



UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE  
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS  
UNIDADE ACADÊMICA DE ENGENHARIA CIVIL

**JESSICA KAORI SASAKI**

SIMULAÇÃO DA CONCENTRAÇÃO DE MATÉRIA ORGÂNICA EM CANAIS  
URBANOS-ESTUDO DE CASO CANAL DO PRADO CAMPINA GRANDE-PB

CAMPINA GRANDE – PB

2018

JESSICA KAORI SASAKI

SIMULAÇÃO DA CONCENTRAÇÃO DE MATÉRIA ORGÂNICA EM CANAIS  
URBANOS ESTUDO DE CASO- CANAL DO PRADO CAMPINA GRANDE-PB

Trabalho de conclusão de curso  
apresentado ao Curso de Engenharia Civil  
da Universidade Federal de Campina  
Grande como requisito obrigatório para  
conclusão da disciplina de Trabalho de  
conclusão de curso.

**Orientadores: Dra. Andréa Carla Lima Rodrigues**

**Eng. Sinara Martins Camelo**

CAMPINA GRANDE - PB

2018

Aos meus pais, Estela e Alberto, meus irmãos Fernanda e Júnior, a meu avô Adolfo, a minha segunda mãe Ana e ao meu namorado Francisco que sempre me apoiaram e torceram por mim.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por estar presente em minha vida em todos os momentos.

Aos meus Pais Estela e Alberto pelo amor incondicional.

Ao meu namorado Francisco que sempre me ajudou e me suportou nos momentos mais difíceis.

Aos meus irmãos Fernanda e Júnior e a minha segunda mãe Ana que sempre me apoiaram e incentivaram a concluir essa jornada.

A meu avô Adolfo que sempre me deu forças pra continuar.

Às minhas orientadoras, professora Andréa e Sinara pela orientação, ensinamentos e paciência.

Aos meus amigos Higor, Stella, Alana, Drihelly e Thiago pelo companheirismo e por tornar essa jornada muito mais prazerosa. Eu não teria conseguido sem vocês.

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

## RESUMO

A urbanização, nas últimas décadas, ocasionou inúmeros impactos na população e no meio ambiente. Esses impactos foram intensificados pela falta de gerenciamento e pela deficiência nos serviços de saneamento básico que degradou a qualidade de água principalmente dos corpos hídricos que recebem toda poluição gerada nos centros urbanos. O sistema de drenagem urbana entra nesse contexto transportando as águas pluviais poluídas para os mananciais. Essa poluição é ocasionada pela lavagem superficial que carrega os poluentes depositados na superfície e principalmente pelas contribuições de esgoto que são lançados no sistema de drenagem de forma ilegal. Nesse contexto o objetivo desse trabalho é estudar a influência dessas contribuições clandestinas de esgoto, em termos de matéria orgânica, no sistema de drenagem do canal do Prado, localizado na cidade de Campina Grande-PB. A metodologia desenvolvida consistiu de três etapas, na primeira delimitou-se a área de estudo, na segunda caracterizou-se o sistema de drenagem, por meio de visitas *in loco* onde realizou-se o mapeamento das entradas de esgoto e o diagnóstico do sistema atual de drenagem. Na terceira etapa executou-se as simulações dos cenários propostos através do modelo *Storm Water Management Model* – SWMM. Os resultados obtidos mostraram que os altos valores de concentração de DBO e DQO, presentes nas águas do canal, indicam a grande quantidade de matéria orgânica presente no sistema, podendo ser classificados como esgoto doméstico. Na análise dos cenários propostos, percebeu-se que retirando as entradas mais críticas foi obtido resultados mais significativos no que diz respeito a redução dos valores de concentração e de carga poluidora.

**PALAVRAS-CHAVE:** Drenagem urbana; Qualidade de água; Modelagem matemática; SWMM; DBO; DQO.

## ABSTRACT

Urbanization, in the last decades, has caused numerous impacts on the population and the environment. These impacts were intensified by the lack of management and by the deficiency in the basic sanitation services that degraded the quality of water mainly of the water bodies that receive all the pollution generated in the urban centers. The urban drainage system enters this context by transporting the polluted rainwater to the springs. This pollution is caused by surface washing that carries pollutants deposited on the surface and mainly by the contributions of sewage that are released into the drainage system illegally. In this context, the objective of this work was to study the influence of these clandestine sewage contributions, in terms of organic matter, on the drainage system of the Prado canal, located in the city of Campina Grande-PB. The methodology developed consisted of three stages, in the first the study area was delimited, in the second the characterization of the drainage system was carried out, assisted by on-site visits, where the mapping of the sewage entrances and the diagnosis of the system current drainage. In the third step, the simulations of the scenarios proposed by the Storm Water Management Model - SWMM model were carried out. The results showed that the high concentrations of BOD and COD present in the canal waters indicate the large amount of organic matter present in the system and can be classified as domestic sewage. In the analysis of the proposed scenarios, it was noticed that removing the most critical inputs was obtained more significant results regarding the reduction of concentration and pollutant load values.

**KEY WORDS:** Urban drainage; Water quality; Mathematical modeling; SWMM; BOD; COD.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Relação dos blocos do SWMM.....	10
Figura 2 - Subdivisões da bacia hidrográfica do Rio Paraíba.....	12
Figura 3 – Localização da Bacia do Prado .....	14
Figura 4 – Ponto de coleta .....	15
Figura 5- Localização das entradas de esgoto .....	17
Figura 6 – Documentário fotográfico das contribuições de esgoto das Entradas A, B, C e D no canal do Prado .....	18
Figura 7 – Documentário fotográfico das contribuições de esgoto das Entradas E, F, G e H no canal do Prado .....	19
Figura 8 – Documentário fotográfico das contribuições de esgoto das Entradas I, J no canal do Prado.....	20
Figura 9- Documentário fotográfico correspondente as contribuições da Entrada K .....	20
Figura 10- Determinação da vazão nas Entradas de esgoto no canal do Prado.....	22
Figura 11 – Representação da área de estudo no SWMM.....	23
Figura 12 – Fluxograma dos cenários avaliados .....	27
Figura 13 – Fluxograma das etapas metodológicas da pesquisa .....	28
Figura 14 – Acúmulo de resíduos sólidos e vegetação no Canal do Prado .....	29
Figura 15– Gráfico dos valores medidos de vazão .....	30
Figura 16 – Calibração da concentração de DBO .....	32
Figura 17- Calibração da concentração de DQO .....	32
Figura 18- Representação dos trechos do canal.....	33
Figura 19 – Mapa do comportamento da concentração de DBO (Situação atual) .....	34
Figura 20 – Comportamento da concentração de DBO no canal .....	35
Figura 21 – Mapas de concentração de DBO para o Cenário atual.....	36
Figura 22 – Comportamento da concentração de DBO no canal (com chuva) .....	36
Figura 23 – Mapa da carga poluidora depois de 12 horas de simulação (Situação atual).....	37
Figura 24 – Mapa da concentração de poluentes após 12 horas de simulação .....	38
Figura 25 – Mapa da carga poluidora de DBO após 12 horas de simulação (Cenário 2) .....	39
Figura 26- Mapa concentração após 12 horas de simulação (Cenário 3) .....	40
Figura 27- Mapa da carga poluidora após 12 horas de simulação (Cenário 3) .....	41
Figura 28– Mapa da concentração após 12 horas de simulação (Cenário 4) .....	42
Figura 29 – Mapa da Carga Poluidora após 12 horas de simulação (Cenário 4) .....	43

**LISTA DE TABELAS**

Tabela 1- Descrição dos pontos amostrais utilizados na pesquisa -----	15
Tabela 2- Concentração de DBO (mg/l) -----	16
Tabela 3– Concentração de DQO (mg/l) -----	16
Tabela 4 – Coordenadas geográficas das entradas de esgoto mapeadas -----	18
Tabela 5 – Parâmetros necessários para a caracterização dos condutos -----	23
Tabela 6- Coeficiente de Rugosidade Manning -----	24
Tabela 7 – Precipitação horária do evento selecionado (mm/h)-----	25
Tabela 8 – Vazões médias de esgoto medidas no canal do Prado-----	31



## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>1</b>
1.1	Objetivos .....	2
1.1.1	Objetivo geral .....	2
1.1.2	Objetivos específicos .....	2
<b>2</b>	<b>FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</b> .....	<b>3</b>
2.1	DESENVOLVIMENTO URBANO .....	3
2.2	INUNDAÇÕES URBANAS .....	3
2.3	SANEAMENTO BÁSICO: CONCEITOS E COMPONENTES .....	4
2.4	DRENAGEM URBANA .....	5
2.4.1	Conceito de drenagem .....	5
2.4.2	Qualidade das águas de drenagem .....	6
2.4.3	Fontes de poluição .....	6
2.4.4	Parâmetros para análise das águas de drenagem urbana .....	7
2.4.4.1	<i>Demanda Bioquímica de Oxigênio</i> .....	7
2.4.4.2	<i>Demanda Química de Oxigênio</i> .....	8
2.5	GESTÃO INTEGRADA DAS ÁGUAS PLUVIAIS .....	8
2.6	MODELAGEM DO SISTEMA DE DRENAGEM URBANA .....	9
2.6.1	<i>SWMM</i> .....	10
<b>3</b>	<b>MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....	<b>12</b>
3.1	CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO .....	12
3.1.1	Sistema de drenagem urbana de Campina Grande .....	13
3.1.2	Bacia urbana do Prado .....	13
3.2	AQUISIÇÃO DE DADOS .....	14
3.2.1	Escolha dos pontos de análise de água .....	15
3.2.1.1	<i>Dados de qualidade de água nos pontos</i> .....	16

3.2.2	Mapeamento das Entradas de esgoto.....	16
3.2.3	Medições de vazão.....	21
3.2.3.1	<i>Medição de vazão do canal</i> .....	21
3.2.3.2	<i>Medição de vazão das entradas de esgoto</i> .....	21
3.3	MODELAGEM MATEMÁTICA UTILIZANDO O SWMM.....	22
3.3.1	Sub-bacias.....	22
3.3.2	Condutos.....	23
3.3.3	Nós.....	24
3.3.4	Modelo de transporte hidráulico.....	24
3.3.5	Dados Hidrológicos .....	25
3.3.6	Calibração do modelo .....	26
3.3.7	Validação dos parâmetros de qualidade .....	26
3.4	CENÁRIOS PROPOSTOS.....	26
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>29</b>
4.1	DIAGNÓSTICO DO SISTEMA DE DRENAGEM URBANA PLUVIAL .....	29
4.1.1	Aspectos gerais observados.....	29
4.1.2	Análise das vazões referentes às entradas de esgoto no canal.....	30
4.2	RESULTADOS DA MODELAGEM MATEMÁTICA.....	31
4.2.1	Calibração.....	32
4.2.2	Resultados dos cenários propostos .....	33
4.2.2.1	<i>Cenário 1 – Situação Atual</i> .....	33
4.2.2.2	<i>Cenário 2- Redução de 30% em todas as vazões</i> .....	38
4.2.2.3	<i>Cenário 3 – Retirada da entrada com maior concentração de DBO e DQO</i> .....	40
4.2.2.4	<i>Cenário 4 – Retiradas dos pontos críticos</i> .....	41
<b>5</b>	<b>CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES .....</b>	<b>45</b>
<b>6</b>	<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>47</b>

## 1 INTRODUÇÃO

O desenvolvimento urbano e o aumento populacional vivenciados nas últimas décadas têm ocasionado consequências diretas ao meio ambiente e aos recursos naturais. No âmbito da drenagem urbana, o crescimento de maneira desorganizada com ocupação de áreas de mananciais, a impermeabilização de superfícies e a canalização do escoamento superficial modificam o curso natural das águas aumentando a frequência de alagamentos e inundações.

A qualidade das águas pluviais urbanas também tem sido severamente afetada. Segundo Aprígio (2012), os resíduos depositados nas superfícies são transportados nas formas dissolvidas, em suspensão, ou vinculados aos sedimentos dos cursos hídricos. Essa poluição das superfícies pela presença de materiais sólidos dispostos pela população degradam a qualidade da água de drenagem e comprometem os corpos hídricos receptores.

Outra fonte de poluição corresponde ao lançamento de esgoto não tratado nos canais de drenagem, realidade frequente no Brasil, apesar da maioria das cidades brasileiras apresentarem sistema de esgotamento separador absoluto, no qual as águas residuárias são coletadas e transportadas em tubulações separadas das águas pluviais. A má gestão associada a sistemas de tratamento de esgoto deficitários e a existência de ligações clandestinas de esgotos em canais de drenagem agravam o quadro.

Um exemplo é a cidade de Campina Grande, segunda maior do estado da Paraíba e que vem apresentando, nos últimos anos, poluição na maioria dos seus canais de drenagem, principalmente devido à contribuição de esgotos domésticos, conforme estudos realizados por Caminha (2014), Freire (2014) e Henriques (2014).

