros em todos os meses avaliados (agosto e setembro de 2011, fevereiro, maio, junho, julho, agosto e setembro de 2012 e janeiro de 2013) contemplando os pontos monitorados (Ponto 1 a Ponto 8), representam a análise espacial dos dados e os *boxplots* resultantes dessa análise estão apresentados no Anexo 1A.

A temperatura da água foi o parâmetro que menos apresentou oscilações entre os pontos avaliados, com variações em torno de 23 a 27°C. A condutividade elétrica, sólidos dissolvidos totais e o pH apresentaram menores registros nos pontos P1 e P2, e nos demais pontos foram apresentados maiores valores, porém não apresentando grandes oscilações entre si.

Para o OD observa-se claramente que os menores registros estão apresentados no ponto P7. Este ponto não está inserido no Córrego Botafogo, estando situado no Córrego Capim Puba. Neste ponto há presença de uma ponte, em que há pessoas morando embaixo dela. Sendo assim, há presença de lixo e muita matéria orgânica neste, justificando os baixos valores de OD. Nos demais pontos foram apresentados valores relativamente constantes para este parâmetro. Vale ressaltar que as concentrações de matéria orgânica neste ponto, que ocasionou na queda da concentração de OD não influenciou na qualidade da água do ponto 8, uma vez que esse apresentou boa oxigenação das águas.

Para a DBO₅, foram notadas menores oscilações de valores, sendo que o ponto 5 registrou os menores valores e o ponto 7 os maiores. Esse fato apresentou correlação com os valores de OD apresentados nesse ponto, uma vez que apresentou menores concentrações em comparação aos demais. Sendo assim, esses baixos valores de OD e maiores valores de DBO₅

no ponto 7 podem ser decorrentes da grande quantidade de matéria orgânica encontrada no local. Esses valores também não influenciaram na qualidade da água no ponto 8.

A DQO apresentou maiores valores nos pontos mais à jusante da bacia, principalmente a partir do ponto 4, em que os maiores valores também foram observados no ponto 7. Esses resultados corroboram com o trabalho de Pimentel (2009) em que foram observados maiores valores de DQO em áreas em que a ocupação urbana é mais densa, com maiores áreas impermeáveis e que provavelmente ocorre maior lançamento de esgotos na área. Sendo assim esse parâmetro caracterizou a variação espacial dos dados.

A turbidez não registrou oscilações muito significativas, porém foram observados maiores valores nos pontos 4 e 6. Os maiores valores registrados nesses, decorrem da maior quantidade de sólidos, materiais orgânicos, dentre outros, em comparação aos demais. A cor, apresentou menores oscilações nos pontos 3, 5 e 6. Porém nestes foram apresentados alguns *outliers*, corroborando com os maiores valores apresentados, sendo que estes não caracterizaram valores constantes.

Os parâmetros sólidos totais e sólidos suspensos totais estiveram em maior concentração nos pontos 1 e 2. Esses maiores valores decorrem do fato de que estes pontos estão localizados em áreas mais recobertas por vegetação, sendo assim há maior presença de folhas, raízes, etc., influenciando então para maior aumento de tais parâmetros. Para a vazão, foram observados maiores valores nos pontos localizados à jusante. E comportamento semelhante foi observado para coliformes totais (CT), *E.coli* e amônia, demonstrando que além da vazão influenciar na qualidade destes parâmetros, estes pontos estão localizados em áreas praticamente sem nenhuma cobertura vegetal, em comparação com os pontos 1 e 2, evidenciando então que em locais mais expostos à urbanização, ocorre maior incremento de tais parâmetros. Tais parâmetros evidenciaram também variação espacial nos dados.

Dessa forma, dos parâmetros analisados, a DQO, a amônia, os coliformes totais, *E.coli*, os sólidos totais dissolvidos, condutividade elétrica e a vazão foram os que melhor explicaram as variações espaciais dos dados.

No Anexo 1B estão apresentados os resultados das análises de todos os parâmetros em todos os pontos de coleta em relação aos meses monitorados, representando a análise temporal. Para a temperatura foram observados menores valores no T1, que corresponde ao mês de agosto de 2011. Nesse mês, a maior diferença em relação aos demais, se deve a coleta ter sido realizada em período mais cedo e em um mês que ocorre muitos ventos. Foram observados menores valores, nos meses frios da região como junho (T5) e julho (T6). Nos tempos T3 (fevereiro) e T9 (janeiro), menores valores também puderam ser

observados. Esses períodos correspondem a períodos chuvosos na região, sendo assim influenciou para a diminuição da temperatura nestes. Nos demais tempos monitorados não ocorreram grandes oscilações de temperatura, uma vez que as coletas foram realizadas em horários praticamente iguais.

Oscilações mais significativas foram percebidas para turbidez, cor, DBO₅, sólidos totais e vazão no T3, que corresponde ao mês de fevereiro de 2012 (período chuvoso da região). Essa maior dispersão de dados pode ter sido em função do escoamento subsuperficial que ainda ocorre alguns dias após as chuvas e é captado pela rede de drenagem, influenciando no carreamento de partículas e material orgânico para os corpos hídricos, aumentando conseqüentemente a turbidez, a DBO₅ e os sólidos totais. A maior vazão nesse período ocorre devido ao maior volume de águas decorrentes da precipitação.

