



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE  
UNIDADE ACADÊMICA DE ENGENHARIA CIVIL  
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL  
CAMPUS CAMPINA GRANDE**

**MARIA JÔSIANE CAMINHA**

**DEGRADAÇÃO DA QUALIDADE DA ÁGUA DO SISTEMA DE DRENAGEM DE  
SUB-BACIAS URBANAS DE CAMPINA GRANDE - PARAÍBA**

**CAMPINA GRANDE - PB  
FEVEREIRO 2014**

**MARIA JÔSIANE CAMINHA**

**DEGRADAÇÃO DA QUALIDADE DA ÁGUA DO SISTEMA DE DRENAGEM DE  
SUB-BACIAS URBANAS DE CAMPINA GRANDE - PARAÍBA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental (PPGECA) da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), como parte dos requisitos necessários para obtenção do Título de Mestre.

**Área de concentração:**

ENGENHARIA DE RECURSOS HÍDRICOS E SANITÁRIA

**Orientadora:**

PROFA. DRA. ANDRÉA CARLA LIMA RODRIGUES

**Coorientadora:**

PROFA. DRA. MÔNICA DE AMORIM COURA

**CAMPINA GRANDE - PB  
FEVEREIRO 2014**

**FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA BIBLIOTECA CENTRAL DA UFCG**

C183d Caminha, Maria Jôsiane.  
Degradação da qualidade de água do sistema de drenagem de sub-bacias urbanas de campina Grande - Paraíba / Maria Jôseane Caminha. – Campina Grande, 2014.  
100 f. : il. Color.

Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) - Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais.

"Orientação: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Andréa Carla Lima Rodrigues, Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Mônica de Amorim Coura".  
Referências.

1. Drenagem Pluvial. 2. Qualidade de Água. 3. Modelagem Matemática. 4. Modelo SWMM 5.0. I. Rodrigues, Andréas Carla Lima Rodrigues. II. Coura, Mônica de Amorim. III. Título.

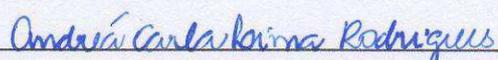
CDU 626.862.4(043)

MARIA JÓSIANE CAMINHA

DEGRADAÇÃO DA QUALIDADE DA ÁGUA DO SISTEMA DE DRENAGEM DE  
SUB-BACIAS URBANAS DE CAMPINA GRANDE - PARAÍBA

Dissertação aprovada em: 21/02/2014

COMISSÃO EXAMINADORA



---

Profa. Dra. Andréa Carla Lima Rodrigues (Orientadora)  
Universidade Federal de Campina Grande - UFCG



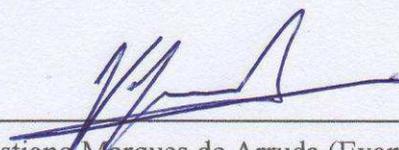
---

Profa. Dra. Mônica de Amorim Coura (Orientadora)  
Universidade Federal de Campina Grande - UFCG



---

Profa. Dra. Patrícia Hermínio Cunha Feitosa (Examinador Interno)  
Universidade Federal de Campina Grande - UFCG



---

Prof. Dr. Valmir Cristiano Marques de Arruda (Examinador Externo)  
Universidade Federal Rural de Pernambuco - UFRPE

Campina Grande - PB  
Fevereiro 2014

Dedico a Deus, autor do meu destino, e a todos os Santos, auxílio de todas as horas.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a DEUS, com seu amor incondicional, pela oportunidade e força durante esses dois anos de curso, em meio a tantas angústias. Por guiar meus passos e me reerguer após os momentos difíceis, além de me conceder a maior benção, minha família;

Aos meus pais, FRANCISCO JOSÉ CAMINHA e ZÉLIA ABREU DE SOUSA CAMINHA, pelo amor, dedicação e educação. Obrigada por acreditarem nos meus sonhos e, sem questionar, apoiarem minhas decisões;

Aos meus sobrinhos, ANA VITÓRIA CAMINHA COSTA e CINCINATO JOSÉ NETO, por terem me proporcionado a maior felicidade da minha vida, ser tia.

Aos meus irmãos, em especial a MARIA JOSÉLIA CAMINHA, pelo apoio e incentivo em mais uma difícil etapa da minha vida;

As minhas orientadoras, ANDRÉA CARLA LIMA RODRIGUES e MÔNICA DE AMORIM COURA, pela orientação e disposição no desenvolvimento desse trabalho;

A CAPES, pelo apoio financeiro, sem o qual seria impossível realizar esta pesquisa;

Aos colegas e companheiros de estudo e trabalho, RAFAELA, PABLO e NÁRCISO, pelo companheirismo e força ao longo do curso e período experimental desta pesquisa;

Ao Laboratório de Saneamento, especialmente a secretária CRISTINA, pelas sábias palavras nos momentos oportunos, e aos funcionários SAVANA, VALMARIA, ANTÔNIO e FRANCISCO BANDEIRA, pelo carinho, amizade e auxílio nas atividades laboratoriais;

Ao Laboratório de Hidráulica I, principalmente ao senhor AROLDO, pela disponibilidade e auxílio na realização das coletas, a senhora ALREZINHA, pela amizade, e a professora DAYSE LUNA, responsável por disponibilizar transporte, funcionários e equipamentos, além de auxiliar nas questões hidrológicas;

Por fim, aos amigos e a todos que direta ou indiretamente contribuíram para conclusão deste trabalho.

“Aprender é a única coisa de que a mente nunca se cansa, nunca tem medo e nunca se arrepende.”

Leonardo da Vinci

## RESUMO

CAMINHA, M. J. **Degradação da qualidade da água do sistema de drenagem de sub-bacias urbanas de Campina Grande – Paraíba**. 2014. 100 p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande. 2014.

A ausência do processo de gerenciamento do crescimento urbano juntamente com deficiência no exercício dos serviços básicos de saneamento, contribui significativamente para a poluição e degradação do meio ambiente, especialmente dos corpos hídricos, que constantemente recebem contribuição de cargas poluidoras transportadas superficialmente pelos sistemas de drenagem das águas pluviais urbana. Dentre os principais componentes do saneamento encontra-se o manjo das águas pluviais, o mesmo consiste nas instalações designadas ao transporte das águas pluviais de áreas urbanas ou urbanizadas até um destino adequado e tem por finalidade gerir os aspectos quantitativos e qualitativos das águas transportadas, uma vez que as águas do escoamento superficial de áreas urbanas apresentam elevadas concentrações de poluentes a serem lançadas nos corpos hídricos. No entanto, usualmente, os sistemas de drenagem pluvial urbana são abordados exclusivamente pelos projetos de engenharia que contemplam apenas os aspectos quantitativos. Nesse contexto, este trabalho tem por objetivo avaliar a degradação da qualidade das águas do sistema de drenagem pluvial urbana da cidade de Campina Grande/PB-Brasil e possíveis medidas de controle por meio da modelagem. Diante da extensão territorial e a complexidade do sistema, como objeto de estudo foram selecionadas duas sub-bacias urbanas (D9 e D10) pertencentes à Bacia de Drenagem da Depuradora. A metodologia desenvolvida incidu em três etapas principais: monitoramento (constituída da caracterização do sistema através de visitas *in loco* e análises físico-químicas e microbiológicas da água); modelagem do sistema (utilizando o modelo *Storm Water Management Model* – SWMM, as informações adquiridas no monitoramento e elaboração de possíveis cenários); e diagnóstico dos cenários analisados. De modo geral os resultados obtidos demonstraram as péssimas condições dos componentes e da água do sistema de drenagem, além do desenvolvimento de uma alta carga poluente que é influenciada pelas características hidrológicas e pelo processo de urbanização da área estudada. Com a pesquisa compreende-se a necessidade de ferramentas para auxiliar na gestão sustentável dos sistemas de saneamento e no gerenciamento urbano mais rígido que envolva as esferas social e ambiental.

**PALAVRAS-CHAVE:** Drenagem pluvial; Qualidade de água; Modelagem matemática; Modelo SWMM 5.0.

## ABSTRACT

CAMINHA, M. J. **Degradation of water quality in the drainage system of urban sub-basins in Campina Grande – Paraíba**. 2014. 100 p. Thesis (Master's) –Federal University of Campina Grande, Campina Grande. 2014.

The absence of the management process of urban growth with disabilities in exercising basic sanitation services contributes significantly to the pollution and degradation of the environment, especially water bodies, constantly receiving contribution of pollutant loads superficially transported by urban stormwater drainage systems. The management of stormwater is among the main components of sanitation, and consists of designated facilities for stormwater transport from urban or urbanized areas to an appropriate destination, whose purpose is to manage the quantitative and qualitative aspects of water transported, since the surface runoff water from urban areas present high concentrations of pollutants being discharged into water bodies. However, urban stormwater drainage systems are usually addressed exclusively by engineering projects that only include their quantitative aspects. Within this context, this work has the objective to evaluate the degradation of the quality of the water in the urban stormwater drainage system in Campina Grande/PB, as well as possible control measures through modeling. Given the territorial extension and the complexity of the system, two urban sub-basins (D9 and D10), which are a part of the basin drain of the purifying plant, were selected as the study object. The methodology focused on three major steps: monitoring (consisting of system characterization through site visits and physical-chemical and microbiological analyzes of water); system modeling (using the Storm Water Management Model - SWMM, the information acquired in the monitoring step, and the preparation of possible scenarios), and diagnosis of the scenarios analyzed. Results altogether showed the terrible conditions of the components and of the water in the drainage system, besides the generation of a high pollutant load which is influenced by the hydrological characteristics and the process of urbanization of the area studied. The research presented the need for a more sustainable management of the sanitation systems in the areas studied, as well as a more rigid and urban management approach, leading to the involvement of the social and environmental spheres.

KEY-WORDS: Stormwater drainage; Water quality; Mathematical modeling; SWMM 5.0 model.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 3.1 – Estrutura do SWMM 5.0.....	33
Figura 4.1 – Localização da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba.....	38
Figura 4.2 – Subdivisões da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba.....	38
Figura 4.3 – Mapa geográfico da Região Metropolitana de Campina Grande – Paraíba.....	39
Figura 4.4 – Mapa dos bairros da Cidade de Campina Grande.....	41
Figura 4.5 – Abrangência da Bacia da Depuradora na cidade de Campina Grande.....	42
Figura 4.6 – Abrangência das sub-bacias estudadas sobre na cidade de Campina Grande.....	43
Figura 4.7 – Mapa do bairro do Catolé.....	44
Figura 4.8 – Mapa do bairro do Sandra Cavalcante.....	45
Figura 4.9 – Mapa da área projetada no SWMM 5.0.....	46
Figura 4.10 – Localização dos pontos de coleta ao longo do canal de drenagem.....	48
Figura 4.11 – Identificação e coleta do ponto 1.....	49
Figura 4.12 – Identificação e coleta do ponto 2.....	49
Figura 4.13 – Identificação e coleta do ponto 3.....	49
Figura 4.14 – Identificação e coleta do ponto 4.....	50
Figura 4.15 – Documentário de equipamentos e etapas de execução das análises.....	51
Figura 4.16 – Organograma dos cenários propostos.....	64
Figura 4.17 – Organograma das etapas metodológicas da pesquisa.....	64
Figura 5.1 – Componentes do sistema de drenagem pluvial de Campina Grande – PB.....	65
Figura 5.2 – Componentes do sistema de drenagem da sub-bacia D9.....	66
Figura 5.3 – Componentes do sistema de drenagem da sub-bacia D10.....	66
Figura 5.4 – Lançamento de efluentes ao sistema de drenagem pluvial.....	68
Figura 5.5 – Gráfico dos resultados de temperatura.....	69
Figura 5.6 – Gráfico dos resultados de turbidez.....	70
Figura 5.7 – Gráfico dos resultados de SST.....	71
Figura 5.8 – Gráfico dos resultados de pH.....	71
Figura 5.9 – Gráfico dos resultados de OD.....	72
Figura 5.10 – Gráfico dos resultados de DBO.....	73
Figura 5.11 – Gráfico dos resultados de DQO.....	74
Figura 5.12 – Gráfico dos resultados de CTT.....	75
Figura 5.13 – Gráficos BOX PLOT .....	78
Figura 5.14 – Gráficos GT-2.....	78

Figura 5.15 – Gráfico da carga poluente após 15 dias sem chuva.....	81
Figura 5.16 – Gráfico da carga poluente após 0 dias sem chuva.....	81
Figura 5.17 – Gráfico da redução de 10% da superfície impermeável após período de 15 dias sem chuva.....	83
Figura 5.18 – Gráfico da redução de 10% da superfície impermeável após período de 0 dias sem chuva.....	83
Figura 5.19 – Gráfico da redução de 25% da superfície impermeável após período de 15 dias sem chuva.....	84
Figura 5.20 – Gráfico da redução de 25% da superfície impermeável após período de 0 dias sem chuva.....	84
Figura 5.21 – Gráfico da correlação entre lamina precipitada e escoamento superficial.....	86
Figura 5.22 – Mapa do cenário atual para evento de 35,8 mm/dia após 15 dia sem chuva.....	87
Figura 5.23 – Mapa do cenário com redução de 10% das áreas impermeáveis para evento de 35,8 mm / dia após 15 dias sem chuva.....	88
Figura 5.24 – Mapa do cenário com redução de 25% das áreas impermeáveis para evento de 35,8 mm / dia após 15 dias sem chuva.....	88

## LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1 - Comparação das características de modelos hidrológicos.....	32
Tabela 4.1 – Métodos dos parâmetros estudados.....	51
Tabela 4.2 – Parâmetros de quantificação das sub-bacias no modelo SWMM.....	53
Tabela 4.3 – Coeficiente de rugosidade Manning para diferentes superfícies.....	54
Tabela 4.4 – Características utilizadas na Equação de <i>Horton</i> .....	56
Tabela 4.5 – Parâmetros de caracterização dos condutos.....	56
Tabela 4.6 – Parâmetros de caracterização dos nós.....	57
Tabela 4.7 – Parâmetros necessários para caracterização dos poluentes.....	58
Tabela 5.1 – Correlação da concentração média dos poluentes.....	67
Tabela 5.2 – Análise estatística das variáveis analisadas.....	76
Tabela 5.3 – Médias das concentrações dos poluentes.....	79
Tabela 5.4 – Concentração média dos poluentes na deposição seca.....	80
Tabela 5.5 – Concentração média dos poluentes nos eventos de chuva.....	80
Tabela 5.6 – Resultados dos cenários avaliados.....	84
Tabela 5.7 – Resultado das três primeiras horas do evento 35,8mm/dia.....	85

## LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

APHA	American Public Health Association
APWA	American Public Works Association
BMPs	Best Management Practices for Stormwater
CTT	Coliformes Termotolerantes
DBO	Demanda Bioquímica de Oxigênio
DQO	Demanda Química de Oxigênio
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
EMEPA	Empresa Estadual de Pesquisas Agropecuárias da Paraíba
EPA	Environmental Protection Agency
EXP	Função Exponencial
EXTRABES	Estação Experimental de Tratamento Biológico de Esgoto Sanitário
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IDF	Intensidade, duração e frequência
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
IQA	Índices de Qualidade de Águas
LID	Low Impact Development
MOUSE	Modelling of Urban Sewers
NBR	Norma Brasileira Regulamentadora
OD	Oxigênio Dissolvido
ODf	Oxigênio Dissolvido final
ODi	Oxigênio Dissolvido inicial
PB	Paraíba
pH	Potencial Hidrogeniônico
RMCG	Região Metropolitana de Campina Grande
SST	Sólidos Suspensos Totais
SWMM	Storm Water Management Model
U.S. EPA	United States Environmental Protection Agency
UFPG	Universidade Federal de Campina Grande

## LISTA DE SÍMBOLOS

%	Porcentagem
°C	Graus Celsius ou centígrados
A	Área da bacia ou sub-bacia
Ac	Acre
AI	Áreas impermeáveis
AINC	Áreas impermeáveis não conectadas
CF	Co-fração do co-poluento
CN	Método Curva Numero
CP	Co-poluento
DC	Coefficiente de deterioração
DI	Capacidade de armazenamento em depressões com superfícies impermeáveis
DP	Capacidade de armazenamento em depressões com superfícies permeáveis
ft	Foot
g	Gramas
GWconc	Concentração do poluento na água subterrânea
ha	Hectare
hab./km <sup>2</sup>	Habitantes por quilômetro quadrado
hmax	Profundidade máxima
hoff	Offset de saída
i	Intensidade máxima da precipitação
Imédia	Intensidade média
I & Iconc	Concentração do poluento em processos de entrada direta ou infiltração
If	Capacidade de infiltração final
in	Unidade de armazenamento
Io	Capacidade de infiltração inicial
k	Constante de decaimento
K	Constante do local
kc	Coefficiente de compacidade
Kg	Quilogramas
Kg/Ac	Quilograma por Acre
km	Quilômetros
km <sup>2</sup>	Quilômetros quadrados
L	Comprimento do conduto
L/h	Litro por hora
Le	Largura do retângulo equivalente
m	Constante do local
m <sup>3</sup> /s	Metro cúbico por segundo
mg	Miligramas
mg/L	Miligramas por litro

mL	Mililitros
mm	Milímetros
mm/h	Milímetro por hora
n	Constante do local
N	Normalidade
NI	Coefficiente de rugosidade de Manning para superfícies impermeáveis
nm	Nanômetro
NP	Coefficiente de rugosidade de Manning para superfícies permeáveis
P	Perímetro da sub-bacia
Ptotal	Precipitação total
Qb	Vazão de base
Rconc	Concentração do poluente na água
S	Declividade da sub-bacia
Sc	Declividade do conduto
t	Período de tempo
POW	Função Potencial
SAT	Função de Saturação
SCS	Método Soil Conservation Service
Tr	Tempo de retorno
UJT	Unidades Jackson de Turbidez
UFC/100mL	Unidades Formadoras de Colônias por 100 mililitros
UNT	Unidade Nefelométrica de Turbidez
W	Largura da sub-bacia
Z	Cota de fundo

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	15
<b>2 OBJETIVOS</b> .....	17
2.1 OBJETIVO GERAL.....	17
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	17
<b>3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</b> .....	18
3.1 GESTÃO DE DRENAGEM URBANA.....	18
3.1.1 Medidas de gestão.....	20
3.2 QUALIDADE DAS ÁGUAS DE DRENAGEM URBANAS.....	21
3.2.1 Poluição das águas de drenagem urbana.....	22
3.2.1.1 <i>Parâmetros para análise das águas de drenagem urbana</i> .....	23
3.2.2 Gerenciamento da qualidade das águas de drenagem urbana.....	29
3.3 MODELAGEM DO SISTEMA DE DRENAGEM URBANA.....	30
3.3.1 Storm Water Management Model –SWMM.....	31
3.3.2 Aplicações qualitativas e quantitativas do SWMM.....	34
<b>4 MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....	37
4.1 ÁREA DE ESTUDO.....	37
4.1.1 A Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba.....	37
4.1.2 O município de Campina Grande – Paraíba.....	39
4.1.3 A cidade Campina Grande.....	40
4.1.4 O sistema de drenagem urbana da cidade Campina Grande.....	40
4.1.5 As sub-bacias de drenagem D9 e D10.....	42
4.1.6 Os bairros do Catolé e Sandra Cavalcante .....	43
4.1.7 Representação da área de estudo na modelagem.....	45
4.2 AQUISIÇÃO DOS DADOS.....	46
4.2.1 Levantamento dos dados de campo.....	46
4.2.1.1 <i>Diagnóstico de uso e ocupação do solo</i> .....	47
4.2.2 Coleta e análises da água.....	47
4.2.2.1 <i>Pontos e periodicidade das coletas</i> .....	47
4.2.2.2 <i>Métodos analíticos utilizados nas análises laboratoriais</i> .....	50
4.2.3 Aquisição dos dados hidrológicos.....	52
4.3 MODELAGEM COM SWMM.....	52

4.3.1	Caracterização das bacias.....	52
4.3.1.1	Sub-bacias.....	52
4.3.1.2	Infiltração.....	54
4.3.1.3	Condutos.....	56
4.3.1.4	Nós.....	56
4.3.2	Dados hidrológicos.....	57
4.3.2.1	Eventos de precipitação.....	57
4.3.3	Dados de qualidade.....	58
4.3.3.1	Caracterização das funções de qualidade.....	59
4.3.3.2	Caracterização dos poluentes.....	61
4.3.3.3	Caracterização do uso e ocupação do solo.....	62
4.3.4	Aplicação do SWMM.....	63
4.3.4.1	Processo de calibração.....	63
4.3.4.2	Validação dos parâmetros de qualidade.....	63
4.3.4.3	Cenários propostos.....	63
<b>5</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>65</b>
5.1	DIAGNÓSTICO DO SISTEMA DE DRENAGEM EM ESTUDO.....	65
5.1.1	Sistema de drenagem urbana pluvial.....	65
5.1.2	Resultados obtidos para os parâmetros monitorados.....	67
5.1.2.1	Análise estatística.....	75
5.2	RESULTADOS DA MODELAGEM.....	79
5.2.1	Caracterização dos poluentes considerados.....	79
5.2.2	Influência das características estudadas.....	80
5.2.2.1	Influência das características hidrológicas.....	80
5.2.2.2	Influência das características de uso e ocupação do solo.....	82
5.3	Diagnóstico dos resultados de modelagem.....	85
<b>6</b>	<b>CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....</b>	<b>89</b>
6.1	DA QUALIDADE DA ÁGUA DO SISTEMA DE DRENAGEM.....	89
6.2	DA GESTÃO DO SISTEMA DE DRENAGEM.....	90
6.3	DO PROCESSO DE MODELAGEM.....	91
6.4	DO ESTUDO REALIZADO.....	92
	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>93</b>

## 1 INTRODUÇÃO

O crescimento populacional, juntamente com o aumento da demanda de bens de consumo, sempre esteve associado á deterioração do meio ambiente e recursos naturais. Estudos apontam que o aumento da população incide no desenvolvimento das áreas urbanas, tendo como consequência o aumento de solos impermeáveis e a excessiva geração de resíduos. E também comprovam que grande parte da degradação dos recursos hídricos é consequência do escoamento superficial das águas pluviais que conduzem os materiais dispostos na superfície do solo e os diversos poluentes atmosféricos precipitados com os eventos de chuva.

Para Tucci e Marques (2001) as áreas urbanas ou urbanizadas, caracterizadas pela vasta quantidade de superfícies impermeabilizadas, causam diversas alterações no ciclo hidrológico, sobretudo no volume e velocidade do escoamento, ocasionando maior capacidade de arrete dos poluentes e diversos materiais dispostos na superfície do solo. De acordo com Von Sperling (1996) os impactos da poluição e os efeitos ocasionados pelas medidas de controle podem ser avaliados por meio da caracterização e da quantificação das cargas poluidoras coexistentes no corpo d'água. Assim, o estudo da qualidade das águas de drenagem pluvial torna-se importante na definição dos impactos do adensamento e da vida urbana no meio ambiente, além de determinar os efeitos da urbanização e as alterações do uso solo na qualidade das águas pluviais escoados superficialmente.

Nesse contexto, em presença dos diversos impactos ocasionados ao meio ambiente pelo processo de urbanização e deficiência no manejo das águas pluviais, além da necessidade de ferramentas que auxiliem no gerenciamento das áreas urbanas, atualmente as pesquisas acadêmicas tem objetivado avaliar as condições dos sistemas de drenagem pluvial e possíveis medidas de controle para resolução dos problemas. Dentre os métodos mais utilizados nos estudos, os modelos computacionais tem se destacado por possibilitar o processo de aquisição e avaliação de dados, que incorporados às informações geográficas e hidrológicas, tornam a modelagem um instrumento importante no planejamento estratégico de gestão e proteção do meio ambiente.

Segundo Collodel (2009), através do estudo e aplicação da modelagem, é possível avaliar diversas condições de funcionamento dos sistemas de drenagem, inclusive com relação à qualidade das águas transportadas por sistemas urbanos. A partir dos cenários

gerados, pode-se analisar e verificar o comportamento das águas e poluentes, permitindo obter informações para tomada de decisões que possam almejar à preservação dos ecossistemas terrestres e aquáticos. Quanto à escolha do modelo a ser utilizado, o mesmo é determinado pelo nível de detalhamento requerido, disponibilidade de tempo e acessibilidade às informações necessárias e indispensáveis para o funcionamento do programa e os objetivos propostos.

Entre os modelos hidrológicos mais utilizados para fins de estudo da drenagem urbana o presente estudo aborda o *Storm Water Management Model* (SWMM), um software desenvolvido pela U.S EPA (Environmental Protection Agency) em 1971 com última atualização em 2011. Considerado um modelo hidrológico dinâmico, o SWMM é capaz de modelar os problemas de quantidade e qualidade de escoamento em múltiplos espaços de tempo e eventos hidrológicos. E por operar sobre um conjunto de sub-bacias, possibilita através da lamina precipitada determinar o comportamento do escoamento e da carga poluente em período seco e chuvoso. Além de permite identificar e avaliar as possíveis falhas do sistema de drenagem e a eficiência de estratégias de mitigação dos impactos negativos.

Em presença da eficiência atribuída ao modelo SWMM, o presente estudo buscou, através de modelagem, diagnosticar a atual situação do sistema de drenagem pluvial da cidade Campina Grande – Paraíba, situada na Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba. E para tanto, foi delimitada uma área representativa da cidade e criado diversos cenários com diferentes características hidrológicas e de uso e ocupação. Os resultados obtidos evidenciaram a importância do planejamento no processo de urbanização, juntamente com a implantação dos sistemas básicos de saneamento na busca pela preservação dos recursos naturais e melhor qualidade de vida da população.

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 OBJETIVO GERAL**

Avaliar os efeitos do uso e ocupação do solo na qualidade das águas de microbacias de drenagem urbana da cidade de Campina Grande – PB.

### **2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- ❖ Caracterizar a água do sistema de drenagem das áreas em estudo;
- ❖ Modelar a qualidade das águas do sistema de drenagem das microbacias urbanas usando o modelo SWMM 5.0;
- ❖ Mapear as áreas representativas de contaminação e poluição das águas;
- ❖ Criar diferentes cenários de precipitação e formas de ocupação do solo para avaliar o comportamento das concentrações de poluentes;
- ❖ Sugerir propostas para auxiliar a gestão da drenagem urbana das microbacias estudadas.

### 3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

O presente capítulo contextualiza o processo de gestão e controle qualitativo das águas pluviais do sistema de drenagem urbana. Primeiramente, aborda a gestão do sistema de drenagem urbana, retratando a interferência do processo de urbanização, os principais impactos e medidas de controle. Em seguida, discorre sobre qualidade das águas transportadas através dos sistemas de drenagem pluvial urbana, apontando as causas e mecanismos de gestão e controle da qualidade. Por último, descreve a modelagem como um dos principais métodos utilizados para avaliação e monitoramento de sistema de drenagem urbana, com ênfase na modelagem qualitativa por meio do Storm Water Management Model – SWMM.

#### 3.1 GESTÃO DE DRENAGEM URBANA

O sistema de drenagem urbana é um termo utilizado na definição do conjunto de medidas adotadas na retenção e condução de montante à jusante das águas em excesso das áreas urbanas, principalmente as de origem pluvial, com a finalidade de minimizar os possíveis impactos sobre o ambiente e a população local, possibilitando o desenvolvimento urbano de forma sustentável. Tradicionalmente os sistemas apresentam-se como sendo um sistema de macrodrenagem e microdrenagem, ambos apresentando diferentes critérios para sua implantação (MATOS, 2003; MENEZES, 2004).

Segundo Silveira et al. (2002), só é possível realizar o gerenciamento da drenagem urbana a partir da compreensão dos conceitos envolvidos, especialmente a diferenciação entre microdrenagem e macrodrenagem. Nesse contexto, pode-se definir a microdrenagem como o sistema condutor ou coletor de águas pluviais, apresentando pavimentações de ruas, guias e sarjetas, boca-de-lobo, rede de galerias e canais de pequenas dimensões em sua infraestrutura. Já a macrodrenagem é um sistema de maior dimensão envolvendo, além do sistema de microdrenagem, obras e estruturas que auxiliem na proteção contra erosão e assoreamento, principalmente dos corpos receptores.

Para Silva (2005), é importante salientar que a drenagem urbana não está restrita aos aspectos técnicos de engenharia, a mesma envolve todas as medidas plausíveis para atenuar os riscos e prejuízos sobre o ambiente e a população urbana sujeita a inundações. O autor reforça que a drenagem urbana tradicional surgiu da necessidade de direcionar as águas provenientes de precipitação aos afluentes naturais, em decorrência da grande impermeabilização ocasionada pela crescente urbanização, aliadas às obstruções dos percursos naturais das águas,

que basicamente divide-se em microdrenagem, constituída pelos traçados nas vias públicas, e macrodrenagem, caracterizada por estruturas de maior porte.

Embora o sistema de macrodrenagem seja o mais utilizado em grandes centros urbanos, sua adoção poderá torna-se inviável por causa da ocupação irregular do solo, necessitando de soluções estruturais, as quais são tidas como sistema de drenagem não-convencional, que gradativamente tem sido aplicada aos sistemas de drenagem já existentes, visando sua adaptação. As medidas não-convencionais permitem maior controle sobre a qualidade das águas drenadas, evitando que a poluição presente no sistema de escoamento chegue aos corpos hídricos receptores, comprometendo a qualidade e os usos das águas.

Por consequência da deficiência do gerenciamento em relação ao crescimento acelerado nos grandes centros urbanos, os sistemas de drenagem de águas pluviais sempre foram considerados de pouca importância e na maioria das vezes considerado de forma independente das ações do setor de saneamento básico acarretando impactos ao homem e meio ambiente. Conforme observa Souza (2005), são nos grandes centros urbanos, especialmente, que a drenagem urbana tem sido efetuada de forma insustentável, contaminando e alterando o regime de escoamento superficial através da impermeabilização do solo e deposição de resíduos sólidos nas vias públicas, representando ameaças de impactos consideráveis ao ser humano e a todo o ecossistema aquático.

Dentre os impactos ocasionados nos sistemas de drenagem urbana, os principais decorrem da produção de sedimentos ao longo do sistema. Destes, podem ser destacadas a obstrução dos componentes dos sistemas e a má qualidade das águas pluviais. Observa-se que os poluentes carreados no escoamento superficial, são materiais sólidos e/ou solúveis que se encontram ao longo das áreas permeáveis e impermeáveis decorrentes da abrasão e desgaste da superfície do solo, os resíduos domésticos, de construção civil e os resíduos orgânicos de animais, os quais são transportados até os corpos hídricos receptores (DELETIC et al., 2000; NEVES e TUCCI, 2003).