Diante do contexto de ineficiência no manejo de águas pluviais e das consequências da expansão urbana, o uso de ferramentas que possibilitem o diagnóstico da situação do sistema de drenagem urbana e a previsão de impactos decorrentes das atividades antrópicas são de grande valia para o direcionamento das ações dos órgãos gestores. Dentre as ferramentas mais utilizadas para tais medidas, está o modelo hidrológico *Storm Water Management Model* (SWMM), já consagrado mundialmente nas simulações de cenários de drenagem urbana a partir da contribuição de cargas poluentes.

Nesse estudo, serão analisados, por meio de simulação matemática, os comportamentos das concentrações de DBO e DQO presentes nas águas de drenagem do Canal do Prado em Campina Grande-PB, utilizando-se o software SWMM.

## **1.1 Objetivos**

### **1.1.1 Objetivo geral**

Estudar a influência das contribuições clandestinas de esgoto, em termos de matéria orgânica, no sistema de drenagem do canal do Prado localizado na cidade de Campina Grande-PB.

### **1.1.2 Objetivos específicos**

- Identificar a localização das entradas de esgoto no Canal do Prado;
- Analisar a influência das contribuições de esgoto nos sistema de drenagem urbano;
- Avaliar o comportamento das concentrações e da carga poluidora de DBO e DQO utilizando o software SWMM;
- Propor cenários de intervenção no canal e, a partir deles, fazer uma análise comparativa e crítica com a situação atual da qualidade da água.

## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

### 2.1 DESENVOLVIMENTO URBANO

A população urbana no Brasil, segundo dados do IBGE, teve grande desenvolvimento no final dos anos 1960 no qual representava cerca de 56% da população, esse desenvolvimento ocorre principalmente devido aos programas de incentivo do governo como o Plano Nacional de Desenvolvimento (PND). Esse rápido crescimento aliado a ocupação territorial urbana, sem o devido planejamento integrado das diversas infraestruturas necessárias ao desenvolvimento harmônico da cidade, desencadeou o surgimento de problemas de drenagem por ocasião dos eventos hidrológicos de alta intensidade (RIGHETTO, 2009).

A urbanização ocasiona aumento da impermeabilização do solo, da canalização de cursos fluviais e à remoção da vegetação que afeta diretamente o escoamento superficial das águas. Por escoamento superficial entende-se como sendo o deslocamento das águas sobre a superfície do solo. Quando ocorre a precipitação, as águas atingem o solo e parte da água infiltra até saturá-lo e o excedente escoar pela superfície. Quando esse solo é impermeabilizado, devido principalmente a pavimentação, construções e ao próprio adensamento urbano, aumenta-se a vazão e a velocidade do escoamento superficial das águas, sobrecarregando o sistema de drenagem urbana e podendo intensificar os problemas relacionados às inundações urbanas.

Outro problema observado com o aumento da urbanização não sustentável é em relação a qualidade das águas pluviais. De acordo Tucci (2003), com o aumento da urbanização e o uso de produtos químicos na agricultura e no ambiente em geral, a água utilizada nas cidades, indústrias e na agricultura retorna aos rios totalmente contaminada.

A poluição das águas de escoamento superficial está fortemente ligada ao tipo de ocupação da área urbana. Segundo Ferreira (2008), a depender da atividade realizada, a quantidade e os tipos de poluentes carregados pelo volume do escoamento variarão, ou seja, quanto maior for o desenvolvimento urbano, maior será a taxa de ocupação da área urbana e, por consequência, maior será a geração de poluentes.

### 2.2 INUNDAÇÕES URBANAS

Os eventos de inundação urbana podem ocorrer devido ao comportamento natural dos corpos d'água ou podem ser ampliados pelo efeito da alteração produzida pelo homem através da expansão urbana, impermeabilizando as superfícies e canalizando os rios. (BOLDRIN, 2005).

Segundo Tucci (2003) existem dois tipos de inundações, a primeira devido ao processo natural do ciclo hidrológico e a segunda decorrente dos impactos da urbanização. Neste último, ocorre a produção de resíduos sólidos pelo próprio desenvolvimento urbano, além de vazões máximas e frequentes devido ao aumento da capacidade de escoamento através de condutos e canais impermeabilizados. Tais impactos potencializam a magnitude das enchentes colaborando com as inundações. O outro tipo de inundação ocorre pelo processo de escoamento do rio por seu leito maior.

Para Nóbrega (2012) as inundações acarretam para a população, perdas materiais e humanas, interrupção da atividade econômica das áreas inundadas, contaminação por doença de veiculação hídrica e contaminação da água através do contato com substâncias poluentes. Além disso, as ligações clandestinas de esgoto no sistema de drenagem podem ocasionar, num evento de inundação, o contato direto desse efluente contaminado com a população.

Os problemas são intensificados pela ausência de mecanismos de controle de inundações. Esses mecanismos são divididos em duas vertentes, as medidas estruturais e não estruturais. As medidas estruturais segundo Righetto (2009) compõem uma variedade de estruturas, cuja finalidade é de deter ou transportar os deflúvios gerados na bacia, propiciar a infiltração localizada e incluem a construção de barragens, reservatórios de retenção, bacias de infiltração, entre outros.

Já as medidas não estruturais, conforme Righetto (2009), utilizam meios naturais para reduzir a geração do escoamento e a carga poluidora e envolvem ações de cunho social para modificar padrões de comportamento da população, tais como meios legais, sanções econômicas e programas educacionais estabelecendo critérios de controle do uso e ocupação do solo, prevenção de enchentes, sistemas de alerta juntamente com a defesa civil, relocação da população que reside em áreas de risco, entre outros.

### 2.3 SANEAMENTO BÁSICO: CONCEITOS E COMPONENTES

Segundo a Organização Mundial de Saúde (OMS), saneamento é o controle de todos os fatores do meio físico do homem, que exercem ou podem exercer efeitos nocivos sobre o bem-estar físico, mental e social. Pode-se entender também como sendo “conjunto de ações socioeconômicas que tem por objetivo alcançar Salubridade Ambiental” (BRASIL, 2006) visando melhorias na qualidade de vida da população. De acordo com a Lei Federal 11.445/2007 que estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico, os serviços, infraestrutura e instalações operacionais que o saneamento deve assegurar são: abastecimento

de água potável, esgotamento sanitário, limpeza urbana, drenagem e manejo de águas pluviais urbanas.

A drenagem urbana é um serviço de grande importância para a sociedade uma vez que está associada diretamente à coleta e transporte de águas pluviais que podem se tornar incômodas ou prejudiciais tanto em razão de sua quantidade, quando o seu excesso é capaz de provocar grandes inundações, quanto de sua qualidade, quando a poluição pode degradar o ambiente e provocar problemas de saúde pública, ou por ambas as razões. (MIGUEZ et al., 2016). No Brasil, um dos maiores problemas das águas urbanas é a deficiência na coleta e tratamento de esgoto doméstico que gera grande contaminação das águas pluviais e dos mananciais pelo esgoto sem tratamento (SILVEIRA, 2002).

## 2.4 DRENAGEM URBANA

### 2.4.1 Conceito de drenagem

O sistema de drenagem pode ser entendido como o conjunto da infraestrutura existente em uma cidade para realizar a coleta, o transporte e o lançamento final das águas superficiais (FEAM, 2006). É composto por várias medidas que tem por objetivo minimizar os riscos aos quais a população está exposta, diminuindo os prejuízos causados pelas inundações e visando ao desenvolvimento urbano com sustentabilidade ambiental.

Esse sistema pode ser dividido segundo sua abrangência em macrodrenagem e microdrenagem. A microdrenagem pode ser definida como estruturas que conduzem as águas do escoamento superficial para as galerias ou canais urbanos e é constituída pelas redes coletoras de águas pluviais, poços de visita, sarjetas, bocas-de-lobo e meios-fios. Já a macrodrenagem abrange dispositivos responsáveis pelo escoamento final das águas pluviais provenientes do sistema de microdrenagem urbana (TUCCI, 2005).

Em relação à destinação final das águas de drenagem, o sistema pode ser do tipo combinado, quando o transporte, a coleta e a condução destas águas é realizada juntamente com as águas residuárias. Esse sistema não é muito implantado pois apresenta algumas desvantagens como os elevados investimentos devidos ao grande diâmetro das canalizações; à dificuldade do controle da poluição a jusante, aumentando o custo do tratamento devido aos grandes volumes de esgotos coletados e transportados em épocas de chuvas e aos riscos de refluxo do esgoto sanitário para o interior das residências em épocas de cheias (BRASIL, 2006).

O outro tipo de sistema é o separador absoluto, cuja rede pluvial e sanitária são separadas. Apresenta como vantagens a redução no custo com canalizações de menor diâmetro; reduz consideravelmente o custo do afastamento das águas pluviais pelo fato de permitir o seu lançamento no curso de água mais próximo sem a necessidade de tratamento e reduz a extensão das canalizações de grande diâmetro em uma cidade pelo fato de não exigir a construção de galerias em todas as ruas (TSUTIYA e BUENO, 2004).

No Brasil é amplamente utilizado esse sistema, a maioria das cidades apresentam esgotamento separador, entretanto, ainda existem ligações clandestinas de esgoto e devido à falta de capacidade financeira para implantação da rede de esgoto, algumas prefeituras têm permitido o uso da rede pluvial para transporte do esgoto sanitário, o que pode ser uma solução inadequada se esse esgoto não for tratado (TUCCI, 2005).

#### **2.4.2 Qualidade das águas de drenagem**

Além das modificações em termos quantitativos no escoamento superficial, é necessário considerar os impactos na qualidade da água decorrentes do processo de urbanização já mencionados anteriormente. Segundo Pehovaz (2010) entende-se por qualidade de água as características físicas, químicas e biológicas que esse recurso deve possuir para atender aos diferentes usos a que se destina. Assim, órgãos como CONAMA (Conselho Nacional do Meio Ambiente), estabelece resoluções como a 357/2005 e a 430/2011 que dispõem sobre as condições e padrões de lançamentos de efluentes determinando limites aceitáveis de parâmetros considerando os diferentes usos.

A água que esco superficialmente entra em contato com poluentes presentes na superfície e quando lançada nos corpos d'água receptores, pode contaminá-los. Segundo Caminha (2014) 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.

Silva (2004) afirma que a qualidade das águas escoadas nas redes de drenagem urbanas depende da frequência de limpeza, da intensidade, distribuição temporal e espacial das precipitações e uso do solo, entre outros fatores.

#### **2.4.3 Fontes de poluição**

As fontes de poluição dos corpos hídricos podem ser apresentadas de duas formas, pontuais ou difusas. As fontes pontuais são aquelas onde a água poluída é descarregada em um



único local. As principais contribuições dessa natureza se devem ao lançamento de esgotos domésticos não tratados ou parcialmente tratados, bem como aos efluentes industriais, minas subterrâneas e navios petroleiros (BARROS, 2008).

As fontes não-pontuais ou difusas não apresentam um ponto específico de lançamento ou um foco de poluição, tornando difícil sua identificação e controle. Ocorre pela ação das águas da chuva ao lavarem e transportarem a poluição nas suas diversas formas espalhadas sobre a superfície para os corpos receptores.

Em vários países desenvolvidos, grande atenção tem sido dada à poluição difusa pelo fato de lançamentos pontuais já terem sido, em grande parte, equacionados. Entretanto, em países menos desenvolvidos, como o Brasil, há praticamente tudo a se fazer ainda em termos de controle da poluição pontual originária pelo lançamento de esgotos domésticos. Dentro desse contexto, maior ênfase é dada ao tópico de matéria orgânica, que constitui um dos principais problemas de poluição das águas em países em desenvolvimento (VON SPERLING, 2005).

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

O grau de poluição das águas é medido através de características físicas, químicas e biológicas das impurezas existentes, que podem ser identificadas por parâmetros de qualidade das águas. 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 (CAMINHA, 2014).

No desenvolvimento deste estudo, cujo o objetivo é relacionar o lançamento de esgoto doméstico nas águas de drenagem com a concentrações de matéria orgânica, foram utilizadas a Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) e Demanda Química de Oxigênio (DQO) para sua quantificação.

##### *2.4.4.1 Demanda Bioquímica de Oxigênio*

A DBO pode ser entendida como sendo a quantidade de oxigênio necessária para oxidar a matéria orgânica por decomposição microbiana aeróbia para uma forma inorgânica estável (CETESB, 2017). Pode ser entendida também como a quantidade de oxigênio que é consumida pelos microrganismos do esgoto ou águas poluídas, na oxidação biológica, quando mantida a uma dada temperatura por um intervalo de tempo convencional (CHAMUNN, 2008). Sawyer

(1994) afirma que habitualmente utiliza-se um tempo de 5 dias e temperatura de 20°C, por isso a terminologia DBO<sub>5,20°</sub>.