No T4 (maio de 2012) pôde ser observado maiores valores de ST em comparação aos demais tempos monitorados, devido aos maiores valores apresentados nesse mês em comparação aos outros. A coleta realizada no mês de maio pode ter sofrido influência de chuvas registradas no dia da coleta, que contribuíram para aumento de alguns parâmetros.

A DQO não apresentou grandes variações nos meses monitorados, com exceção do T9, (janeiro de 2013), corroborando com maiores valores apresentados dessa variável, em relação aos demais meses monitorados no período de seca. A DQO mais elevada que ocorreu nesse mês foi influenciada também pelas chuvas registradas, uma vez que pode ter ocorrido maior consumo de oxigênio para a oxidação química da matéria orgânica nesse período.

A condutividade elétrica e os sólidos dissolvidos totais apresentaram grandes semelhanças na dispersão dos dados, demonstrando dessa forma a correlação entre essas duas variáveis. Os sólidos suspensos totais não apresentaram variações significativas nos meses monitorados.

Em relação a coliformes totais (CT) e *E. coli* foi possível notar que houve grande aumento na concentração destes microorganismos no T6 (julho 2012), no T9 (janeiro de 2013) para CT e no T8 (setembro 2012) para *E.coli*. Esse aumento de concentração também ocorreu para amônia nos tempos T6 e T9. Sendo assim, as maiores concentrações dessas variáveis estão relacionadas com lançamentos de efluentes nos locais, justificados pelos maiores valores de amônia. O pH apresentou poucas oscilações, sendo mais pronunciada no T1 (agosto 2011) e T2 (setembro 2012). Para o OD menores valores foram observados no T5 (junho).

Assim, foi possível observar que nos meses que ocorreram chuvas na região, muitos dos parâmetros avaliados apresentaram aumento na concentração, especialmente os

que retratam poluição orgânica e lançamento de efluentes (DQO, DBO₅, ST, cor, turbidez, CT e *E.coli*), demonstrando variação sazonal.

Foi feita a análise do nível de significância dos resultados, por meio do teste de ANOVA, a qual é apresentada no Anexo 2. As tabelas apresentam a comparação para cada variável entre cada um dos tempos e pontos amostrais. Os valores de correlações apresentados corroboram com as avaliações demonstradas nos gráficos *boxplots*.

Dos 16 parâmetros avaliados (temperatura, profundidade, SDT, CE, SST, Turbidez, Cor, pH, OD, S.T, DBO₅, DQO, *E.coli*, CT, nitrogênio amoniacal e vazão), a Análise de Cluster (AC) reuniu em quatro grupos os parâmetros avaliados, demonstrando que a maior correlação entre as variáveis são entre: (1) temperatura, profundidade, SDT e condutividade elétrica; (2) SST, Turbidez e Cor; (3) pH, OD, ST e DBO₅ e (4) DQO, *E.coli*, CT, vazão e amônia (Figura 30).

A correlação entre temperatura, profundidade, SDT e CE pode ser explicada principalmente por maiores valores de condutividade elétrica serem esperados quando há maiores valores de sólidos dissolvidos, e que como a profundidade está diretamente ligada com a vazão, acredita-se que em períodos de menor vazão, ou seja, que o corpo hídrico apresente menores profundidades, os valores de SDT e CE serão maiores em comparação a períodos de alta vazão. A profundidade pode influenciar na temperatura da água, uma vez que em ambientes rasos há uma maior penetração dos raios solares, facilitando a troca de calor entre as superfícies. No trabalho de Singh *et al.*, (2004) foi apresentado que há fortes correlações positivas entre CE e SDT, e que este agrupamento aponta para uma origem comum para destes íons, a dissolução natural dos solos e que estes parâmetros podem ser úteis para distinguirem diferentes estações, como chuva e seca.

A correlação apresentada entre SST, cor e turbidez é devida a presença de partículas em suspensão, uma vez que quanto maior a presença de sólidos suspensos, maior será a turbidez das águas. Ademais, sólidos produzidos por atividades na bacia hidrográfica pode ter contribuído para a formação desse grupo de variáveis correlacionadas. Sendo assim, essas variáveis possuem grandes interligações. Na pesquisa realizada por Costa (2013) foi observada também correlações entre turbidez e SS, sendo que a cor não foi monitorada nesta.

Os parâmetros pH, OD, ST e DBO₅ demonstraram correlações entre si. Esse fato pode ser atribuído a alterações na qualidade da água devido à matéria orgânica lançada no corpo hídrico, sendo que à medida que sólidos e materiais orgânicos adentram os mananciais, ocorre aumento da DBO₅ e conseqüentemente, reduções nos níveis de oxigênio dissolvido e

pH, uma vez que menores valores de pH podem ser causados pela decomposição da matéria orgânica, que acarreta em uma acidificação do ambiente.

A relação entre DQO, *E.coli*, CT, amônia e vazão pode ser atribuída às fontes de poluição antrópicas e explicada pelo fato de quanto maior a carga orgânica, maior será o consumo do oxigênio, sendo que ocorrerão os processos de fermentação que irão produzir amônia e ácidos orgânicos (SINGH *et al.*, 2004). Além disso, como pôde ser observado, maiores vazões proporcionam maior aumento de CT e *E.coli*, como foi apresentado na análise de *boxplot* que nos pontos 1 e 2 que apresentam menores vazões e estão em áreas mais protegidas pela vegetação os valores destes parâmetros estiveram em menor concentração, e nos pontos mais à jusante em que a vazão aumenta estes também apresentaram aumento.