Brites e Gastaldini (2007) afirmam que o transporte das cargas poluidoras pode apresentar-se de diversas formas, dependendo de fatores como uso e ocupação do solo, densidade demográfica, geologia e frequência das precipitações, tendo como responsável principal a drenagem urbana. O desenvolvimento das áreas urbanas além de alterar as condições do meio ambiente e influenciar diretamente a qualidade de vida da população, tem

ocasionado preocupação ao homem pela conservação dos recursos naturais, surgindo a necessidade de identificar os fatores que influenciam a qualidade do meio ambiente.

Embora diversas pesquisas já advertissem sobre a importância e necessidade da gestão dos impactos decorrentes dos aspectos qualitativos das águas de drenagem em áreas urbanas, dificilmente as ações voltadas à qualidade foram incorporadas às práticas de gestão, a qual solucionava exclusivamente os problemas de inundação. Porém, com advento do desenvolvimento sustentável a qualidade e quantidade tornaram-se variáveis indissociáveis, as quais devem ser analisadas em conjunto. Essa consideração consiste no principal objetivo para elaboração do plano diretor e embasamento de todos os processos de gerenciamento do desenvolvimento urbano.

### 3.1.1 Medidas de gestão

As medidas utilizadas no planejamento da drenagem urbana podem ser definidas em três estágios: higienista, representado até 1970 por canais utilizados na transferência das águas de montante para jusante; corretivo ou compensatório, desenvolvido entre 1970 a 1990 no amortecimento quantitativo da drenagem e controle de impacto decorrente da qualidade de água pluvial; e sustentável, que vem sendo planejado desde 1990 e tendo como a principal característica o planejamento da ocupação do espaço urbano, o qual obedece aos mecanismos naturais do escoamento e controle dos poluentes, juntamente com o desenvolvimento sustentável do escoamento pluvial por meio da recuperação das áreas de infiltração (SNSA, 2005 *apud* FORGIARINI et al., 2007).

Para Baptista et al. (2005), a solução higienista de drenagem urbana, que também são denominadas de tradicionais ou clássicas, somente transferem os problemas de montante para jusante, visando exclusivamente a solução quantitativa e acarretando problemas irreversíveis para o solo e corpo hídrico receptores. Já a solução corretiva ou compensatória, baseia-se nas técnicas de *Best Management Practices* (BMPs), a qual ganhou repercussão sendo difundida e adotada em todo o mundo para a gestão de escoamento pluvial, porém foi substituída por uma solução que visa à sustentabilidade de forma efetiva (FORGIARINI et al., 2007).

A solução com uma abordagem sustentável almeja ser englobada nos conceitos da sustentabilidade, minimizando as perturbações aos processos naturais e sociais. Além de restringir as manutenções e ampliações de infra-estruturas, essa abordagem integra o sistema

de drenagem a diversas atividades sociais e ambientais, servindo de parâmetros para identificação do nível de sustentabilidade (CRUZ et al., 2007).

As estratégias sustentáveis *Low Impact Development* (LID) do Canadá e EUA, denominadas no Brasil de Desenvolvimento Urbano de Baixo Impacto, têm originado novas tecnologias que aproximam a drenagem urbana ao desenvolvimento sustentável através das implementações e melhorias dos sistemas existentes, visando o redimensionamento para aproveitamento, infiltração e evaporação das águas pluviais, assim como atenuar impactos provenientes da urbanização não planejada. Atualmente o LID opera diretamente no planejamento de empreendimentos e ambientes urbanos buscando conservar o processo hidrológico e os recursos naturais, além de prevenir o solo e as águas das possíveis poluições (SOUZA, 2005; CRUZ et al., 2007).

Diversos estudos têm apresentado novos conceitos de projetos de drenagem urbana, o qual incorpora técnicas de engenharia para amortecer as vazões de pico, entre as técnicas encontram-se a manutenção em canais abertos, reservatórios de retenção e adoção de áreas permeáveis (CANHOLI, 1995). Ganhos paisagísticos, ambientais e econômicos estão entre as vantagens adquiridas com o gerenciamento do sistema de drenagem urbana, que compreende desde o controle da frequência, duração e intensidade da precipitação, a qualidade do volume escoado superficialmente (SOUZA, 2005).

### 3.2 QUALIDADE DAS ÁGUAS DE DRENAGEM URBANA

Como abordado anteriormente, sabe-se que a composição das águas pluviais varia juntamente com a localização geográfica, condições meteorológicas, presença de vegetação e as cargas poluidoras existentes em cada ponto analisado. Quanto ao aspecto qualitativo, as águas pluviais transportadas pelos sistemas de drenagem urbanos, caracterizam-se por apresentar sedimentos, nutrientes, matéria orgânica, compostos químicos, agentes tóxicos, metais e uma variedade de microrganismos.

Na opinião de Silva (2004), a qualidade das águas escoada nas redes de drenagem urbanas depende da frequência de limpeza urbana, da intensidade, distribuição temporal e espacial das precipitações, uso do solo, entre outros fatores. O autor menciona que na legislação brasileira as águas de chuva são classificadas como esgoto, uma vez que transportam variedades de impurezas dissolvidas, suspensas ou arrastada mecanicamente até

os corpos hídricos receptores, comprometendo a utilização dos recursos hídricos para o abastecimento humano.

De acordo com Tucci (2005), as águas pluviais não apresentam qualidade melhor que um efluente de tratamento secundário, uma vez que a quantidade de material em suspensão é superior á encontrada no esgoto *in natura*, principalmente nos primeiros volumes das enchentes. Já Nogueira (2004 *apud* SILVA, 2001), afirma que apenas o primeiro volume de água vem contaminado e com poluição atmosférica, sendo que logo após o início da chuva, a água poderá adquirir muitas das características de água potável, quando comparadas com os parâmetros da OMS (Organização Mundial de Saúde), superando a qualidade de muitos mananciais destinados ao consumo humano.

### 3.2.1 Poluição das águas de drenagem urbana

O termo “poluição” consiste em mudanças indesejáveis do meio. Quando relacionado ao ambiente natural pode ser associado com a introdução de concentrações excessivas de substancias prejudiciais que, conseqüentemente, ocasionem alterações da composição e propriedades do meio natural, decorrentes de lançamento de resíduos sólidos, líquidos e gasosos (TOMAZ, 2006).

Conforme afirma Von Sperling (1996), as fontes poluidoras dos corpos hídricos podem apresentar-se como difusa, onde os poluentes distribuem-se ao longo do percurso das águas, ou pontual, adentrando de forma concentrada no corpo receptor. A poluição decorrente das águas pluviais de drenagem urbanas é considerada como poluição difusa, originada pela deposição de poluentes das atividades desenvolvidas sobre a área de contribuição (SILVA e PORTO, 2003).

Os principais poluentes presentes nas águas pluviais advêm dos poluentes existentes no ar que se precipita juntamente com a água precipitada, lavagens de superfícies urbanas contaminadas por diferentes poluentes, lançamento de esgoto doméstico no sistema de drenagem e materiais sólidos de erosão ou lixos urbanos depositados e transportados pela drenagem (TUCCI, 2003; SANTOS e LIMA, 2003).

A literatura apresenta diversos resultados que caracteriza a qualidade das águas de drenagem urbana. Na maioria das pesquisas realizadas demonstram que os valores são comparáveis as águas residuárias. Para Tucci (2004) os estudos de caracterização das águas

de drenagem apontam que as águas pluviais urbanas têm qualidade compatível com muitos efluentes domésticos após tratamento secundário, além de reforçar a influência de fatores como uso do solo, periodicidade de limpeza urbana, intensidade e distribuição temporal e espacial das precipitações.

### *3.2.1.1 Parâmetros para análise das águas de drenagem urbana*

Diante da inexistência de normas e padrões específicos de qualidade, tratamento e destino final adequado das águas pluviais ou de drenagem urbana, estas são consideradas pela quantidade e natureza das impurezas presentes. Já suas classificações são abordadas em função dos possíveis usos ou classe dos corpos d'água superficiais as quais são destinadas, sendo os parâmetros avaliados e os valores de referência definidos pela finalidade do uso, quando tem em vista o aproveitamento, e os padrões de lançamento do corpo d'água receptor.

Sendo a caracterização da qualidade da água de fundamental importância para indicar o estágio de conservação ou de degradação dos recursos hídricos. No entanto, o excesso de parâmetros a ser analisados compromete a obtenção de resultados precisos e acurados para trabalhos acadêmicos. Assim, para desenvolvimento de uma pesquisa sobre aspectos qualitativos de uma massa d'água, são analisados apenas os parâmetros viáveis e que estejam relacionados com os objetivos almejados. Nesse contexto, Chamun (2008) com o objetivo de quantificar a poluição difusa sobre as drenagem de esgoto doméstico lançada sobre uma bacia urbana na cidade de Santa Maria, RS, analisou os parâmetros de temperatura, turbidez, ST, pH, CE, OD, DBO, DQO, CT e *E. coli* nas águas de drenagem pluvial urbana.

No estudo de Campana e Bernardes (2010) foram utilizados os parâmetros pH, DQO, SST, cobre, sulfatos, sódio, zinco, chumbo, fósforo, óleos e graxas na caracterização da carga poluente decorrente a poluição difusa no escoamento da rede de drenagem pluvial de uma bacia urbana da cidade de Brasília - DF. Já Oliveira (2012), considerou os parâmetros de pH, OD, CTT, DBO, turbidez, SDT, temperatura, nitrato e fosfato no estudo da variabilidade sazonal de qualidade da água do rio Poti em Teresina, Piauí.

Quanto aos parâmetros abordados para desenvolvimento da presente pesquisa, foram selecionados sete parâmetros físico-químicos e um microbiológico que auxiliassem no estudo da caracterização qualitativa da água do sistema de drenagem pluvial da cidade de Campina Grande – PB. Sendo eles:

## ❖ **Temperatura**

Um dos principais parâmetros físicos no estudo das características de uma massa d'água é a temperatura, também apresentado como um dos principais parâmetros na prática da Engenharia Sanitária e Ambiental, capaz de medir a intensidade de calor ou energia térmica, indicar o grau de agitação das moléculas e serve de base para diversos parâmetros (SILVA e OLIVEIRA, 2001; PIVELI e KATO, 2005).

Em temperaturas elevadas ocorre à redução da viscosidade, tensão superficial, calor específico, constante de ionização e calor latente de vaporização, enquanto a condutividade térmica e a pressão de vapor aumentam. De forma geral, essa variável temperatura está ligada diretamente com a cinética das reações químicas e atividades biológicas dos organismos aquáticos. Segundo Silva e Oliveira (2001) na perspectiva analítica, a variável é utilizada nos cálculos de salinidade e das várias formas de alcalinidade, nos estudos sobre o carbonato de cálcio e variação das constantes exotérmicas e endotérmicas.

Conforme os padrões de exigência da Resolução N° 430/11 para o lançamento de efluentes de qualquer fonte poluidora, a temperatura deverá apresentar valores inferiores a 40°C e a variação entre as medidas da zona de mistura ser inferior a 3°C (alínea a do inciso I, do art. 16).

## ❖ **Turbidez**

A turbidez é uma característica física que provém do grau de atenuação da intensidade da luz ao atravessar uma coluna d'água. Essa redução é ocasionada pela dispersão e absorção da luz, visto que as partículas determinantes da turbidez são maiores que o comprimento de onda da luz branca e impede sua transmissão em linha reta (PIVELI e KATO, 2005).

Associado a presença de partículas suspensas, a turbidez poderá decorrer da variação sazonal, não influenciando na qualidade sanitária, ou de ações antrópicas, caracterizado por compostos tóxicos e organismos patogênicos. Os materiais em suspensão tais como partículas inorgânicas (areia, silte, argila) e orgânicas, algas, bactérias e plâncton em geral, possuem dimensões desde grosseiros (maiores de 1000 nm) a colóides (entre 1 e 1000 nm), dependendo do grau de turbulência essas partículas deixam a água com aparência nebulosa, indesejáveis e potencialmente perigosa, uma vez que as partículas servem de abrigo para bactérias e outros organismos vivos (SILVA e OLIVEIRA, 2001; PIVELI e KATO, 2005).

No contexto das Resoluções CONAMA 430/11 e 357/05 a turbidez não está diretamente entre as condições de lançamento de efluentes, contudo os materiais flutuantes e sedimentáveis devem estar visualmente ausentes. Na classificação dos corpos d'água a turbidez das águas doce de classe 1 pode chegar a 40 UNT, as de classes 2 e 3 até 100 UNT e as demais classificações as substâncias causadoras de turbidez devem estar visualmente ausentes.

### ❖ **Sólidos Suspensos Totais - SST**

As concentrações das frações de sólidos são frequentemente determinadas nos estudos de poluição dos recursos hídricos, na caracterização dos efluentes e controle dos sistemas de tratamento de esgotos, conseqüentemente são avaliados quanto ao tamanho (sólidos suspensos ou dissolvidos) e natureza química (fixos ou voláteis) (TRENTIN e BOSTELMANN, 2010). Na prática da Engenharia Sanitária, a definição de sólidos ou resíduos de uma amostra, representa toda a matéria que permanece em forma de resíduo, após evaporação e secagem ou calcinação da amostra em um período de tempo fixado a uma temperatura pré-estabelecida (PIVELI e KATO, 2005).

Dentre as classificações dos sólidos, os suspensos totais representam a fração de sólidos não dissolvidos pela água, ou seja, a fração de sólidos que ficam flutuando na massa d'água. Para Campana e Bernardes (2010) compreender os fatores que geram a produção dos sedimentos transportados pelo sistema de drenagem urbana é de fundamental importância na identificação do tratamento necessário para o efluente gerado, além de servir de orientação de outros estudos da qualidade de águas urbanas.

De acordo com as concentrações de poluentes frequentemente encontrados no escoamento pluvial urbano, a concentração de sólidos em suspensão apresenta média entre 30,3 a 329,2 mg/L com desvio padrão de 12,8 mg/L (TRENTIN e BOSTELMANN, 2010). Quanto aos padrões disposto em legislação, estes não mencionam concentrações limites, mas ressalta que os resíduos flutuantes e sedimentáveis devem estar visualmente ausentes.

### ❖ **Potencial Hidrogeniônico - pH**

Potencial Hidrogeniônico ou, somente, pH é o termo utilizado universalmente para expressar a concentração iônica do hidrogênio ( $H^+$ ) de uma solução, permitindo determinar as condições ácidas, básicas ou neutras. Do ponto de vista químico, a medida do pH é um dos procedimentos mais importantes na caracterização físico-química da água, e muito utilizada no

tratamento de efluentes e água potável, sendo alguns processos como neutralização, coagulação, precipitação, desinfecção e controle da corrosão são dependentes do pH (SAWYER et al., 1994).

O pH interfere sobre nos ecossistemas aquáticos naturais devido a influencia na fisiologia das diversas espécies, precipitação de elementos químicos tóxicos e efeito sobre a solubilidade dos nutrientes No âmbito da Engenharia Ambiental os valores desejados de pH estão entre 6 a 9, para o bom funcionamento e desenvolvimento da vida aquática, o mesmo poderá variar de acordo com a temperatura e o oxigênio dissolvido no meio. (SAWYER et al., 1994; PIVELI e KATO, 2005).

As concentrações encontradas e abordadas por Campana e Bernardes (2010) como valores de referencia frequentemente encontrados no escoamento pluvial urbano apresentam pH entre 5,7 a 7,4. Segundo as Resoluções CONAMA 430/11 e 357/05 os valores de pH das águas doces tem variação de 6,0 a 9,0 sendo que as exigência para efluente a serem lançados determina um pH entre 5,0 a 9,0.

### ❖ **Oxigênio Dissolvido - OD**

O oxigênio dissolvido é um gás pouco solúvel, sua presença em águas naturais provém da atmosfera decorrente a diferença de pressão parcial. O mesmo é regido pela Lei de Henry, que define a concentração de saturação de um gás na água pelas características de temperatura e pressão exercida sobre a superfície líquida (PIVELI e KATO, 2005).

Sendo um elemento fundamental no metabolismo dos organismos aquáticos e tratamento biológico de efluentes, além de ser um parâmetro relevante na legislação das águas e nos Índices de Qualidade de Águas (IQAs), a determinação da concentração de oxigênio dissolvido constitui um dos importantes mecanismos da Engenharia Ambiental no controle da poluição de corpos receptores e determinação do comportamento biológico em efluentes líquidos (SAWYER et al., 1994).

Na literatura não existe uma faixa padrão entre os valores comumente encontrados nas águas de escoamento urbano, principalmente por não está entre os parâmetros frequentemente avaliados. Já os limites determinados pela legislação refere-se aos corpos d'água, que não podem ser inferior a 6, 5, 4 e 2 mg/L para águas doces de classes 1, 2, 3 e 4, respectivamente.

### ❖ **Demanda Bioquímica de Oxigênio – DBO<sub>5,20°</sub>**

Demanda Bioquímica de Oxigênio significa a quantidade de oxigênio exigida pelas bactérias para estabilizar a matéria orgânica biodegradável em condições aeróbias. Normalmente determinada pela quantidade de oxigênio consumida pelos microrganismos em espaço de tempo e temperatura específica. Habitualmente utiliza-se um tempo de 5 dias e temperatura de 20°C, por isso a terminologia DBO<sub>5,20°</sub> (SAWYER et al., 1994).

A determinação da DBO é um parâmetro de fundamental importância no controle da poluição dos corpos hídricos. É o único teste capaz de quantificar a matéria orgânica presente biologicamente nos esgotos domésticos e industriais em termos de oxigênio necessário para sua decomposição, determinando as taxas que ocorrerá a oxidação em um corpo d'água receptor. Na Engenharia Ambiental a DBO<sub>5,20°</sub> representa um importante padrão para classificação das águas naturais e sua capacidade de auto-depuração, além de constituir um dos principais parâmetro do IQA (índice de qualidades das água) e do controle da eficiência das estações de tratamento biológico de água residuárias (PIVELI e KATO, 2005).

Segundo os valores médios dos parâmetros de qualidade da água de drenagem pluvial de ambientes urbanos apresentados pela *American Public Works Association* (APWA), a concentração de DBO encontra-se entre na faixa de 1 a 700 mg/L (TUCCI, 2005). Já a Resolução CONAMA N° 430/11 menciona que as condições para lançamento de efluentes é a remoção de no mínimo 60% da DBO, onde o percentual poderá ser alterado dependendo do estudo de autodepuração do corpo hídrico que atenda as metas do enquadramento do corpo receptor. Os padrões exigidos na Resolução CONAMA N° 357/05 para água doce tem valores de até 3, 5 e 10 mg/L para classe 1, 2 e 3, respectivamente.

### ❖ **Demanda Química de Oxigênio – DQO**

A técnica de determinação da Demanda Química de Oxigênio avalia a concentração de carga poluidora ou matéria redutora de uma amostra a partir da oxidação química por agentes oxidantes fortes em condições ácidas (PIVELI e KATO, 2005). Embora a literatura aborde outras substâncias químicas oxidantes, comumente utiliza-se o Dicromato de Potássio (K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub>), pois oferece um maior poder oxidante e apresenta-se estável tanto no estado sólido como em soluções (ZUCCARI, et al., 2005).

No âmbito da Engenharia Sanitária a DQO é indispensável para caracterizar os esgotos sanitários e industriais, além de ser utilizado conjuntamente com a DBO para observar o nível de biodegradabilidade dos efluentes. No processo analítico todo o composto orgânico, com raras exceções, é convertido em gás carbônico e água, independentemente da assimilação biológica das substâncias. Assim, pode-se justificar os resultados da DQO tenderem a ser maiores que a DBO, principalmente quando existe quantidade significativa de material orgânico biologicamente resistentes (SAWYER et al., 1994; PIVELI e KATO, 2005).

A DQO tem demonstrado ser muito eficiente no processo de controle dos sistemas de tratamento anaeróbico de águas residuárias. Ainda que apresente limitações, como inabilidade em diferenciar o material orgânico biologicamente oxidável do biologicamente inerte e inviabilidade na determinação da velocidade com que as o material biologicamente ativo seria estabilizado em condições naturais, o teste de DQO tem substituído gradativamente o teste de DBO, uma vez que tem a vantagem de ser um teste rápido e, após ensaios, é possível estabelecer uma correlação segura para interpretar em termos de DBO (SAWYER et al., 1994; ZUCCARI, et al., 2005).

Embora não distinguindo as frações biodegradáveis, o parâmetro DQO possibilita quantificar o material orgânico presente em um corpo hídrico, referindo-se a estabilização da matéria orgânica por processos químicos expressos em oxigênio dissolvido. Segundo os valores de referências abordados por Campana e Bernardes (2010) para concentração de poluentes encontrados no escoamento urbano apresentam valores típicos de 110 mg.O<sub>2</sub>/L. A legislação não há referência quanto ao parâmetro DQO para lançamento de efluentes, podendo ser justificado por o mesmo está diretamente interligado as concentrações de DBO e OD, características principais da degradação da qualidade da água.

### ❖ **Coliformes Termotolerantes - CTT**

O Ministério da Saúde através da Resolução nº 12/2001 da Agência Nacional de Vigilância Sanitária (Anvisa) expõe a terminologia “coliformes à 45°C”, para determinar os “coliformes termotolerantes” e “coliformes de origem fecal”. E no anexo da portaria Nº 1469/2000, onde apresenta a “Norma de Qualidade da Água para Consumo Humano”, determina a *Escherichia coli* como indicador de contaminação fecal e organismos patogênicos (ANDRADE NETO, 1999).

O procedimento para determinação e quantificação da presença de microorganismos é uma atividade importante para controle da poluição e de doenças de veiculação hídrica. Ao analisar os agentes patogênicos podem-se descobrir as possíveis fontes poluidoras e minimizar os impactos gerados. Dentre os principais microrganismos estudados os coliformes termotolerantes distinguem-se por suportar elevadas temperaturas e apresentar os organismos indicadores de contaminação fecal, ou seja, ao quantificar os coliformes termotolerantes pode-se avaliar a influencia de atividades antrópicas.

Segundo Campana e Bernardes (2010) os valores de referencias abordados em literatura para água de escoamento urbano tem em média 3.700 a 16.000 CTT/100mL, já o padrão de lançamento têm que considerar a classificação do corpo hídrico receptor. Como descrito na CONAMA 357/05, as concentrações de microrganismos em águas doces não podem exceder os valores em 80% das amostras analisadas, sendo nas classes 1, 2 e 3 o limite máximo de 200, 1000 e 4000 Coliformes Termotolerantes por 100 mL (CTT/100 mL), respectivamente.

### 3.2.2 Gerenciamento da qualidade das águas de drenagem urbana

Sendo a drenagem urbana gerida apenas no âmbito da quantidade de água, de modo que constantemente buscam-se alternativas de controlar e prevenir as inundações, a gestão da qualidade apenas é inserida nas soluções de problemas, como o acúmulo de resíduos e entupimento de componentes do sistema, tornando-se necessário uma abordagem mais técnica que possibilite o controle e a sustentabilidade do próprio sistema.

Mendonça (2009) assegura que a utilização de critérios mensuráveis para o controle das águas pluviais urbanas, possibilitando as ações preventivas na promoção de saúde pública e diminuição dos riscos ambientais, além de aceitar o aperfeiçoamento e garantir a segurança do sistema adotado, contribui no aumento da qualidade de vida da população. Para MacCormick (1995, *apud* Australia 2002), assim como as águas servidas as águas pluviais podem ser exploradas de forma ambientalmente correta e com baixo custo-benefício para as edificações urbanas, transformando o problema de controle da qualidade em oportunidade de desenvolvimento sustentável.

Recentemente estudos têm buscado estimar as cargas poluidoras das águas de drenagem urbanas, uma vez que é de fundamental importância na prevenção dos corpos receptores e, juntamente com a precipitação, uso e ocupação do solo, apresentam-se como

uma ferramenta relevante na gestão operacional e modernização do sistema de drenagem urbana (CAMPANA e BERNARDES, 2010). Nesse contexto, Pauletti e Siqueira (2011), buscaram quantificar, em três diferentes tipos de pavimentação e condições de tráficos, o acúmulo de poluentes em águas pluviais e simular o carregamento dos poluentes em três eventos distintos, identificando os principais fatores que afetam a qualidade das águas de drenagem urbana no município de Goiânia, capital do estado de Goiás.

Apesar da quantificação de cargas poluidoras em águas urbanas apresentarem sua importância na gestão sustentável, atualmente faz-se necessários estudos que integrem a quantidade e qualidade das águas dos sistemas urbanos de drenagem, os quais serão imprescindíveis no desenvolvimento de tecnologias que visem mitigar os impactos decorrentes dos poluentes e eventos hidrológicos. Nesse sentido, a modelagem matemática tem sido apontada como um dos instrumentos mais eficientes e de fundamental importância no planejamento, dimensionamento, implantação, operação e controle dos sistemas de drenagem pluvial urbana.

### 3.3 MODELAGEM DO SISTEMA DE DRENAGEM URBANA

Na modelagem quali-quantitativas para avaliação dos sistemas de drenagem urbana, frequentemente utiliza-se os modelos matemáticos de simulação, os quais constituem um instrumento de análise capaz de simular condições atuais e futuras de um mesmo sistema através de diferentes informações, permitindo a representação e simulação de alternativas e condições possíveis, dentro de uma faixa de incerteza do conhecimento técnico e científico (TUCCI, 1998).

Mesmo utilizados como ferramenta importante para planejamento, elaboração e diagnósticos dos cenários, a qual fornece respostas através de um conjunto de informações inicialmente disponível e possibilita a avaliação das consequências dos possíveis cenários de sistemas já existentes ou que estejam sendo projetados (AZEVEDO et al., 1998), os modelos matemáticos são auxiliares na simulação de alternativas apontadas por planejadores e questionadas pela população, uma vez que o conhecimento comportamental dos processos envolvidos e simulados torna-se essencial para a adoção de alternativas e obtenção de resultados representativos e corretamente avaliados (ALVAREZ, 2010).

Entre os critérios para determinar a qualidade dos modelos matemáticos utilizados como representantes da natureza de um sistema a versatilidade é uma das principais, a mesma

permite a obtenção de respostas em decorrência das informações contidas nos dados de entradas, podendo ser obtido diferentes resultados para um mesmo sistema. Embora desenvolvam excelentes funções, Porto (1997) assegura que todos os modelos matemáticos apresentam suas limitações. O autor também ressalta a inexistência de modelos que representem fielmente a realidade e proporcionem resultados absolutamente precisos.

Quando se propõe a utilização da modelagem em sistema de drenagem urbana podem ser abordados diversos objetivos, como avaliar as possíveis respostas da bacia para compor estratégias e planejamento detalhado do sistema, estimar a carga poluidora existente, desenvolver o gerenciamento operacional, controlar o sistema em tempo real e analisar as interações entre sub-bacias (MAKSIMOVIC, 2001). Atualmente existe uma infinidade de modelos hidrológicos a disposição de profissionais e pesquisadores da área de recursos hídricos. De acordo com Collodel (2009), esse fato sucede das especificações e as formulações matemáticas empregadas por cada modelo.

Diante disso, pode-se considerar que a escolha do modelo adequado a se trabalhar será correspondente ao nível de detalhamento e precisão requerido, assim como a quantidade de dados disponíveis. Entre os modelos hidrológicos mais utilizados para fins de estudo da drenagem urbana, Tucci et al. (1981) destaca o IPH II, desenvolvido pelo Instituto de Pesquisas Hidráulicas da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como o modelo mais difundido na América do Sul e no Brasil.

Já Meller (2004) apresenta o *Modelling of Urban Sewer* – MOUSE, modelo desenvolvido pelo Instituto de Hidráulica da Dinamarca (DHI, 1985), o qual utilizou para avaliar a ineficiência da drenagem urbana e proporcionar soluções ao planejamento de drenagem da bacia hidrográfica Alto da Carolina em Santa Maria – RS. Porém, Collodel (2009) ressalta que o *Storm Water Management Model* – SWMM que merece destaque por ser de domínio público, amplamente utilizado em todo o mundo e permitir incorporar o nível de detalhamento desejado pelo usuário além de modelar a qualidade da água de drenagem, e por esses motivos que o mesmo foi escolhido como ferramenta de análise neste trabalho.

### 3.3.1 Storm Water Management Model - SWMM

O *Storm Water Management Model* - SWMM é um software de modelação e gestão de águas pluviais desenvolvido pela U.S EPA (Environmental Protection Agency) em 1971, que se propõe modelar os problemas de quantidade e qualidade de escoamento em múltiplos

espaços de tempo e volume precipitado. Desde sua criação o programa tem passado por processos de modificações e atualizações. A versão mais atual, o SWMM 5.0 lançado em 2005, apresenta um pacote mais completo, contendo uma interface gráfica que encontrava-se ausente nas versões anteriores (ROSSMAN, 2009).

Considerado um modelo hidrológico dinâmico, o SWMM é capaz de simular os eventos de precipitação e escoamento calculando a quantidade e qualidade do volume escoado em diversos espaços de tempo. Por operar sobre um conjunto de sub-bacias que geram, a partir da precipitação, cargas de escoamento e poluentes, permite ao usuário avaliar os impactos do escoamento e a eficiência das estratégias de mitigação (FRAZÃO, 2011).

Ao simular a condução do escoamento, o programa prevê, além da quantidade e qualidade, a vazão, profundidade e fluxo da água em cada tubulação em múltiplos passos durante o período de simulação (APRÍGIO, 2012). Collodel (2009) fez um comparativo entre as características do SWMM e de outros modelos hidrológicos, conforme apresentado na Tabela 3.1, e comprovou a maior abrangência e flexibilidade do SWMM.

Tabela 3.1 - Comparação das características de modelos hidrológicos.