A determinação desse parâmetro é de fundamental importância na caracterização da poluição dos corpos hídricos pois quantifica a matéria orgânica biodegradável presente nos esgotos domésticos e industriais em termos de oxigênio necessário para sua decomposição. Os maiores aumentos de DBO num corpo d'água são provocados por despejos de origem predominantemente orgânicos. A presença de um alto teor de matéria orgânica biodegradável pode induzir ao completo esgotamento do oxigênio na água, provocando o desaparecimento de peixes e outras formas de vida aquática (CETESB, 2017).

#### 2.4.4.2 *Demanda Química de Oxigênio*

Por DQO entende-se como a quantidade de oxigênio necessária para oxidação da matéria orgânica através de um agente químico. Nesta técnica é avaliada a concentração de matéria orgânica de uma amostra a partir da oxidação química por agente oxidante forte em condições ácidas (PIVELI e KATO, 2005). Os valores da DQO normalmente são maiores que os da DBO, sendo o teste realizado num prazo menor (CETESB, 2017).

## 2.5 GESTÃO INTEGRADA DAS ÁGUAS PLUVIAIS

O desenvolvimento urbano atual não compreende o meio ambiente de forma integrada no que diz respeito às medidas de controle que mitigam os efeitos da urbanização. Segundo Tucci (2002), existe uma forte inter-relação entre os aspectos relacionados com a água. O abastecimento de água, por exemplo, é realizado a partir de mananciais que podem ser contaminados pelo esgoto doméstico, pluvial ou por depósitos de resíduos sólidos; já o controle da drenagem urbana depende da existência de rede de esgoto doméstico e suas características; depende também da limpeza das ruas, da coleta e disposição de resíduos sólidos que interfere diretamente na quantidade e na qualidade da água dos pluviais.

A gestão integrada de águas urbanas é necessária visto que os problemas relacionados às águas pluviais não são interdependentes entre si e a partir do momento em que as soluções são elaboradas com base em uma concepção isolada, soluciona-se um problema concomitantemente com a criação de outros problemas. Ou seja, a ausência de uma visão sistêmica e integrada na elaboração das soluções técnicas convencionais pode implicar, não

apenas no agravamento da conjuntura dos problemas socioambientais como também, torná-las inócuas diante da complexidade em questão (SANTOS, 2016).

Para Caminha (2014) a deficiência no gerenciamento em relação ao crescimento acelerado nos grandes centros urbanos fez com que os sistemas de drenagem de águas pluviais que sempre tiveram pouca importância, fossem considerados de forma independente das ações do setor de saneamento básico acarretando impactos ao homem e meio ambiente.

Para a implementação de medidas de controle que objetivem minimizar o impacto da alteração natural do meio ambiente, pode ser desenvolvido o Plano Diretor de Drenagem Urbana, que é o conjunto de diretrizes que determinam a gestão do sistema de drenagem cujo objetivo consiste em minimizar o impacto ambiental devido ao escoamento das águas pluviais (FEAM, 2006). Para Tucci (2005) a drenagem faz parte da infra-estrutura urbana, portanto, deve ser planejada em conjunto com os outros sistemas, principalmente o plano de controle ambiental, esgotamento sanitário, disposição de material sólido e tráfego.

## 2.6 MODELAGEM DO SISTEMA DE DRENAGEM URBANA

Os modelos computacionais têm sido usados para simular o comportamento de sistemas aquáticos desde meados dos anos 1960. Modelos capazes de simular a qualidade e a quantidade da água da chuva apareceram na década de 1970, e foram desenvolvidos principalmente por agências do governo dos EUA, como a Agência de Proteção Ambiental – USEPA (SOUSA, 2014). Esses modelos possuem grande importância em relação à gestão de águas pluviais, pois são eficientes para simular e diagnosticar as consequências do desenvolvimento urbano nos corpos hídricos, possibilitando um melhor planejamento das cidades.

Entre os softwares de modelagem aplicados à drenagem urbana, vale ressaltar o *Storm Water Management Model* (SWMM), desenvolvido pela USEPA; o *STORM* e o *Army Corps of Engineers* (ACE); ambos desenvolvidos por U.S.; e o *Hydrological Simulation Program* (HSPF) desenvolvido pela EPA.

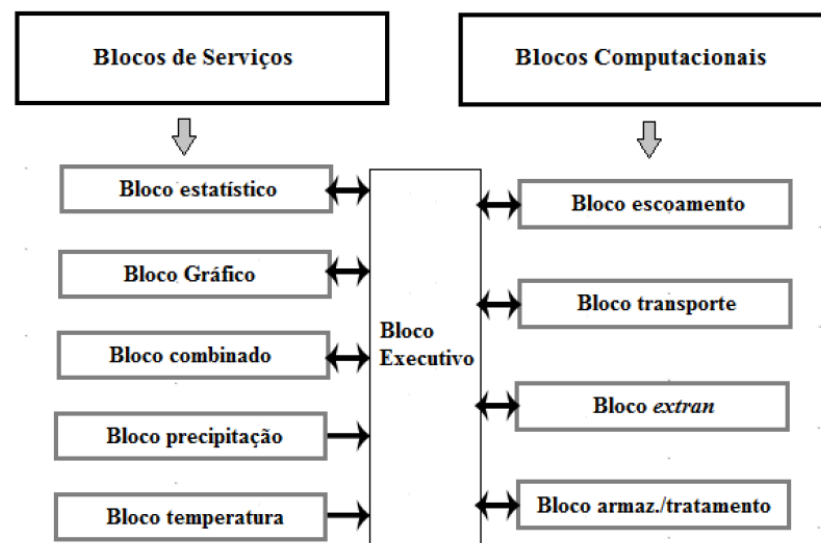
Neste trabalho, o SWMM foi escolhido devido à sua capacidade de simulações, ser de domínio público, parcialmente integrado com ambiente de Sistema de Informação Geográfica (SIG) e Computer Aided Design (CAD) e por tratar-se de um modelo consagrado nessa área.

### 2.6.1 SWMM

O SWMM é um modelo dinâmico chuva-vazão que simula a quantidade e a qualidade do escoamento superficial em áreas urbanas. O modelo é composto por um bloco executivo e por nove blocos, sendo quatro computacionais e cinco de serviços como mostra a Figura 1, possibilitando vários estudos de hidrologia urbana e de qualidade de água. Os blocos de serviços representam a entrada de dados, enquanto os blocos computacionais são responsáveis pelo processamento destes.

Segundo Pehovaz (2010) o bloco escoamento simula o escoamento e a propagação na superfície do terreno ou através dos canais; o bloco transporte analisa o transporte da água dentro do sistema de drenagem através dos condutos, aplicando as equações de conservação de massa e de quantidade de movimento; o bloco extran consiste num bloco alternativo para propagação do escoamento em condutos sob pressão e o bloco armazenamento/tratamento simula o armazenamento e o tratamento de água (ROSSMAN, 2009).

Figura 1 – Relação dos blocos do SWMM



Fonte: Zaffani (2012)

O SWMM foi desenvolvido a partir de resultados obtidos em pesquisas americanas compilados num documento datado de 1983. Portanto é necessária a realização da calibração e da validação para as condições brasileiras para se obter melhores resultados (RIGHETTO, 2009).

Segundo Rossman (2009), entre os processos disponíveis no SWMM está a modelagem do comportamento e evolução da qualidade da água.

Utilizando as funções para qualidade de água, o SWMM permite avaliar a qualidade da água transportada pelo sistema de drenagem urbana, o comportamento de um poluente específico ou sua relação em função de outro. Segundo Caminha (2014), entre os frequentes estudos de qualidade da drenagem que podem ser adotados utilizando o modelo estão: a avaliação de poluição difusa, a identificação de impactos dos sistemas de esgoto, a avaliação dos poluentes em períodos hidrológicos distintos e a concentração dos poluentes na água de chuva, entre outros.

Além da capacidade de simulação do escoamento superficial e de águas subterrâneas, o SWMM permite simular contribuições de vazões externas nos nós do sistema de drenagem. Segundo Rossman (2009) essas contribuições podem ser configuradas de três formas diferentes:

- **Contribuições diretas de vazão:** corresponde a séries temporais de valores de vazões que entram diretamente no nó, podendo ser usado para simular um modelo hidráulico de transporte e de qualidade de água na ausência de escoamentos;
- **Vazões de tempo seco:** são vazões contínuas que correspondem às águas residuárias ao sistema de drenagem e os escoamentos de bases em condutos e rios. Podem ser consideradas como vazões de referência dos condutos ou trechos de rios (ou canais naturais). São representadas por valores médios que podem ser ajustados periodicamente em base mensal, diária ou horária pela aplicação de um multiplicador padrão.
- **Infiltrações/Afluências dependendo da Chuva (RDII):** Trata-se de vazões provenientes das águas da chuva que se introduzem nos sistemas de drenagem unitários ou separados, devido a contribuições diretas de descidas de calhas, drenos de fundação, bombas de evacuação, bem como das infiltrações de águas subsuperficiais através de fendas nos condutos, juntas desgastadas, conexões imperfeitas dos poços de visita etc.

Dentre os diversos trabalhos realizados com auxílio do SWMM, vale destacar:

Caminha (2014) que utilizou o SWMM para modelar a qualidade de água do sistema de drenagem de microbacias urbanas de Campina Grande-PB, elaborando possíveis cenários com medidas de controle. Esta modelagem possibilitou simular e observar o comportamento dos poluentes no solo em escala temporal, além de representar o panorama da realidade da cidade de Campina Grande.

Souza (2014) que analisou o comportamento quantitativo e qualitativo das águas de drenagem urbana por meio do monitoramento da precipitação e do escoamento superficial da sub-bacia do Iate Clube e do Centro Olímpico. O SWMM permitiu avaliar a resposta da sub-bacia do Iate Clube tanto em termos de vazão quanto em qualidade da água, além de permitir análise de 13 alternativas de bacias de retenção.

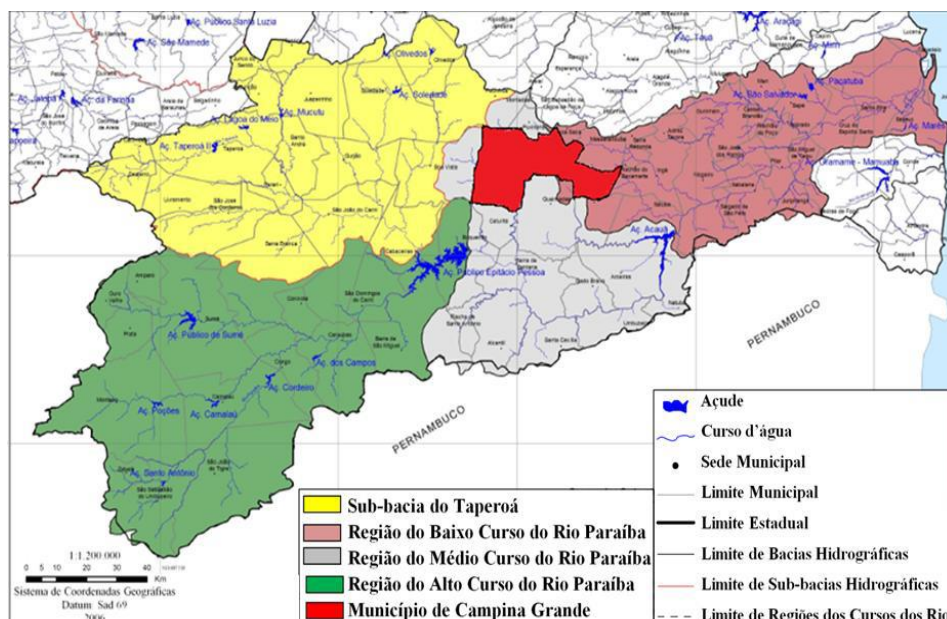
Costa (2013) que avaliou o comportamento quantitativo e qualitativo das águas de drenagem urbana por meio do monitoramento da precipitação e do escoamento superficial em eventos de cheia e pela modelagem matemática, com o modelo SWMM no qual foi possível verificar aplicabilidade à bacia e seu comportamento na simulação de sedimentos e de qualidade da água.

### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

#### 3.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

O município de Campina Grande – PB está localizado no agreste paraibano, situado entre as regiões do baixo e médio curso do Rio Paraíba, como mostra a Figura 2. O município é composto pela cidade sede, Campina Grande, e pelos distritos de Catolé de Boa Vista, Catolé de Zé Ferreira, São José da Mata, Santa Terezinha e Galante, além da área rural no entorno da cidade e dos distritos. De acordo com o IBGE a população estimada de Campina Grande em 2018 é de 407.472 habitantes, sendo a segunda maior população do estado da Paraíba.