Dos 72 dados obtidos nos monitorados nos pontos 1 a 8, em 9 meses avaliados, estes puderam ser reunidos em 9 grupos que apresentaram características de qualidade de água semelhantes entre si, sendo:

- Pontos 1 e 2 nos meses de janeiro, maio, junho e agosto de 2012;
- Pontos 3, 4, 5 e 6 em janeiro de 2012 e ponto 2 no mês de julho de 2012;
- Ponto 7 em junho e julho de 2012 e pontos 1 e 2 em janeiro de 2013;
- Pontos 4 e 5 em agosto de 2012 e Pontos 1 ao 6 em setembro de 2012;
- Ponto 7 em agosto de 2012 e janeiro de 2013 e Pontos 3, 5 e 6 em janeiro de 2013;
- Ponto 7 em janeiro de 2012, Pontos 7 e 8 em maio de 2012, Ponto 3 em julho de 2012 e Pontos 4 e 8 em janeiro de 2013,
- Pontos 3, 4, 5 e 6 em maio de 2012, junho de 2012 e Pontos 3 e 6 em agosto de 2012;
- Ponto 1 em junho e julho de 2012 e Pontos 4, 5 e 6 em julho de 2012;
- Ponto 1 em setembro de 2012 e janeiro de 2013 e ponto 8 em maio, agosto e setembro de 2012.

Dessa forma, é possível observar que os pontos amostrados apresentaram características semelhantes de qualidade de água nos meses de seca avaliados. Os pontos 3, 4, 5 e 6 foram os que mais demonstraram essas semelhanças, podendo-se dizer que são afetados por fontes similares de poluição. Essa mesma representação da análise de cluster, que possibilitou apresentar locais de amostragem com características semelhantes, no tocante à qualidade da água, foi retratada na pesquisa de Simeonov *et al.* (2003), dos quais 25 pontos foram também agrupados em 4. Assim, ele afirma que essa abordagem torna possível a

concepção de futuras estratégias de forma otimizada, podendo reduzir os locais amostrados, diminuindo também a quantidade de análises e o custo do processo.

Diante do exposto, é possível dizer que devidas às correlações apresentadas entre alguns parâmetros e pontos avaliados, em monitoramentos futuros é possível diminuir a quantidade de pontos amostrais bem como reduzir as variáveis analisadas.