Capacidade de Simulação	Modelos				
	CHM	ILLUDAS	STORM	IPHS1	SWMM
Múltiplas sub-bacias	X	X	-	X	X
Entrada de diversos hietogramas	X	-	-	X	X
Evaporação	X	-	X	-	X
Degelo	-	X	X	-	X
Escoamento de base	X	X	-	X	X
Escoamento de superfície de áreas impermeáveis	X	X	X	X	X
Escoamento de superfície de áreas permeáveis	X	X	X	X	X
Áreas diretamente conectadas	-	X	-	-	X
Balanço hídrico entre eventos	X	-	X	X	X
Escoamento em sarjetas	X	X	X	-	X
Propagação em galerias	X	X	X	X	X
Múltiplas seções transversais	-	-	-	-	X
Escoamento sob pressão	-	-	-	X	X
Derivações	-	X	X	-	X
Estações elevatórias	-	X	-	X	X
Armazenamento	-	X	X	X	X
Cálculo de nível	-	X	-	X	X
Cálculo de velocidades	-	X	-	X	X
Simulação contínua	-	-	X	X	X
Escolha do passo de tempo	X	X	-	X	X
Cálculo de projetos	X	X	-	X	X
Código computacional disponível	X	X	X	X	X

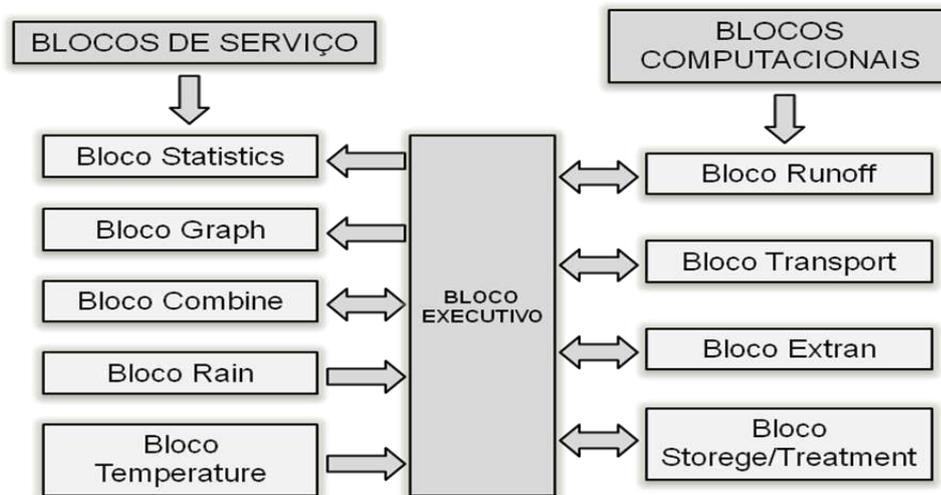
x Permite a simulação  
 - Não permite a simulação

Fonte: Adaptado de COLLODEL, 2009.

Quanto à estrutura apresentada, Huber e Dickinson (1992) expõem o modelo em dez diferentes blocos ou módulos, sendo cinco blocos de serviços, quatro computacionais e um executivo. A Figura 3.1 apresenta a representação da estrutura do SWMM, nela observa-se os bloco de serviços composto por: *Statistics* destinado as análises estatísticas das simulações; *Graph* voltado a apresentações dos dados de saída em forma de gráficos; *Combine* utilizado para combinação de arquivos de interface; *Rain* disposto a avaliação da precipitação dos dados de entrada; e *Temperature* verificando os dados de entrada para temperatura.

Auxiliados pelos módulos de serviços os computacionais desenvolvem as principais funções de cálculos, dentre eles estão: *Runoff* responsável pela geração do escoamento superficial, transformação chuva-vazão; *Transport* utiliza o método da onda cinemática para propagação do escoamento através das redes de drenagem; *Extran* faz modelagem hidrodinâmica em condutos e canais; *Storage/Treatment* realiza o tratamento e armazenamento da água.

Figura 3.1 - Estrutura do modelo SWMM 5.0.



Fonte: Adaptado de HUBER e DICKINSON, 1992.

Assim como na modelagem da quantidade, para modelar a qualidade do escoamento pluvial o modelo a ser utilizado deve estar relacionado com a finalidade da análise, tempo e dados disponíveis, entre outros fatores condizentes com o objetivo principal da pesquisa e as condições da área a ser modelada, excepcionalmente quando relacionados à disponibilidade dos dados necessários e indispensáveis. O software SWMM 5.0 apresenta ótima eficiência quanto à modelagem qualitativa, com o bloco *Runoff*, usualmente adotado para transformação chuva-vazão, permite estudar as cargas difusas que geram a poluição das águas transportadas pelo sistema de drenagem (APRÍGIO, 2012).

Utilizando as funções para qualidade de água o SWMM permite ao usuário avaliar a qualidade da água transportada pelo sistema de drenagem urbana, o comportamento de um poluente específico ou sua relação em função de outro. Dentre os frequentes estudos de qualidade da drenagem que podem ser adotados utilizando o modelo, estão: Proteção da qualidade das águas; Avaliação de poluição difusa; Identificação de impactos dos sistemas de esgoto; Estimativa da eficiência de BMPs na redução de poluentes; Estudo da geração de poluentes em diferentes usos do solo; Avaliação dos poluentes em períodos hidrológicos distintos; Concentração dos poluentes na água de chuva; Acumulação em tempo seco para diferentes utilizações do solo; e Redução de acumulação devido à limpeza urbana.

### 3.3.2 Aplicações quantitativas e qualitativas do SWMM

Na literatura existem diversos autores que adotaram o modelo *Storm Water Management Model* – SWMM em suas pesquisas. Como Garcia (2005) que modelou o escoamento pluvial da bacia hidrográfica do Arroio Cancela em Santa Maria – RS, avaliando a influencia do desenvolvimento urbano entre os anos de 1980 e 2004, onde foi avaliado o aumento do escoamento superficial de 109% e 89,8% no volume escoado. Com o mesmo, o autor estimou as percentagens para um cenário futuro, neste a vazão apresentou um acréscimo de 60% e o volume escoado de 59%, determinando a necessidade de um planejamento urbano de uso e ocupação do solo como medida de prevenção das futuras inundações.

Abordando a eficiência da aplicabilidade dos modelos matemáticos em bacias urbanas, Garcia e Paiva (2006) utilizaram o modelo SWMM à bacia hidrográfica urbana com 4,5 Km<sup>2</sup> de área de drenagem sendo 34,6% áreas impermeáveis. O objetivo do estudo incidiu na simulação dos eventos de cheia na bacia hidrográfica do Córrego da Cancela, Santa Maria – RS, e as mudanças ocorridas pelo processo de urbanização para anos 1980, 1992 e 2004.

Já Bastos (2007) também aplicou o SWMM em duas bacias hidrográficas urbanas na cidade de Santa Maria, Rio Grande do Sul. Mas, objetivando analisar os diversos parâmetros envolvidos no escoamento das águas pluviais, as áreas urbanas e rurais foram simuladas separadamente. Dentre os parâmetros considerados, a infiltração e o coeficiente de rugosidade de Manning apresentaram sensibilidade, constatou-se que o modelo SWMM apresenta certa instabilidade em relação a condutos fechados operando em capacidade máxima e nas áreas que não ocorreram inundações.

Nos estudos de Frazão (2011), o mesmo buscou realizar a calibração e validação dos modelos MOUSE e SWMM em seção da bacia do Carneiro de Alcântara em Lisboa, baseado em registro da vazão do caudal (primeiros volumes escoados na bacia) e utilizando características físicas como largura média, impermeabilidade, inclinação e alteração na capacidade de infiltração. Os resultados demonstraram a ocorrência de erros mínimos próximos a 5%, admitindo a aprovação dos modelos e indicando para trabalhos posteriores.

Nóbrega (2012) utilizou o SWMM 5.0 na avaliação dos efeitos da urbanização de microbacias da cidade de Campina Grande, Paraíba, objetivando melhoramento do sistema de drenagem urbana pluvial para minimizar e prevenir os riscos dos eventos de inundação. Adotando o bairro do Catolé como área de estudo, os resultados demonstraram a existência de falhas, sendo a melhor opção encontrada composta por modificações na rede de drenagem com a redução de 20% das áreas impermeável.

Embora não possa modelar a dinâmica dos processos físicos, químicos e biológicos dos poluentes em contato com o ambiente aquático, através de cálculos matemáticos é possível reproduzir o comportamento das águas em uma bacia de drenagem ou em um sistema de drenagem. Atualmente existem muitos modelos matemáticos que possibilitam a representação quantitativa e qualitativa das águas pluviais, contudo são poucos os estudos que abordam a parte de qualidade.

A pouca frequência da aplicação dos cálculos matemáticos de caráter qualitativo é justificado na literatura pela dificuldade e custo para obtenção dos dados necessário, enquanto as descrições das experiências com simulação quantitativa ajustam-se facilmente aos dados hidrológicos convencionais, na abordagem qualitativa o processo requer um extenso exercício de calibração para uma representação fidedigna a realidade e dos processos naturais, além de acompanhamento monitorado precedente a modelagem (DONIGIAN e HUNBER, 1991; SHOEMAKER et al., 2005; GASTALDINI e SILVA, 2012).

Quanto à abordagem do modelo para a qualidade da água, Almeida (2007) usou o software SWMM na avaliação do impacto das cargas provenientes de pequenas bacias de drenagem para o Rio de Aveiro, em Portugal, um importante estuário português que recebe diversas contribuições de áreas agrícolas, urbanas e industriais. No entanto, a autora utilizou apenas a simulação de volume-vazão, com a qual referenciou os resultados da monetarização efetuada nos locais de amostragem. Mesmo não tendo realizado a modelagem qualitativa, a

pesquisa conseguiu identificar e classificar as áreas e suas influências quanto à contaminação das águas por diversos fatores.

A simulação realizada por Chen e Adams (2007), na cidade de Toronto, Canadá, em uma área residencial de 16,1 hectares, possibilitou avaliar seis tipos de poluentes, sendo eles: Sólidos Suspensos (SS); Sólidos Totais (ST); Demanda Biológica de Oxigênio (DBO); Demanda Química de Oxigênio (DQO); Ferro ( $Fe^+$ ) e Polifenóis Totais. Adotando uma acumulação do tipo exponencial, os resultados demonstraram uma quantidade de poluentes na superfície entre 105 e 1110 kg/ha para ST e SS, sendo o coeficiente de correlação entre os poluentes considerados de 0,86 a 0,93.

Temprano et. al. (2006) estudaram o SWMM no comportamento de poluentes em um sistema de esgoto combinado, a simulação foi realizada em uma área com 56 hectares pertencente à cidade de Santander, ao norte da Espanha. Foi simulado o acúmulo das variáveis Demanda Química de Oxigênio (DQO), Sólidos Suspensos (SS) e Nitrogênio Kjeldahl (NTK) para diferentes uso e ocupação do solo. Com o estudo concluíram que a acumulação e carreamento dos poluentes no sistema são influenciadas por outras variáveis, induzindo a uma dinâmica que ainda necessita ser estudada, porém o modelo matemático não considera algumas peculiaridades dessa dinâmica.

Gomes (2008) buscou o entendimento do processo de acumulação e transporte de sedimento na microdrenagem urbana da Rua Marquês de Herval na zona urbana da cidade de Santa Maria – RS. A metodologia constituiu no monitoramento sedimentológico e utilização do modelo SWMM, o que possibilitou estimar o escoamento superficial e sua qualidade em relação à concentração de sedimentos em suspensão (SS). Nos resultados apresentados foi possível identificar um coeficiente de correlação médio de 0,87 e a percentagem de erros próximos de 36% para o parâmetro de qualidade, 12,45% na vazão de pico e 5,30% no volume escoado, obtendo-se assim uma boa representação dos processos estudados.

Através desses e outros trabalhos utilizando o software SWMM como objeto de pesquisa, é possível obter informações relevantes do funcionamento do processo de modelagem qualitativa do sistema de drenagem urbana. Nesse contexto, o presente estudo optou aplicar o SWMM em duas sub-bacias de drenagem urbana na cidade de Campina Grande – Paraíba. Verificou-se a carência de estudos que, além de determinar o volume, defina as características qualitativas do escoamento pluvial urbano.

## 4 MATERIAIS E MÉTODOS

No presente capítulo encontra-se descrito todo o processo metodológico utilizado no desenvolvimento da pesquisa. Inicialmente, através de uma descrição detalhada, buscou-se apresentar a área de estudo, o modelo matemático utilizado e aquisições dos dados utilizados. Posteriormente, analisou-se o procedimento de sensibilidade, calibração, validação e simulação do programa com o sistema de drenagem urbana em estudo.

### 4.1 ÁREA DE ESTUDO

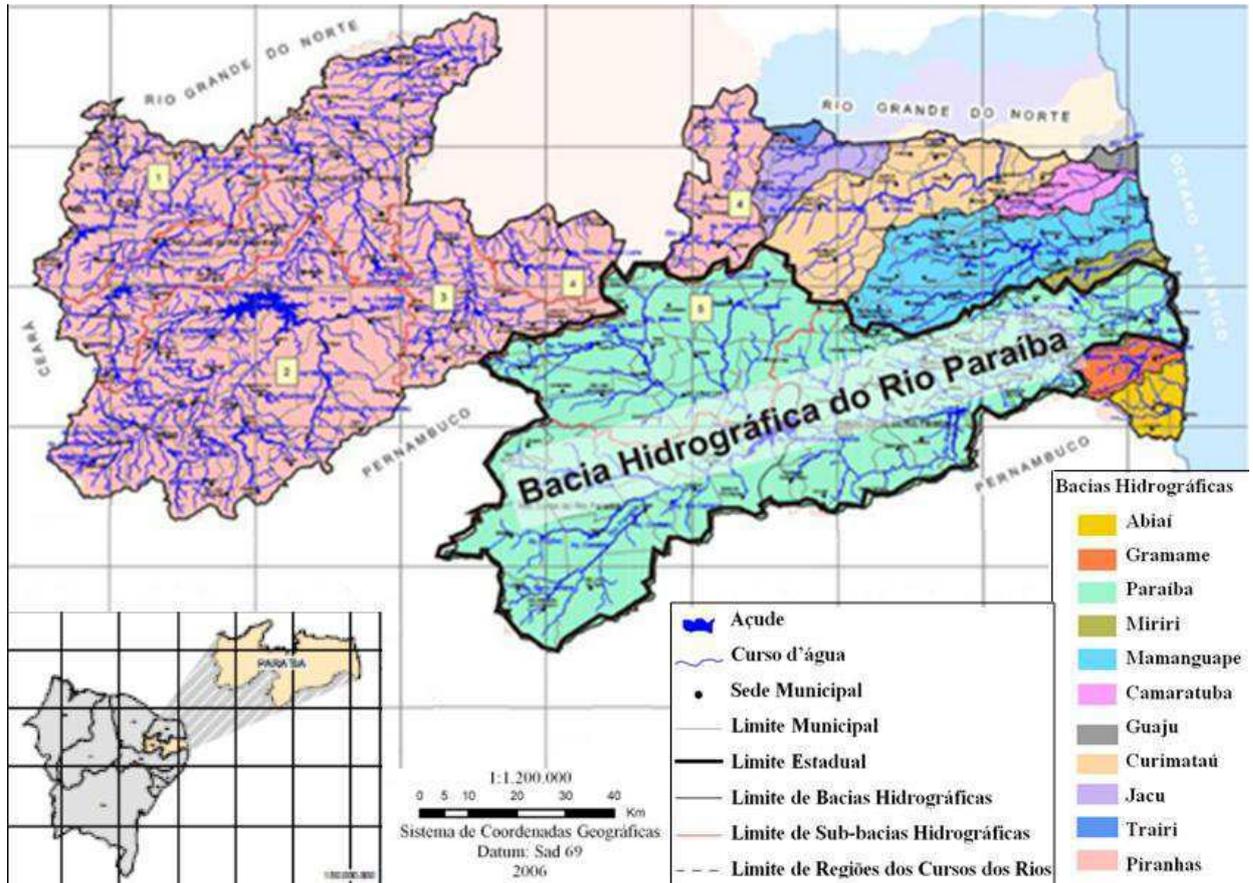
#### 4.1.1 A Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba

Ao longo do tempo muitas definições foram formuladas para definir uma bacia hidrográfica. De forma simplificada, designa-se como uma área de captação natural delimitada por divisores de água, cuja drenagem superficial é conduzida por um curso d'água principal e seus efluentes até uma única saída. As características de uma bacia constituem o princípio das pesquisas hidrológicas, e tem como finalidade esclarecer a dinâmica dos eventos hidrológicos locais e regionais.

A bacia hidrográfica do Rio Paraíba (Figura 4.1), com 20.071,83 km<sup>2</sup> de área, está localizada entre as latitudes 6°51'47'' e 8°18'12'' Sul e longitudes 34°47'37'' e 37°21'22'' Oeste de Greenwich, sendo a segunda maior bacia do estado da Paraíba, o que corresponde a 34% de todo o território paraibano (ARAGÃO et al., 1998; NÓBREGA, 2012).

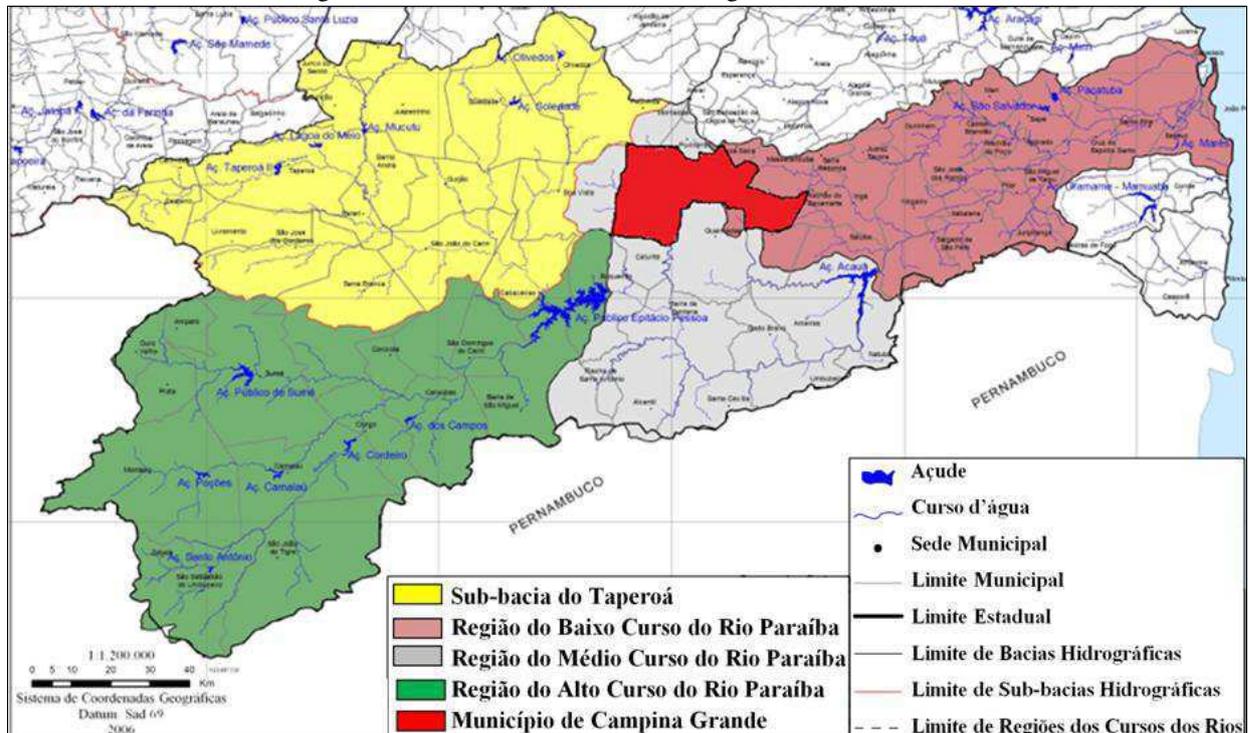
Considerada uma das mais importantes bacias do semi-árido nordestino, por apresentar grande extensão geográfica e diversidades físicas e climáticas, a bacia do Rio Paraíba integra as mesorregiões da Borborema, Agreste e Litoral Paraibano (PERH, 2004; NÓBREGA, 2012). Diante da diversidade nas características apresentadas, a bacia do Rio Paraíba é dividida em três regiões do Rio Paraíba (Alto, Médio e Baixo Curso do Rio Paraíba) e na sub-bacia do Taperoá. A Figura 4.2 apresenta as subdivisões da bacia hidrográfica do Rio Paraíba com destaque do município de Campina Grande encontra-se inserido na Região do Médio Paraíba e Região do Baixo Paraíba.

Figura 4.1 - Localização da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba.



Fonte: Adaptado de AESA, 2006.

Figura 4.2 - Subdivisões da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba.

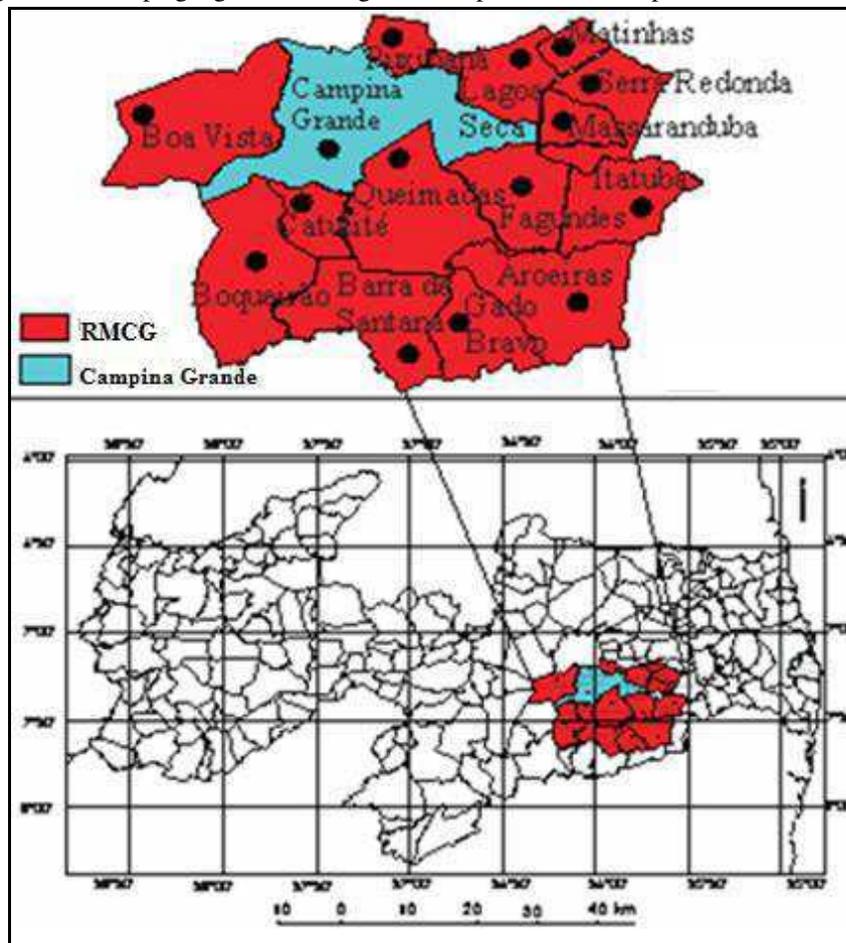


Fonte: Adaptado de AESA, 2006.

#### 4.1.2 O município de Campina Grande - Paraíba

Dentre os municípios paraibanos pertencentes à bacia hidrográfica do Rio Paraíba, Campina Grande é considerada, segundo a revista americana Newsweek (2011), um dos principais pólos industriais da Região Nordeste e o maior pólo tecnológico da América Latina. Pertencente a Região Metropolitana de Campina Grande – RMCG (Figura 4.3) criada pela Lei Complementar Estadual nº 92/2009, o município localiza-se a 7°13'50" Sul e 35°52'52" Oeste de Greenwich, com uma área territorial de 594,182 km<sup>2</sup>, limitando-se a Sul com os municípios Cuité, Queimadas e Fagundes, ao Norte com Pocinhos, Puxinanã, Lagoa Seca e Massaranduba, a Leste com Riachão do Bacamarte, e Oeste com Boa Vista.

Figura 4.3 – Mapa geográfico da Região Metropolitana de Campina Grande – Paraíba.



Fonte: SOUSA, 2013.

Segundo dados do IBGE (2011) a população de Campina Grande é de 387.644 habitantes, sendo aproximadamente 95% pertencentes à zona urbanas, e sua densidade populacional de 648.31 hab/km<sup>2</sup>. O município está constituído pela cidade de Campina Grande (sua sede), os distritos de Galante, Santa Terezinha, Catolé de Boa Vista, Catolé de Zé Ferreira, São José da Mata e áreas rurais de entorno (NÓBREGA, 2012).

### 4.1.3 A cidade de Campina Grande

A cidade de Campina Grande está situada no agreste, entre o litoral e o sertão paraibano, sendo beneficiada com um clima semi-árido (Bsh pela escala de Koppen). Além de está em uma região alta, com curvas de níveis que variam de 337 a 665 metros acima do nível do mar, apresenta temperaturas agradáveis, entre 18°C, nos dias mais frios decorridos entre o os meses de Maio a Agosto, e 32°C, nos dias quentes nos períodos de Janeiro a Março e de Outubro a Dezembro.

Considerada a segunda maior área urbana do estado e, pela hierarquia das redes urbana brasileira, classificada como Centro Submetropolitano, a cidade é privilegiada em relação à equidistância aos principais centros nordestinos, proporcionando a mesma atuar como centro receptor e distribuidor de matéria-prima e mão de obra. Juntamente com a capital João Pessoa, distante a 124 km, exerce grande influencia de caráter político, cultural, educacional, social e econômico nos municípios vizinhos (SILVA JUNIOR, 2009).

A sede municipal tem uma área de aproximadamente de 340 km<sup>2</sup> composta por muitos bairros, oficialmente são 49 bairros distribuídos nas zonas Norte, Sul, Leste e Oeste (Figura 4.4). Destas, a Zona Sul merece destaque por possuir o maior número de bairros, nos quais estão inseridos aeroporto, rodoviária, estádios e importantes centros comerciais. Fazem parte da Zona Sul os bairros: São José, Liberdade, Estação Velha, Catolé, Sandra Cavalcante, Vila Cabral, Itararé, Tambor, Jardim Paulista, Cruzeiro, Presidente Médice, Distrito Industrial, Velame, Acácio Figueiredo, Bairros das Cidades e Três Irmãs.

### 4.1.4 O sistema de drenagem urbana da cidade Campina Grande

Com relação à drenagem pluvial, a cidade de Campina Grande encontra-se inserida dentro de quatro bacias principais, são elas: Bacia do Riacho do Prado, Bacia do Riacho Bodocongó, Bacia do Riacho das Piabas e Bacia do Riacho da Depuradora. Considerando que a proposta do estudo é a avaliação da degradação da qualidade da água do sistema de drenagem de sub-bacias urbanas inseridas na Cidade de Campina Grande, foram escolhidas duas sub-bacias de drenagem localizadas na Bacia da Depuradora.

Figura 4.4 - Mapa dos bairros da cidade de Campina Grande.

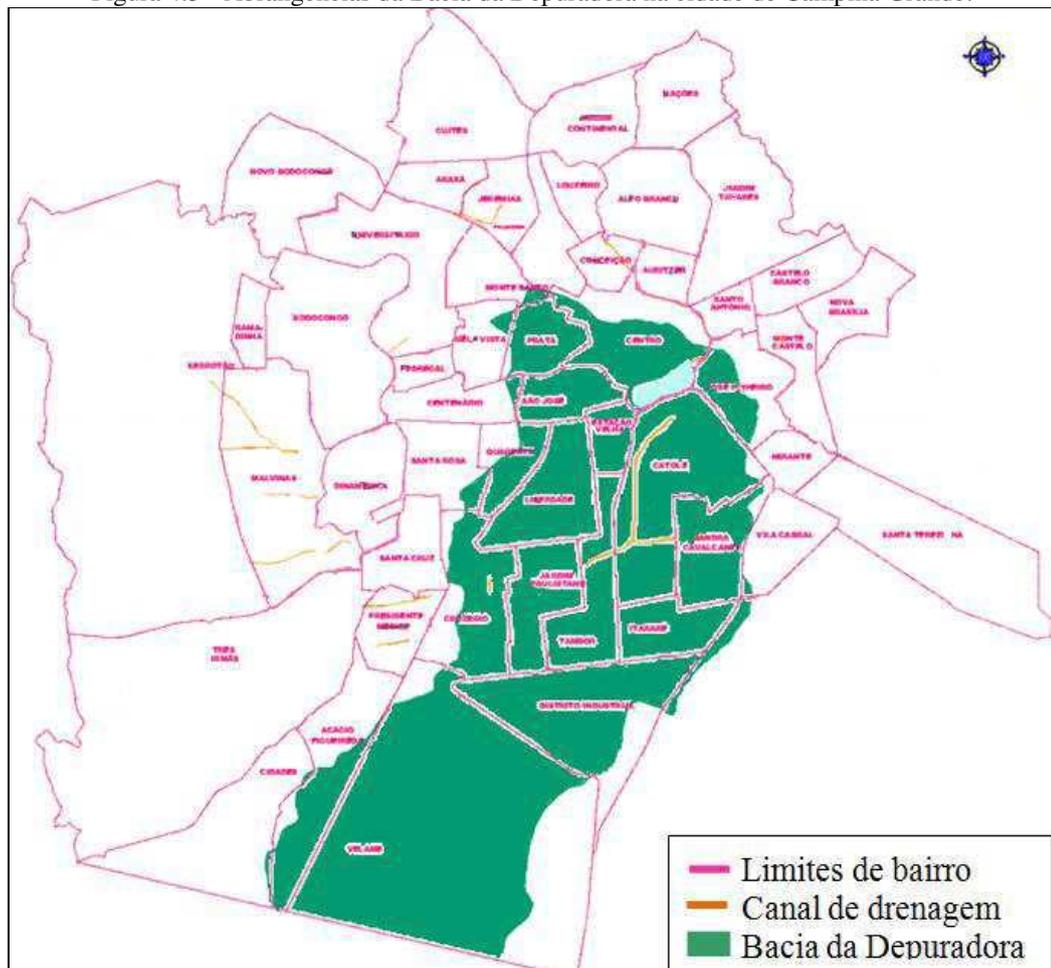


Fonte: NÓBREGA, 2012.

A bacia de drenagem do Riacho da Depuradora é uma bacia intermunicipal que possui 37,15 km<sup>2</sup> de área e perímetro de 43,78 km abrangendo os municípios de Lagoa Seca, Puxinanã, Queimadas e, predominantemente, Campina Grande (OPOLINÁRIO, 2012). Dentro da cidade de Campina Grande a bacia é subdividida em treze sub-bacias (D1 a D13) abordando de forma parcial ou totalmente vinte dois bairros. A Figura 4.5 exhibe a abrangência da Bacia de Drenagem da Depuradora na cidade de Campina Grande.

As sub-bacias escolhidas como área de estudo são denominadas, segundo a nomenclatura utilizada no Mapa Urbano de Campina Grande, como D9 e D10.

Figura 4.5 - Abrangências da Bacia da Depuradora na cidade de Campina Grande.



Fonte: Adaptado do Mapa Urbano de Campina Grande.

#### 4.1.5 As sub-bacias de drenagem D9 e D10

A escolha das sub-bacias D9 e D10 baseou-se no elevado percentual de urbanização da área, na existência do sistema de drenagem e também, no banco de dados já existente sobre o processo de urbanização e os sistemas de macro e micro drenagem do local advindo de trabalhos anteriores tais como Araújo (2012) e Nóbrega (2012).