Figura 2 - Subdivisões da bacia hidrográfica do Rio Paraíba



Fonte: Caminha (2014)

Campina Grande apresenta um clima semiárido com precipitação média anual variando entre 700 mm e 800 mm, com predomínio de chuvas torrenciais. A temperatura do ar se apresenta entre 18 e 22 °C, podendo chegar a 31 °C nos meses de novembro e dezembro. A umidade relativa do ar varia entre 68% e 85%, com valores mínimos ocorrendo nos meses de novembro a janeiro e máximos nos meses de junho a agosto (NOBREGA, 2012).

O sistema de abastecimento de água e o esgotamento sanitário é realizado pela Companhia de Água e Esgotos da Paraíba- CAGEPA. O manancial provedor desse sistema é Açude Epitácio Pessoa conhecido como Boqueirão, a água é captada e transportada por uma adutora até estação de tratamento de água (ETA- Gravatá). Após o tratamento, a água é recalçada para a cidade de Campina Grande onde é distribuída pelos reservatórios situados no município.

Os serviços de limpeza urbana são realizados pela Secretaria de Serviços Urbanos e Meio Ambiente (SESUMA), já os serviços de coleta e disposição final dos resíduos sólidos urbanos são realizados pela SESUMA e por empresas terceirizadas (BARROS, 2015).

Quanto ao esgotamento sanitário, mesmo com o sistema separador absoluto, é possível observar problemas em relação ao lançamento de esgotos nos copos hídricos e presença de ligações clandestinas na rede de drenagem pluvial. Além disso percebe-se, de forma recorrente, alagamentos, enchentes e problemas relacionados ao sistema de drenagem, que se mostra ineficiente.

### **3.1.1 Sistema de drenagem urbana de Campina Grande**

Campina Grande possui um sistema de macrodrenagem que abrange três grandes bacias urbanas: Piabas, Bodocongó e Prado, sendo compostos em sua maioria de canais trapezoidais e retangulares abertos. Na microdrenagem o sistema é composto por bocas de lobo, sarjetas, poços de vistas, galerias, tubos de ligação, entre outros (HENRIQUES, 2014).

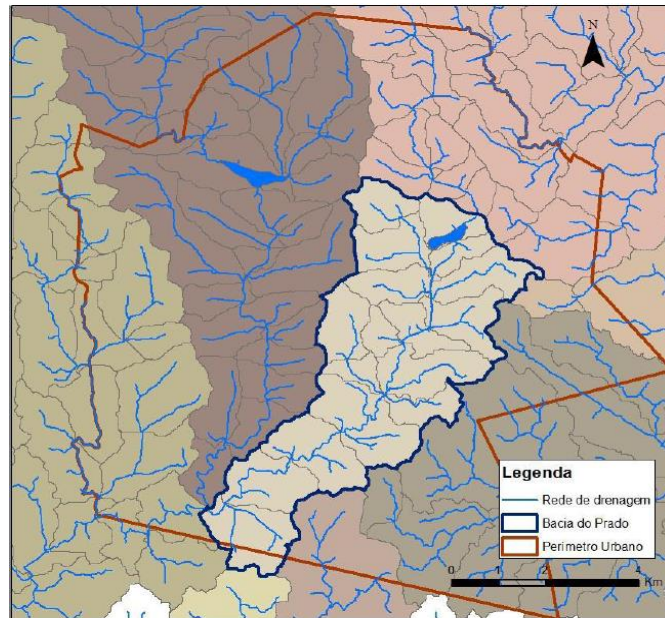
Tendo em vista que todos os anos são constatados acontecimentos relacionados a alagamentos e inundações causando vítimas e danos materiais em diferentes pontos da cidade, percebe-se que o sistema de drenagem é deficitário e, com o aumento da população, esse problema tende a agravar-se.

### **3.1.2 Bacia urbana do Prado**

A bacia urbana do Prado é apresentada na Figura 3. Conforme Tsuyuguchi (2015), drena de forma parcial 22 bairros, possui uma área de 24,7km<sup>2</sup> e perímetro 40,2 km sendo

compostas por 13 sub-bacias. A área em estudo corresponde ao canal do Prado, localizada nessa bacia. Esse canal tem início no açude velho e termina no bairro jardim paulistano, onde segue seu curso natural.

Figura 3 – Localização da Bacia do Prado



Fonte: Henriques (2014)

### 3.2 AQUISIÇÃO DE DADOS

Para a execução da modelagem qualitativa do sistema de drenagem em estudo é fundamental a caracterização da água que escoar pelo canal, essa caracterização permite conhecer as cargas poluentes geradas e/ou transportadas pelo sistema e os impactos exercidos sobre o meio ambiente (CAMINHA, 2014).

Com o intuito de compreender o comportamento da qualidade de água que escoar pelo Canal do Prado foram necessárias visitas *in loco* que permitiram analisar os componentes estruturais e características do ambiente que o envolve, permitindo o mapeamento do sistema de macrodrenagem com a identificação de entradas de esgoto ao longo do canal.

Além disso, coletas semanais e análises laboratoriais da água presente no canal foram realizadas pelos alunos do Programa de Pós-Graduação de Engenharia Civil e Ambiental – PPGECA nos meses de abril a julho de 2018. Os dados obtidos foram utilizados nesse estudo.



### 3.2.1 Escolha dos pontos de análise de água

O Canal do Prado possui parte do seu leito construído em concreto e, a partir de um determinado ponto, segue com leito natural. Para este estudo foram escolhidos cinco pontos amostrais da parte do canal com leito de concreto, conforme ilustrado na Figura 4. Esses pontos foram selecionados de forma a representar toda a água escoada pelas sub-bacias, além de apresentarem condições adequadas para a medição de vazão de esgoto.

Figura 4 – Ponto de coleta



Fonte: Adaptado de Google Earth (2018).

Os pontos de amostragem utilizados nesse estudo estão descritos na Tabela 1.

Tabela 1- Descrição dos pontos amostrais utilizados na pesquisa

Pontos	Coordenadas geográficas	Caracterização
<b>Ponto 1</b>	7°13'44,71"S e 35°52'47,35"O	Situa-se a montante de todas as contribuições diretas do Canal do Prado representando as águas excedentes do Açude Velho e das águas pluviais, provenientes do Centro
<b>Ponto 2</b>	7°15'58,24"S e 35°53'2,13"O	Representa as contribuições da sub-bacia D1 iniciando sua área de drenagem no bairro da Bela Vista, passando pela Prata, São José, Estação Velha até chegar ao canal principal
<b>Ponto 3</b>	7°14'18,86" S e 35°53'1,87" O	Corresponde as contribuições das sub-bacias D4 e D6 representando uma parcela do bairro Catolé
<b>Ponto 4</b>	7°14'36,52" S e 35°53'2,30" O	Corresponde as contribuições da sub bacia D5
<b>Ponto 5</b>	7°14'42,48" S e 35°53'17,23" O	Representa as contribuições de sub-bacia D6, correspondendo também todas as contribuições a jusante do canal

### 3.2.1.1 Dados de qualidade de água nos pontos

Conforme já descrito anteriormente, os parâmetros de qualidade utilizados nesse estudo foram as concentrações de DBO e DQO, obtidas das análises realizadas pelos alunos de pós-graduação do PPGECA durante o ano 2018. Foram utilizados para a pesquisa os valores encontrados nas medições dos dias secos, para avaliar a contribuição dos esgotos sem a interferência das chuvas, situação verificada na maioria dos meses do ano na área. As Tabelas 2 e 3 apresentam as concentrações de DBO e DQO em mg/l, respectivamente, medidas nos pontos de coleta em dias sem precipitação.

Tabela 2- Concentração de DBO (mg/l)

<b>Concentração de DBO (mg/l)</b>					
<b>Dias Secos</b>	<b>P1</b>	<b>P2</b>	<b>P3</b>	<b>P4</b>	<b>P5</b>
22/03/2018	83,55	371,70	391,20	429,50	259,80
05/04/2018	93,15	391,20	299,10	353,00	192,00
10/05/2018	46,02	196,50	144,00	350,10	132,00
21/06/2018	91,13	305,70	238,50	416,40	156,60
28/06/2018	80,33	291,00	193,31	459,00	63,75
05/07/2018	65,40	240,90	129,19	513,00	80,63
19/07/2018	44,40	352,50	245,25	537,00	80,40
26/07/2018	75,60	334,20	177,75	576,00	84,80
MÉDIA	72,45	310,46	227,29	454,25	131,25

Tabela 3– Concentração de DQO (mg/l)

<b>Concentração de DQO (mg/l)</b>					
<b>Dias Secos</b>	<b>P1</b>	<b>P2</b>	<b>P3</b>	<b>P4</b>	<b>P5</b>
22/03/2018	171,43	617,86	678,57	707,14	489,29
05/04/2018	146,34	686,99	524,39	540,65	353,66
10/05/2018	56,68	348,18	242,91	708,50	251,01
21/06/2018	291,67	647,73	465,91	738,64	518,94
28/06/2018	213,74	488,55	328,24	832,06	393,13
05/07/2018	163,35	430,28	282,87	904,38	258,96
19/07/2018	318,55	866,94	649,19	967,74	302,42
26/07/2018	158,30	571,43	455,60	880,31	266,41
MEDIA	190,01	582,24	453,46	784,93	354,23

ha

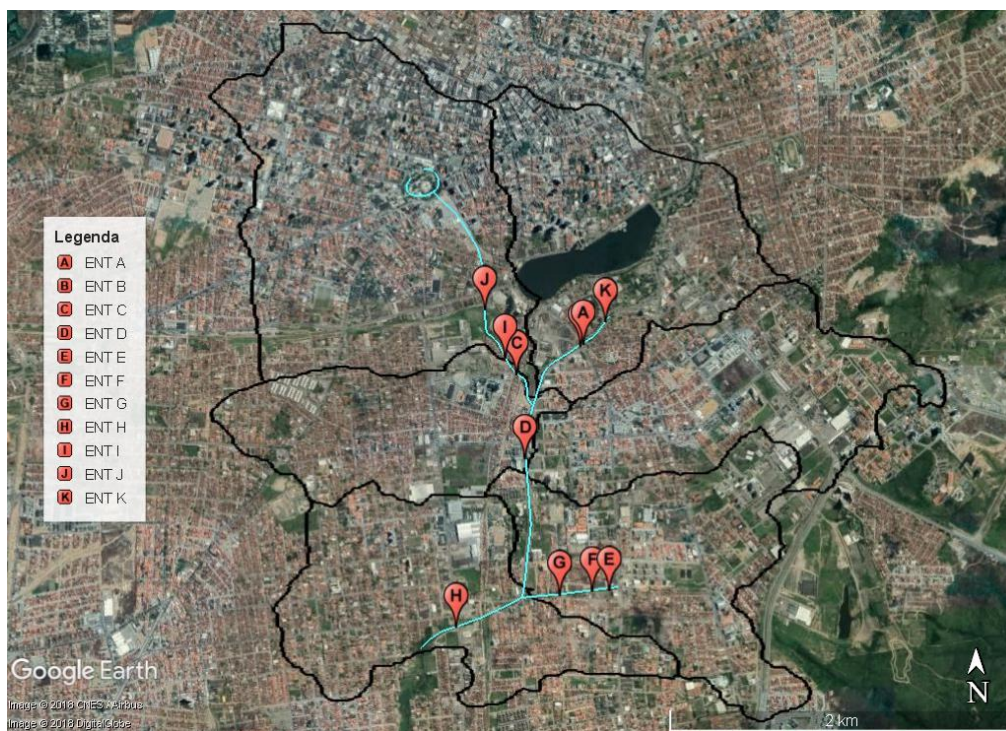
### 3.2.2 Mapeamento das Entradas de esgoto

As visitas *in loco* permitiram também observar a existência de diversas contribuições de esgoto sanitário ao longo do sistema. Para caracterizar as águas do sistema com resíduos

domésticos seriam necessárias diversas variáveis, entretanto, como um dos objetivos desse trabalho é verificar a influência dessas entradas na qualidade das águas do canal, optou-se por analisar as variáveis DBO e DQO que caracterizam a matéria orgânica do efluente e são indicadores de grande relevância no diagnóstico da poluição dos corpos hídricos.

No mapeamento das entradas de esgoto foram consideradas as principais contribuições com maiores vazões devido a sua maior representatividade. Na Figura 5 são ilustradas as localizações dessas entradas na área de estudo e, na Tabela 4, são descritas as coordenadas geográficas referentes a cada entrada escolhida. As Entradas A e B são muito próximas o que dificultou a visualização dos símbolos no mapa (Figura 5).

Figura 5- Localização das entradas de esgoto



Fonte: Adaptado de Google Earth (2018).