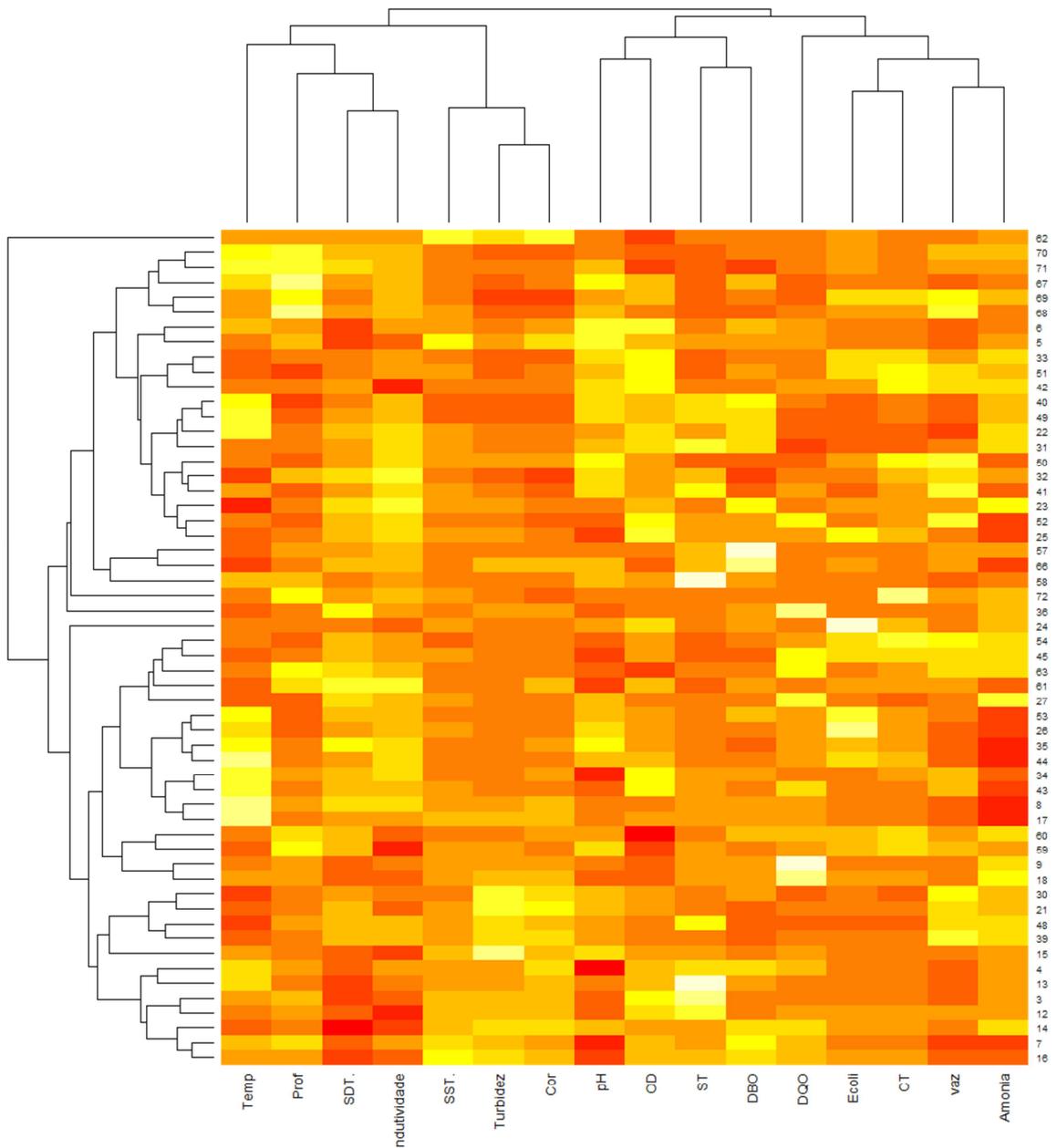


Figura 30 – Análise de Cluster

Na Figura 31 é apresentada a contribuição de cada eixo da Análise dos Componentes Principais (ACP). Foi criada uma ACP com 16 eixos, correspondentes a cada

uma das variáveis monitoradas. Desses 16 eixos, a análise reduziu a 2, que são responsáveis por explicar 36% da variação dos dados, sendo que o primeiro eixo foi o responsável por explicar 20% das variações e o segundo 16%, demonstrando que houve pequena correlação para as variações entre todos os parâmetros analisados. Assim, pode-se dizer que o conjunto das variáveis apresentou grande abrangência, sendo difícil adotar um modelo que consiga reduzir a quantidade das variáveis. Dessa forma a análise de componentes principais não mostrou ser uma ferramenta adequada para demonstrar a variação deste conjunto de dados.

A Tabela 7 apresenta a contribuição de cada parâmetro nos eixos e a Figura 32 apresenta o gráfico resultante da análise de componentes principais.