A Figura 4.6 ilustra mais detalhadamente as sub-bacias D9 e D10, de acordo com a mesma observa-se que quase toda a sub-bacia de drenagem D9 e grande parte da sub-bacia D10 encontram-se inseridas no bairro do Catolé e o restante da bacia D10 no bairro Sandra Cavalcante. Portanto, acredita-se que o processo de urbanização, principalmente do bairro do Catolé, contribui de forma decisiva tanto em relação à vazão afluente, quanto à qualidade da água no sistema de drenagem das sub-bacias D9 e D10.

Figura 4.6 - Abrangência das sub-bacias estudadas sobre o mapa da cidade de Campina Grande.



Fonte: CAMINHA, 2014.

#### 4.1.6 Os bairros do Catolé e Sandra Cavalcante

Dos bairros situados na Zona Sul da cidade Campina Grande, o bairro do Catolé (Figura 4.7) se destaca por sua importância comercial e por frequentes problemas decorrentes da ineficiência da drenagem pluvial em períodos chuvosos. Considerado como um dos bairros de maior importância para a cidade, este possui uma população de 19.554 habitantes, cerca de 5% da população total do município, em uma área de 2,89 km<sup>2</sup> limitada pelos bairros Centro, José Pinheiro, Mirante, Sandra Cavalcante, Itararé, Tambor e Estação Velha (IBGE, 2011).

Com o passar do tempo o bairro do Catolé tornou-se uma área bastante valorizada na cidade. Por apresentar uma topografia regular e está próximo ao centro da cidade, foram crescentes os investimentos de construtoras e da população em geral, onde foram instalados os dois principais centros comerciais (shopping-centers) da cidade, além de parque, casas de shows, bares, pizzaria e diversos condomínios de luxo, tornando-o um bairro nobre e verticalizado. Entretanto, decorrente do crescimento do bairro, aumentaram-se também as necessidades de saneamento básico. Conforme relatos de moradores abordados por Silva Junior (2009), o qual analisa os problemas e potencialidade das condições de saneamento básico em uma área pertencente ao bairro do Catolé, até as áreas nobres enfrentavam

problemas com refluxos das canalizações de esgotamento sanitário, esgotos a céu aberto e ruas sem pavimentação.

Dentre os principais problemas do bairro destacam-se: 1) um sistema de drenagem insuficiente que propicia inúmeras ocorrências de eventos de inundações, agravado pela condição topográfica, visto que o catolé encontra-se em uma região de superfície plana, e 2) a negligência dos órgãos gestores que permitem o lançamento de esgotamento sanitário ao longo do sistema de drenagem pluvial.

Figura 4.7 - Mapa do bairro do Catolé.



Fonte: Adaptado de GOOGLEEART, 2012.

Já o bairro Sandra Cavalcante encontra-se localizado na zona sul da cidade de Campina Grande entre os bairros Catolé, Vila Cabral e Itararé (Figura 4.8). Com uma área de aproximadamente 1,30 Km<sup>2</sup> e população de 6.517 habitantes, o bairro é classificado como de classe baixa, e encontra-se em processo de desenvolvimento (IBGE, 2011).

Embora apresentando características sociais e de uso e ocupação do solo diferentes do bairro do Catolé, o bairro Sandra Cavalcante enfrenta os mesmos problemas quanto aos sistemas de saneamento básico, podendo ser destacado: 1) Falta de gerenciamento quanto aos sistemas existentes, principalmente ao sistema de drenagem das águas pluviais, ocasionando eventos de inundações e transtorno a população ao longo dos períodos chuvosos e, 2) Sistema de esgotamento sanitário funcionando inadequadamente.

Figura 4.8 - Mapa do bairro Sandra Cavalcante.



Fonte: Adaptado de GOOGLEEARTH, 2012.

#### 4.1.7 Representação da área de estudo na modelagem

Na representação da área de estudo no processo de modelagem (Figura 4.9) foram abordados amplamente as contribuições do sistema, ocasionando na inserção de áreas além dos limites das sub-bacias. De modo geral, utilizou-se mapas, imagens de satélite e observações nas visitas *in loco* para localização e mapeamento dos componentes do sistema de drenagem (galerias pluviais, sarjetas, bocas de lobo) e detalhamento das seções transversais, visto que os órgãos competentes não dispunham da planta dos sistemas de drenagem da cidade.

A representação da malha de drenagem partiu do estudo de Nóbrega (2012), que utilizou o sistema do bairro Catolé para avaliar o comportamento quantitativo do sistema de drenagem urbana de Campina Grande. Como a maior parcela da sub-bacia D9 está dentro dos limites do bairro do Catolé e o mesmo consiste no objeto de estudos anteriores como de Silva Junior (2009) e Araújo (2012), esta se apresenta mais detalhada. Quanto ao mapeamento da rede de drenagem pluvial da bacia D10, a qual se encontra de forma completamente subterrânea, este foi realizado a partir do levantamento da localização dos componentes do sistema de drenagem, juntamente com as características topográficas. Portanto, como afirmado anteriormente, o mapa modelado para o estudo abrange as áreas de contribuição dos bairros para a malha de drenagem das sub-bacias estudadas (Figura 4.9).

Figura 4.9 - Mapa da área de estudo projetada no SWMM 5.0.



Fonte: CAMINHA, 2014.

## 4.2 AQUISIÇÃO DOS DADOS

### 4.2.1 Levantamento dos dados de Campo

Para compreensão e avaliação do comportamento da qualidade da água transportada pelo sistema de drenagem urbana, torna-se indispensável à descrição de seus componentes estruturais, bem como dos ambientes que os envolvem. Com essa finalidade, foram realizadas visitas *in loco*, mapeamento do sistema e análises laboratoriais da água escoada.

#### *4.2.1.1 Diagnóstico do uso e ocupação do solo*

Dos fatores fundamentais para o estudo das características do escoamento superficial, destaca-se a tipologia do uso do solo, por se relacionarem diretamente com as variações da qualidade, devido às interferências ocasionadas pelo processo de urbanização. Assim, foram observadas e mapeadas as ocupações do solo, sendo as áreas ocupadas classificadas quanto ao uso referente à utilização humana, ou seja, o uso atribuído ao solo pelo homem. Para classificação foram utilizadas as termologias: sem uso, nas áreas sem ocupação; e uso residencial, comercial e industrial, para áreas com ocupação do solo. Já no processo de caracterização foi realizado o levantamento através de visitas *in loco* e imagens de satélite, nos quais foram identificadas algumas áreas sem utilização e outros ambientes com ocupação diversificada.

#### *4.2.2 Coleta e análise da água*

Um dos elementos fundamentais para execução da modelagem qualitativa do sistema de drenagem é a caracterização da água escoada, que possibilita conhecer as cargas poluentes geradas e/ou transportadas pelo sistema e os impactos exercidos sobre o meio ambiente. Deste modo, foram selecionados pontos e análises a serem realizadas periodicamente, com a finalidade de realizar a caracterização da qualidade da água de drenagem da área em estudo.

##### *4.2.2.1 Pontos e periodicidade das coletas*

O planejamento é a ação mais importante no procedimento de coleta das amostras, uma vez que define as atividades de coleta, preservação e transporte das amostras, protegendo-as de contaminação ou alterações que possam comprometer os resultados das análises a serem estudadas.

No presente estudo, a periodicidade das coletas incidiu da disponibilidade de transporte e materiais do laboratório, de modo que foi adotado um período com duas coletas semanais, favorecendo conferir a influência do tempo e resposta das variáveis analisadas. Quanto ao horário das coletas foi estabelecido um intervalo entre 07:30 e 08:15 horas da manhã, sempre seguindo a mesma ordem de coleta. Posteriormente, as amostras eram encaminhadas ao Laboratório de Saneamento da Universidade Federal de Campina Grande – UFCG, onde eram realizadas as análises físico-químicas e microbiológica.

A determinação dos pontos a serem monitorados adveio das características dos sistemas, de modo que o único componente acessível para coleta de amostras necessárias ao monitoramento da qualidade da água é o canal de drenagem existente ao longo do bairro Catolé. A escolha do canal também sobrevém pelo o mesmo receber todas as contribuições do sistema e possibilitar representar as características do efluente. Considerando as contribuições ao longo de sua extensão, foram selecionados quatro pontos, os quais foram designados pela direção do fluxo d'água (Figura 4.10).

Figura 4.10- Localização dos pontos de coleta ao longo do canal de drenagem



Fonte: CAMINHA, 2014.

Quanto à distribuição, localização e caracterização dos pontos monitorados os mesmos apresentaram-se da seguinte forma: O primeiro ponto abordado pertencente ao sistema de drenagem da sub-bacia D9, situado a  $7^{\circ}13'44,8''$  Sul e  $35^{\circ}52'47,5''$  Oeste (Figura 4.11), com este foi possível determinar as características iniciais, ou seja, a qualidade da água no início do escoamento do sistema de drenagem. O segundo ponto, localizado a  $7^{\circ}14'18''$  Sul e  $35^{\circ}53'02''$  Oeste (Figura 4.12) situado na parte central da extensão do canal de drenagem, possibilitou a caracterização das contribuições da sub-bacia D9.

Já o terceiro ponto de coleta, inserido na bacia de drenagem D10 (Figura 4.13) a  $7^{\circ}14'35''$  Sul e  $35^{\circ}52'47''$  Oeste, representou a contribuição de montante da sub-bacia D10 e a contribuição referente ao bairro Sandra Cavalcante. O quarto e último ponto, seguindo a

ordem de coleta, situado a  $7^{\circ}14'39,0''$  Sul e  $35^{\circ}53'08,4''$  Oeste à jusante do ponto de mistura do segundo e terceiro ponto (Figura 4.14), representa o exultório da bacia D10 e do sistema de drenagem em estudo. Também demonstra a qualidade do efluente do sistema de drenagem da área em estudo que contribuem para degradação do corpo d'água receptor.

Figura 4.11 – Identificação e coleta no ponto 1.



Fonte: CAMINHA, 2014.

Figura 4.12 - Identificação e coleta no ponto 2.



Fonte: CAMINHA, 2014.

Figura 4.13 - Identificação e coleta no ponto 3.



Fonte: CAMINHA, 2014.

Figura 4.14- Identificação e coleta do ponto 4.



Fonte: CAMINHA, 2014.

#### 4.2.2.2 Métodos analíticos utilizados nas análises laboratoriais

A determinação das variáveis estudadas adveio de observações realizadas em visitas preliminares ao sistema de macrodrenagem, onde foi possível identificar diversas contribuições de esgoto sanitário ao longo do sistema. Diante da situação observada, optou-se pelas variáveis que possibilitassem caracterizar as águas do sistema com resíduos domésticos, uma vez que a maior porcentagem das contribuições são de áreas residenciais.

Para todos os parâmetros analisados seguiu-se as recomendações descritas em APHA (2005), adotando os procedimentos descritos no Manual de Análises de água e efluentes de Silva e Oliveira (2001). Já na avaliação e discussão dos resultados das análises laboratoriais foram consideradas as concentrações de poluentes em águas de drenagem urbana encontradas em literatura e os padrões de lançamento de efluentes das Resoluções CONAMA n° 430/2011 e n° 357/2005, sendo que a primeira dispõe sobre condições, parâmetros, padrões e diretrizes para lançamento de efluentes em corpos de água receptores, além de alterar e complementar a segunda que dispõe da classificação dos corpos d'água e diretrizes ambientais para seu enquadramento, e estabelece condições e os padrões de lançamento de efluentes em águas superficiais.

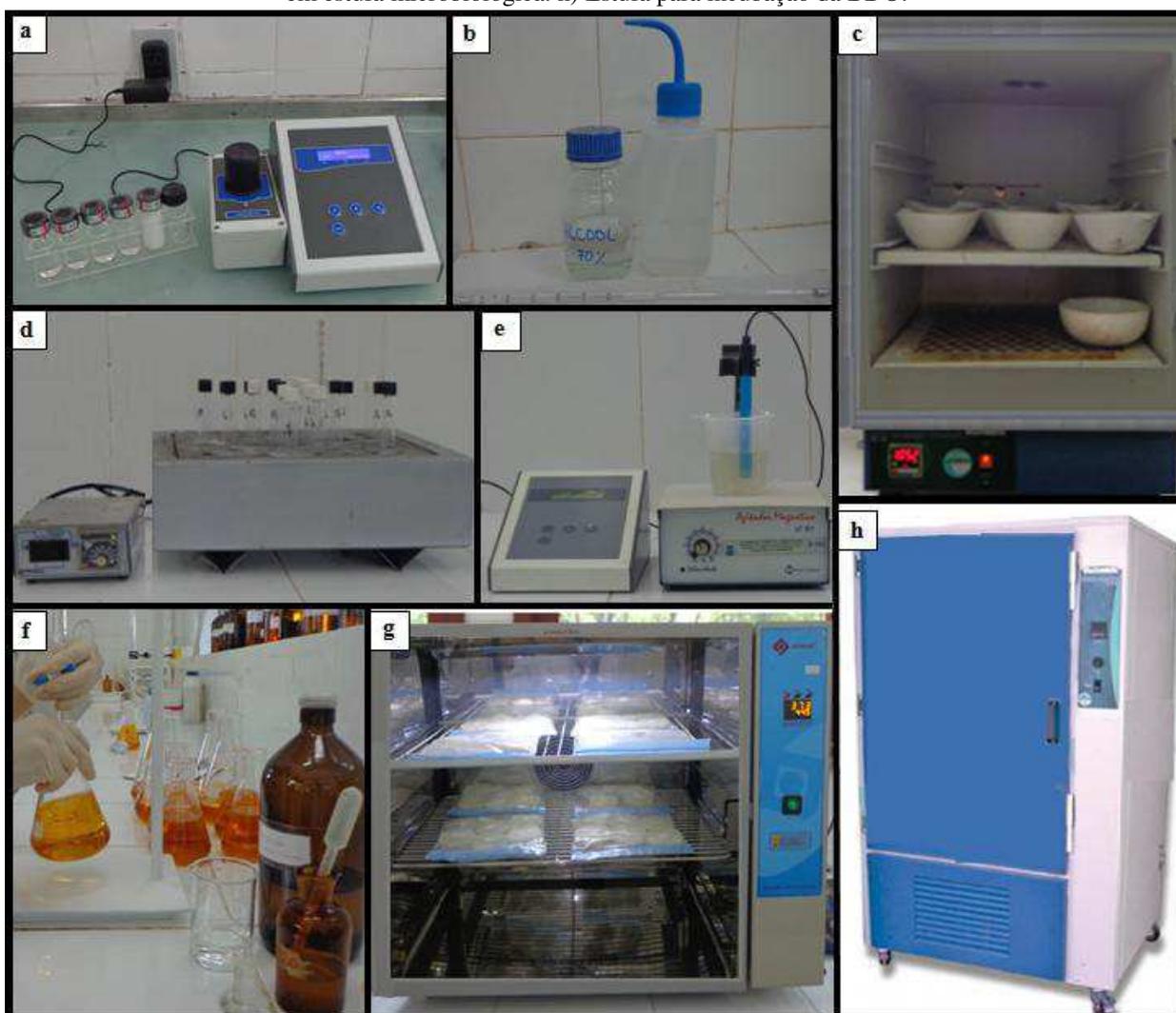
Na tabela 4.1 são apresentados os parâmetros e os métodos analíticos utilizados no monitoramento da qualidade da água do sistema de drenagem. A Figura 4.15 apresenta um documentário fotográfico de equipamentos e etapas metodológicas para execução das análises laboratoriais.

Tabela 4.1 – Métodos dos parâmetros estudados.

Parâmetros	Unidades	Métodos
Temperatura	°C	Medição com termômetro de filamento De mercúrio
Turbidez	N.T.U	Nefelométrico
SST	mg/L	Gravimétrico
pH	-	Medição com Ph-Metro
OD	mg/L	Método Iodométrico (Método de Winkler Modificado pela Azida)
DBO	mg/L	Método Iodométrico (Método de Winkler Modificado pela Azida)
DQO	mg/L	Método da Refluxação Fechada (Método da Digestão de Pequenas Amostras)
CTT	UFC/100mL	Técnica das Membranas Filtrantes

Figura 4.15- Documentário de equipamentos e etapas de execução das análises.

a) Determinação da Turbidez. b) Material para análise de temperatura. c) Etapa de secagem dos SST. d) Digestão da DQO. e) Medição do pH. f) Realização do método de Winkler Modificado pela Azida. g) Incubação dos CTT em estufa microbiológica. h) Estufa para incubação da BDO.



Fonte: CAMINHA, 2014.

### 4.2.3 Aquisição dos dados hidrológicos

Entre as informações necessárias para um estudo do comportamento das águas de drenagem pluvial, os dados de precipitação são fundamentais, uma vez que estes são fator determinante do escoamento. Os dados de precipitação utilizados neste estudo foram adquiridos com o Instituto Nacional de Meteorologia – INMET. Este órgão pertence ao Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento e apresenta um acervo online. Os eventos abordados correspondem aos dados coletados na estação automática A313 localizada a 7°12'32,40''S e 35°54'16,70''O, estação meteorológica instalada na Embrapa Algodão de Campina Grande.

## 4.3 MODELAGEM COM SWMM

### 4.3.1 Caracterização das bacias

O modelo SWMM representa os sistemas a partir da bacia de drenagem, ou varias subdivisões desta, condutos e nós, que são interligadas obedecendo às cotas de nível da área representada. A reprodução de todos os elementos adveio de estudos anteriores e visitas in loco, baseado no uso do Mapa Urbano de Campina Grande-PB, na escala 1:10.000, de novembro de 2005, imagens de satélite e imagens aéreas disponibilizadas pelo software Google Earth, datadas em 05 de maio de 2012. OBS: Conforme apresentado na Figura 4.9.

#### 4.3.1.1 *Sub-bacias*

As bacias de drenagem em estudo foram discretizadas de acordo com as quadras existentes nos bairros e elementos do sistema de drenagem observados. Assim, o bairro do Catolé por apresentar visivelmente os componentes do sistema e estudos anteriores terem fragmentado sua área, suas sub-bacias foram determinadas com mais detalhes e precisão. Quanto ao bairro Sandra Cavalcante, que quase não proporciona detalhe de seu sistema e, aproximadamente, apenas um terço de sua área faz parte das bacias em estudo, a discretização foi realizada com menos detalhes e, conseqüentemente, em menor quantidade de sub-bacias.

A Tabela 4.2 descreve os principais parâmetros quantitativos do modelo. Destes, os parâmetros área e perímetro foram determinados através do Mapa Base Urbano de Campina Grande – PB, os demais foram extraídos do estudo de Nóbrega (2012) e através de equações abordadas em literatura.

Tabela 4.2 – Parâmetros de quantificação das sub-bacias no modelo SWMM

Parâmetros	Siglas	Unidades
Área da sub-bacia	A	Há
Largura da sub-bacia	W	M
Declividade da sub-bacia	S	%
Áreas impermeáveis	AI	%
Coefficiente de rugosidade de Manning – superfícies impermeáveis	NI	-
Coefficiente de rugosidade de Manning – superfícies permeáveis	NP	-
Capacidade armazenamento em depressões – superfícies impermeáveis	DI	In
Capacidade armazenamento em depressões – superfícies permeáveis	DP	In
Áreas impermeáveis não conectadas	AINC	%-

Fonte: Adaptado de COLLODEL, 2009.

A largura das sub-bacias (W) foram definidas utilizando o cálculo da largura do retângulo equivalente ( $le$ ), aplicados na representação de bacias hidrográficas em formato retangular, a qual segue as Equações 01 e 02:

$$le = \frac{k_c \sqrt{A}}{1,12} \left[ 1 - \sqrt{1 - \left( \frac{1,128}{k_c} \right)^2} \right] \quad (01)$$

$$Kc = 0,282 \times (P / \sqrt{A}) \quad (02)$$

Onde: -  $le$  = Largura do retângulo equivalente, **m**;

-  $A$  = área da bacia hidrográfica ou sub-bacia, **m<sup>2</sup>**;

-  $K_c$  = Coeficiente de compacidade, que é definido pelo perímetro da bacia e a circunferência da área (igual a área da bacia), seguindo a Equação 06.

-  $P$  = Perímetro da bacia hidrográfica ou sub-bacia, **m**.

Com a determinação dos valores da largura equivalente ( $le$ ) e a área da bacia hidrográfica ( $A$ ) foi possível calcular a largura das sub-divisões pela Equação 03:

$$W = (A / L_e) \quad (03)$$

A determinação das áreas impermeáveis (AI) foi obtida com auxílio das imagens de satélite, visitas in loco e estudo realizado por Araújo (2012), o que possibilitou definir os tipos de ocupação da área em todas as subdivisões das bacias, assim como as características de suas superfícies.

Para definir o coeficiente de rugosidade de Manning das superfícies permeáveis (NP) e impermeáveis (NI) utiliza-se a Equação 04:

$$N = (S_1 \cdot n_1 + S_2 \cdot n_2 + \dots + S_n \cdot n_n) / (S_1 + S_2 + \dots + S_n) \quad (04)$$

- Onde: - **N** = Coeficiente de Rugosidade Manning a ser determinado;  
 - **S<sub>1</sub>, S<sub>2</sub> e S<sub>n</sub>** = Áreas (permeáveis ou impermeáveis) da sub-bacia;  
 - **n<sub>1</sub>, n<sub>2</sub> e n<sub>n</sub>** = Coeficiente de rugosidade Manning da áreas;

A mesma equação determina o coeficiente para áreas permeáveis e impermeáveis, porém, em cada cálculo são utilizados as características da cobertura da superfície em que ocorre o escoamento. Na Tabela 4.3 estão expostas algumas características de superfície e os coeficientes de rugosidade Manning apresentados por Nóbrega (2012).

Tabela 4.3 – Coeficiente de rugosidade Manning para diferentes superfícies

Superfície	N
Asfalto liso	0,011
Concreto liso	0,012
Revestimento de concreto comum	0,013
Madeira	0,014
Tijolo com argamassa de cimento	0,014
Argila vitrificada	0,015
Ferro fundido	0,015
Tubo metal corrugado	0,024
Superfície cimentada	0,024
Solos não cultiváveis	0,050
Solos cultiváveis	0,06 – 0,17
Solos com vegetação natural	0,04 -0,80

Fonte: Adaptado de NÓBREGA, 2012.

Quanto à capacidade de armazenamento em depressões para superfícies permeáveis (DP) e impermeáveis (DI) foram retiradas de Nóbrega (2012). O autor calibrou esses parâmetros a partir de eventos de precipitações ocorridos na referida área em estudo.

#### 4.3.1.2 Infiltração

Outro aspecto a ser considerado na modelagem pelo software SWMM é o método de infiltração, o mesmo oferece três opções de modelos distintas, sendo eles: equação de *Horton*, fórmula de *Green-Ampt* e o método *Soil Conservation Service* (SCS) utilizando o método

Curva Número (CN). A literatura demonstra preferência por parte dos especialistas pela equação de *Horton*, por isso optou-se pela uso desta equação. Os parâmetros necessários para simular a infiltração, correspondem aos valores da capacidade de infiltração inicial ( $I_0$ ), capacidade de infiltração final ( $I_f$ ) e constante de decaimento ( $k$ ).

Inicialmente a Equação 05 propõe determinar a taxa de infiltração no tempo  $t$  de um evento pluviométrico, esse valor tende a decrescer de um valor inicial máximo até um valor mínimo constante, caso a duração de precipitação seja suficiente para corresponder a esse equilíbrio.

$$f = f_c + (f_0 - f_c)^{-K \cdot T} \quad (05)$$

Onde: -  $f$  = Taxa de infiltração no instante  $t$ , **mm/h**;

-  $f_0$  = Taxa inicial de infiltração ( $t=0$ ), **mm/h**;

-  $f_c$  = Taxa de infiltração de equilíbrio ( $t=\infty$ ), **mm/h**;

-  $k$  = Constante de decaimento,  **$h^{-1}$** ;

-  $t$  = Tempo, **h**;

Ao considerar a influencia da constante  $K$ , que é especifica das características do solo, pode-se determinar a infiltração acumulada ( $F$ ) integrando a Equação 06 no tempo inicial ( $t=0$ ) e um específico ( $t$ ).

$$F = f_c \times t + (1 / K) \times (f_0 - f_c) \times (1 - e^{-k \cdot t}) \quad (06)$$

Se integrar a Equação 06, entre os instantes  $t=0$  e  $t=\infty$ , pode-se determinar a infiltração acumulada pelo produto das diferenças das taxas de infiltrações inicial e final, sobre a constante  $k$  (Equação 07).

$$F = (f_0 + f_c) / K \quad (07)$$

Para esta equação foram adotadas as características que estão expostas na Tabela 4.4, ambas representam o município de Campina Grande e foram extraídas da pesquisa de Paixão et al. (2009), que determinam as constantes para diversos municípios paraibanos através de múltiplos testes experimentais de infiltração na área experimental da Empresa Estadual de Pesquisas Agropecuárias da Paraíba (EMEPA) no município de Lagoa Seca – PB.

Tabela 4.4 – Características utilizadas na Equação de Horton.

Capacidade de infiltração inicial (mm/h)	Capacidade de infiltração final (mm/h)	Constante de decaimento (L/h)
396,10	7,10	2,677

Fonte: Adaptado de NÓBREGA, 2012.

#### 4.3.1.3 Condutos

Os condutos são elementos dos sistemas de drenagem representados por tubulações ou canais naturais nos quais ocorre o transporte das águas escoadas de um ponto a outro do sistema. Baseada no estudo de Collodel (2009), a Tabela 4.5 apresenta os parâmetros necessário para caracterizar dos condutos no SWMM.

Tabela 4.5 – Parâmetros de caracterização dos condutos.

Parâmetros	Siglas	Unidades
Comprimento	L	M
Declividade	Sc	m/m
Coefficiente de rugosidade	Ncn/Ng,s	-
Seção transversal	-	-
Vazão de base	Qb	m <sup>3</sup> /s
Offset de saída	h <sub>off</sub>	M

Fonte: Adaptado de NÓBREGA, 2012.

Como já citado anteriormente, os bairros pertencentes à área de estudo não possuem a planta do projeto de drenagem, diante disso, foram adotados os parâmetros de Nóbrega (2012), os quais são determinados pelo levantamento e localização de componentes observados em campo. O comprimento foi definido pela extensão das galerias, a declividade utilizando o projeto de esgotamento e o coeficiente de rugosidade e seção transversal por observações *in loco*.

#### 4.3.1.4 Nós

Os nós consistem nas junções que conectam os condutos entre si. Fisicamente são representados através dos poços de visitas (encontro de condutos) e bocas de lobo. São elementos que recebem contribuições das sub-bacias e de vazões externas (ALVAREZ, 2010). Os parâmetros necessários na caracterização dos mesmos estão descritos na Tabela 4.6.

Tabela 4.6 – Parâmetros de caracterização dos nós.

Parâmetros	Siglas	Unidades
Coordenadas	X,y	-
Cota de fundo	Z	m
Profundidade máxima	$h_{max}$	m
Vazão de base	Qb	$m^3/s$

Fonte: Adaptado de NÓBREGA, 2012.

As coordenadas e cotas de fundo foram determinadas pelo Mapa da cidade de Campina Grande, após identificação em campo. Já os valores de profundidade máxima pela diferença entre as cotas das quadras onde se localizam os nós.

#### 4.3.2 Dados hidrológicos

Os dados hidrológicos utilizados para o processo de modelagem pertence ao período de monitoramento da qualidade do sistema de drenagem, este correspondendo aos eventos ocorridos entre os meses de Abril a Julho de 2013.

##### 4.3.2.1 Eventos de precipitação

A seleção dos eventos a serem utilizados no processo de modelagem exigiu análise detalhada do banco de dados, além de considerar os dias de coleta das amostras, as observações da situação do sistema e as falhas nos registros das precipitações decorrentes a danos nos equipamentos de medições. De modo geral, o banco de dados apresenta eventos com lamina diária de 0,2 á 35,8 mm, na maioria os eventos encontram-se distribuídos ao longo do dia e com diferentes intensidades. Quanto ao intervalo entre os dias chuvosos, observa-se desde alguns dias consecutivos com chuva à intermitência de 15 dias.

Com os eventos selecionados buscou-se descrever a relação da intensidade e dias antecedentes sem chuva como interferentes na qualidade da água drenada superficialmente no sistema e na área em estudo. Para isso optou-se por selecionar diferentes intervalos e analisar a influência do tempo na deposição dos poluentes, além de representar diferentes hipóteses, permitindo avaliar as respostas e confrontar o comportamento do sistema no modelo e no monitoramento em campo.

Os eventos hidrológicos simulados pertencem ao período de monitoramento do presente estudo. No total foram selecionados e estudados dois eventos distintos entre os meses

de abril e julho de 2013. Com a finalidade de estudar a relações do uso do solo e a degradação da qualidade das águas de drenagem urbana, foram selecionados como poluentes os sólidos suspensos totais (SST), a demanda bioquímica de oxigênio (DBO) e a demanda química de oxigênio (DQO) e para caracterização de uso do solo as termologias residências, comércios, serviços e áreas sem uso.

### 4.3.3 Dados de qualidade

Dependendo dos dados disponíveis e do objetivo da modelagem, o software possibilita realizar diversos processos empregando qualquer número de variáveis de qualidade da água. No entanto, para cada poluente estudado faz-se necessário a determinação algumas características (Tabela 4.7).

Tabela 4.7 – Parâmetros necessários para caracterização dos poluentes.

PARÂMETROS	SIGLA	UNIDADE
Concentração do poluente na água	$R_{conc}$	mg/L
Concentração do poluente na água subterrânea	$GW_{conc}$	mg/L
Concentração do poluente em processos de entrada direta ou infiltração	I & $I_{conc}$	mg/L
Coefficiente de deterioração	DC	dias <sup>-1</sup>
Neve	NV	-
Co-poluente	CP	-
Co-fração do co-poluente	CF	-

Fonte: Adaptado de ALVAREZ, 2010.

Alguns parâmetros considerados poderão interferir nas concentrações dos poluentes, como a contribuição das águas subterrâneas ( $GW_{conc}$ ), a ocorrência da neve (NV), se esta for uma realidade na região em estudo, e a interferência do processo de entrada direta ou infiltração (I&IConc) que significativamente na reduz as concentrações transportadas pelo sistema.