As Entradas A, B, C e D estão ilustradas na Figura 6. Essas entradas localizam-se no bairro Catolé, as entradas A e B encontram-se próximos a uma rotária e sem nenhuma casa nas proximidades, a Entrada C localiza-se numa região com várias casas às margens do canal sendo ocupadas por população de baixo poder aquisitivo e que despeja efluentes domésticos diretamente no canal; a Entrada D localiza-se numa zona residencial, e recebe os efluentes provenientes dessa zona.

Tabela 4 – Coordenadas geográficas das entradas de esgoto mapeadas

Entradas de esgoto	Coordenadas geográficas
<b>Entrada A</b>	7°13'48.78"S e 35°52'51.55"O
<b>Entrada B</b>	7°13'49.10"S e 35°52'52.10"O
<b>Entrada C</b>	7°13'54.45"S e 35°53'4.25"O
<b>Entrada D</b>	7°14'10.30"S e 35°53'2.69"O
<b>Entrada E</b>	7°14'35.16"S e 35°52'46.79"O
<b>Entrada F</b>	7°14'35.20"S e 35°52'50.02"O
<b>Entrada G</b>	7°14'35.88"S e 35°52'56.18"O
<b>Entrada H</b>	7°14'41.93"S e 35°53'15.82"O
<b>Entrada I</b>	7°13'51.35"S e 35°53'6.38"O
<b>Entrada J</b>	7°13'42.35"S e 35°53'10.20"O
<b>Entrada K</b>	7°13'44.64"S e 35°52'47.35"O

Figura 6 – Documentário fotográfico das contribuições de esgoto das Entradas A, B, C e D no canal do Prado



Fonte: Autoria Própria

As Entradas D, E e H apresentam mais de uma tubulação, como mostrado nas Figuras 6 e 7. Entretanto, devido à proximidade entre essas tubulações, optou-se pela adoção de apenas

uma contribuição, em cada entrada, que correspondesse a vazão total medida *in loco* e, dessa forma, viabilizasse a modelagem matemática.

Figura 7 – Documentário fotográfico das contribuições de esgoto das Entradas E, F, G e H no canal do Prado



Fonte: Autoria Própria

A Entrada I corresponde ao somatório de diversas contribuições diretas de esgoto doméstico no canal (Figura 8). Nesta entrada, a vazão foi estimada com base na produção de esgoto média por habitante. Essa estimativa se deve a dificuldade de medir a vazão nas diversas

tubulações. Além disso, também foi considerada uma contribuição correspondente ao extravasamento do açude, localizada na Entrada K (Figura 9) e uma contribuição na Entrada J, referente ao efluente vindo a montante desse ponto. Essas vazões utilizadas no estudo foram baseadas nas médias dos valores medidos nos locais em dias secos.

Figura 8 – Documentário fotográfico das contribuições de esgoto das Entradas I, J no canal do Prado



Fonte: Autoria Própria

Figura 9- Documentário fotográfico correspondente as contribuições da Entrada K



Fonte: Autoria Própria

### **3.2.3 Medições de vazão**

As medições de vazão no canal nos pontos de coleta foram realizadas nos dias 08/06/2018, 24/07/2018, 31/08/2018 e 11/09/2018, sendo o dia 08/06/2018 um dia chuvoso e o restante, dias secos. As medições de vazão das oito principais entradas de esgoto ao longo do Canal foram realizadas nos dias 02/10/2018, 05/10/2018, 26/10/2018 e 09/11/2018, sendo todos os dias secos. Quanto ao horário das medições, escolheu-se o turno da manhã entre 08:00 e 10:00 horas.

#### ***3.2.3.1 Medição de vazão do canal***

Para a medição das vazões foi utilizado o método do flutuador no qual utiliza-se um objeto leve e que flutue, uma fita métrica, um cronômetro e uma régua. Inicialmente, com a fita métrica mede-se a largura do canal e com a régua mede-se em diferentes pontos do canal, a profundidade da lâmina de água. Em seguida, delimita-se uma distância fixa para o flutuador atravessar. Com o cronômetro mede-se o tempo necessário para o flutuador percorrer essa distância. Esse processo é repetido pelo menos duas vezes. Logo, obtém-se a velocidade média de escoamento da água. Com os dados coletados, calcula-se a área da seção transversal do escoamento no canal, multiplica-se essa área da seção pela velocidade, resultando na vazão.

#### ***3.2.3.2 Medição de vazão das entradas de esgoto***

Para a medição de vazão nas entradas de esgoto foram escolhidos dois métodos: volumétrico e flutuador. O método volumétrico foi utilizado para a medição das vazões nas entradas A, B, C, D, F, G e H. Nesse método utiliza-se um recipiente, um cronômetro e um proveta graduada. O cronômetro é acionado ao mesmo tempo em que se coleta um volume de efluente utilizando o recipiente. Com a proveta graduada determina-se o volume exato coletado e a partir do tempo medido, encontra-se a vazão. A Figura 9 apresenta a medição por esse método.

Figura 10- Determinação da vazão nas Entradas de esgoto no canal do Prado



Fonte: Autoria Própria

O método flutuador, já detalhado anteriormente, foi utilizado para medição de vazão na entrada E. Como nesta entrada existem três contribuições (ver Figura 7), a vazão medida corresponde a soma dos valores obtidos nessas três contribuições.

### 3.3 MODELAGEM MATEMÁTICA UTILIZANDO O SWMM

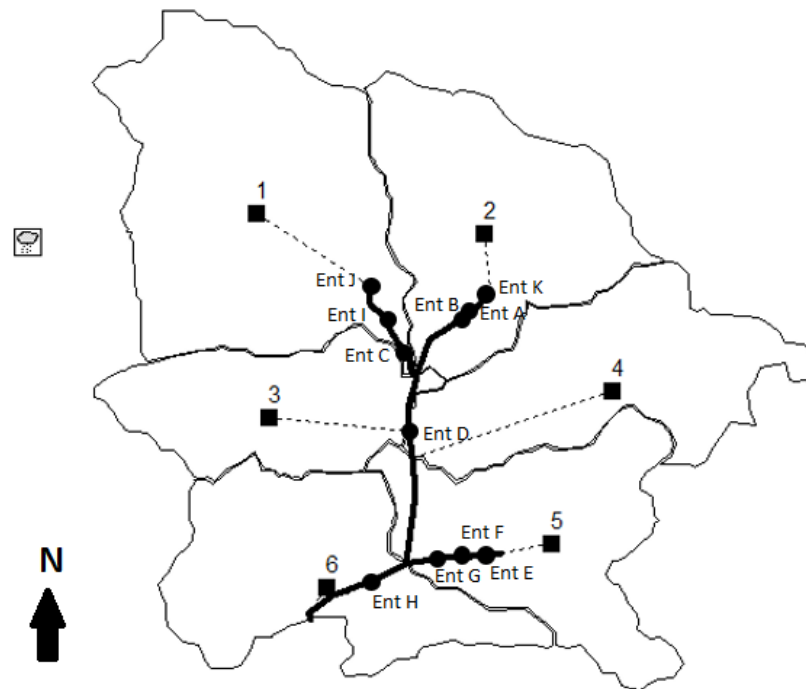
O sistema de drenagem urbana foi representado no SWMM através de elementos como sub-bacias, nós e condutos. Os dados utilizados nesse trabalho e que alimentaram o modelo foram extraídos do estudo feito por Tsuyuguchi (2015) que apresentou a delimitação das bacias e sub-bacias de drenagem pluvial do município de Campina Grande – PB, bem como as suas declividades. Também foram utilizados dados obtidos do Mapa Urbano de Campina Grande e de imagens disponibilizadas pelo Google Earth.

#### 3.3.1 Sub-bacias

A parte artificial do canal do Prado (leito de concreto) está inserida em seis sub-bacias de drenagem conforme ilustrado na Figura 10. Segundo a divisão feita por Tsuyuguchi (2015), essas sub-bacias são denominadas D1, D2, D3, D4, D5 e D6. A Figura 11 mostra também a representação dos condutos e nós no SWMM e utilizados para realizar a modelagem matemática.



Figura 11 – Representação da área de estudo no SWMM



Fonte: Autoria Própria

### 3.3.2 Condutos

Os condutos são os elementos que transportam o fluxo sendo representados pelas galerias, sarjetas e canais. Os principais parâmetros a serem fornecidos ao modelo para os condutos estão indicados na Tabela 5.

Tabela 5 – Parâmetros necessários para a caracterização dos condutos

Parâmetro	Sigla	Unidade
Comprimento do conduto	L	M
Declividade	Sc	m/m
Coefficiente de rugosidade de manning	Ncn/Ng,s	-
Seção transversal	-	-

Fonte: Collodel (2009)

O comprimento dos trechos dos canais foi definido pela distância entre os nós. As declividades nos trechos foram calculadas através dos dados de cotas do radier do canal encontradas nos projetos cedidos pela Secretaria de Planejamento de Campina Grande (SEPLAN) juntamente com o Modelo Digital de Elevação elaborado por Tsuyuguchi (2015) e com o comprimento do canal. O coeficiente de rugosidade de Manning foi adotado de acordo com a Tabela 6, considerando o material do leito, neste caso, o concreto. As seções transversais do canal foram observadas e medidas *in loco*.

Tabela 6- Coeficiente de Rugosidade Manning

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	0,05
Solos cultiváveis	0,06 - 0,17
Solos com vegetação natural	0,04 - 0,80

Fonte: McCuen, R. et al. (1996).

### 3.3.3 Nós

Os nós representam o encontro de canais superficiais naturais, poços de visita do sistema de drenagem, ou elementos de conexão de tubulações. O parâmetro principal de entrada de um nó é a cota do radier. Esses valores, como mencionado anteriormente, foram obtidos através dos projetos fornecidos pela SEPLAN e nos trechos do canal onde não se dispunha de informações, foi utilizado o Modelo Digital de Elevação.

### 3.3.4 Modelo de transporte hidráulico

Nesse estudo optou-se por utilizar para representar o transporte hidráulico o modelo de *Onda cinemática*, essa escolha se justificou pelo fato de a simulação realizada ser simples, apenas afluências diretas, e não apresentar fenômenos complexos que só são representados pelo modelo de Onda dinâmica como remansos, fluxo sob pressão, fluxo inverso e distribuições não ramificadas do sistema.

Segundo Rossman (2009) o modelo da onda cinemática permite que a vazão e a área variem no espaço e no tempo no interior do conduto, utilizando a Equação 1 da continuidade e uma versão simplificada da quantidade de movimento em cada um dos condutos (Equação 2).

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = 0$$

(Equação 1)

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial(Q^2/A)}{\partial x} + gA \frac{\partial H}{\partial x} + gAS_f = 0$$

(Equação 2)

Onde: A = área do fluxo (m<sup>2</sup>);

Q = Vazão(m<sup>3</sup>/s);

x = Distância (m);

t = tempo (s);

H = carga hidráulica no conduto (Z+Y) (m);

Z = Cota do radier do conduto(m);

Y = Profundidade da água no conduto (m);

S<sub>f</sub> = perda de carga por unidade de comprimento;

g = aceleração da gravidade (m<sup>2</sup>/s).

### 3.3.5 Dados Hidrológicos

Os dados hidrológicos utilizados no processo de modelagem correspondem ao evento do dia 08/06/2018, esses dados foram adquiridos da Estação Agrometeorológica Experimental (Est-Agro) da Unidade Acadêmica de Ciências Atmosféricas da Universidade Federal de Campina Grande e são apresentados na Tabela 7.

Tabela 7 – Precipitação horária do evento selecionado (mm/h)

<b>Mês</b>	<b>Dia/hora</b>	<b>Chuva (mm)</b>
<b>6</b>	07 22:00:00	0,0
<b>6</b>	07 23:00:00	0,8
<b>6</b>	08 00:00:00	0,9
<b>6</b>	08 01:00:00	1,1
<b>6</b>	08 02:00:00	0,6
<b>6</b>	08 03:00:00	1,8
<b>6</b>	08 04:00:00	1,3
<b>6</b>	08 05:00:00	0,7
<b>6</b>	08 06:00:00	0,3
<b>6</b>	08 07:00:00	0,7
<b>6</b>	08 08:00:00	1,5
<b>6</b>	08 09:00:00	0,1
<b>6</b>	08 10:00:00	0,0
<b>6</b>	08 11:00:00	0,8

Fonte: Estação Agrometeorológica Experimental da UFCG

### **3.3.6 Calibração do modelo**

A calibração foi realizada manualmente, pelo processo de tentativa e erro, cujo os valores obtidos na simulação foram aproximados aos valores reais, medidos em campo, dentro de uma faixa de erros aceitáveis.

### **3.3.7 Validação dos parâmetros de qualidade**

A validação do método tem por objetivo legitimar os resultados obtidos durante as simulações por meio da interpretação e análise desses resultados. Para essa etapa foram considerados o relatório de simulação e o resumo dos erros de continuidade de cada simulação levando em consideração o limite de 10% recomendado pela literatura.