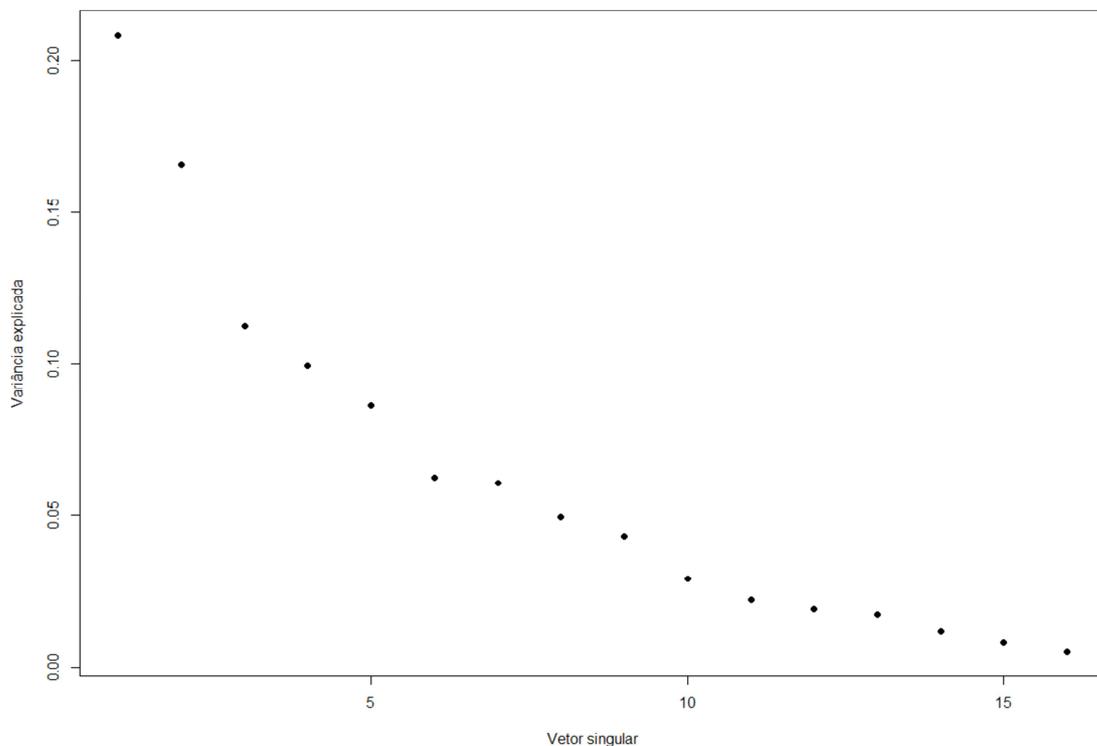


Figura 31 – Variância explicada nos eixos

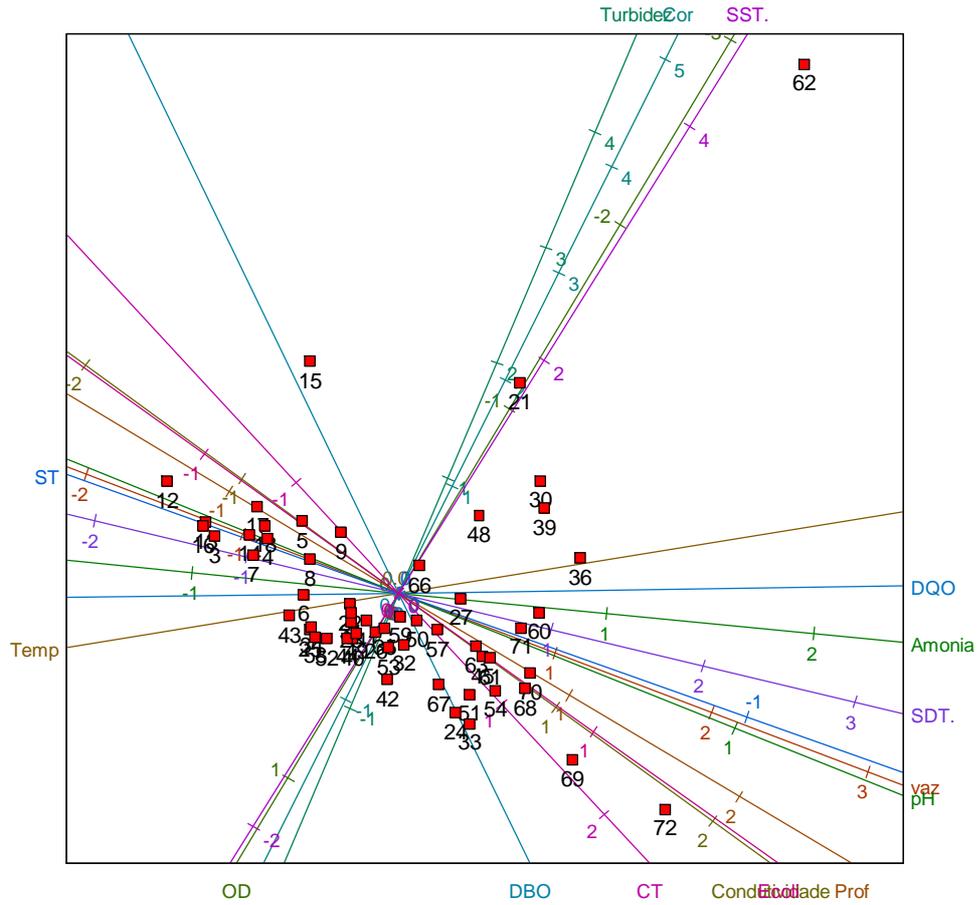


Figura 32 – Análise dos Componentes Principais (ACP)

Tabela 7 – Contribuição dos parâmetros nos eixos 1 e 2

Parâmetros	Eixo 1	Eixo 2
Vazão	0,3763	-0,1446
Profundidade	0,2911	-0,1754
Temperatura	-0,0312	-0,0051
Condutividade	0,2800	-0,2055
OD	-0,1596	-0,2686
pH	0,1729	-0,0700
Amônia	0,3228	-0,0316
Turbidez	0,2086	0,4939
Cor	0,2496	0,5044
DBO ₅	0,0448	-0,0933
DQO	0,1086	0,0016
ST	-0,1722	0,0616
SDT.	0,4198	-0,1008
SST.	0,2569	0,4155
CT	0,3015	-0,3277
<i>E.coli</i>	0,2287	-0,1644

A análise de correlação entre as variáveis foi feita empregando o método de Pearson, a qual apresentou poucas variáveis interrelacionadas (Tabela 8). Segundo Silva (2010), com as correlações entre os parâmetros é possível identificar a relação causa/efeito entre os constituintes da água. As variáveis que mostraram uma correlação moderada ($0,5 \leq r < 0,8$) segundo os valores do coeficiente de correlação de Pearson (Tabela 9) foram SDT e Q, SDT e CE, SST e Turbidez. Os parâmetros Cor e Turbidez e SST e Turbidez apresentaram fortes correlações positivas ($0,8 \leq r < 1$). Uma fraca correlação pôde ser notada para CT e *E.coli*.