A modelagem dos agentes poluentes na água de drenagem corresponde à integração de diversos fatores envolvidos, tais como o intervalo entre eventos de chuva, volume e intensidade das precipitações, características de uso e ocupação do solo, frequência da limpeza urbana, adoção de Boas Práticas de Manejo (BMPs) e contribuições de outras fontes pontuais ou difusas. De modo geral, a qualidade das águas resultará, principalmente, das características da urbanização na área em estudo, sendo que os poluentes acumulados nos dias

secos serão lixiviados a partir de uma função específica e definição dos usos do solo (BOLLMANN, 2003).

Quanto ao poluente a ser considerado, este apresentará coeficiente de deterioração (DC) que consiste na ação do tempo sobre o acúmulo e carregamento do poluente, além de uma co-fração quando representado como co-poluente, ou seja, um poluente poderá ser estudado a partir de uma fração de outro poluente previamente definido. Nesse contexto, para a terminologia co-poluente não necessitará ser atribuído as demais características, uma vez que sua concentração será representada por um percentual do outro poluente considerado (NEVES, 2006; GOMES, 2010).

#### *4.3.3.1 Caracterização das funções de qualidade*

No processo de modelagem da qualidade com o SWMM a identificação dos usos do solo constitui um dos elementos essenciais, os quais são definidos pelas características da superfície do solo utilizando usos como telhados, área pavimentada, jardins e sem uso, já na categoria de atividades urbanas são definidos usos residencial, comercial, industrial ou áreas sem uso.

O termo “acúmulo do poluente” associa-se a sua ocorrência em período de tempo seco, ou seja, quando não há precipitação. Desta forma, a concentração do poluente acumulado na superfície é uma função do número de dias secos decorridos entre eventos de precipitação. Para definir o acúmulo do poluente em períodos secos o modelo dispõe de três diferentes funções, sendo elas: função potencial (POW), função exponencial (EXP) e a função de saturação (SAT) (GOMES et al., 2010).

A função POW determina o acúmulo de poluente de forma proporcional ao tempo elevado a uma determinada potência até um determinado valor máximo. A mesma é representada pela Equação 08.

$$\text{POW} = \text{Min} (\text{C1} \times \text{C2} \times \text{T}^{\text{C3}}) \quad (08)$$

- Onde: - **C1** = Acúmulo máximo possível do poluente (massa/unidade de área);  
 - **C2** = Constante de crescimento do poluente acumulado (massa/dia);  
 - **C3** = O tempo exponencial.

Para a função EXP o acúmulo delinea um crescimento exponencial até um valor máximo pré-determinado seguindo a Equação 09:

$$\mathbf{EXP = C1 \times (1 - e^{C2 \cdot t})} \quad (09)$$

Onde: - **C1** = Acúmulo máximo possível do poluente (massa/unidade de área);  
 - **C2** = Constante de crescimento do poluente acumulado (L/dia).

Já na função SAT o acúmulo inicia linearmente e progressivamente declina ao longo do tempo até um valor máximo, obedecendo à seguinte Equação 10:

$$\mathbf{SAT = (C1 \times t) / (C2 + t)} \quad (10)$$

Onde: - **C1** = Acúmulo máximo possível do poluente (massa/unidade de área);  
 - **C2** = Constante de meia saturação, ou seja, a quantidade de dias necessários para atingir a metade do acúmulo máximo disponível.

Outro elemento importante na abordagem da qualidade do programa é a lixiviação ou lavagem do agente poluente. O mesmo aborda as propriedades associadas à retirada do poluente da superfície durante um evento de precipitação. Neste campo é possível representar a carga de lavagem (expressa por unidade de massa por unidade de tempo) pelas funções: exponencial (EXPO), curva de taxa de lixiviação “*Rating Curve*” (RC) e concentração média do evento (EMC).

A função exponencial representa a carga lixiviada por hora proporcional ao produto do escoamento pela quantidade de agente poluente acumulado. De acordo com a Equação 11:

$$\mathbf{EXPO = C1 \times q^{C2} \times B} \quad (11)$$

Onde: - **C1** = Coeficiente de lixiviação;  
 - **C2** = Expoente de lixiviação, escoamento por unidade de área;  
 - **C2** = Taxa do escoamento superficial por unidade de área;  
 - **B** = Acúmulo de poluente por unidade de área.

A curva de taxa de lixiviação é a carga de lixiviação proporcionalmente a vazão de escoamento, elevado a uma determinada potência. Expressa conforme a Equação 12:

$$RC = C1 \times Q^{C2} \quad (12)$$

Onde: - **C1** = Coeficiente de lixiviação;

- **C2** = Expoente de lixiviação, escoamento por unidade de área;

- **Q** = Vazão de escoamento.

A concentração média do evento (EMC) é um caso especial da curva de taxa de lixiviação, estabelecendo uma relação linear entre a carga lixiviada e a vazão de escoamento, admitindo um expoente 1,0. O EMC é representado pela Equação 13:

$$EMC = C1 \times Q1 \quad (13)$$

Onde: - **C1** = Coeficiente de lixiviação;

- **Q** = Vazão escoada.

Ao longo da simulação o acúmulo dos poluentes tende a cessar com o início da precipitação, juntamente com o escoamento a carga poluente acumulada sobre a superfície será lixiviada até não existir acúmulo disponível. A carga poluidora do escoamento poderá ser reduzida com adoção de estrutura de Best Management Practices (BMP), a redução é indicada por uma percentagem fixa da eficiência que estará diretamente relacionada com a categoria do agente poluente e o uso do solo.

Outra medida eficiente e frequentemente adotada é a limpeza das áreas urbanas, também representada como uma das atividades do saneamento básico de zonas urbanas constituída da remoção de resíduos através da varrição de ruas. No modelo a eficiência da limpeza de ruas é indicada pelo percentual da quantidade total do poluente disponível na superfície a serem removidos com atividades de limpeza das ruas. Além do percentual à eficiência está associada ao intervalo entre os dias de varrição e o tempo decorrido entre o evento de precipitação e a última varrição.

#### 4.3.3.2 *Caracterização dos poluentes*

Dos parâmetros empregados no processo de caracterização da qualidade da água do sistema de drenagem da área em estudo, foram selecionados os Sólidos Suspensos Totais (SST), Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) e Demanda Química de Oxigênio (DQO)

como indicadores da degradação que possibilitam a identificação das possíveis fontes poluidoras no processo de modelagem.

Uma vez que o sistema abordado não recebe diretamente influência das águas subterrâneas e os poluentes de infiltração estão interligados com as unidades de armazenamento, as concentrações para poluentes na água subterrânea (GWConc) e poluentes provenientes da entrada direta (I&IConc) serão desconsiderados, ou seja, não serão atribuídos valores a estes.

A inexistência da ocorrência de neve na região conduz desconsiderar os efeitos desse fator no presente estudo. O mesmo acontecerá com as frações de co-polvente, por ausência de poluentes interligados aos poluentes monitorados e selecionados para a modelagem.

#### *4.3.3.3 Caracterização do uso e ocupação do solo*

Para desenvolvimento dos cálculos da concentração dos poluentes na lixiviação, foi utilizada a função da concentração média do evento (EMC), a preferência pela função se relaciona com as observações no monitoramento do sistema. Quanto à definição do acúmulo dos poluentes foi adotada a função de saturação (SAT), sendo os coeficientes C1 e C2 estimados através das concentrações dos poluentes a serem modelados (DBO, DQO e SST).

Considerando que cada ponto analisado representa uma determinada área, os valores médios das concentrações dos poluentes podem ser transformados em massa por unidade de área, esta transformação é fundamental no cálculo para determinação da deposição dos poluente durante o período sem chuva. O coeficiente C2 da função SAT, representa o número de dias necessários para alcançar a metade do acúmulo máximo disponível, este foi determinado por meio das anotações de campo e estudo do comportamento dos poluentes, uma vez que foi perceptível determinar o aumento significativo da concentração em curto intervalo quando não incidiram as precipitações.

Embora a atividade de limpeza, representada pelas varrições e retirada dos resíduos sólidos de dentro do sistema, seja uma realidade frequente na área em estudo, a eficiência da limpeza das ruas não foi considerada, visto que a quantidade superficialmente disponível para retirada com varrição apresenta-se insignificante, comparada com a carga poluente lançada diretamente no sistema de drenagem.

#### 4.3.4 Aplicação do SWMM

##### *4.3.4.1 Processo de calibração*

A fase de calibração pode ser definida como a procura de valores ótimos dos parâmetros do modelo hidrológico, ou seja, é um processo de otimização no qual as variáveis são os parâmetros do modelo (BRAVO et al., 2007). O processo no modelo em estudo foi executado através do método constituído por tentativa e erro, que possibilita aproximar os resultados obtidos aos observados dentro de uma faixa de erros aceitáveis.

##### *4.3.4.2 Validação dos parâmetros de qualidade*

A validação é a fase estabelecida pela busca da coerência dos resultados adquiridos, realizado através do diagnóstico das respostas nos diferentes níveis de detalhamento do sistema de drenagem. Para esta etapa de validação foram considerados o relatório e resumo dos erros de continuidade de cada simulação, seguindo as recomendações de literatura estes apresentaram valores inferiores a 10%, além de correlacionar os resultados da modelagem e do monitoramento do sistema.

##### *4.3.4.3 Cenários propostos*

Embasado nos dados observados em campo, nas características do sistema e da área em estudo, optou-se por considerar dois cenários distintos, os quais são apresentados no organograma da Figura 4.16. O primeiro cenário refere-se aos períodos hidrológicos, considerando as características hidrológicas e o comportamento sazonal dos poluentes e intensidade de chuvas.

No segundo cenário buscou-se avaliar o comportamento dos poluentes em diferentes usos do solo tais como os usos: Residencial (áreas reservadas à habitação); Comercial (constituído por ambientes tais como Rodoviária, Shoppings, Lojas e demais empreendimentos de caráter comercial); Serviços (representando as áreas que podem apresentar intenso fluxo de pessoas, como área de lazer, ambientes culturais e de eventos); e Sem Uso (áreas ainda não edificadas, apresentando ou não qualquer espécie de vegetação).

Na Figura 4.17 encontra-se apresentadas em um organograma as etapas metodológicas realizadas no presente estudo.

Figura 4.16 - Organograma dos cenários propostos.

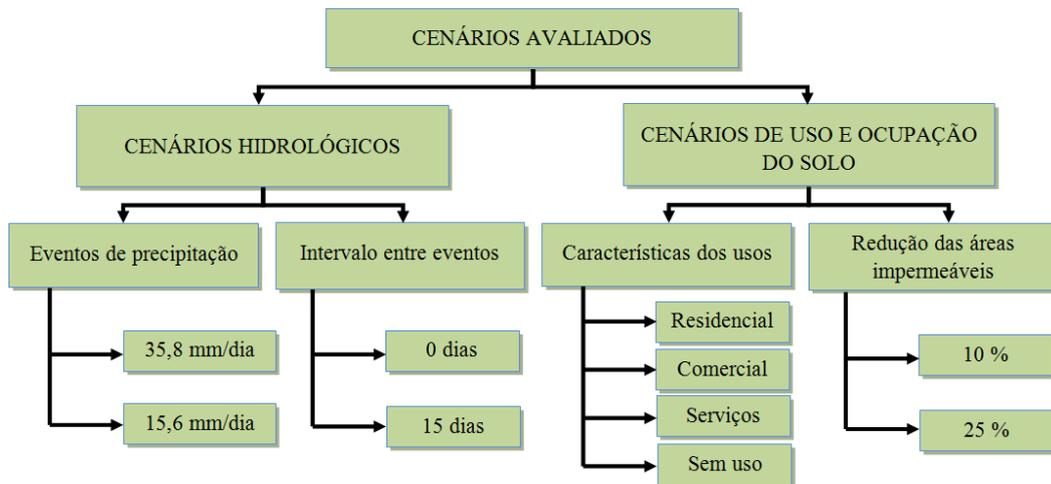
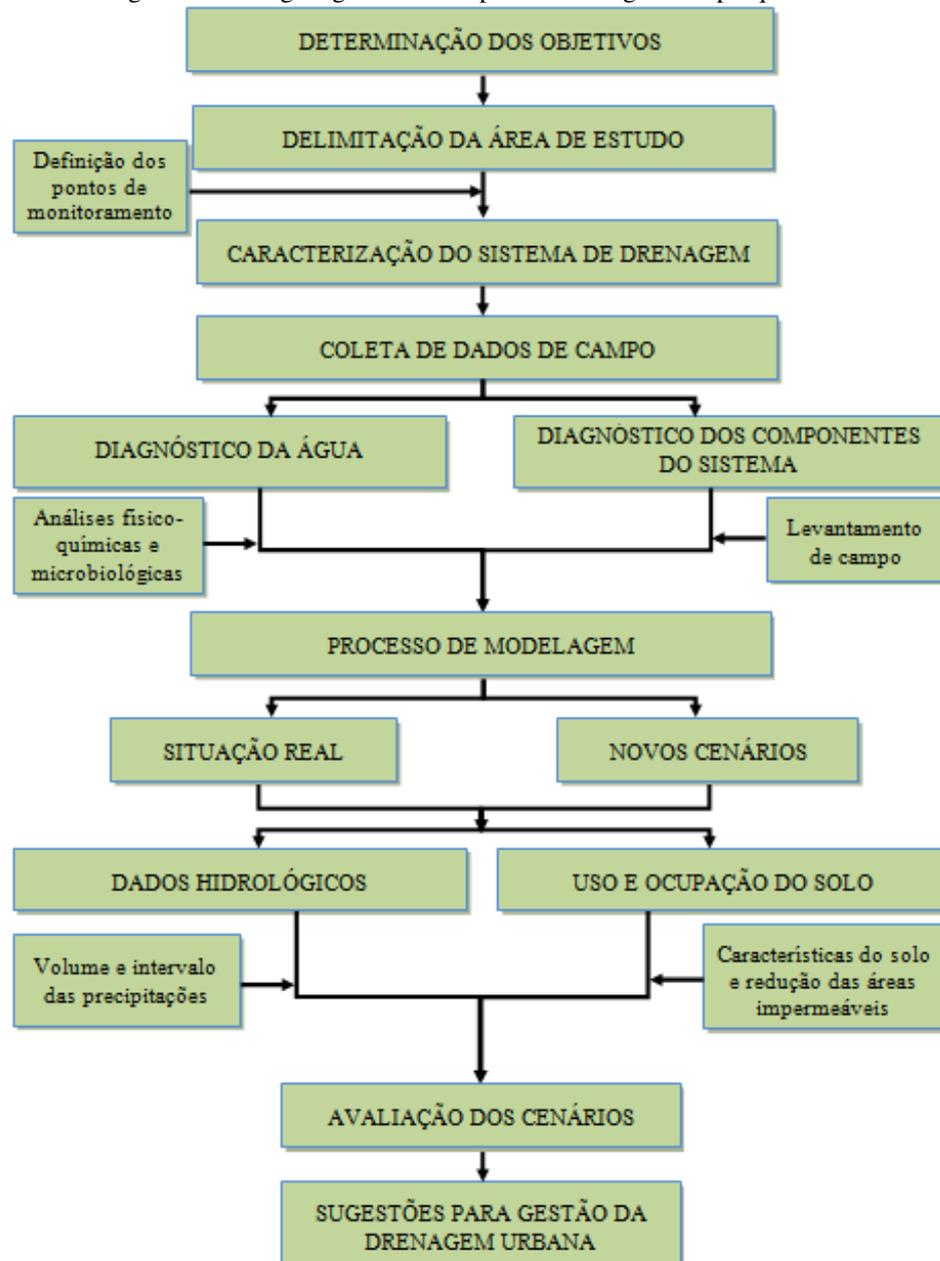


Figura 4.17 - Organograma das etapas metodológicas da pesquisa.



## 5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo encontram-se descrito conjuntamente os resultados e discussão dos parâmetros analisados nas campanhas de amostragem de qualidade realizadas durante o período de monitoramento. Em seguida destaca-se o processo de modelagem para diagnóstico da qualidade da água, bem como os cenários abordados e o comportamento da carga poluente no escoamento superficial e do sistema de drenagem pluvial em estudo.

### 5.1 DIAGNÓSTICO DO SISTEMA DE DRENAGEM EM ESTUDO

#### 5.1.1 Sistema de drenagem urbana pluvial

O desenvolvimento da atividade de monitoramento da qualidade da água do sistema de drenagem pluvial não somente serviu para caracterizar a água e obter valores a utilizar no processo de modelagem, como também auxiliou na compreensão dos resultados e na caracterização física do próprio sistema. Com as visitas de campo foi possível detectar diversas falhas e pontos críticos que comprometem o escoamento superficial e influencia na ocorrência dos episódios de alagamento em determinadas áreas. Muitas vezes relacionada a uma completa falta de estrutura, decorrente a inexistência no gerenciamento dos sistemas de saneamento básico existentes. Na Figura 5.1 observa-se exemplos da falta de gestão para o monitoramento do sistema de drenagem pluvial da cidade de Campina Grande - PB.

Figuras 5.1 - Componentes do sistema de drenagem pluvial de Campina Grande - PB.



Fonte: CAMINHA, 2014.

Quanto ao diagnóstico do sistema de drenagem pluvial na área em estudo, pode-se afirmar que, mesmo alguns componentes estejam desempenhando corretamente suas funções, a maioria apresentam-se desgastados, danificados e obstruídos por resíduos de construção civil. Também há ocorrência de lançamento de resíduos sólidos e esgoto sanitário ao longo de toda a extensão do canal. Na Figura 5.2 são apresentados exemplos de características da sub-bacia D9 e na Figura 5.3 situações da sub-bacia D10.

Figura 5.2 - Componentes do sistema de drenagem da sub-bacia D9.



Fonte: CAMINHA, 2014.

Figura 5.3 - Componentes do sistema de drenagem da sub-bacia D10.



Fonte: CAMINHA, 2014

### 5.1.2 Resultados obtidos para os parâmetros monitorados

Fundamentando-se nas concentrações médias apresentadas para água de drenagem urbana e os limites estabelecidos pelas Resoluções CONAMA n° 430/2011 e n° 357/2005 para lançamento de efluentes em corpos hídricos superficiais, os resultados obtidos com as análises físico-químicas e microbiológicas demonstra que o sistema de drenagem em estudo apresenta um elevado potencial poluidor, tornando-se uma fonte pontual de poluição do meio ambiente e, principalmente, da qualidade das águas dos corpos d'água superficiais receptores.

Com base na tabela 5.1, que expõe os resultados obtidos na presente pesquisa e os da literatura considerada, é possível identificar que a qualidade da água do sistema de drenagem pluvial da área em estudo condiz aos valores frequentemente encontrados no escoamento pluvial de áreas urbanas. No entanto, ambos encontram-se superior aos limites permitidos para lançamento de efluentes em corpo d'água receptor.

Tabela 5.1 – Correlação da concentração média dos poluentes.

Poluente	Unidade	Resultados obtidos	Literaturas consultadas	Resoluções CONAMA		
				Classe do corpo receptor		
				1	2	3
pH	-	7,8	5,4-7,4	5 – 9		
Temperatura	°C	23,9	-	< 40		
Turbidez	UNT	85,0	-	≤ 40	≤ 100	
OD	mg/L	0,8*	-	> 6	> 5	> 4
DQO	mg/L	282	48 - 964	-		
DBO	mg/L	135	15 - 141	≤ 3	≤ 5	≤ 10
SST	mg/L	94	49 - 498	-		
CTT	UFC/100mL	1130E+3	3,7 – 16 E+3	< 0,2E+3	< 1E+3	< 4E+3

\*Prevalecendo 0mg/L

Conferindo a localização e resultados dos poluentes dos pontos monitorados no sistema de drenagem das águas pluviais pode-se observar a degradação da qualidade da água devido a contribuição de esgoto sanitário, em pontos do sistema, provenientes de poluição difusa na zona urbana de Campina Grande (Figura 5.4). Também foi observado que as maiores concentrações apresentam-se no ponto 3 que representa as contribuições de montante da sub-bacia D10, possivelmente correlacionada ao uso e ocupação solo, uma vez que a área contribuinte apresenta-se densamente ocupada por imóveis residenciais e, conseqüentemente, com maior lançamento de carga poluente ao sistema.

Figura 5.4 - Lançamento de efluentes ao sistema de drenagem pluvial.



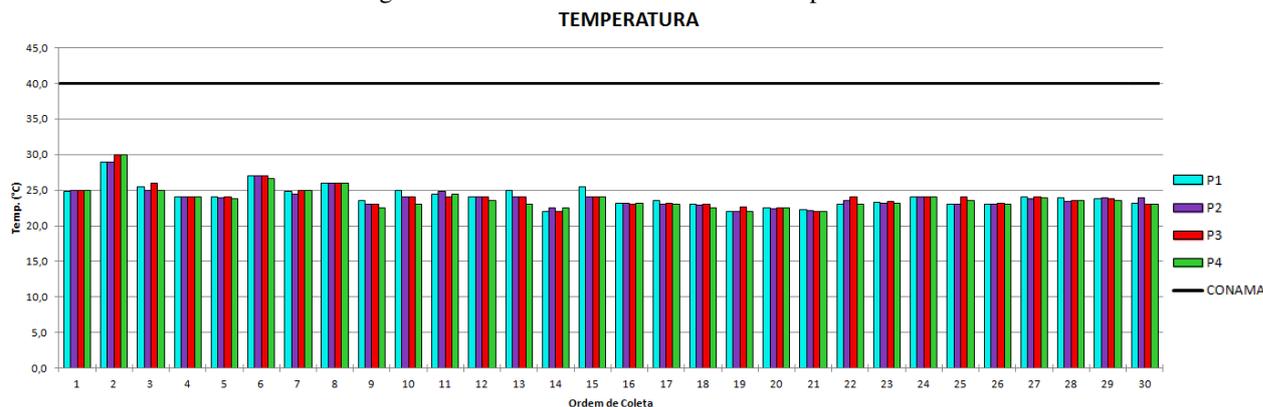
Fonte: CAMINHA, 2014.

### ❖ Temperatura

Com os resultados obtidos durante o monitoramento da qualidade da água do sistema de drenagem pluvial (Figura 5.5), foram observados valores entre a mínima de 22°C e máxima de 27°C. Estes se encontram de acordo com a faixa para lançamento de efluentes citada nas resoluções CONAMA, inferior a 40°C.

Os valores de temperatura apresentaram modificações conforme as características externas observadas, uma vez que as amostras dos dias chuvosos exibiram valores entre 22°C a 26°C e nos dias sem precipitação os resultados estiveram entre 23°C a 27°C. Embora os pontos de coletas apresentem diferentes características físicas e de funcionamento, analisando os resultados obtidos no parâmetro temperatura constata-se um comportamento similar. Assim, provavelmente, os resultados de temperatura não sofrem influência apenas do ambiente, mas de um conjunto de fatores.

Figura 5.5 - Gráfico dos resultados de temperatura.



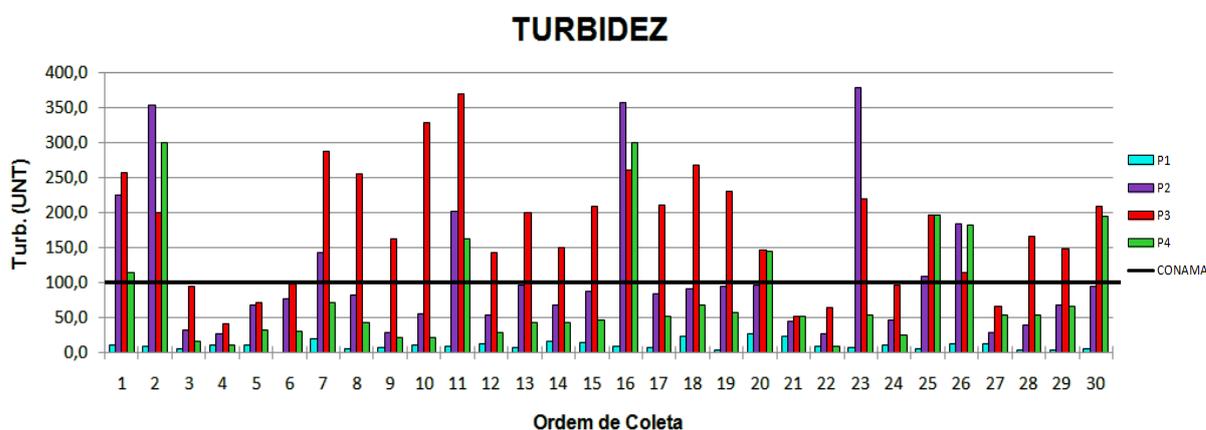
### ❖ Turbidez

Durante o monitoramento os valores de turbidez apresentaram resultados adversos, não seguindo um valor padrão. Como mostra a Figura 5.6, as concentrações variaram expressivamente entre 0,5 a 376,4 UNT, com uma média geral de 85,0 UNT. Esta, embora superior aos limites de lançamento de efluentes de classes 1, enquadra-se aos limites para classe 2 e 3, nas quais estão inseridas as classificações dos corpos d'água de Campina Grande.

Quanto à variação das concentrações, este poderá ser justificado a partir das anotações das observações de campo, uma vez que a análise não se resume exclusivamente a análise laboratorial, mas a uma junção de fatores, desde a coleta ao método adotado para definição do resultado. Analisando os resultados, pela interferência de precipitações, pode-se afirmar que as características do evento influenciam diretamente nas respostas das análises, uma vez que o conjunto de dados resultante dos eventos apresentou oscilação entre 3,5 a 368,0 UNT. E nos resultados sem interferência de chuva, os valores oscilaram entre 0,5 e 378,3 UNT.

De modo geral, as características dos valores mínimos e máximos entre os períodos considerados decorrem da frequência do lançamento de resíduos ao longo do sistema, da lavagem da superfície após período seco e do revolvimento desse material ocasionado pela intensidade das precipitações. Ao avaliar isoladamente o ponto 4, o exultório do sistema, nota-se que o valor médio apresenta-se dentro das faixas de lançamento de efluentes em corpos d'água de classe 2 e 3. No entanto, a frequente ocorrência de escoamento com concentrações superiores podem contribuir para alterações das características do corpo d'água receptor.

Figura 5.6 - Gráfico dos resultados de turbidez.



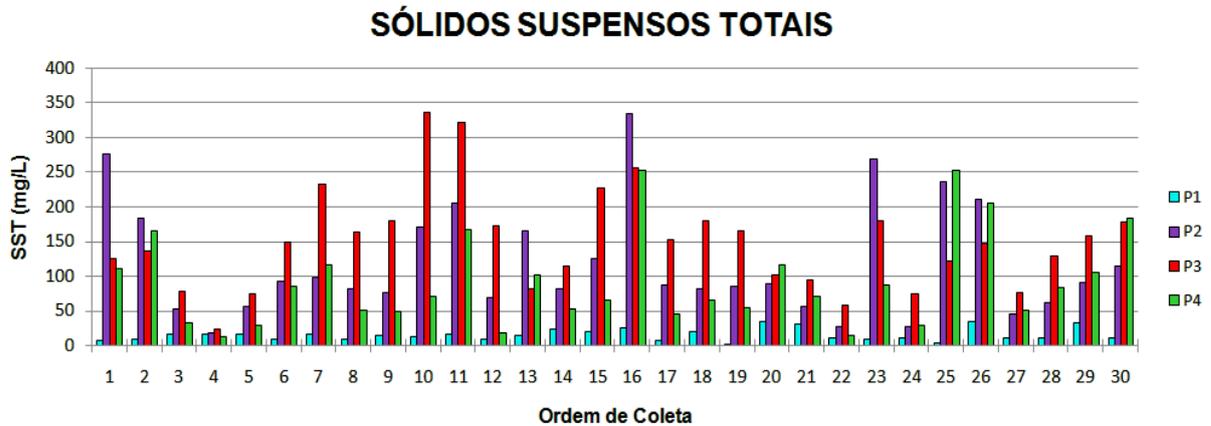
### ❖ Sólidos Suspensos Totais - SST

Mesmo que a legislação não estabeleça limites de sólidos para lançamento de efluentes, a mesma recomenda que os sólidos em suspensão devam estar virtualmente ausentes. Assim, os resultados apresentam-se em desacordo com o recomendado. Observando os resultados de SST apresentados na Figura 5.7, é notória a intensa variação das concentrações nos pontos monitorados, estando os valores entre a mínima de 0,5 mg/L e máxima de 337,0 mg/L. Ao abordar os valores no exultório do sistema (ponto 4), observa-se que estes estão entre 13 e 253 mg/L com a média de 91 mg/L.

Considerando os valores abordados na literatura, como no estudo de Menezes (2004), Ferreira (2008) e Oliveira (2012) que apresentam valores entre 49 a 498 mg/L, nota-se que as concentrações de sólidos suspensos totais obtidas no monitoramento da presente pesquisa coincidem com as características de águas de drenagem pluvial de áreas urbanas de usos mistos (áreas constituídas de diferentes usos e ocupações do solo). Usos esses que, coincidentemente, caracterizam as sub-bacias em estudo.

Como o material em suspensão consiste no principal agente causador de turbidez, pode-se afirmar que os valores de turbidez possibilitam uma análise prévia dos resíduos virtualmente presentes em uma amostra de água. Assim sendo, os resultados de SST demonstram que as águas analisadas do sistema de drenagem não se enquadram as exigências da legislação para lançamento de efluentes em corpo d'água receptor, fato este justificado pelo alto teor de resíduos em suspensão e as elevadas concentrações de turbidez.

Figura 5.7 - Gráfico dos resultados de SST.

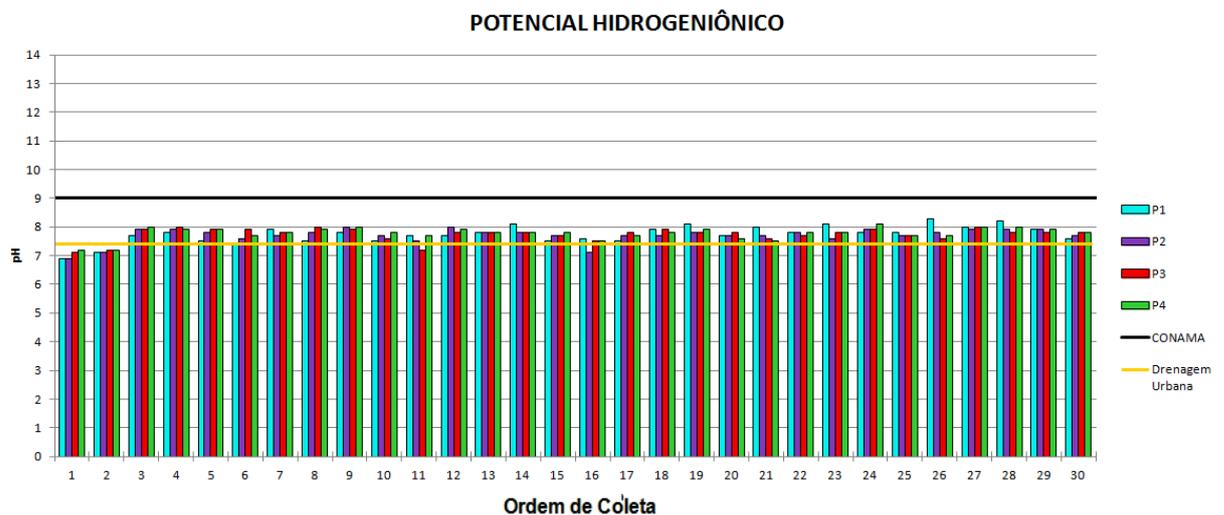


### ❖ Potencial Hidrogeniônico - pH

A Figura 5.8 apresenta os resultados do parâmetro pH, com esta pode-se observar que os valores apresentam-se entre 7 e 8,3. No que se refere as exigência de pH nas resoluções CONAMA, os resultados estão de acordo com as faixas exigidas (pH de 5 a 9). De acordo com as características das águas de drenagem apresentadas em literatura, o sistema apresenta valores típicos para escoamentos urbanos.