## **3.4 CENÁRIOS PROPOSTOS**

Como um dos objetivos da pesquisa foi avaliar a influência das contribuições de esgoto doméstico clandestino, por meio da avaliação das concentrações de DBO e DQO, na qualidade da água do canal foram propostos quatro cenários.

No primeiro (Cenário 1), não foi feita nenhuma intervenção na área estudada, apenas realizou-se um diagnóstico da situação atual considerando os dados de vazão dos esgotos que estão ligados ao canal e a resposta da modelagem matemática em relação a qualidade das águas de drenagem para os períodos seco e chuvoso. Assim, considerando também o comportamento das concentrações de DBO e DQO, quando ocorre uma chuva, pode-se avaliar a melhoria da qualidade do efluente após a diluição.

Nos demais Cenários (2, 3 e 4) foram propostas intervenções visando nortear o gestor em relações a medidas que podem ser implantadas para a melhoria da qualidade da águas do canal. Nesses cenários, avaliou-se apenas o período seco.

Para compor esses cenários foram realizadas variadas simulações com diferentes situações e escolhidos aqueles que mostraram resultados mais satisfatórios e de maior impacto na qualidade das águas.

Assim, o Cenário 2 corresponde a redução de 30% da vazão de todas as contribuições de esgoto que atualmente chegam ao canal, o Cenário 3 corresponde a simulação matemática do comportamento da qualidade da água no canal caso fosse retirada a contribuição de esgoto

com maior concentração de DBO e DQO e o Cenário 4 representa a retirada das entradas mais críticas do canal, ou seja, as que apresentam maior potencial poluidor, correspondendo as Entradas E, F e G. Na Figura 12 é apresentada uma descrição gráfica dos cenários propostos.

Figura 12 – Fluxograma dos cenários avaliados

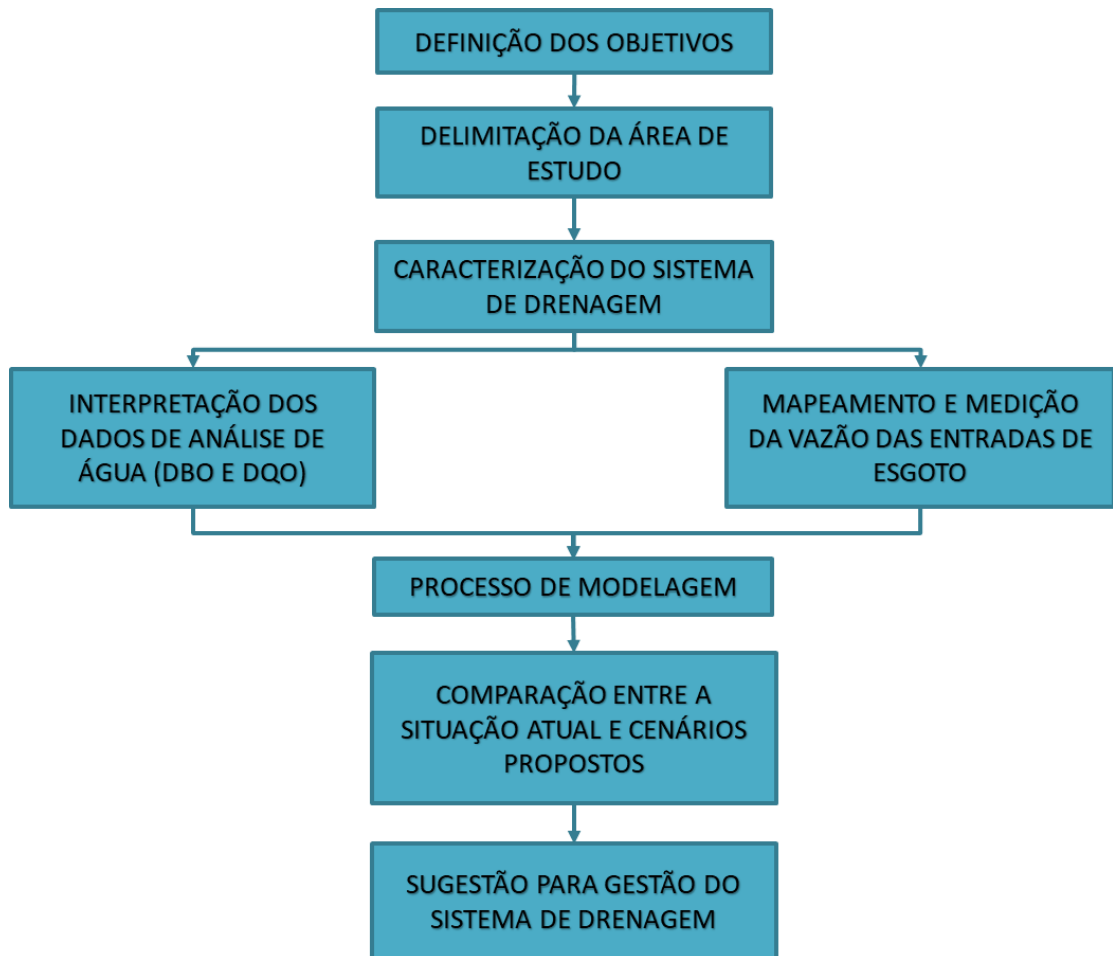


Fonte: Autoria Própria

Em todos os cenários foram inseridos dados de afluências correspondentes às vazões medidas em campo e suas respectivas concentrações de DBO e DQO. Essas concentrações foram estimadas a partir dos valores medidos nos canais nos pontos de coleta. Adotou-se os valores de concentração dos pontos de coleta mais próximos às entradas de esgoto.

Na Figura 13 encontram-se apresentadas num fluxograma as etapas metodológicas realizadas no presente estudo.

Figura 13 – Fluxograma das etapas metodológicas da pesquisa



Fonte: Autoria Própria

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 DIAGNÓSTICO DO SISTEMA DE DRENAGEM URBANA PLUVIAL

#### 4.1.1 Aspectos gerais observados

Durante as visitas de campo constatou-se, além da presença de contribuições de esgoto contínuas, o lançamento de resíduos sólidos no canal de drenagem. Apesar das limpezas periódicas e manutenções realizadas pela Secretaria de Serviços Urbanos e Meio Ambiente (SESUMA) segundo informado pela Prefeitura Municipal, a falta de conscientização da população que joga lixo dentro do canal corrobora para esse acúmulo, o que contribui também para o crescimento de vegetação nas margens do canal como é apresentado na Figura 14.

Figura 14 – Acúmulo de resíduos sólidos e vegetação no Canal do Prado



Fonte: Autoria Própria

A presença de esgoto e resíduos sólidos dentro do canal reduzem a qualidade da água gerando uma situação de insalubridade para as comunidades que vivem nas proximidades do local e aumentam o risco de contaminação dos corpos hídricos que recebem os efluentes advindos do sistema de drenagem. Por outro lado, o acúmulo de lixo também compromete a eficiência do sistema podendo aumentar o risco de inundações em eventos chuvosos.

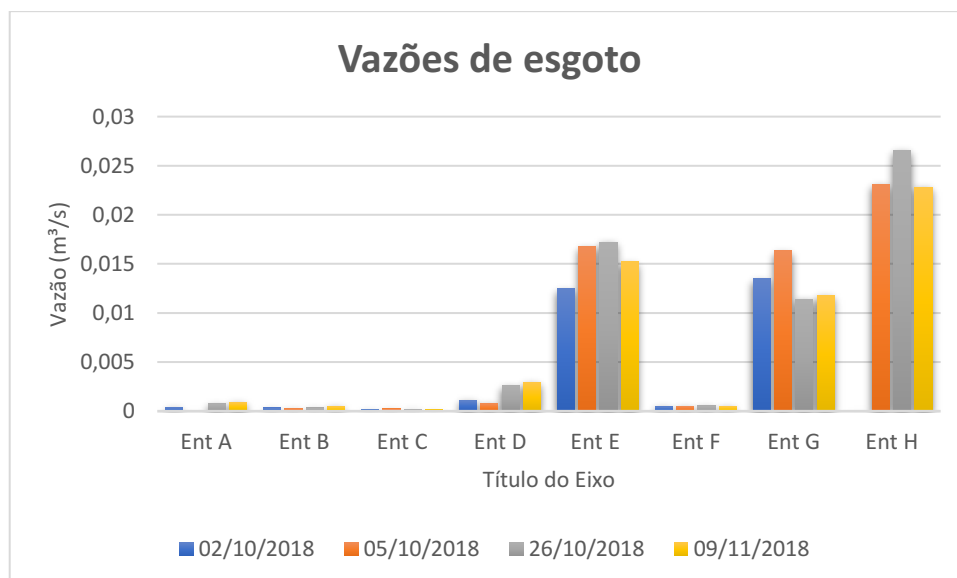
Nóbrega (2012) avaliando a mesma área constatou que a realização de medidas preventivas, como a limpeza periódica dos canais, requer investimentos consideravelmente menores e contribuem, de forma determinante, para a melhoria da eficiência quantitativa e

qualitativa do sistema de drenagem. O autor ainda afirma que a limpeza é de responsabilidade da administração pública, mas cabe à sociedade a conscientização com relação ao lançamento de lixo diretamente nas galerias e nas ruas, permitindo seu acesso para dentro do sistema de drenagem.

#### 4.1.2 Análise das vazões referentes às entradas de esgoto no canal

Os valores obtidos das quatro medições de vazões referentes às entradas de esgoto no canal estão apresentados na Figura 15. De acordo com a figura, é possível constatar que as maiores contribuições de esgoto recebidas são nos pontos E, G e H. Durante as visitas in loco, pode-se perceber que essas contribuições localizam-se em um área predominantemente residencial, o que pode justificar essa grande contribuição de esgoto doméstico. Nesses três pontos foram obtidos, em todas as medições realizadas, valores de vazão superiores a  $0,01 \text{ m}^3/\text{s}$  ( $864.000 \text{ l/dia}$ ), chegando a mais que  $0,02 \text{ m}^3/\text{s}$  na entrada H. Conforme o Plano Municipal de Saneamento básico de Campina Grande, o sistema de drenagem adotado é do tipo separador absoluto, portanto essas entradas confirmam a ineficiência desse sistema.

Figura 15– Gráfico dos valores medidos de vazão



Fonte: Autoria Própria

Após análise do gráfico foi verificado um comportamento relativamente estável por ponto. Assim, adotou-se a média desses valores como vazão de entrada no modelo. A Tabela 8 apresenta os valores médios calculados.



Tabela 8 – Vazões médias de esgoto medidas no canal do Prado

<b>Entradas de esgoto</b>	<b>Vazão (m<sup>3</sup>/s)</b>
<b>ENT A</b>	0,000700
<b>ENT B</b>	0,000360
<b>ENT C</b>	0,000190
<b>ENT D</b>	0,001860
<b>ENT E</b>	0,015410
<b>ENT F</b>	0,000510
<b>ENT G</b>	0,013270
<b>ENT H</b>	0,024170
<b>ENT I</b>	0,000788
<b>ENT J</b>	0,083000
<b>ENT K</b>	0,008800

Fonte: Autoria Própria

Para a vazão na Entrada K, que corresponde ao extravasamento vindo do açude novo, adotou-se a vazão medida do canal no Ponto 01 bem como seus respectivos valores de concentração de DBO e DQO devido à sua grande proximidade com o vertedouro do açude. A vazão da Entrada J corresponde ao efluente vindo do canal a montante dessa entrada, utilizou-se a vazão média medida no canal, neste ponto.

Para a estimativa das contribuições de esgoto das residências que se encontram nas margens do canal correspondentes a Entrada I, foi realizado um levantamento e obteve-se um número de 154 casas que contribuem para essa vazão. Essa estimativa foi auxiliada por imagens de satélite disponível do Google Earth. Em seguida, adotando o consumo per capita de água de 150 l/hab.dia, recomendado por Von Sperling (1996) para cidades com população superior a 250.000 habitantes, vale salientar que considerando a atual situação de grande escassez hídrica vivida em Campina Grande, esse valor pode ser menor. Considerando uma média de 3,58 hab/domicílio (PMSB-CG, 2015) e um coeficiente de retorno de 0,8 (valor usualmente adotado) obteve-se uma vazão de contribuição equivalente a 0,000788 m<sup>3</sup>/s.