Tabela 8 – Correlação de Pearson entre as variáveis

	Q	Prof	Temp	C.E	OD	pH	Amônia	Turb.	Cor	DBO	DQO	ST	STD	SST	CT	<i>E.coli</i>
Q	1,00	0,31	-0,31	0,35	-0,01	0,20	0,45	0,19	0,10	-0,06	-0,02	-0,20	0,55	0,00	0,42	0,20
Prof	0,31	1,00	0,20	0,40	-0,21	0,17	0,27	-0,08	-0,01	0,09	-0,02	-0,05	0,33	0,12	0,45	0,07
Temp	-0,31	0,20	1,00	0,29	0,01	0,11	-0,36	-0,13	0,03	-0,03	-0,12	0,06	0,05	0,17	-0,08	0,03
C.E	0,35	0,40	0,29	1,00	0,01	0,14	0,05	-0,15	0,02	0,28	0,04	-0,03	0,63	0,11	0,26	0,06
OD	-0,01	-0,21	0,01	0,01	1,00	0,20	-0,07	-0,28	-0,35	0,01	-0,25	0,15	-0,23	-0,32	0,07	0,15
pH	0,20	0,17	0,11	0,14	0,20	1,00	0,16	0,15	0,06	0,06	-0,22	-0,03	0,14	0,11	0,17	0,24
Amônia	0,45	0,27	-0,36	0,05	-0,07	0,16	1,00	0,21	0,16	0,07	0,33	-0,03	0,28	0,16	0,36	0,21
Turb.	0,19	-0,08	-0,13	-0,15	-0,28	0,15	0,21	1,00	0,82	-0,12	-0,01	-0,03	0,15	0,61	-0,21	-0,07
Cor	0,10	-0,01	0,03	0,02	-0,35	0,06	0,16	0,82	1,00	0,00	-0,02	0,02	0,24	0,80	-0,18	0,03
DBO	-0,06	0,09	-0,03	0,28	0,01	0,06	0,07	-0,12	0,00	1,00	-0,04	0,27	0,16	-0,04	-0,02	0,05
DQO	-0,02	-0,02	-0,12	0,04	-0,25	-0,22	0,33	-0,01	-0,02	-0,04	1,00	-0,24	0,31	-0,05	0,00	-0,04
ST	-0,20	-0,05	0,06	-0,03	0,15	-0,03	-0,03	-0,03	0,02	0,27	-0,24	1,00	-0,23	-0,05	-0,26	-0,27
STD	0,55	0,33	0,05	0,63	-0,23	0,14	0,28	0,15	0,24	0,16	0,31	-0,23	1,00	0,10	0,32	0,26
SST	0,00	0,12	0,17	0,11	-0,32	0,11	0,16	0,61	0,80	-0,04	-0,05	-0,05	0,10	1,00	0,02	0,18
CT	0,42	0,45	-0,08	0,26	0,07	0,17	0,36	-0,21	-0,18	-0,02	0,00	-0,26	0,32	0,02	1,00	0,49
<i>E.coli</i>	0,20	0,07	0,03	0,06	0,15	0,24	0,21	-0,07	0,03	0,05	-0,04	-0,27	0,26	0,18	0,49	1,00

Tabela 9 – Valores dos coeficientes de Correlação de Pearson

Coefficiente de correlação	Correlação
$r = 1$	Perfeita Positiva
$0,8 \leq r < 1$	Forte Positiva
$0,5 \leq r < 0,8$	Moderada positiva
$0,1 \leq r < 0,5$	Fraca positiva
$0 \leq r < 0,1$	Ínfima positiva
0	Nula
$-0,1 < r < 0$	Ínfima negativa
$-0,5 < r < -0,1$	Fraca negativa
$-0,8 < r < -0,5$	Moderada negativa
$-1 < r < -0,8$	Forte negativa
$r = -1$	Perfeita negativa

Fonte: Sousa (2008)

Ao se avaliar a significância do teste de correlação para as variáveis que apresentaram correlações moderadas a fortes, verifica-se que elas foram estatisticamente

significativas, uma vez que os p-valores apresentados foram menores que ($p < 0,05$), com nível de confiança maior que 95%, como se observa na Tabela 10.

Sendo assim, diante das análises estatísticas realizadas, é possível inferir que as maiores contribuições para a alteração da qualidade da água no período seco são decorrentes de materiais orgânicos e inorgânicos, além dos microrganismos que estão presentes nos efluentes lançados nos corpos hídricos. E que variações na qualidade da água são esperadas quando ocorrem diferenças nos níveis de vazão.

Tabela 10 – Teste de Significância da Análise de Correlação

Parâmetros	Intervalo de Confiança		p-Valores	R
Q e SDT	0,33	0,71	1,89E-05	0,54
CE e SDT	0,44	0,76	2,20E-07	0,63
Turb e Cor	0,71	0,89	1,24E-14	0,82
Turb e SST	0,41	0,75	6,68E-07	0,61
SST e Cor	0,68	0,88	1,79E-10	0,80
CT e <i>E.coli</i>	0,26	0,66	1,42E-04	0,49

4.2 PERÍODO CHUVOSO

4.2.1 Considerações gerais

A busca por dados de qualidade do escoamento superficial é muito complexa, uma vez que é totalmente dependente das condições meteorológicas e hidrológicas, não podendo ter certeza de quando ocorrerá a precipitação. A previsão de chuva foi baseada em dados disponíveis nos *sites* e estações climatológicas além de observações do tempo como formação de nuvens, em plantões no local de coleta. Porém, inúmeras vezes, a previsão era falha, tornando vários monitoramentos frustrados. Foram muitos os problemas enfrentados na pesquisa, às vezes quando chegava ao local já havia ocorrido a precipitação, outras nem chovia, alguns eventos gerava pouco escoamento, não permitindo coletas, aconteceu também da sonda não realizar a leitura em alguns monitoramentos. Sendo assim, foi um grande desafio conseguir os dados de qualidade do escoamento superficial.

4.2.2 Qualidade da água da drenagem pluvial

A Tabela 11 apresenta os valores mínimos e máximos e as relações observadas, dos parâmetros avaliados nos 5 eventos de chuvas monitorados no ponto 4.

Foram observadas relações extremamente variadas entre os parâmetros analisados. Os parâmetros que apresentaram menores oscilações durante os eventos de cheia foram pH, com relação de 1,45, sendo que no trabalho de Silva (2010) essa relação foi de 1,2 e a temperatura da água (1,45). As maiores oscilações apresentadas durante o escoamento de águas pluviais foram para Coliformes Totais e *E.coli*, com relações de 384,08 e 212,45, respectivamente, demonstrando claramente o impacto da drenagem pluvial nas águas superficiais. Maiores relações foram também observadas para sólidos suspensos totais (278) e turbidez (72,09). No trabalho de Silva (2010), a relação de sólidos suspensos totais apresentada foi menor que da presente pesquisa 106,1 e para turbidez foi 150,5, valor superior a relação observada no Córrego Botafogo. A relação da amônia (nitrogênio amoniacal) foi inferior (4,84) ao do estudo efetuado por Silva (2010), em que registrou 10,6.