Considerando que o sistema de drenagem pluvial em estudo receba contribuição direta de esgoto, os valores encontrados não condizem com os citados em literatura. Segundo Jordão e Pessoa (2011) os esgotos apresentam pH entre 6,5 e 7,5, quando sépticos apresentam pH inferior a 6. Já as exigências dos organismos aquáticos, comumente apresenta pH entre 6 e 9.

Figura 5.8 - Gráfico dos resultados de pH.



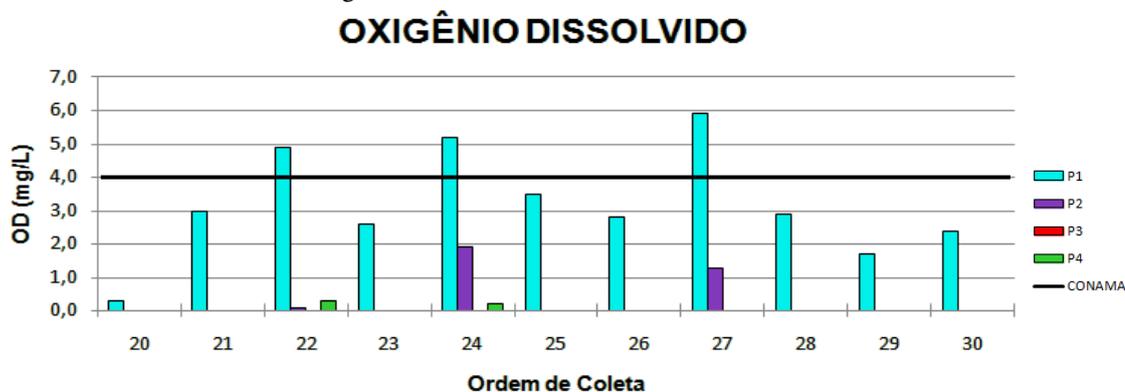
### ❖ Oxigênio Dissolvido - OD

A Figura 5.9 apresenta as concentrações do oxigênio dissolvido obtidas no monitoramento das águas do sistema de drenagem pluvial em estudo, estando em sua maioria não harmônicos com os limites de lançamento em corpos d'água. Quanto ao desenvolvimento do parâmetro, por consequência das limitações em equipamentos no desenvolvimento das análises, somente a partir da vigésima coleta que foi possível analisar as concentrações de oxigênio dissolvido nas amostras.

Examinando o comportamento do oxigênio nos pontos monitorados, destaca-se o ponto 1 com valores variando entre 0,3 a 5,9 mg/L com média de 3,2 mg/L. Quanto aos demais pontos, o oxigênio apresenta-se eventualmente em algumas amostras, eventos que podem estar relacionados com a sucessão de chuvas antecedente ao dia da coleta e que pode ser explicado pela lavagem mais eficiente da superfície ou causado o revolvimento das águas do canal inserindo partículas de gases.

Diante dos resultados apresentados observa-se o potencial poluidor do sistema de drenagem dos bairros em estudo, uma vez que o oxigênio encontrado no início do sistema (ponto 1) é totalmente consumido ao longo do sistema, favorecendo o estado de hipoxia em toda massa d'água, principalmente por influencia da carga poluente do ponto 3, e consequentemente gerando um efluente final potencialmente poluidor para o ambiente e corpo d'água receptor.

Figura 5.9 - Gráfico dos resultados de OD.



### ❖ Demanda Bioquímica de Oxigênio – DBO<sub>5,20°</sub>

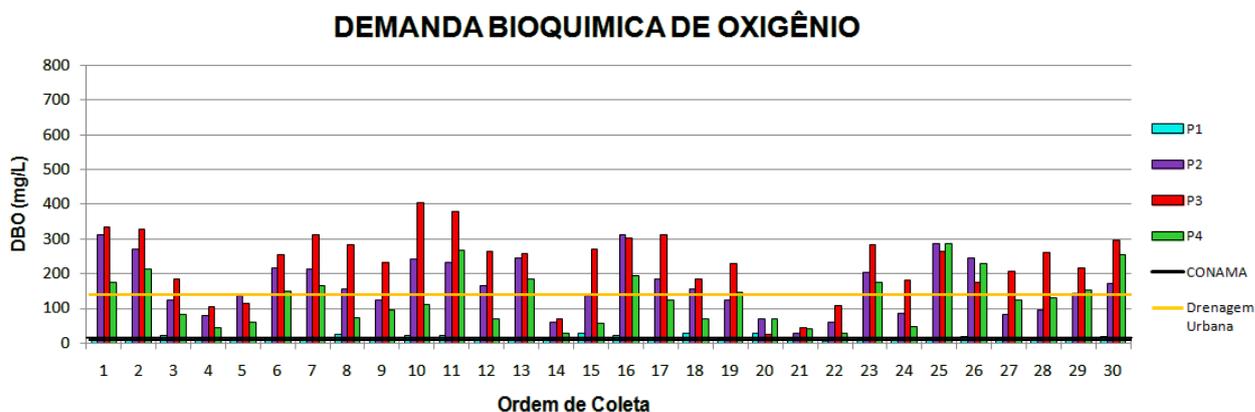
Na figura 5.10 estão apresentados os resultados de DBO obtidos no monitoramento do sistema. Diante dos valores é possível perceber as elevadas concentrações de compostos

orgânicos biodegradáveis transportados pelo sistema, uma vez que esta apresenta em uma faixa de 6 a 406 mg/L com média entorno de 135 mg/L. Ambos superiores a 10 mg/L, concentração máxima precível para lançamento de efluentes em corpos d'água de classe 3.

Através dos resultados apresentados é possível constatar que os valores de DBO mantêm-se em níveis elevados. Ao longo das amostragens, principalmente nos pontos 2 e 3, advertindo as consequências do lançamento de efluente e resíduos sólidos. Já o ponto 1 (início do sistema) a média é de 17 mg/L entre a faixa de 6 a 29 mg/L, e no ponto 4 (final do sistema) observa-se valores entre 26 a 406 mg/L com média de 228 mg/L.

Ressaltando os eventos de chuva e o comportamento das concentrações do período de amostragem, destaca-se que as altas concentrações foram obtidas em decorrência do longo período sem precipitação, que é caracterizado como deposição seca do poluente, com media geral foi de 179 mg/L. Para as amostragens com interferência dos eventos de chuva, ou seja, o resultado da lavagem e diluição dos poluentes presentes na superfície, foram registradas médias em torno de na deposição e 87 mg/L ao longo do sistema.

Figura 5.10 - Gráficos dos resultados de DBO.



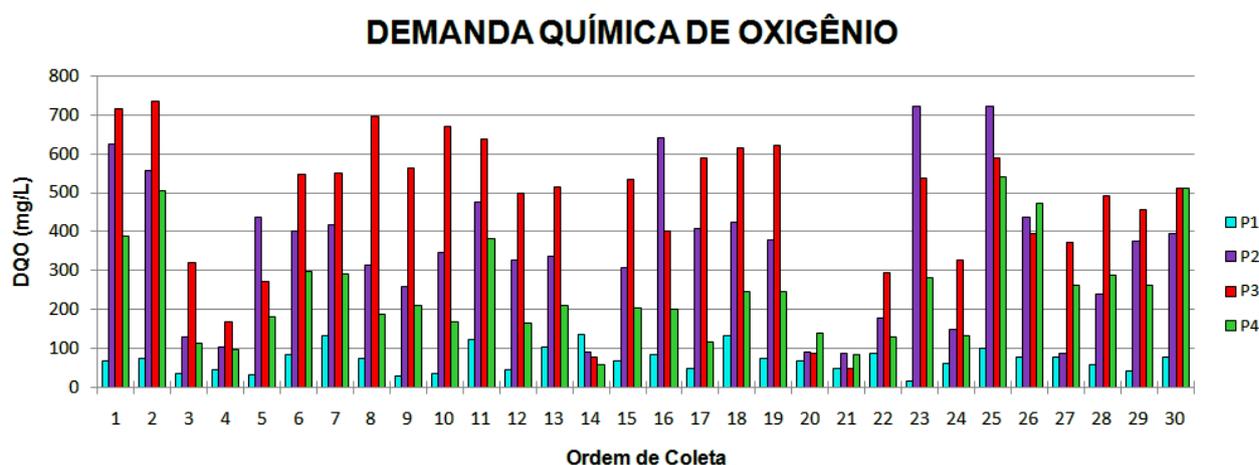
### ❖ Demanda Química de Oxigênio – DQO

Avaliando os resultados obtidos nas análises do parâmetro DQO, os quais estão expostos na Figura 5.11, constata-se altas concentrações de matéria orgânica. Os valores apresentados, encontram-se em uma faixa de 17 a 736 mg/L, com média geral de 284 mg/L. Como as resoluções CONAMA não faz referencia quanto ao parâmetro, este fora abordado pela qualidade das águas de drenagem urbana e como abordagem do parâmetro DBO.

Analisando o comportamento das concentrações de DQO ao longo do período monitorado, observa-se que estas seguem o mesmo princípio das demais análises estudadas, estando os menores valores em período de chuvas. Esta resposta decorre do processo de lavagem, que retira a maior concentração dos poluentes nos primeiros volumes escoados, consequentemente resultando na redução das concentrações obtidas nas análises dos volumes escoados posteriormente.

Ao confrontar os resultados com os valores de referências abordados em literatura, é possível considerar, com exceção do ponto 1, que os valores encontrados representam características típicas de esgoto domésticos, estando as concentrações entre 200 a 800 mg/L. Quanto ao nível de biodegradabilidade do efluente gerado pelo sistema de drenagem pluvial urbana em estudo, foram determinadas as relações DQO/DBO entorno de 2/1, ou seja, quando avaliada a composição da carga orgânica transportada pelo sistema de drenagem, pode-se afirmar que 2/3 (dois terços) refere-se à matéria não biodegradável, tendo esta uma concentração duas vezes maior que a matéria biologicamente degradada. Estes resultados podem estar correlacionados a constante ocorrência de resíduos sólidos depositados no canal de drenagem, os quais são conduzidos pelas águas drenadas até o exultório do sistema e, consequentemente, chegam ao corpo d'água receptor.

Figura 5.11 - Gráfico dos resultados de DQO.



### ❖ Coliformes Termotolerantes - CTT

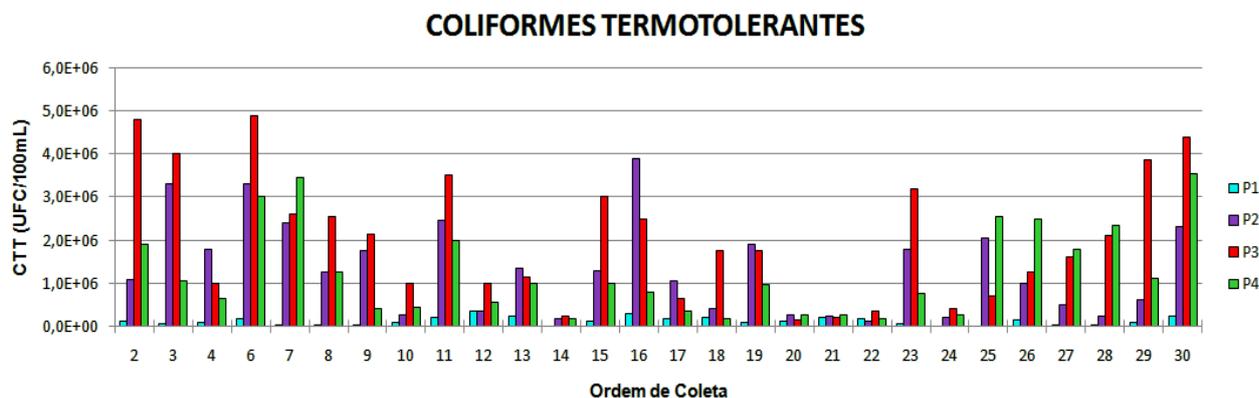
Para determinação dos microrganismos nas águas do sistema de drenagem pluvial em estudo, foram considerados os coliformes termotolerantes. Na Figura 5.12 os valores estão expostos em milhões de unidades formadoras de colônias por 100 mL (UFC/100mL). Estes

apresentam média de  $11 \times 10^4$  UFC/100 mL dentro a faixa de  $1,6 \times 10^4$  a  $490 \times 10^4$  UFC/100mL, ambos valores superiores aos da legislação e das águas de drenagem descritas em literatura. No entanto, apresentando características condizentes aos esgotos brutos, que segundo Jordão e Pessoa (2011) apresentam uma faixa de  $10^5$  a  $10^8$  microrganismos por 100 mL.

A variação apresentada pelas concentrações de microrganismos está relacionada com os fatores observados em campo. Destes, os principais referem-se ao lançamento de resíduos no sistema e a intensidade dos eventos de chuva. De modo que, dependendo da intensidade da precipitação, durante um evento de chuva poderá ocorrer o arraste dos resíduos e, conseqüentemente, a redução das concentrações de microrganismos.

Nesse contexto, considerando os resultados pela influencia das precipitações, é possível identificar valores entre  $1,6 \times 10^4$  a  $460 \times 10^4$  UFC/100mL, com média de  $83 \times 10^4$  UFC/100mL para as diversas interferências de chuva. Já as coletas que não sofreram interferência direta de chuva, apresentaram uma média de  $160 \times 10^4$  UFC/100mL entre os valores de  $1,6 \times 10^4$  a  $460 \times 10^4$  UFC/100mL. Assim, pode-se destacar através da análise dos resultados, que embora ambos os períodos apresentem concentrações elevadas, houve redução dos microrganismos com os eventos de precipitações.

Figura 5.12- Gráfico dos resultados da variável CTT.



### 5.1.2.1 Análise estatística

Inicialmente os dados obtidos foram submetidos a uma análise estatística descritiva, estimando medidas de tendência central (média, mediana e moda) e de dispersão (mínimo, máximo, desvio padrão e variância). Diante dos resultados apresentados na Tabela 5.2, é possível inferir sobre o comportamento dos parâmetros analisados e das características dos pontos monitorados.

Dentre as medidas apresentadas, destacam-se os menores valores pertencentes ao ponto 1, caracterizado como o ponto inicial do sistema, conferindo as características iniciais do sistema de drenagem pluvial. Já no ponto 3, representando a contribuição do bairro Sandra Cavalcante ao sistema de drenagem pluvial do bairro Catolé, são atribuídos os maiores valores observados.

Analisando os dados de forma temporal ao monitoramento, tem-se um comportamento oscilando em determinados períodos, o que ocasionou os altos valores expressos nas medidas de variância e desvio padrão, principalmente decorrentes aos resultados extremos que refletem a heterogeneidade das consequências das chuvas e as influências físicas externas do ambiente.

Tabela 5.2 – Análise estatística das variáveis analisadas.

Variáveis		Mínimo	Máximo	Média	Mediana	Moda	Desvio Padrão	Variância
pH	P1	7,1	8,3	7,8	7,8	7,8	7,2	51,1
	P2	7,1	8,0	7,7	7,8	7,7	6,9	47,1
	P3	7,2	8,0	7,8	7,8	7,8	6,9	47,0
	P4	7,2	8,1	7,8	7,8	7,8	6,9	47,3
Temperatura (°C)	P1	22,0	27,0	24,0	24,0	24,0	1,31	1,67
	P2	22,0	27,0	23,9	23,9	24,0	1,31	1,47
	P3	22,0	27,0	23,9	24,0	24,0	1,26	1,53
	P4	22,0	26,6	23,7	23,5	23,0	1,22	1,44
Turbidez U.N.T	P1	0,5	27,00	10,0	10,2	10,9	0,9	0,8
	P2	26,0	376,4	95,5	82,8	96,0	16,3	248,9
	P3	41,0	368,6	166,2	180,9	259,2	11,2	116,5
	P4	8,4	299,3	68,2	52,6	299,3	15,3	219,3
OD mg/L	P1	0,3	5,9	3,2	2,9	-	1,6	2,4
	P2	0	1,9	0,3	0	0	0,7	0,4
	P3	0	0	0	0	0	0	0
	P4	0	0,3	0,05	0	0	0,1	0
SST mg/L	P1	1	35	15	14	17	9	0
	P2	18	334	119	89	57	82	6464
	P3	24	337	150	149	179	73	5083
	P4	13	253	91	71	116	66	4262
DBO mg/L	P1	6	29	17	15	12	6	33
	P2	27	331	166	156	311	79	6051
	P3	26	406	230	257	311	96	8841
	P4	28	288	129	125	69	74	5354
DQO mg/L	P1	17	136	71	71	68	32	983
	P2	89	723	349	363	89	186	33493
	P3	47	736	462	514	-	191	35285
	P4	59	542	246	212	212	132	16844
CTT UFC/100mL	P1	1,60E+04	3,85E+05	1,38E+05	1,13E+05	1,75E+05	1,03E+05	1,03E+10
	P2	11,5E+04	39,0E+05	12,6E+05	10,6E+05	33,0E+05	10,7E+05	112E+10
	P3	13,0E+04	49,0E+05	19,1E+05	16,8E+05	9,90E+05	14,8E+05	213E+10
	P4	17,0E+04	35,5E+05	11,9E+05	8,88E+05	10,0E+05	10,2E+05	100E+10

Objetivando visualizar as características e distribuição do conjunto de dados com base nos parâmetros descritivos para as variáveis adotadas no processo de modelagem (SST, DBO e DQO), foi aplicado o método gráfico BOX PLOT. Na Figura 5.13 estão expostos os resultados obtidos através do método. Nelas são identificados os valores médios, máximos, mínimos, primeiro e terceiro quartil, além dos valores extremos.

Com o teste BOX PLOT facilmente identifica-se o comportamento dos conjuntos de dados dos pontos monitorados. Com as Figuras 5.13a e 5.13b é possível observar que os dados de DBO e DQO do ponto 3, estão concentrados no primeiro quartil, diferenciando-se dos demais pontos, os quais estão contidos no terceiro quartil. Quanto aos resultados das análises de SST apresentados na Figura 5.13c, observa-se que ambos os pontos monitorados possuem os dados concentrados no terceiro quartil.

Em relação aos possíveis outliers ou valores extremos identificados, as análises de DBO e DQO apresentaram valores extremos para os pontos 2, 3 e 4. Já nos valores de SST os valores extremos são identificados nos pontos 1, 2 e 3. No entanto, ao aplicar o teste de Grubbs com nível de significância de cinco por cento ( $\alpha=0,05$ ) para identificação e eliminação dos dados não pertencentes ao conjunto, observou-se que nos parâmetros DBO e DQO apenas os valores máximos do ponto 2 são outliers. E em SST os outliers apresenta-se unicamente no valor máximo do ponto 1.

Para os dados de SST, DBO e DQO também foram aplicados o método Kolmogorov – Smirnov (KS), objetivando a verificação do ajuste e distribuição dos do conjunto de dados. Baseando-se na maior diferença entre a frequência observada e a determinada pelo nível de significância, observou-se que os conjuntos de dado dos parâmetros SST, DBO e DQO apresentam-se em condições de normalidade. Em seguida, foi aplicado o método GT-2, o qual possibilitou identificar a representação gráfica da diferença significativa com o nível de significância de cinco por cento ( $\alpha = 0,05$ ) para o conjunto de dados avaliados.

Na Figura 5.14 observa-se a análise dos resultados após aplicação do método GT-2. Para o parâmetro DBO (Figura 5.14a) os resultados demonstram que os pontos monitorados apresentam diferenças significativas, com exceção no comparativo entre os pontos P2 e P4. Quanto aos resultados de DQO (Figura 5.14b), é possível identificar a diferença significativa entre todos os pontos monitorados. Já nos SST (Figura 5.14c), a diferença significativa é observada no comparativo do ponto 1 e entre os pontos 3 e 4.

Figura 5.13 - Gráfico BOX PLOT. a) DBO. b) DQO. c) SST.

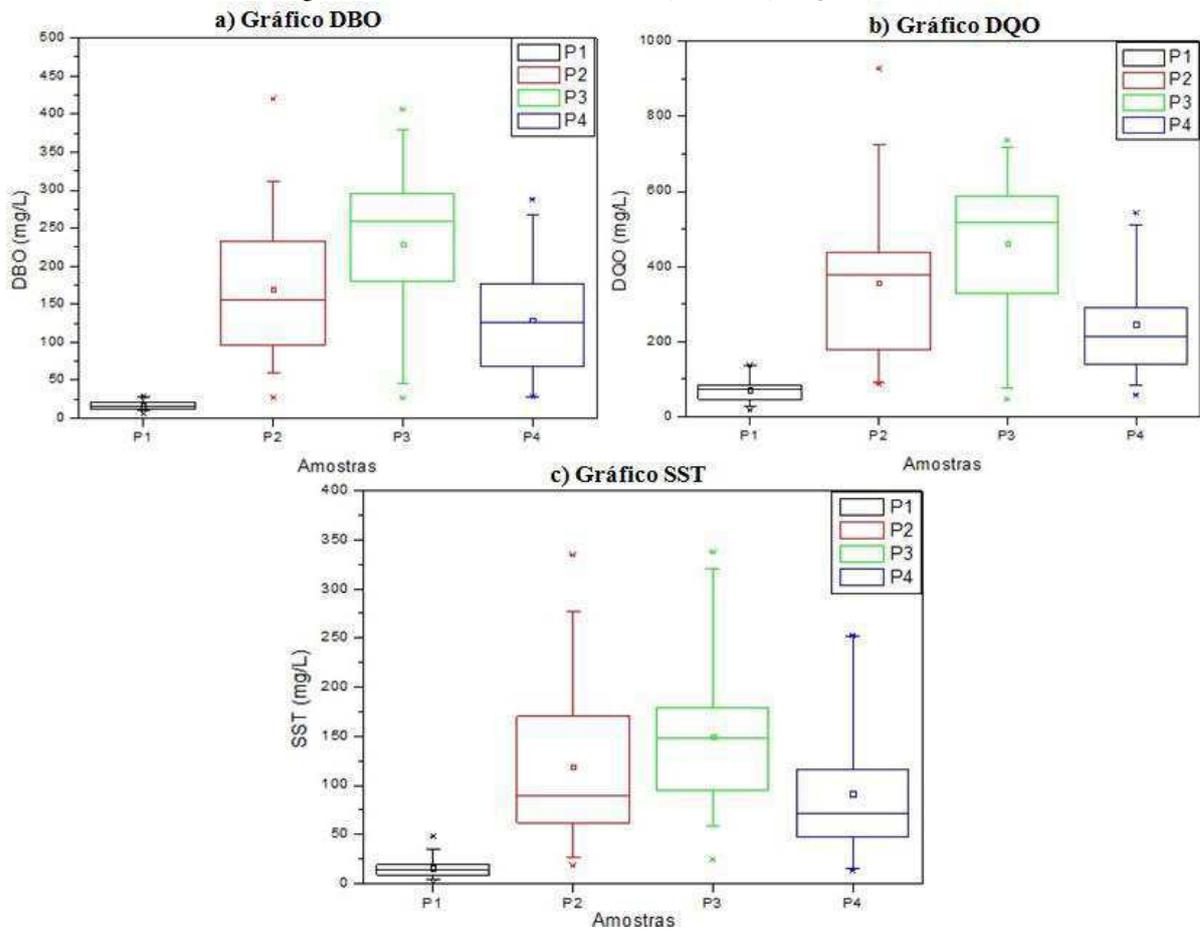
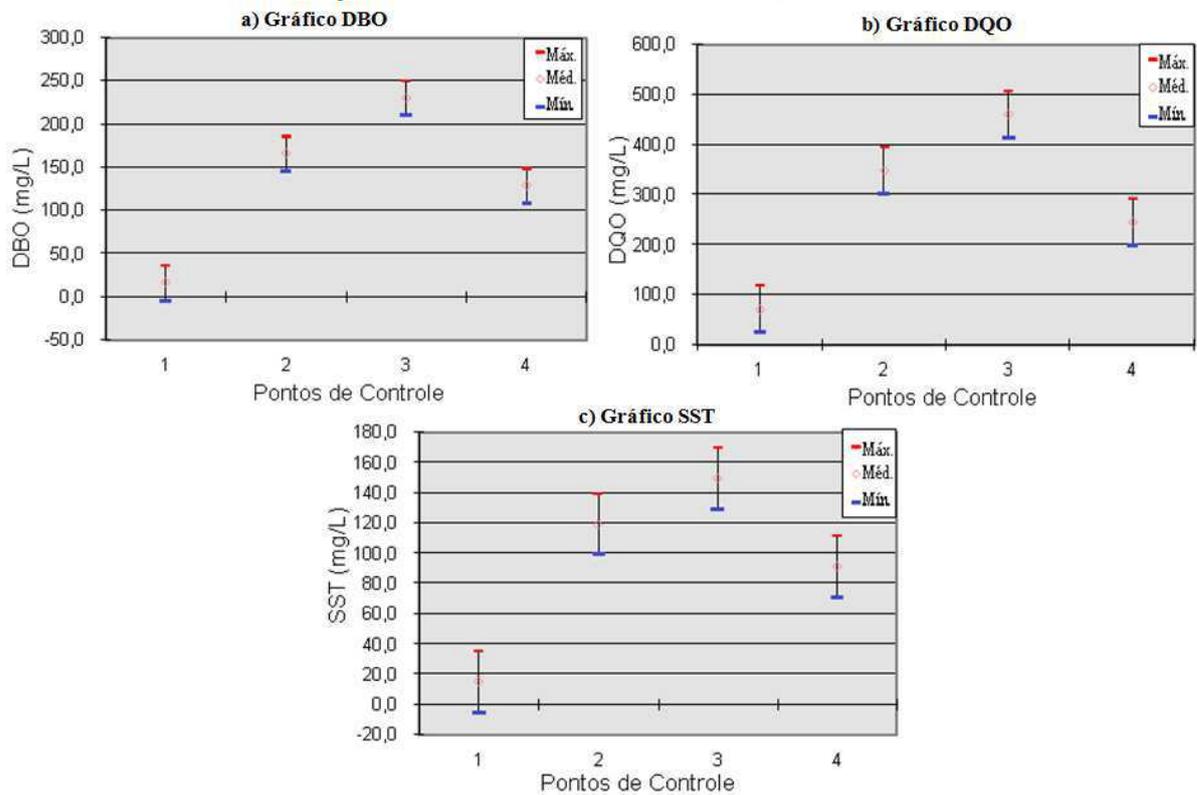


Figura 5.14 - Gráfico GT-2. a) DBO. b) DQO. c) SST.



## 5.2 RESULTADOS DA MODELAGEM

No processo de modelagem a área em estudo foi representada por aproximadamente 372 hectares discretizadas em 194 subáreas, todas caracterizadas quanto aos usos e ocupação do solo (a identificação dos usos residencial, comercial, serviços e sem uso nas sub-bacias estudadas). Como já citado anteriormente, a Figura 4.9 representa a área de estudo no modelada, nesta também se observa o sistema de drenagem que foi representado por 202 nós e 200 trechos, sendo os nós compostos por um exultório situado no final do sistema, o qual foi utilizado para balanço geral das cargas poluentes de contribuição do sistema ao meio ambiente, e 201 conexões distribuídas nas duas bacias de drenagem, estas representando as bocas-de-lobo e os poços de visita. Quanto aos trechos, estes fazem representação dos condutos, ou seja, as ligações existentes entre os nós.

Para a efetivação do processo foram utilizados os módulos Runoff e Transport do SWMM 5.0. O primeiro módulo adotado (Runoff) possibilitou a simulação do escoamento de superfície e da qualidade das águas nas áreas de contribuição, já o segundo (Transport) permitiu realizar a propagação do escoamento e a qualidade da água do sistema de drenagem. A interface entre os módulos teve início com as ligações das sub-bacias aos componentes do sistema, juntos eles possibilitaram a interpretação e análise dos eventos hidrológicos e o comportamento dos poluentes.

### 5.2.1 Caracterização dos poluentes considerados

As concentrações dos poluentes foram estimadas das 30 séries amostrais realizadas em um período de quatro meses. Na Tabela 5.3 estão às concentrações médias das variáveis monitoradas a serem modeladas.

Tabela 5.3 – Médias das concentrações dos poluentes.

<b>Parâmetros</b>	<b>Unidade</b>	<b>Concentração Média</b>
SST	mg/L	94
DBO	mg/L	135
DQO	mg/L	284

Para caracterizar o comportamento da deposição seca dos poluentes a serem modelados, na Tabela 5.4 são apresentadas as concentrações médias dos poluentes do sistema de drenagem em estudo. Estas concentrações representam as características das águas nos

intervalos entre as precipitações, ou seja, período sem interferência de chuva onde ocorrem à deposição seca dos poluentes.

Tabela 5.4 – Concentração média dos poluentes na deposição seca.

Parâmetros	Unidade	Concentração Média
SST	mg/L	125
DBO	mg/L	177
DQO	mg/L	357

Quanto ao comportamento dos poluentes no processo de lixiviação ou lavagem, este é representado pelas características das águas com influência dos eventos de precipitação. A Tabela 5.5 apresenta às concentrações médias dos poluentes para determinação do coeficiente de lixiviação dos poluentes considerados para modelagem.

Tabela 5.5 – Concentração média dos poluentes nos eventos de chuva.