#### 4.2 RESULTADOS DA MODELAGEM MATEMÁTICA

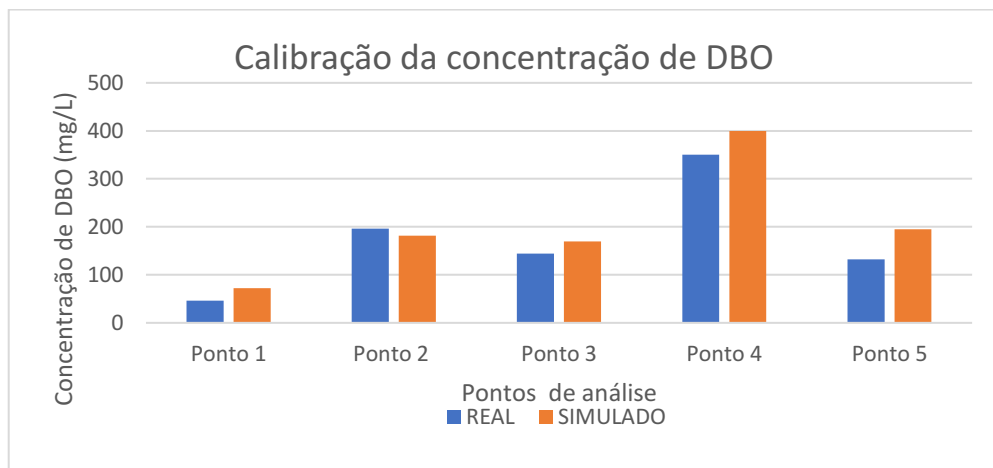
Na modelagem da área de estudo foram consideradas 1056,56 hectares discretizados em 6 sub-bacias (D1, D2, D3, D4, D5 e D6); 32 nós que representam tanto as entradas de esgoto como também mudança de direção do canal e respectivas inclinações que são calculadas a partir das cotas do radier; 31 trechos do canal separados pelos nós, com 5 seções diferentes, sendo divididas em seções parabólicas e seções trapezoidais com diferentes dimensões.

Para a realização da modelagem, utilizou-se o bloco de transporte hidráulico no qual foi possível realizar a propagação do fluxo bem como a distribuição e o comportamento da concentração dos poluentes estudados, DBO e DQO e as suas respectivas cargas poluidoras ao longo do canal.

#### 4.2.1 Calibração

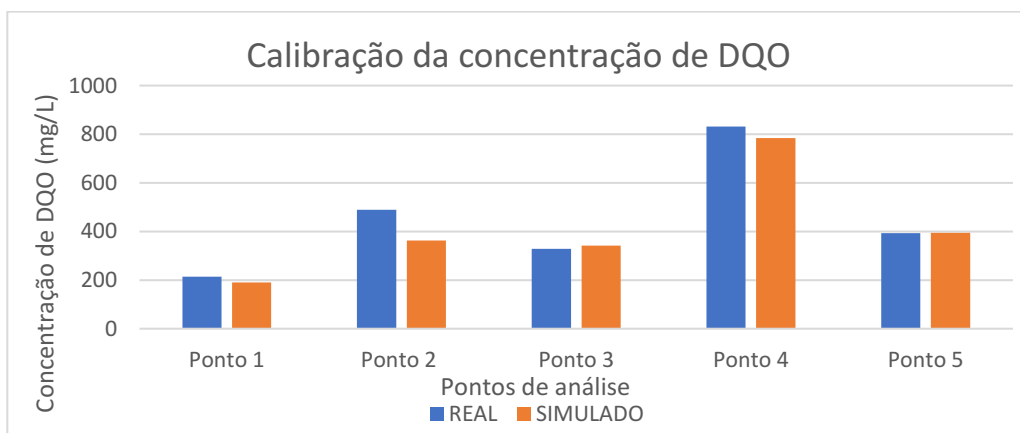
Para realizar a calibração, inicialmente adotou-se, por meio de uma estimativa, os valores de concentração dos pontos de coleta que mais se aproximavam das entradas de esgoto, como mencionado anteriormente. Após a simulação inicial, pelo método de tentativa e erro, foi realizada a calibração do modelo, ajustando-se essas estimativas de forma que os resultados da simulação se aproximassem, o máximo possível, dos valores medidos em campo, nos pontos de coleta. O resultado da calibração é apresentado nas Figuras 16 e 17.

Figura 16 – Calibração da concentração de DBO



Fonte: Autoria Própria

Figura 17- Calibração da concentração de DQO



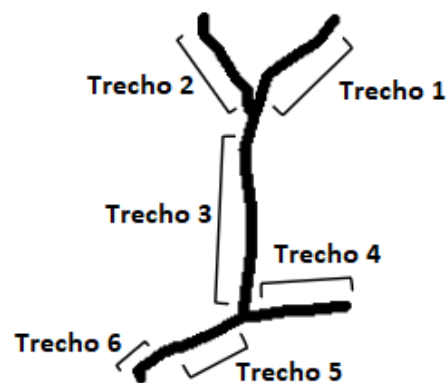
Fonte: Autoria Própria

#### 4.2.2 Resultados dos cenários propostos

Os resultados dos cenários foram apresentados através de mapas de concentração de carga poluidora através de uma escala de cores. O vermelho refere-se à situação mais crítica, seguido das cores amarela, verde, azul clara e por último, azul escura que indica a menor concentração de DBO e DQO. Assim, a representação gráfica permitiu uma visualização dos pontos mais críticos de poluição em um intervalo de tempo determinado. Os cenários propostos neste estudo e a comparação entre eles serão apresentados a seguir.

Para facilitar a discussão dos resultados dividiu-se o canal em trechos conforme apresentado na Figura 18. A denominação dos trechos do canal indicada na figura será utilizada na análise que segue.

Figura 18- Representação dos trechos do canal



Fonte: Autoria própria

##### 4.2.2.1 Cenário 1 – Situação Atual

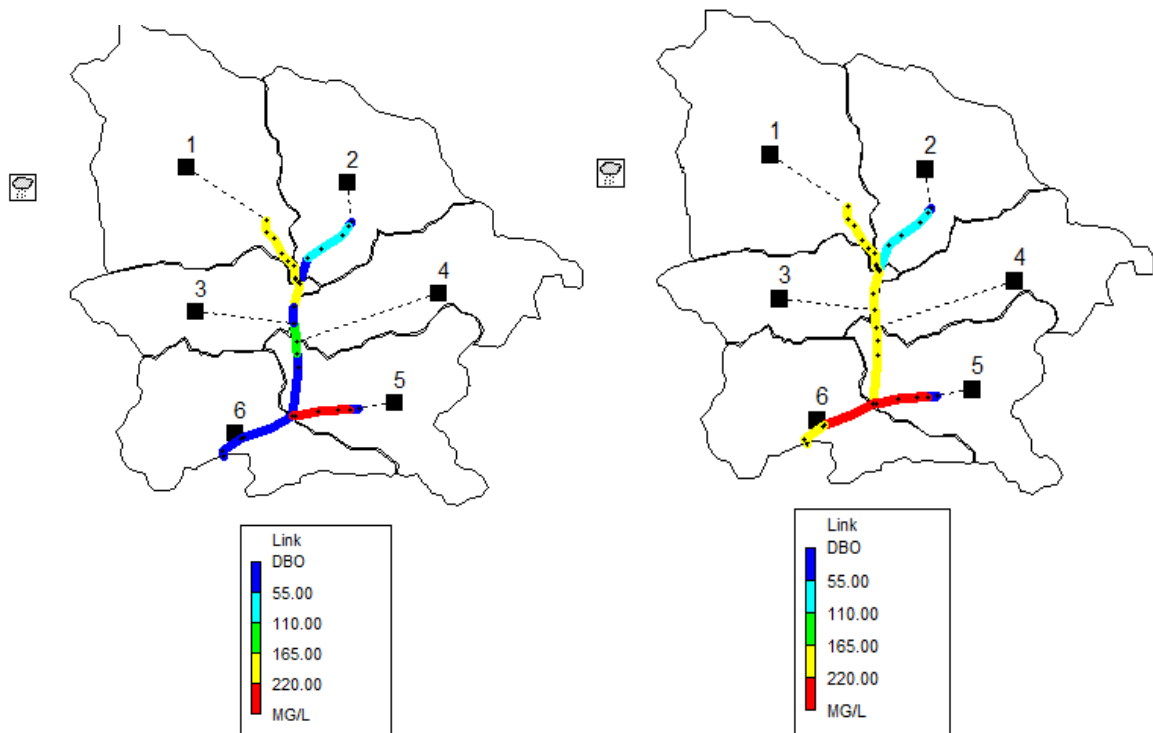
Inicialmente realizou-se a simulação do cenário atual considerando fluxo de tempo seco, ou seja, sem eventos de chuvas, somente a propagação das afluências. Dessa forma, a simulação do Cenário atual é apresentada na Figura 19 que expõem o comportamento da concentração de DBO em mg/l em duas situações diferentes, a primeira decorridos 15 minutos do início da simulação e a outra após 12 horas de simulação.

Analisando os mapas, observa-se que nos trechos logo após as entradas de esgoto, há uma alta concentração de DBO nos primeiros 15 min de simulação, correspondendo as contribuições com maior carga orgânica.

Após 12 horas de simulação, há uma mudança no comportamento dessa variável ao longo do canal devido a propagação dos fluxos e, por consequência, a mistura dos efluentes, resultando num aumento de concentração nos trechos 3 e 5.

Observa-se que ao fim da simulação, no trecho 6, a concentração é menor em relação ao trecho 5, isso ocorre pois a montante do trecho 6 encontra-se a Entrada H cuja concentração do DBO é menor, ocorrendo uma diluição desse poluente. Nesse trecho a concentração é de aproximadamente 195mg/l, típico de esgoto doméstico médio como classificado por Pessôa e Jordão (2011).

Figura 19 – Mapa do comportamento da concentração de DBO (Situação atual)  
a) Início da simulação (15min) b) Final da simulação (12horas)

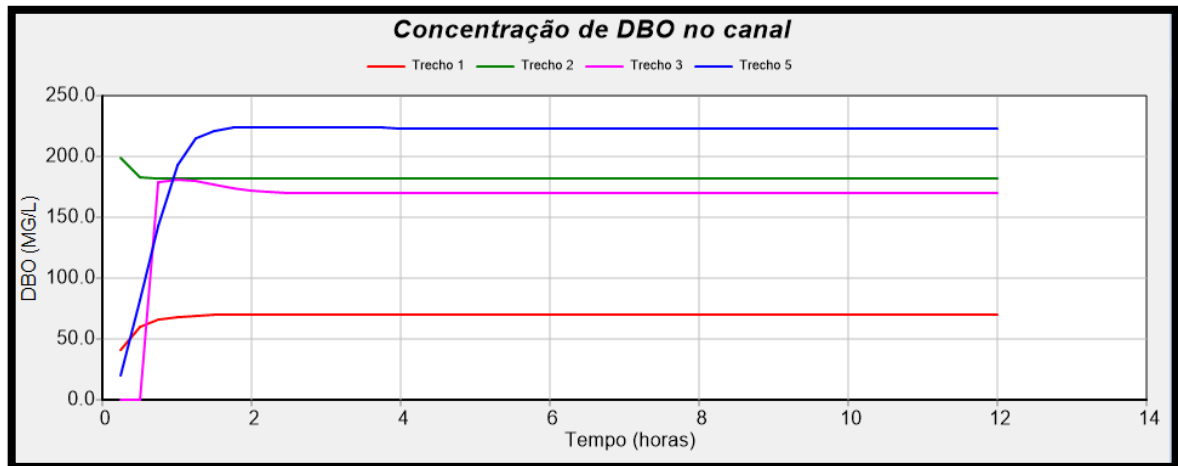


Fonte: Autoria Própria

O trecho 1 corresponde a parte do canal com menor concentração de DBO e DQO, com valores de 72,45mg/l e 190mg/l, respectivamente. Essa baixa concentração é explicada porque o fluxo, oriundo do extravasamento do açude, não apresenta características típicas de esgoto. Além disso, pode-se perceber que os pontos (Entrada E, F e G) com maior potencial poluidor se encontram no trecho 4. A concentração de DBO nesse local é de aproximadamente 400mg/l, valores já associados a esgoto doméstico forte, segundo Pessôa e Jordão (2011).

Observando também o comportamento da concentração do poluente ao longo do tempo, percebe-se que depois de aproximadamente 2 horas de simulação há uma estabilização dessa variável como mostrado no gráfico da Figura 20.