Diante do exposto, observa-se o grande impacto do escoamento superficial em áreas urbanas, sendo que é possível notar que muitos dos parâmetros avaliados, apresentaram concentrações muito superiores aos limites preconizados na Resolução CONAMA 357/05, para rios de Classe II. Como por exemplo, a turbidez que apresentou valor máximo de 850,7 UNT, uma vez que a legislação preconiza valores de até 100 UNT. A cor, a qual é estabelecido valores de até 75 mg Pt/L⁻¹, o valor mínimo apresentado foi superior ao limite determinado na resolução e o valor máximo de 3510 mg Pt/L⁻¹. Para coliformes termotolerantes o limite máximo estabelecido na Resolução CONAMA 357/05 para ambientes Classe II, é de 1,0x10³ NMP/100 mL. Dessa forma, os valores mínimos apresentados já estavam acima desse limite (3,1x10³ NMP/100 mL), sendo o valor máximo apresentado de 6,59x10⁵ NMP/100 mL.

Tabela 11 - Valores mínimos e máximos e a relação dos parâmetros da drenagem pluvial nos 5 eventos de chuva monitorados no Córrego Botafogo

Parâmetros	Unidades	Valor Mínimo	Valor Máximo	Relação
Temperatura da Água	°C	19,42	27,62	1,42
pH	-	6,16	8,96	1,45
OD	mg/L ⁻¹ O ₂	4,27	8,89	2,08
Amônia	mg/L ⁻¹	0,32	1,55	4,84
Turbidez	UNT	11,8	850,7	72,09
Cor	mg Pt/L	94	3510	37,34
CE	µS/cm	51	227,5	4,46
ST	mg/L ⁻¹	77	2527	32,82
SDT	mg/L ⁻¹	31,72	119,6	3,77
SST	mg/L ⁻¹	3	834	278
DBO₅	mg/L ⁻¹ O ₂	3	12	4
DQO	mg/L ⁻¹ O ₂	9	278	30,89
CT	NMP/100 mL	6,30E+03	2,42E+06	384,08
<i>E.coli</i>	NMP/100 mL	3,10E+03	6,59E+05	212,45

4.2.3 Polutogramas e Hidrogramas

Os polutogramas e hidrogramas serão apresentados separadamente para cada parâmetro nos eventos avaliados. O primeiro evento monitorado corresponde ao mês de outubro de 2011, o segundo ao mês de novembro de 2011, em que a chuva foi monitorada durante o início até o fim. Já o terceiro evento, realizado em abril de 2012, no momento inicial da coleta havia começado a chover no ponto monitorado, porém, já havia ocorrido precipitação à montante, sendo assim, a vazão já estava elevada no início da coleta. O evento 4, que foi avaliado no mês de novembro de 2012, foi monitorado do início ao fim do escoamento. O evento 5, realizado em abril de 2013, foi semelhante ao evento 3, uma vez que no ponto avaliado tinha começado a chover, porém já havia chovido à montante, sendo assim, quando iniciou o monitoramento, a vazão estava no seu pico máximo, decaindo no decorrer do tempo. Determinados parâmetros não foram monitorados nos cinco eventos de chuva, sendo que alguns são realizados apenas com a sonda (ex: temperatura e amônia) e a mesma em dois eventos não realizou leitura e outros foram sendo acrescentados à medida que verificadas a necessidade de análise.

4.2.3.1 Turbidez

Como pode se observar na Figura 33, nos eventos 1 e 4, o pico da turbidez ocorreu antes do pico da vazão, porém no evento 4 ocorreram dois picos, tanto para vazão quanto para a turbidez. O primeiro pico da turbidez ocorreu antes do primeiro pico da vazão. Já o segundo pico da turbidez ocorreu ao mesmo tempo em que o pico da vazão. No evento 2 o maior valor de turbidez aconteceu nos primeiros instantes da chuva, e foi diminuindo gradativamente, acompanhando a diminuição da vazão. No evento 3, o pico da vazão ocorreu simultaneamente com o da turbidez, e foram enfraquecendo ao longo do evento. Já no evento 5, foram observados 5 picos para a turbidez, depois do valor máximo de vazão ter ocorrido. Dessa forma, observa-se *first flush* nos eventos 1, 2 e 4 e que a turbidez é maior quando há maior volume de águas. Assim, verifica-se a influência do escoamento na qualidade das águas, como Righetto (2009) afirma, que a turbidez é afetada significativamente pelas condições hidrológicas.

Nos trabalhos de Costa (2013) e Silva (2010) foram observados *first flush* para a turbidez. A primeira autora justifica que o pico da turbidez que antecede o pico da vazão é devido à remoção inicial do material acumulado no período de chuvas, tanto no solo como nas canalizações e que o fato da turbidez diminuir gradativamente com o fluxo de água pode ser decorrente da diluição das águas, proporcionado pelo grande volume de água que passa no corpo hídrico durante as chuvas.