Parâmetros	Unidade	Concentração Média
SST	mg/L	58
DBO	mg/L	87
DQO	mg/L	196

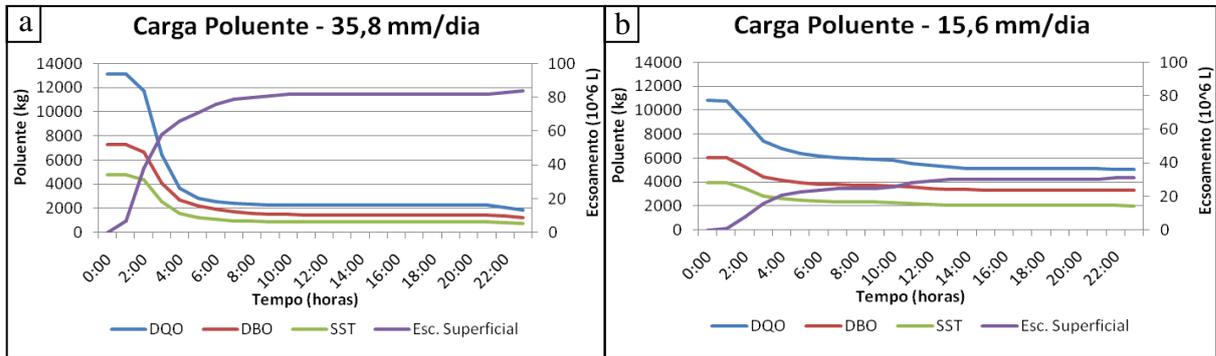
## 5.2.2 Influencia das características estudadas

### 5.2.2.1 *Influência das características hidrológicas*

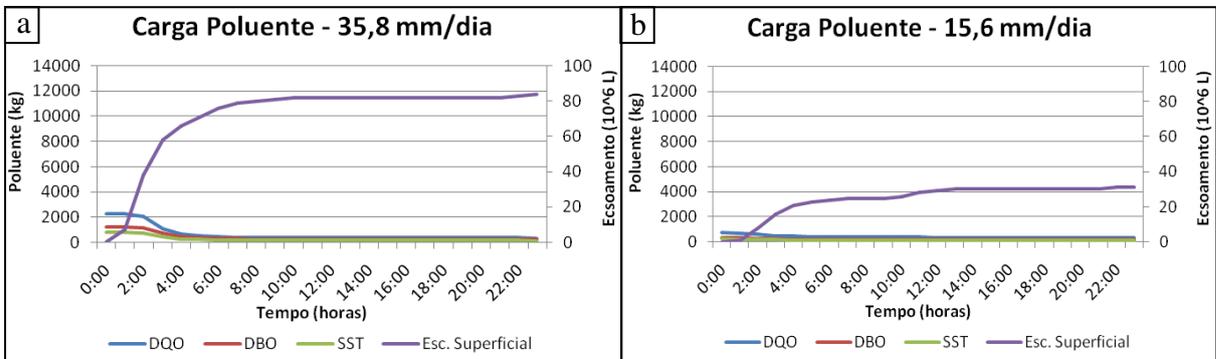
No primeiro cenário estudado optou-se por analisar a influência do ciclo hidrológico no comportamento das cargas poluentes geradas e carreadas superficialmente pelo sistema de drenagem pluvial das sub-bacias de drenagem em estudo. Deste modo, foram simulados dois eventos distintos (33,8 mm/dia e 15,6 mm/dia), sendo consideradas algumas características das precipitações (altura pluviométrica, intensidade e duração) e o número de dias secos antecedentes ao evento (um após 15 dias sem chuva e o outro subsequente a outro evento).

Dentre as características consideradas no primeiro cenário, o maior destaque foi a quantidade de dias secos antecedentes, ou seja, o número de dias sem chuvas antecedentes as precipitações. Buscando assegurar a confiabilidade dos resultados, foram atribuídos diferentes intervalos, mas na abordagem representativa optou-se por demonstrar um comparativo entre os intervalos de dias sem chuva e a lamina precipitada (Figuras 5.15 e 5.16).

Figuras 5.15 - Gráficos da carga poluente dos eventos após 15 dias sem chuva. a) Carga Poluente do evento de 35,8 mm/dia; b) Carga Poluente do evento de 15,6 mm/dia.



Figuras 5.16 - Gráficos da carga poluente dos eventos após 0 dia sem chuva. a) Carga Poluente do evento de 35,8 mm/dia; b) Carga Poluente do evento de 15,6 mm/dia.



Observando conjuntamente as Figuras 5.15 e 5.16 é perceptível a relação do comportamento da carga poluente com o volume escoado superficialmente e o número de dias sem chuvas antecedentes. Os resultados confirmam a consequência do período de estiagem e as características dos primeiros eventos de chuva, os quais são considerados como fatores determinísticos na qualidade do escoamento e na carga poluente lançada ao meio ambiente e corpo d'água receptor. Deste modo, vale ressaltar a necessidade do tratamento das águas de drenagem pluviais antes do uso ou lançamento em qualquer corpo d'água receptor.

Já em relação à lâmina precipitada, nota-se a redução considerável no evento de 35,8 mm/dia após 15 dias sem precipitação, principalmente nas primeiras quatro horas em que se observa a rápida ascendência da curva do escoamento superficial, nas mesmas também se observa as maiores intensidades do evento.

Em meio às características de precipitação, destacou-se a intensidade, razão entre lâmina precipitada e o tempo de duração, a qual se apresentou como agente redutor das cargas poluentes. Embora o primeiro volume escoado apresente-se mais poluído, na Figura 15a, referente ao evento de 35,8 mm/dia após 15 dias sem chuva, observa-se uma redução

considerável dos poluentes acumulados nas quatro primeiras horas do evento. Esse episódio está diretamente relacionado à maior intensidade ocorrida ao longo do dia, uma vez que as chuvas intensas dificultaram o processo de infiltração, gerando maior volume no escoamento superficial e, conseqüentemente, contribuindo para o arraste e dissolução dos poluentes.

#### *5.2.2.2 Influência das características de uso e ocupação do solo*

Com base no estudo de Araújo (2012) foram selecionadas quatro classificações de ocupação do solo para caracterizar o segundo cenário avaliado, este que tem por finalidade analisar a influência das características do uso e ocupação do solo no comportamento das cargas poluentes na qualidade das águas pluviais do sistema de drenagem urbana estudado.

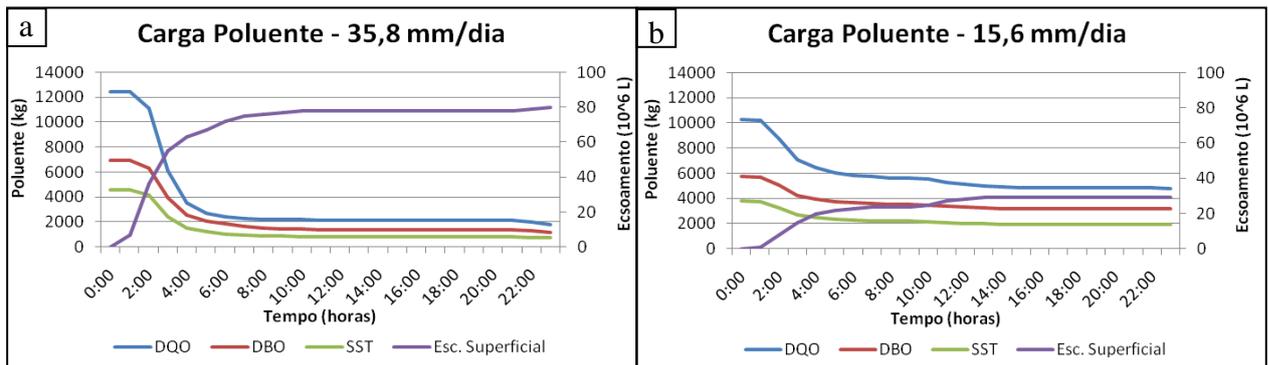
Diante da dificuldade no acesso ao sistema e considerando as concentrações dos usos apresentados em literatura, como Menezes (2004), Ferreira (2008) e Oliveira (2012), foram atribuídos diferentes pesos aos resultados das análises laboratoriais, o que possibilitou a introdução dos diferentes valores ao modelo, estes condizentes com a característica do uso e ocupação. Porém, após modelagem dos cenários, os resultados do comportamento das análises quanto às características de uso e ocupação dos solos não foram conclusivos. Uma vez que se observou uma homogeneidade das atividades desenvolvidas na área em estudo, ou seja, embora as áreas apresentem diferentes características de uso e ocupação do solo, a distribuição apresenta-se de forma extremamente homogênea, inviabilizando analisar a consequência das contribuições de cada ocupação para a qualidade da água do sistema de drenagem pluvial em estudo.

Embora não possibilitando pela ocupação, os resultados da modelagem ressaltaram a interferência da impermeabilização do solo, uma vez que se observou nas subdivisões com grande percentual de área sem uso, o escoamento com baixa concentração de poluentes. Além de indicar uma relação direta entre o volume escoado e a concentração de poluente transportada, sendo que as maiores concentrações são identificadas nos primeiros volumes escoados, esta observação destaca os impactos da impermeabilização do solo e a importância do uso de medidas de baixo impacto a serem implantadas junto ao sistema de drenagem pluvial nas áreas urbanas ou urbanizadas.

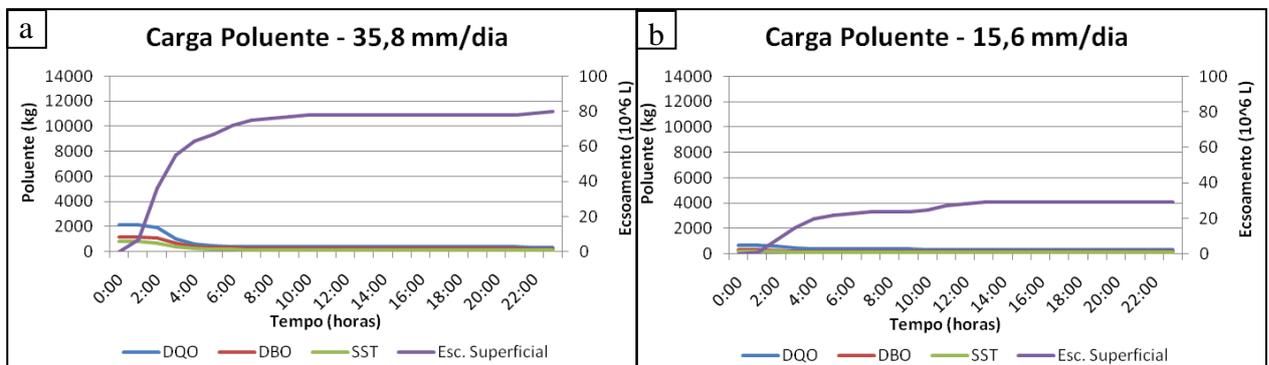
Nesse contexto, foram modelados dois cenários, um com redução de 10% das áreas impermeáveis (Figuras 5.17 e 5.18) e o outro com 25% (Figuras 5.19 e 5.20). Nos quais, além da redução da concentração dos poluentes escoados, pode-se identificar a influência do

intervalo de dias sem chuva antecedentes aos eventos, o qual faz referência ao período de estiagem e suas interferências no acúmulo e lavagem dos poluentes na superfície. Também foram consideráveis o comportamento e as consequências dos primeiros volumes escoados, sendo estes os principais responsáveis pelo transporte de altas cargas poluidoras, visto que realiza a primeira lavagem do solo.

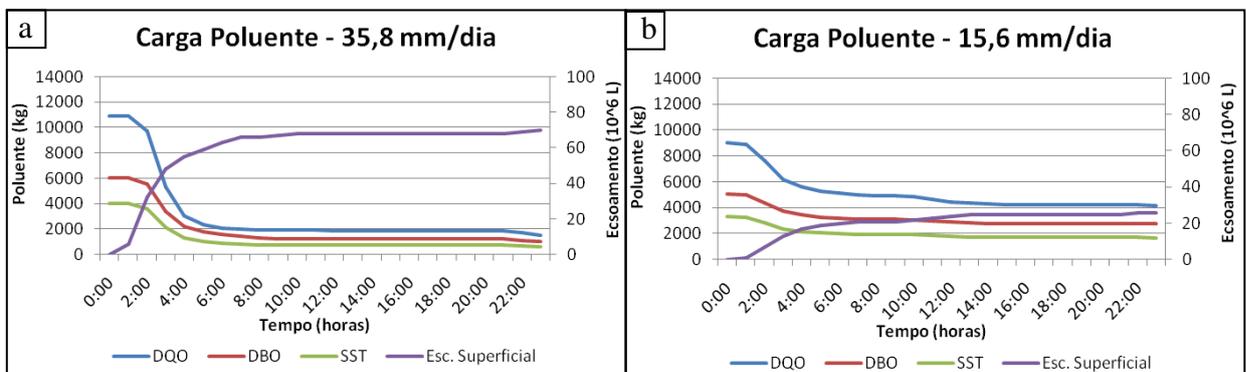
Figuras 5.17 - Gráficos da redução de 10% da superfície impermeável após 15 dias sem chuva. a) Carga Poluente do evento de 35,8 mm/dia; b) Carga Poluente do evento de 15,6 mm/dia.



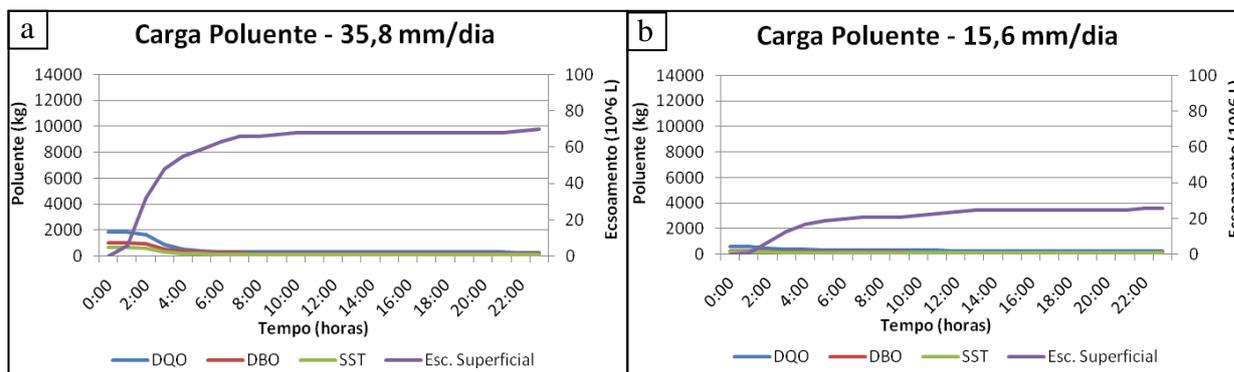
Figuras 5.18 - Gráficos da redução de 10% da superfície impermeável após 0 dia sem chuva. a) Carga Poluente do evento de 35,8 mm/dia; b) Carga Poluente do evento de 15,6 mm/dia.



Figuras 5.19 - Gráficos da redução de 25% da superfície impermeável após 15 dias sem chuva. a) Carga Poluente do evento de 35,8 mm/dia; b) Carga Poluente do evento de 15,6 mm/dia.



Figuras 5.20 - Gráficos da redução de 25% da superfície impermeável após 0 dia sem chuva. a) Carga Poluente do evento de 35,8 mm/dia; b) Carga Poluente do evento de 15,6 mm/dia.



Quanto às características dos eventos, foi possível determinar o efeito da intensidade na redução das cargas acumuladas superficialmente e na concentração do efluente gerado pelo sistema. Ambos os resultados podem ser observados nos valores expostos na Tabela 5.6, esta apresenta as cargas acumuladas no início e no fim de cada evento simulado, além de comparar os resultados entre a redução do percentual de áreas impermeáveis.

Tabela 5.6 – Resultados dos cenários avaliados.

Áreas impermeáveis	Eventos	Dias sem chuva	Carga Poluente (kg)					
			DQO		DBO		SST	
			Inicial	Final	Inicial	Final	Inicial	Final
Cenário atual	35,8 mm/dia	15 dias	13.114	1.870	7.299	1.262	4.809	772
		0 dia	2.259	322	1.234	213	830	133
	15,6 mm/dia	15 dias	10.855	5.054	6.065	3.338	3.980	2.036
		0 dia	722	336	321	177	233	119
Redução de 10%	35,8 mm/dia	15 dias	12.458	1.777	6.834	1.199	4.569	733
		0 dia	2.146	306	1.172	202	789	126
	15,6 mm/dia	15 dias	10.312	4.801	5.762	3.171	6.781	1.934
		0 dia	686	319	305	168	221	113
Redução de 25%	35,8 mm/dia	15 dias	10.885	1.552	6.058	1.047	3.991	641
		0 dia	1.875	267	1.024	177	689	110
	15,6 mm/dia	15 dias	9.010	4.195	5.034	2.771	3.303	1.690
		0 dia	599	279	266	147	193	99

Ressaltando ainda a influência da intensidade da chuva sobre a remoção ou redução da dos poluentes acumulados, na Tabela 5.7 estão representados os resultados das três primeiras horas do evento de 35,8 mm/h, a qual apresentou uma intensidade de 15,8 mm/hora durante as primeiras horas do evento. Considerando estes resultados, pode-se concluir que a intensidade é o agente fundamental na redução dos poluentes, uma vez que mais da metade da massa poluente acumulada é removida nas primeiras horas após as precipitações de maior intensidade dos eventos abordados.

Tabela 5.7 – Resultado das três primeiras horas do evento 35,8 mm/dia.

Área impermeável	Dias sem chuva	Carga Poluente (KG)					
		DQO		DBO		SST	
		inicial	final	inicial	final	inicial	Final
Cenário atual	15 dias	13.114	3.692	7.299	2.689	4.809	1.601
	0 dia	2.259	636	1.234	455	830	272
Redução de 10%	15 dias	12.458	3.507	6.834	2.555	4.569	1.521
	0 dia	2.146	604	1.172	432	789	262
Redução de 25%	15 dias	10.885	3.064	6.058	2.232	3.991	1.329
	0 dia	1.875	528	1.024	378	689	229

Abordando os usos do solo, principalmente pela interferência da impermeabilização, os dois cenários estudados com redução das áreas impermeáveis existentes, observa-se que os resultados apresentaram-se favoráveis, ou seja, caso fossem realizadas ações visando à redução da impermeabilização das áreas urbanizadas ter-se-ia também uma redução do porte de carga poluente nas águas do sistema pluvial melhorando sua qualidade. Portanto, tal ação poderia ser considerada como viável no contexto da adoção de medidas sustentáveis para gestão do sistema de drenagem pluvial urbana. Todavia, não resolveria o problema da qualidade das águas do sistema pluvial, tendo em vista que as fontes poluentes são de origem difusa, as quais lançam altas cargas poluentes ao sistema.

### 5.3 Diagnóstico dos resultados de modelagem

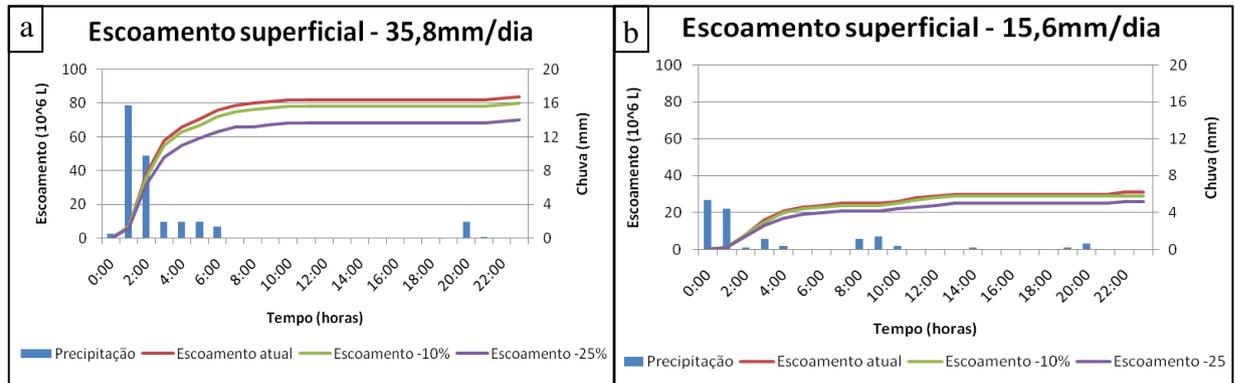
Campina Grande tem passado, nos últimos anos, por um processo acelerado de urbanização sendo a área estudada uma das mais afetadas. Como já relatado anteriormente, esse crescimento, muitas vezes desordenado pela ausência de planejamento, ocasiona graves problemas, dentre os quais as inundações recorrentes em períodos de chuva e a deteriorização da qualidade da água nos canais pluviais que acarretam danos ao meio ambiente e a sociedade.

A modelagem de sistemas de drenagem pluvial possibilita realizar um diagnóstico preliminar das condições da drenagem pluvial de áreas urbanas. Portanto, baseados nos resultados obtidos com a modelagem, fez-se um diagnóstico prévio da qualidade das águas pluviais nas sub-bacias D9 e D10 da cidade de Campina Grande, podendo servir de suporte no auxílio a gestão da drenagem urbana tanto na área estudada como em outras áreas da cidade com características semelhantes.

Correlacionando a precipitação e escoamento dos cenários modelados, os quais estão representados graficamente nas Figuras 5.21, podem ser diagnosticados os resultados do

escoamento superficial para o cenário atual e com reduções de 10 e 25% das áreas impermeabilizadas, com os quais é possível observar a diminuição do volume escoado juntamente com a redução do percentual de impermeabilização.

Figuras 5.21 - Gráfico da correlação entre lamina precipitada e escoamento superficial. a) Carga Poluente do evento de 35,8 mm/dia; b) Carga Poluente do evento de 15,6 mm/dia.



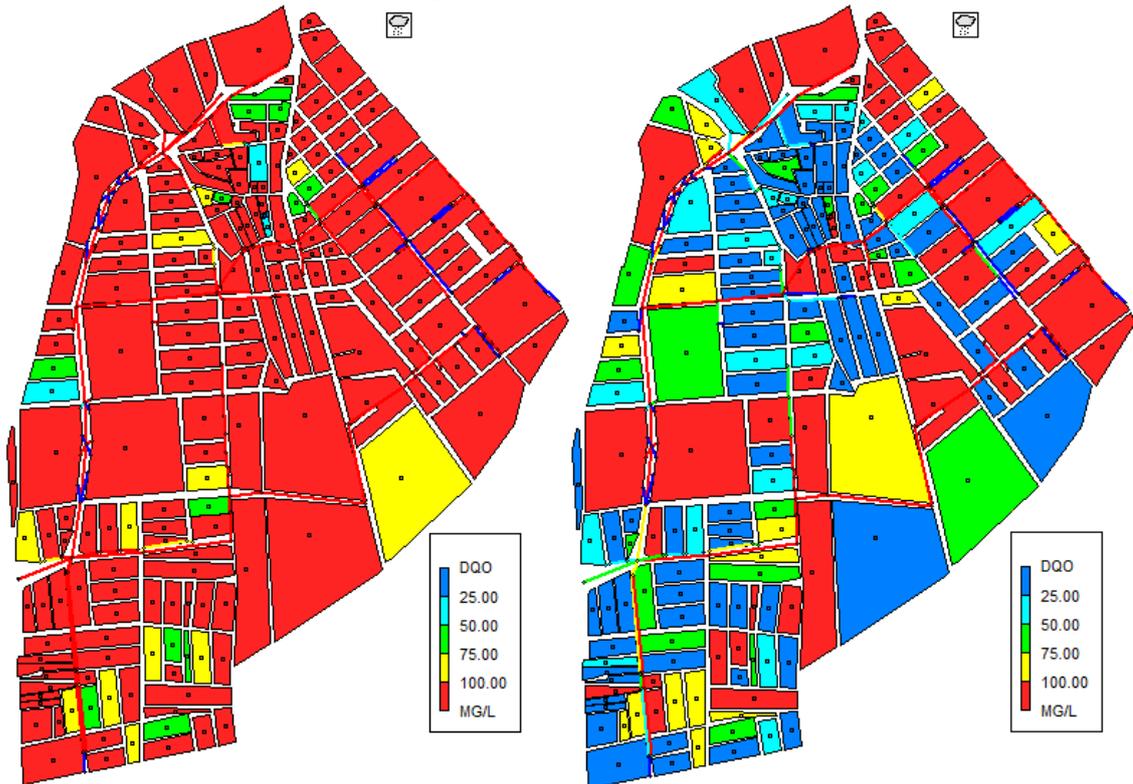
Analisando os resultados através dos mapas gerados pelo modelo SWMM 5.0 é possível observar o comportamento dos poluentes em diversos espaços de tempo, uma vez que as concentrações são modificadas em função do escoamento. O modelo apresenta uma infinidade de mapas, uma vez que os resultados podem ser apresentados em diversos passos de tempo. Nesse caso optou-se por avaliar a concentração de poluente no início e no final da precipitação.

Dentre os cenários avaliados, na Figura 5.22 é possível comparar as concentrações de DQO dos primeiros 30 minutos de volume escoado e no cenário do final da precipitação com o evento de 35,8 mm/dia após 15 dias sem chuva. Este cenário ressalta a consequência da estiagem na deposição e transporte dos poluentes, principalmente na ocorrência de chuvas mais intensas, como o início do evento, no mesmo foi registrado uma intensidade de 15 mm/hora.

De acordo com o mapa apresentado na Figura 5.22a, após 30 minutos do início da chuva diversas áreas e componentes do sistema apresentam-se elevadas concentrações de poluentes que tendem a serem reduzidas ao longo do tempo. No entanto, após o processo de primeira lavagem do solo o processo de remoção dos poluentes apresentou comportamento estável, sendo que ao final do evento (Figura 22b) se observa diversas áreas apresentando elevadas cargas poluentes. Comportamento semelhante também observado ao analisar a concentração nos componentes do sistema de drenagem.

Quanto aos resultados da modelagem dos cenários com reduções do percentual de solo impermeável, foram adotados dois cenários um com redução de 10% e o outro com 25%. As Figuras 5.23 e 5.24 expõem o comportamento das concentrações de DQO dos 30 minutos após início da chuva e o comportamento final do evento, sendo a Figura 5.23 referente à redução de 10% das áreas impermeáveis e a Figura 5.24 a redução de 25%.

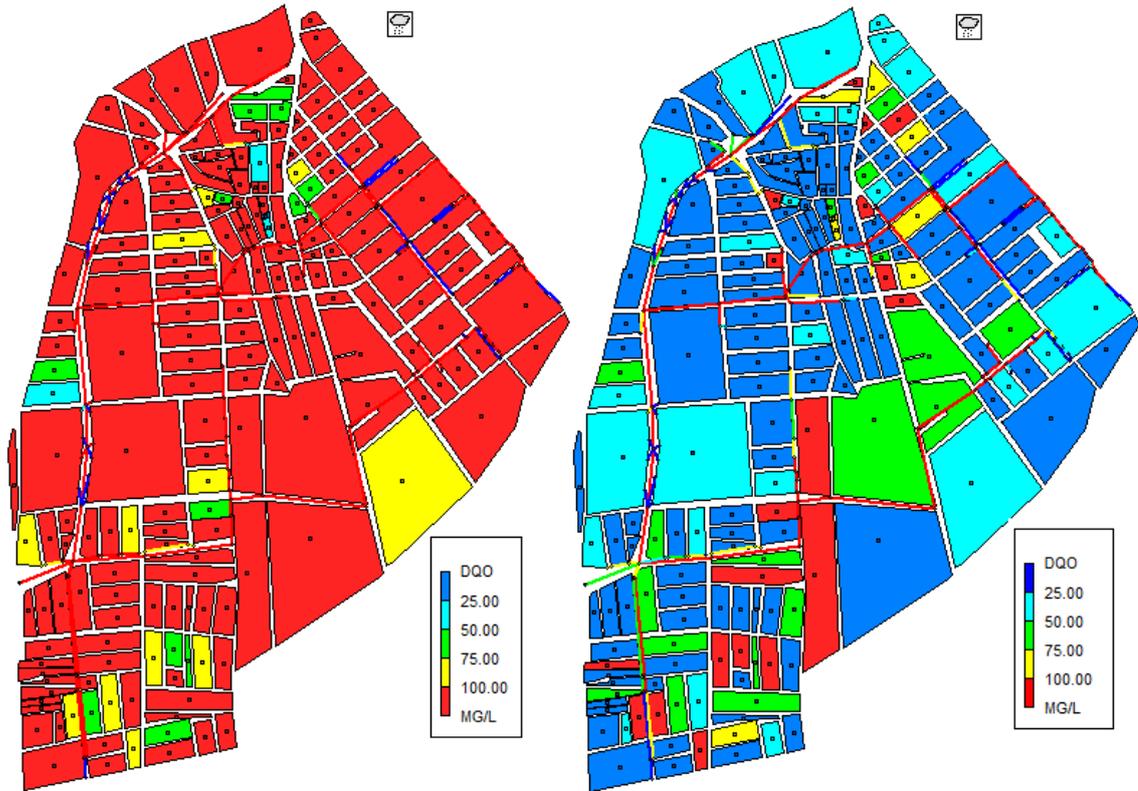
Figuras 5.22 - Mapa do cenário atual para o evento de 35,8 mm/dia após período de 15 dias sem chuva.  
a) 30 minutos após o início da chuva; b) final do evento.