É possível observar também que os maiores valores de turbidez ocorreram no evento de outubro de 2011 (evento 1) e os menores em novembro de 2012 (evento 4). Esse fato é semelhante ao que ocorreu na pesquisa de Costa (2011), em que os menores valores de turbidez apresentados (evento 1) podem ter sido decorrentes de sucessivas precipitações nos dias anteriores ao da coleta, não ocorrendo provavelmente o acúmulo de sedimentos, ocasionando baixa turbidez. Já os maiores valores, são decorrentes do período de estiagem anterior à coleta, fazendo com que ocorra maior aporte de material para o corpo hídrico, que são acumulados nos períodos sem chuva.

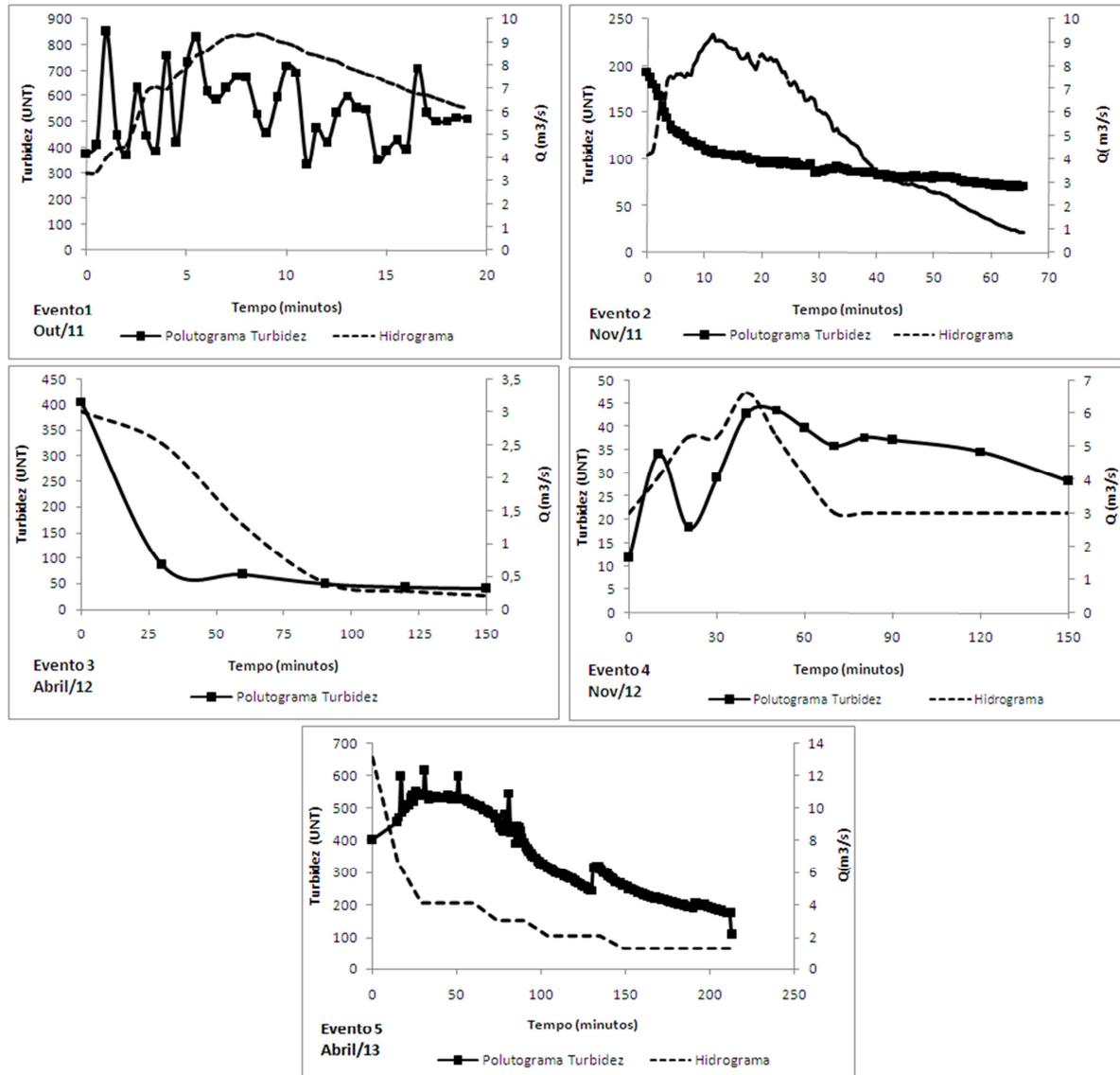


Figura 33 – Polutogramas de Turbidez e Hidrogramas nos 5 eventos de chuva monitorados no ponto 4

4.2.3.2 Sólidos Totais

Os polutogramas de sólidos totais apresentam que o pico das concentrações sucederam o pico das vazões nos eventos 4 e 5. Nos eventos 1, 2 e 3 a maior concentração ocorreu no início do evento, reduzindo sua concentração devido o aumento da vazão. No entanto, no evento 3, ao final do evento, quando a vazão já se encontra bem reduzida, é possível observar um aumento na concentração de ST. (Figura 34).

Segundo Silva (2010), normalmente a concentração de sólidos totais é maior após o pico do hidrograma, sendo que em seu trabalho foi possível observar que a cor apresentava-