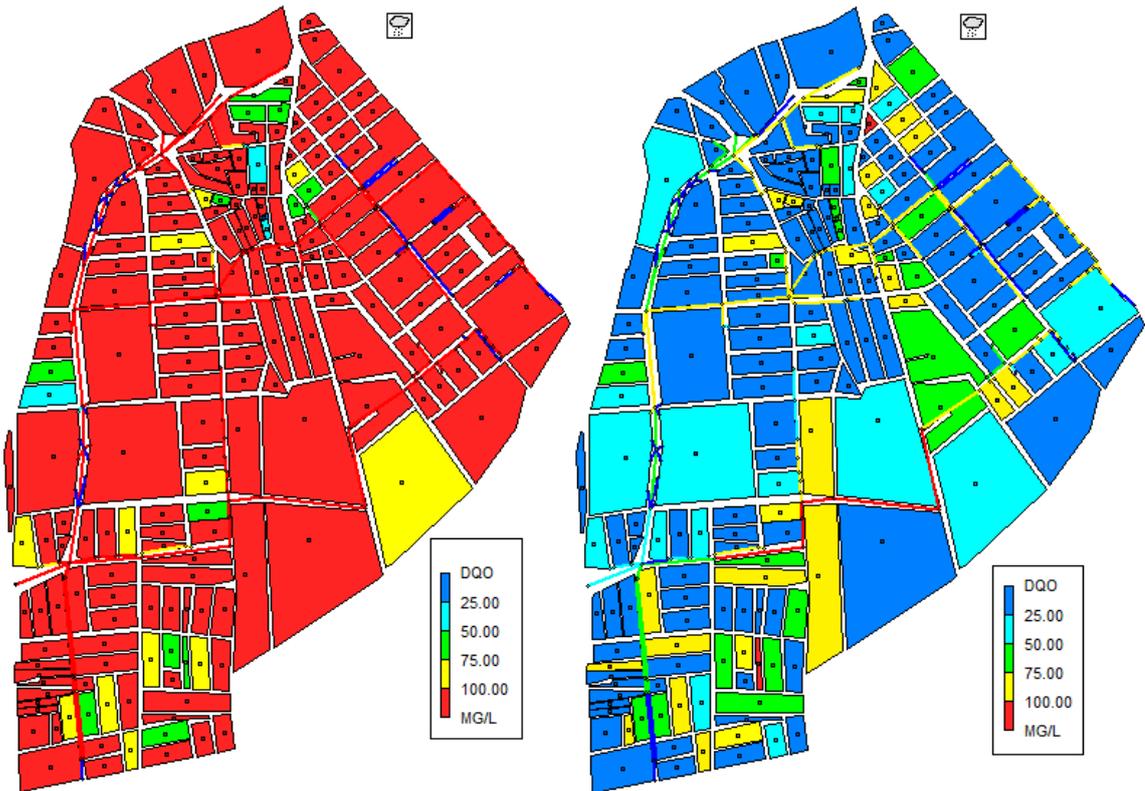
Ao observar os mapas referentes aos cenários atuais (Figura 5.22) nota-se a influência da infiltração no transporte das cargas poluentes, ocorrência comprovada pela redução gradativa da cor vermelha, principalmente quando comparadas aos cenários com redução da área impermeáveis (Figuras 5.23 e 5.24). No entanto, esta não poderá ser a única solução para sistema, visto que juntamente com o processo de infiltração poderá ocorrer a poluição das águas subterrânea, por consequência do lançamento de esgoto ao sistema de drenagem.

De acordo com os resultados obtidos nas etapas de monitoramento e modelagem, quando se avalia a qualidade do sistema de drenagem é possível identificar as péssimas condições as quais este se encontra, além dos fatores externos que as influenciam. O estudo, também possibilitou avaliar ações que auxiliam na redução das cargas poluentes transportadas pelas águas escoadas, como a adoção de estruturas sustentáveis juntamente com uma gestão eficiente dos sistemas de saneamento básico.

Figuras 5.23 - Mapas do cenário de redução de 10% das áreas impermeáveis para o evento de 35,8 mm/dia após período de 15 dias sem chuva. a) 30 minutos após o início da chuva; b) final do evento.



Figuras 5.24 - Mapas do cenário de redução de 25% das áreas impermeáveis para o evento de 35,8 mm/dia após 15 dias sem chuva. a) 30 minutos após o início da chuva; b) final do evento.



## 6 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Diante das atividades desenvolvidas e dos resultados apresentados, neste capítulo ressalta-se algumas considerações em uma breve análise relacionando os objetivos propostos no escopo do trabalho e os resultados obtidos, avaliando se estes foram efetivamente alcançados. Também são realizadas sugestões pertinentes ao tema abordado para continuidade da pesquisa ou desenvolvimento de trabalhos na mesma linha de pesquisa

### 6.1 DA QUALIDADE DA ÁGUA DO SISTEMA DE DRENAGEM

Considerando os padrões estabelecidos nas Portarias CONAMA e os resultados alcançados com o presente estudo, pode-se concluir que as águas do sistema de drenagem pluvial estudadas apresentam um alto potencial poluidor, tendo como principal fonte de contribuição às áreas urbanizadas, o que indica a necessidade de maior atenção para à ocorrência de poluição dos corpos hídricos receptores.

Na abordagem das sub-bacias, observou-se que existem diversas contribuições de esgoto sanitário sendo lançados diariamente na rede de drenagem pluvial sem nenhum tratamento prévio, principalmente advindas da sub-bacia D10. Além da contribuição dos esgotos, constantemente o sistema apresenta acúmulo de resíduos sólidos que são carregados juntamente com o escoamento superficial, este evento é influenciado pela quantidade de dias sem chuva e por características como intensidade e duração da chuva.

Ao observar o comportamento das concentrações dos parâmetros analisados, foram identificadas variações consideráveis, as quais podem ser justificadas pelo comportamento dos eventos hidrológico. Deste modo, ao considerar os resultados pela interferência das chuvas, foi possível identificar que as maiores concentrações são representativas dos períodos secos, ou seja, os poluentes apresentaram as maiores concentrações nos dias sem interferência de chuva, confirmando a existência de fontes externas de contaminação ao sistema de drenagem, as quais também exercem influência na qualidade da água das fontes receptoras no período chuvoso e no processo de acúmulo das cargas poluidoras.

Através da análise estatística observou-se que os comportamentos das concentrações nos pontos estudados apresentaram-se estatisticamente similares entre o segundo e terceiro ponto monitorado. Quanto às variações das cargas poluentes, estas correspondem à carga lançada diretamente ao sistema por meio de conexões ao longo do comprimento do canal.

Assim, as concentrações consideravelmente inferiores no ponto 1 (início do sistema) comprovam a poluição ocasionada pelas águas escoadas superficialmente na área em estudo. Já as concentrações no Ponto 4 (o exultório do sistema), as quais apresentaram valores menores que os pontos 2 e 3, referem-se a cinética dos poluentes ao longo do sistema e a possível existência de contribuições de efluentes com menor carga poluente que poderá estar ocasionando uma ação de diluição dos poluentes.

Considerando os resultados obtidos no monitoramento, conclui-se que os valores caracterizam as águas pluviais da área e do sistema de drenagem em estudo como água potencialmente poluidora e altamente contaminada. As características apresentadas foram condizentes as de esgotos domésticos, sendo estes os principais contribuintes para a poluição e contaminação do sistema. Esta caracterização demonstrou a necessidade de medidas para eliminação dessas contribuições ou aplicação de um tratamento as águas pluviais antes de serem lançadas em um corpo receptor.

## 6.2 DA GESTÃO DO SISTEMA DE DRENAGEM

Com a implantação de um sistema de drenagem objetiva-se a redução das ocorrências de inundação e dos transtornos ocasionados pelos eventos hidrológicos. Porém, a qualidade de qualquer sistema somente é garantida com a efetivação de uma gestão eficiente, permitindo amenizar os impactos decorrentes das eventuais falhas ou ocorrência de eventos hidrológicos extremos. Portanto, os resultados expostos na presente pesquisa deixam subentendido a insistência de uma política de gestão dos sistemas básicos de saneamento das bacias estudadas, o torna oportunas e necessárias as sugestões que auxiliem os gestores responsáveis, estas podem ser resumidas em:

- ✓ Garantir a eficiência dos sistemas básicos de saneamento, bem como a gestão dos mesmos. Uma vez que foram detectados componentes do sistema em situação precária e áreas que estão envolvidas pelo mapeamento do sistema e não possuem qualquer estrutura para condução das águas pluviais;
- ✓ Desenvolver campanhas e eventos educativos para proporcionar a reeducação ambiental da sociedade, principalmente das áreas próximas aos componentes de macro-drenagem. Estas atividades permitirão, juntamente com a eficiência da coleta dos resíduos, a redução dos lançamentos de resíduos sólidos no

sistema que, consecutivamente, acarretará em benefícios na capacidade de transporte das águas superficiais;

- ✓ Elaborar e garantir o pleno funcionamento do plano de gerenciamento dos serviços de saneamento que estão intrínsecos ao processo de desenvolvimento urbano e bem estar da população. No plano deverá essencialmente conter as informações fundamentais dos sistemas e suas áreas de contribuição, além das medidas e intervenções em diversas situações, reduzindo a ocorrência de eventos desagradáveis e suas consequências;

- ✓ Desenvolver parcerias entre órgãos gestores e instituições de ensino para estudos de medidas eficientes a serem adotadas tanto no processo de gestão como no envolvimento da comunidade.

### 6.3 DO PROCESSO DE MODELAGEM

Diante do desenvolvimento do presente estudo que buscou representar a área estudada e avaliar as possíveis interferências das chuvas e dos diversos usos e ocupação das bacias no comportamento da qualidade da água, pode-se avaliar os modelos matemáticos como uma ótima ferramenta para estudo dos aspectos quali-quantitativo das águas de drenagem e os possíveis interferentes.

Em presença da simplicidade no uso das ferramentas do sistema e parte da área abordada em trabalhos anteriores, etapas como representação da área de estudo no modelo facilmente foram desenvolvidas. Esse episódio ressalta a necessidade de um banco de dados para o bom funcionamento de um modelo matemático, principalmente quando se busca resultados confiáveis e aplicáveis a realidade.

Os resultados obtidos apresentaram erros de continuidade entre 2 a 9%, inferior ao limite recomendado de 10%, e as faixas de concentrações das variáveis simuladas estiveram condizentes com as determinadas em análises laboratoriais, assim como o comportamento dos eventos hidrológicos. Assim, confirma-se a eficiência do modelo matemático SWMM 5.0 na análise da qualidade de águas pluviais escoadas superficialmente em áreas urbanas.

Quanto à representação da qualidade das águas, com o modelo SWMM 5.0 foi possível simular e observar o comportamento dos poluentes no solo em escala temporal, além de representar o panorama da realidade da cidade de Campina Grande. Diante dos resultados

foi comprovada a degradação da qualidade das águas de drenagem pluvial da área e do sistema em estudo, além de seu potencial poluidor e a geração de altas cargas poluentes contribuindo para com a poluição dos corpos d'águas.

## 6.4 DO ESTUDO REALIZADO

Dentro das limitações, o estudo apresentou o panorama da realidade da drenagem pluvial da cidade de Campina Grande, principalmente quanto ao comportamento da carga poluente. Ainda que não tenha sido possível especificar a influência de cada uso e ocupação do solo, a utilização do modelo SWMM 5.0 como ferramenta de estudo foi de fundamental importância na realização da pesquisa. Por fim, pode-se considerar a temática pertinente ao gerenciamento dos sistemas básicos de saneamento problemas de Campina Grande – PB.

Diante das experiências adquiridas e resultados obtidos no desenvolvimento das etapas da presente pesquisa, tornaram-se evidentes a necessidade do monitoramento da qualidade da água do sistema de drenagem pluvial de Campina Grande e a integração dos demais sistemas de saneamento nessa abordagem. No entanto, algumas sugestões fazem-se necessárias:

- ✓ Obter dados em quantidade significativa, tanto dos elementos de quantitativos como dos qualitativos, o que facilitará o desempenho das etapas desenvolvidas, garantindo maior eficiência no processo de modelagem e suporte na interpretação dos resultados;
- ✓ Realizar o monitoramento dos dados hidráulico-hidrológico e de qualidade da água de drenagem, a fim de se desenvolver avaliações mais efetivas e eficientes, visto que uma avaliação contínua possibilita identificar precisamente as possíveis variáveis influentes e influenciáveis da deterioração do sistema, além de auxiliar na adoção de medidas sustentáveis;
- ✓ Desenvolver atividades que envolvam toda a sociedade, principalmente das áreas de maior contribuição de poluentes, conscientizando-a sobre a importância do sistema de drenagem de águas pluviais, seus benefícios quando utilizado de forma correta e as consequências dos usos e práticas inadequadas.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AESA. **Plano Estadual de Recursos Hídricos do Estado da Paraíba – PERH - PB.** João Pessoa, 2006. Disponível em: <<http://www.aesa.pb.gov.br/perh/>>. Acesso em: 21 dez. 2013.

ALMEIDA, J. R. M. de. **Poluição por águas pluviais: A qualidade da água em esteiros da Ria de Aveiro e o uso na orla do estuário.** 2007. 205 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia do Ambiente) - Universidade de Aveiro, Aveiro / Portugal, 2007.

ALMEIDA, M. B. de. **Avaliação da qualidade microbiológica da água e qualidade de vida: Estudo de caso de Carretéis e arredores – Itabaianinha/Sergipe.** 2004. 120 p. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente) - Universidade Federal de Sergipe, São Cristovão/SE, 2007.

ALVAREZ, R. P. P. **Estudo experimental e teórico da qualidade de água da drenagem urbana com base ecohidrológica.** 2010. 239p. Dissertação (Mestrado-programa em Engenharia Hidráulica e Saneamento) - Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Carlos, 2010.

ANDRADE NETO, C. O. **Sistemas simples para tratamento de esgotos sanitários: experiência brasileira.** 2. ed. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, 1999.

APHA, AWWA, WPCF. **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater.** 21<sup>th</sup> ed., Washington, D.C: American Public Health Association/American Water Works Association/Water Environment Federation, 2005. 1600p.

APOLINÁRIO, O. K. dos S. **Análise da dinâmica da paisagem na bacia hidrográfica do Riacho da Depuradora: Uma contribuição para o planejamento ambiental.** 2012. 40 p. Monografia (Especialização em Geoambiência e Recursos Hídricos do Semiárido) - Universidade Estadual da Paraíba, Campina Grande, 2012.

APRÍGIO, P. de O. **Avaliação de Modelos de Simulação de Cargas Difusas em Bacias Urbanas.** 2012. 131 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Hidráulica e Saneamento) - Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo. São Carlos, 2012.

ARAGÃO, R.; FIGUEIREDO, E.E.; SRINIVASAN, V.S.; GÓIS, R.S.S. Chuvas Intensas no Estado da Paraíba. In: SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO NORDESTE, 6., 1998, **Anais...** Campina Grande. 1998. p. 74-85.

ARAÚJO, E. L. de. **Estimativa e análise do crescimento da demanda de água considerando cenários de uso e ocupação do solo.** 2012. 107 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) - Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2012.

AZEVEDO, L. G. T., PORTO, R. L. L., PORTO, M., 1998, Sistema de Apoio a Decisão para o Gerenciamento Integrado de Quantidade e Qualidade da Água: Metodologia e Estudo de Caso, **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 3, n. 1, p. 21-51.

BAPTISTA, M. B. S.; BARRAUD, S.; ALFAKIH, E.; NASCIMENTO, N.; FERNANDES W.; MOURA P.; CASTRO, L. Performance-costs evaluation for urban storm drainage. **Water Science & Technology** v. 51, n. 2, p. 99 - 107. 2005.

BASTOS, G. A. P. **Análise dos Parâmetros do Modelo SWMM para Avaliação do Escoamento em Duas Bacias Periurbanas em Santa Maria - RS.** 2007. 169 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2007.

BOLLMANN, H. A. **Relação da Densidade Populacional Sobre Variável de Qualidade Físico-Química das Águas Superficiais em Microbacias hidrográficas Urbanas sem Cobertura Sanitária em Porto Alegre – RS.** 2003. 159 p. Tese (Doutorado em Engenharia de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) – Universidade federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2003.

BOTELHO, R.G.M.; SILVA, A.S. Bacia Hidrográfica e Qualidade Ambiental. In: **Reflexões sobre a Geografia Física no Brasil.** 1.ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2004. p.153-157

BRAVO, J. M.; ALLASIA, D. G.; COLLISCHONN, W.; TASSI, R.; MELLER, A.; TUCCI, C. E. M. Avaliação visual e numérica da calibração do modelo hidrológico IPH II com fins educacionais. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 17., 2007, São Paulo. **Anais eletrônicos...** São Paulo: ABRH. 2007. Disponível em: <<http://www.rhama.net/download/artigos/artigo38.pdf>>. Acesso em: 21 jan. 2013.

BRITES, A. P. Z.; GASTALDINI, M. do C. C. Avaliação da Carga Poluente no Sistema de Drenagem de Duas Bacias Hidrográficas Urbanas. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos – RBRH.** v. 12, n. 4, p. 211-221, Out./Dez. 2007.

CAMPANA, N. A.; BERNARDES, R. S. Qualidade do escoamento na rede de drenagem pluvial urbana: a situação de Brasília-DF. **REGA.** v. 7, n. 2, p. 53-65, Jul./Dez. 2010.

CANHOLI, A. P. **Soluções estruturais não-convencionais em drenagem urbana.** 1995. 159 p. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Escola Politécnica da USP, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1995.

CHAMUN, C. C. **Avaliação da poluição difusa de esgoto doméstico veiculado à bacia hidrográfica urbana.** 2008. 155 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Maria, Rio Grande do Sul, 2008.

CHEN, J.; ADAMS, B. J. A Derived Probability Distribution Approach to Stormwater Quality Modeling. **Advances in Water Resources.** v. 30. p. 80-100, 2007.

COLLODEL, M. G. **Aplicação do modelo hidrológico SWMM na avaliação de diferentes níveis de detalhamento da bacia hidrográfica submetida ao processo de transformação chuva-vazão.** 2009. 225 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Hidráulica e Saneamento) - Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Carlos, 2009.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE – CONAMA. Resolução N° 430 de 13 de maio de 2011. Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução n° 357 de 17 de março de 2005. Legislação Federal. Disponível: <http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res06/res37506.pdf>. Acessado em novembro/2013.

CRUZ, M. A. S.; SOUZA, C. F.; TUCCI, C. E. M. Controle da drenagem urbana no Brasil: Avanço e mecanismos para sua sustentabilidade. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 17., 2007, São Paulo. **Anais eletrônicos...** São Paulo: ABRH. Disponível em: <<http://www.ctec.ufal.br>>. Acesso em: 21 jan. 2013.

DELETIC, A.; ASHLEY, R.; REST, D. Modelling input of fine granular sediment into drainage systems via gully-pots. **Water Research**. v. 34, n. 15, p. 3836-3844, 2000.

DONIGIAN Jr., A. S.; HUNBER, W. C. Modeling of Nonpoint Source Water Quality in Urban and Non-urban Areas. **Environmental Research Laboratory, US Environmental Protection Agency**, Athens. 1991.

FERREIRA, L. C. de A. **Variação da qualidade da água do escoamento superficial de duas bacias de drenagem de Natal/RN - Brasil**. 2008. 118 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Sanitária) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2008.

FORGIARINI, F. R.; SOUZA, C. F.; SILVEIRA, A. L. L. da.; SILVEIRA, G. L. da; TUCCI, C. E. M. Avaliação de cenários de cobrança pela drenagem urbana de águas pluviais. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 17., 2007, São Paulo. **Anais eletrônicos...** São Paulo: ABRH. 2007. Disponível em: <<http://www.ctec.ufal.br/professor/cfs/SBRH2007-Taxa%20de%20drenagem.pdf>>. Acesso em: 21 jan. 2013.

FRAZÃO, M. F. R. e A. **Calibração e Validação de um Modelo Matemático Aplicado ao Caneiro de Alcântara**. 2011. 111p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa, Lisboa, 2011.

GARCIA, J. I. B. **Monitoramento Hidrológico e Modelagem da Drenagem Urbana da bacia Hidrográfica do Arroio Cancela**. 2005. 169f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2005.

GARCIA, J. I. B.; PAIVA, E. M. C. D. de. Monitoramento Hidrológico e Modelagem da Drenagem Urbana da Bacia do Arroio Cancela – RS. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 11, n. 4, p. 99-108, Out./Dez. 2006.

GASTALDINI, M. do C. C.; SILVA, A. R. V. Estudo da distribuição de poluentes em superfícies urbanas. **Revista Brasileira de Recursos hídricos**. v. 17, n. 4, p. 97-107, Out./Dez. 2012.

GOMES, A. P. **Acumulação e transporte de sedimentos na microdrenagem: monitoramento e modelagem**. 2008. 146 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2008.

GOMES, A. P.; PAIVA, E. M. C. D. de. Acumulação e transporte de sedimentos na microdrenagem: monitoramento e modelagem. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 15, n. 4, p. 45-55, Out./Dez. 2010.

HUBER, W.C.; DICKINSON, R.E. **Storm Water Management Model, Version 4: User's Manual**. U.S: Environmental Protect Agency. Athens, Georgia, 1992.

IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística). Disponível em: <<http://www.censo2013.ibge.gov.br>>. Acesso em: 15 de novembro de 2013.

JORDÃO, E. P.; PESSÔA, C. A. **Tratamento de esgoto doméstico**. 6ª ed. Rio de Janeiro: ABES, 2011. 1050 p.

MACCORMICK (1995) apud AUSTRALIA (2002) - AUSTRALIA. Department of the Environment and Heritage. Introduction to Urban Stormwater in Austrália. Austrália, 2002. 103 p. Disponível on-line em: <[www.deh.gov.au](http://www.deh.gov.au)> Acesso em 18 jun. 2004.

MAKSIMOVIC, C. **General Overview of Urban Drainage Principles and Practice**. Urban Drainage in Specific Climates (IHPV-Technical Documents in Hydrology). Vol.1, n.40. Paris: UNESCO, 2001. 21p.

MATOS, J. de S. Aspecto histórico a actualidade da evolução da drenagem de águas residuárias em meio urbano. **Revista Engenharia Civil**, Lisboa, n. 16, p. 13-23, 2003.

MELLER, A. **Simulação hidrodinâmica integrada de sistema de drenagem em Santa Maria – RS**. 2004. 185 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2004.

MENDONÇA, E. C. **Metodologia para Avaliação de Desempenho de Sistemas de Drenagem Urbana**. 2009. 176p. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos) - Universidade de Brasília, Faculdade de Tecnologia, Brasília, 2009.

MENEZES, F. L. **Avaliação da qualidade de drenagem urbana correlacionada aos poluentes originados pelos tráfegos de veículos automotores: Estudo de caso do túnel Rebolças na bacia contribuinte da Lagoa Rodrigues de Freitas, RJ**. 2004. 117 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) - Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2004.

National Guide to Sustainable Municipal Infrastructure. **Source and On-site Control for Municipal Drainage Systems**. Canadá, 2003. 48 p. Disponível on-line em <<http://www.infraguide.gc.ca>> Acesso em 28 mai. 2013.

NEVES, M. G. F. P.; TUCCI, C. E. M. Gerenciamento integrado em drenagem urbana: quantificação e controle de resíduos sólidos. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 14., 2003, Curitiba. **Anais eletrônicos...** Curitiba: ABRH. Disponível em: <<http://4ccr.pgr.mpf.gov.br/institucional/grupos-de-trabalho.pdf>>. Acesso em: 16 jan. 2013.

NEWSWEEK STAFF. A New Brand Of Tech Cities. **Newsweek**. Disponível em: <<http://www.newsweek.com/2001/04/29/next-frontiers.html>>. Acesso em: 15 out. 2013.

NÓBREGA, P. V. de M. **Análise do sistema de drenagem de Campina Grande/PB para proteção de áreas de risco de inundação**. 2012. 128 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) - Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2012.

NOGUEIRA apud SILVA, L. C. da. **Sistema de drenagem urbana não-convencionais**. 2004. 70p. Monografia (Graduação em Engenharia Civil e Ambiental) – Universidade Anhembi Morumbi, São Paulo, 2004.

OLIVEIRA, L. N. **Estudo da viabilidade sazonal da qualidade da água do rio Poti em Teresina e suas implicações na população local**. 2012. 113 p. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente) - Universidade Federal de Piauí, Teresina, Teresina, 2012.

OPOLINÁRIO, O. K. dos S. **Análise da dinâmica da paisagem na bacia hidrográfica do riacho da depuradora: uma contribuição para o planejamento ambiental**. 2012. 40p. Monografia (Especialização em Geoambiência e Recursos Hídricos do Semiárido) – Universidade Estadual da Paraíba, Centro de Educação, Campina Grande, 2012.

PAIXÃO, F.J.R.; ANDRADE, A.R.S.; AZEVEDO, C.A.V.; COSTA, T.L.; GUERRA, H.O.C. Ajuste da curva de infiltração por meio de diferentes modelos empíricos. **Pesquisa aplicada & Agrotecnologia**. v.2, n.1, p 108-112. Guarapuava-PR, 2009.

PAULETTI, L. I.; SIQUEIRA, E. Q. de. Acúmulo e carregamento de metais nas águas de drenagem urbana de Goiânia. In: SEMINÁRIO DE PÓS-GRADUAÇÃO DA UFG – MESTRADO, 8., 2011. Goiânia. **Anais eletrônico...** Goiânia: SBPC, 2011. Disponível em: <[www.ufg.br/conpeex](http://www.ufg.br/conpeex)>. Acesso em: 11 jan. 2013.

PERH - **Plano Estadual de Recursos Hídricos. Superintendência de Recursos Hídricos** – Governo do Estado da Paraíba, Secretaria de Estado da Ciência e Tecnologia e do Meio Ambiente; Agência Executiva de Gestão de Águas do Estado da Paraíba – AESA. 2004.

PIVELI, R. P., KATO, M. T. **Qualidade das águas e poluição: Aspectos físico-químicos**. São Paulo: ABES, 2005. 285p.

PORTO, R. L. L. (Org). **Técnicas quantitativas para o gerenciamento de recursos hídricos**. Associação Brasileira de Recursos Hídricos. 1997.

ROSSMAN, L. A. **Storm Water Management Model User's Manual Version 5.0**. Cincinnati: USEPA, 2009. 205p.

SANTOS, D. M. G. dos.; LIMA, M. Águas pluviais e poluição difusa em meios urbanos. **SAPIENTIA: Repositório Institucional**. v. 03, n. 14, p. 27-29, Jan. 2003. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/1040.1/125>>. Acesso em: 08 jan. 2013.

SAWER, C. N., McCARTY, P. L., end PARKIN, G. F. **Chemistry for Environmental Engineerig**. 4 th edition. New York: McGraw-Hill Book Company. 1994.

SILVA, S. A., OLIVEIRA, R. **Manual de análises físico-químicas de águas de abastecimento e residuárias**. Campina Grande, Paraíba: O autor, 2001. 266p.

SILVA, A. S.; PORTO, M. F. A. A utilização do modelo WinHSPF no estudo das cargas difusas de poluição da bacia do ribeirão da Estiva, SP. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 15, 2003, Curitiba. **Anais...** Curitiba: ABRH, 2003. 1 CD-Rom.

SILVA, L. C. da. **Sistema de drenagem urbana não-convencionais**. 2004. 70p. Monografia (Graduação em Engenharia Civil e Ambiental) – Universidade Anhembi Morumbi, São Paulo, 2004.

SILVA, A. P.; et al. Identificação de pontos críticos do sistema de drenagem urbana: o estudo de caso da Bacia Do Riacho Pajeu, Fortaleza - Ceará. In: SIMPÓSIO DE HIDRÁULICA E RECURSOS HÍDRICOS DOS PAÍSES DE LÍNGUA OFICIAL PORTUGUÊS, 7., 2005, Evora. **Anais eletrônicos...** Evora: SILUSBA/APRH, 2005. Disponível em: <[http://www.deha.ufc.br/ticiania/Arquivos/Publicacoes/Congressos/2005/silva\\_Identificacao/drenagem\\_20%20de%20fev.pdf](http://www.deha.ufc.br/ticiania/Arquivos/Publicacoes/Congressos/2005/silva_Identificacao/drenagem_20%20de%20fev.pdf)>. Acesso em: 27 de ago. 2013.

SILVA JÚNIOR, M.; et al. Problemática do saneamento básico no bairro do Catolé, Campina Grande - PB. In: CONGRESSO DE PESQUISA E INOVAÇÃO DA REDE NORTE NORDESTE DE EDUCAÇÃO E TECNOLOGIA, 4., 2009, Belém. **Anais eletrônicos...** BELÉM: IFPA, 2009. Disponível em: <<http://connepi2009.ifpa.edu.br/connepianais/artigos/.pdf>>. Acesso em: 16 jan. 2013.

SILVEIRA, A. L. L. da. **Drenagem urbana: aspectos de gestão**. Porto Alegre: Instituto de Pesquisas Hidráulicas da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2002.

SHOEMAKER, L.; DAI, T.; KOENIG, J. **TMDL Model Evaluation and Reserarch Needs**. National Risk Management Research Laboratory. Office of Research and Development. US Environmental Protection Agency, Cincinnati, 2005.

SNSA apud FORGIARINI, F. R. et al. Avaliação de cenários de cobrança pela drenagem urbana de águas pluviais. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 17., 2007, São Paulo. **Anais eletrônico...** São Paulo: USP, 2007. Disponível em: <[www.ctec.ufal](http://www.ctec.ufal)>. Acesso em: 21 jan. 2013.

SOUZA, C. F. **Mecanismos Técnico-Institucionais para a Sustentabilidade da Drenagem Urbana**. 2005. 174 p. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2005.

TEMPRANO, J.; ARANGO, Ó.; CAGIAO, J.; SUÁREZ, J.; TEJERO, I. Stormwater quality calibration by SWMM: A case study in Northern Spain. **Water SA**. v. 32, n. 1, 2006.

TOMAZ, Plínio. **Poluição difusa**. 1.ed. São Paulo: Navegar, 2006.

TRENTIN, P. S.; BOSTELMANN, E. Programa Interlaboratorial Para sólidos totais, dissolvidos e em suspensão em amostras de água. 2010. Disponível em: <<http://banasmetrologia.com.br/wpAcontent/uploads//ProgramaAInterlaboratorial.pdf>>. Acesso em: 23 de julho de 2013.

TUCCI, C.E.M.; ORDONEZ, J.S.; LOPES, M. S. Modelo Matemático Precipitação- Vazão IPH II Alguns Resultados. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS. 4., 1981, Fortaleza. **Anais...** Fortaleza: ABRH, 1991. p. 78-91.

TUCCI, C.E.M., **Hidrologia: ciência e aplicação**. Porto Alegre: Editora da Universidade/ABRH/EDUSP. Coleção ABRH de Recursos Hídricos, v. 4. Porto Alegre, 1. ed., 1993.

TUCCI, C. E. M. **Modelos Hidrológicos**. Porto Alegre: Ed. Universidade/UFRGS: ABRH, 1998. 669 p.

TUCCI, C. E. M.; MARQUES, M. D. **Avaliação e controle da drenagem urbana**. v.2. Porto Alegre: ABRH, 2001.

TUCCI, C. E. M. Drenagem Urbana. **Ciência e Cultura**. São Paulo, v. 55, n. 4, 2003.

TUCCI, C. E. M. Gerenciamento integrado das inundações urbanas no Brasil. **REGA: Revista de Gestão de Água da América Latina**, Santiago, v. 1, n. 1, p. 59-73. 2004.

TUCCI, C. E. M. **Hidrologia, Ciências e Aplicação**. 3. ed. Porto Alegre: Universidade/UFRGS/ ABRH, 2005. 487 p.

VON SPERLING, M. **Introdução á qualidade das águas e o tratamento de esgotos: princípios do tratamento biológico das águas residuárias**. 2. ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Minas Gerais. 1996.

ZUCCARI, M. L.; GRANER, C. A. F.; LEOPOLDO, P. R. Determinação da demanda química de oxigênio (DQO) em águas e efluentes por método colorimétrico alternativo. **Energia na Agricultura**, Botucatu, vol. 20, n. 4, p.69-82, 2005.