Figura 20 – Comportamento da concentração de DBO no canal



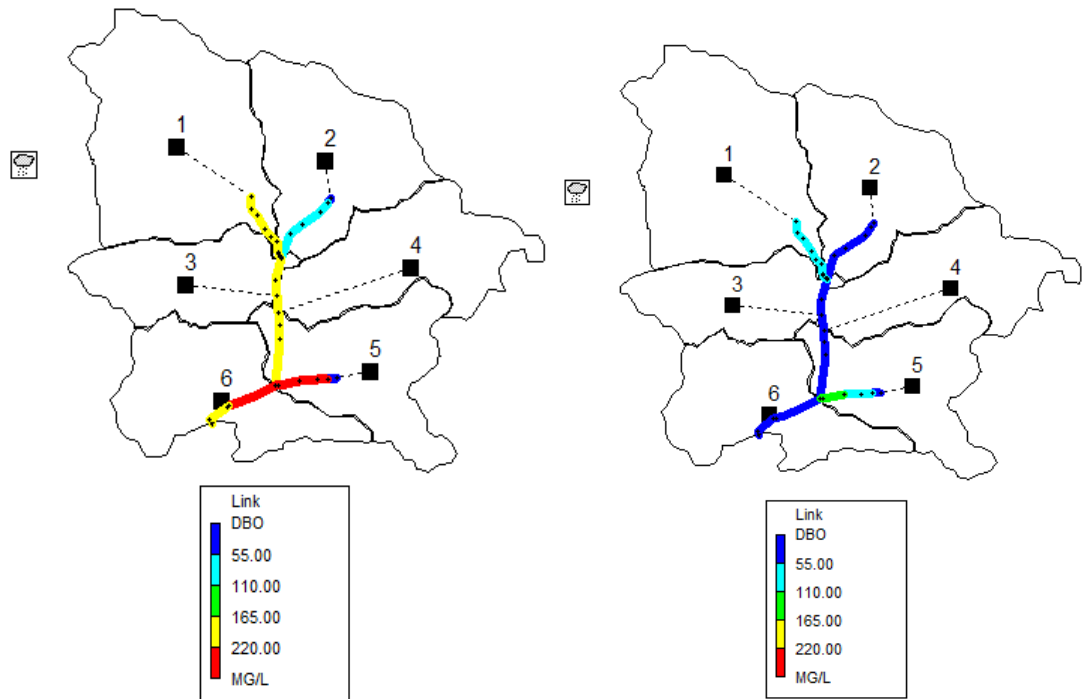
Fonte: Autoria Própria

O comportamento da concentração de DQO ocorre de forma similar ao observado para a DBO, ou seja, nos primeiros 15 minutos de simulação há uma maior concentração de DQO logo após as entradas de esgoto e, após 12 horas de simulação, há uma mudança de comportamento decorrente da propagação de fluxos e da mistura de efluentes com concentrações diferentes.

Os valores de concentração da DQO variaram de 190 mg/l a 785 mg/l por todo canal. Ao confrontar estes resultados com os valores descritos por Pessoa e Jordão (2011) de 200mg/L para esgoto fraco e 800mg/L para esgoto forte, é possível concluir que os valores encontrados estão dentro dessa intervalo, podendo ser classificado como esgoto doméstico.

Essas simulações representam situação atual sem a presença de chuva, ao adicionar o evento de precipitação ocorrido no dia 08/06/2018 desconsiderando a lavagem da superfície, notou-se uma diluição do efluente, que passou a apresentar baixas concentrações de matéria orgânica com concentrações de DBO variando de 16mg/L a 124mg/L. Na Figura 21 estão apresentados os mapas sem a presença de chuva (Figura 21a) e com a presença de chuva, ou seja, após a diluição (Figura 21b).

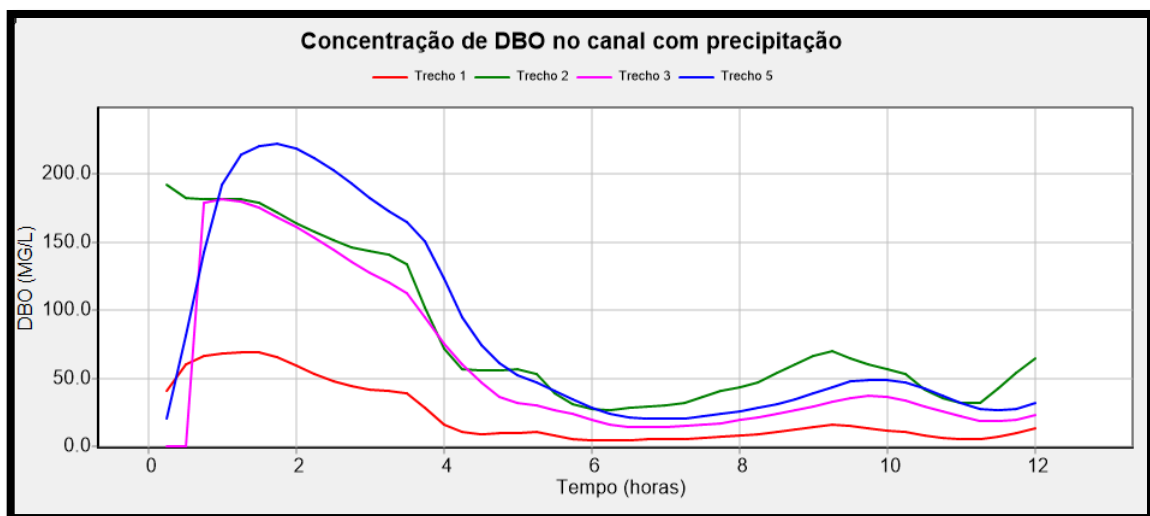
Figura 21 – Mapas de concentração de DBO para o Cenário atual  
a) Sem chuva b) Com chuva



Fonte: Autoria Própria

A Figura 22 ilustra a variação da concentração do DBO nos trechos 1, 2, 3 e 5 para o cenário atual com a presença da chuva variando com o tempo. É possível analisar que houve um decréscimo considerável na concentração do DBO, que é explicado pela diluição ocasionada pela chuva no trecho estudado. Nota-se, também, que justamente pela variação da intensidade da precipitação, houve variações na concentração do DBO no decorrer do trecho.

Figura 22 – Comportamento da concentração de DBO no canal (com chuva)

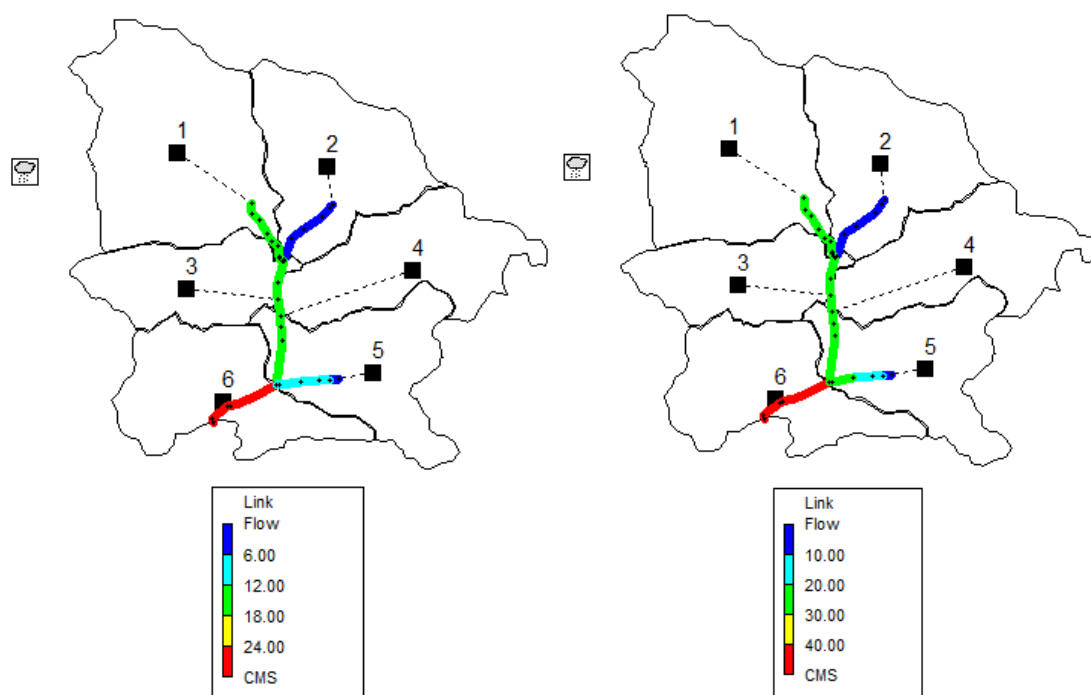


Fonte: Autoria Própria

O SWMM através da simulação da vazão, pode apresentar também o comportamento da Carga poluidora (CP) em g/s. Essa simulação ocorre multiplicando a vazão simulada por uma constante, que corresponde a concentração, obtendo assim a carga poluidora. Como a vazão apresenta um comportamento acumulativo que se assemelha ao comportamento da carga poluidora, pode-se assim realizar a simulação dessa variável em função da vazão.

A Figura 23 apresenta o comportamento da carga poluidora de DQO e DBO após 12 horas de simulação. Analisando os mapas, observa-se que a maior carga poluidora se encontra no exultório do sistema, trecho 6, como já é esperado, obtendo -se valores de aproximadamente de 30g DBO/s de CP e 50g DQO/s CP

Figura 23 – Mapa da carga poluidora depois de 12 horas de simulação (Situação atual)  
a) Carga poluidora de DBO b) Carga poluidora de DQO



Fonte: Autoria Própria

Segundo Von Sperling (1996) a relação entre os valores DQO e DBO varia de acordo com as características do esgoto, sendo que para águas residuais de origem doméstica, a relação de DQO/DBO varia de 1,7 a 2,4. Analisando a relação DQO/DBO do cenário estudado, foi obtido um valor médio de 2,1 que indica uma fração de matéria orgânica biodegradável elevada enquadrando as águas como esgoto doméstico.

Henriques (2014), analisou a mesma área de estudo e obteve resultados similares ao desta pesquisa, cujas concentrações de DBO e DQO apresentaram valores médios acima de 140

mg/L e 400 mg/L, respectivamente, com exceção do trecho 1 que em ambas pesquisas apresentou concentrações bem mais baixas.

Freire (2014), analisou a qualidade de água dos sistemas de drenagem de outra bacia urbana do mesmo município (Canal das Piabas), caracterizando-as como esgoto doméstico fraco, ou seja, comparando os resultados obtidos nesse estudo, o canal das piabas apresenta melhores condições em termos de matéria orgânica, já que o Canal do Prado está classificado como esgoto doméstico forte.

Ainda segundo Freire (2014) as altas concentrações encontradas nos canais de drenagem da cidade de Campina Grande estão acima de valores referentes à água de drenagem em outros países. Nos EUA com 20 mg/L de DBO e 115 mg/L de DQO e na Coreia com DBO5 de 83 mg/L e DQO de 197 mg/L.

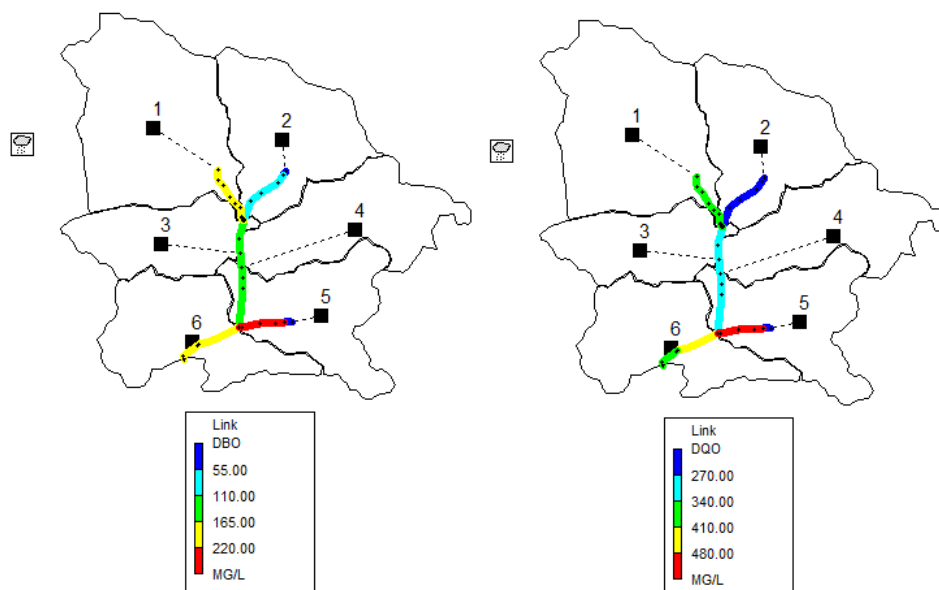
Pehovaz (2010) avaliou a qualidade de água de uma bacia urbana localizada na cidade de São Carlos- SP, encontrando valores de DBO e DQO na faixa de 2,8 a 8,0 mg/L e 8,9 mg/L a 14,0 mg/L, respectivamente, representando sistema bem menos poluído que o estudado.

#### 4.2.2.2 Cenário 2- Redução de 30% em todas as vazões

Neste cenário foi considerada a redução em 30% da vazão de todas as entradas. A Figura 24 apresenta o comportamento a concentração de DBO e DQO após 12 horas de simulação.

Figura 24 – Mapa da concentração de poluentes após 12 horas de simulação

a) Concentração e DBO b) Concentração de DQO



Fonte: Autoria Própria

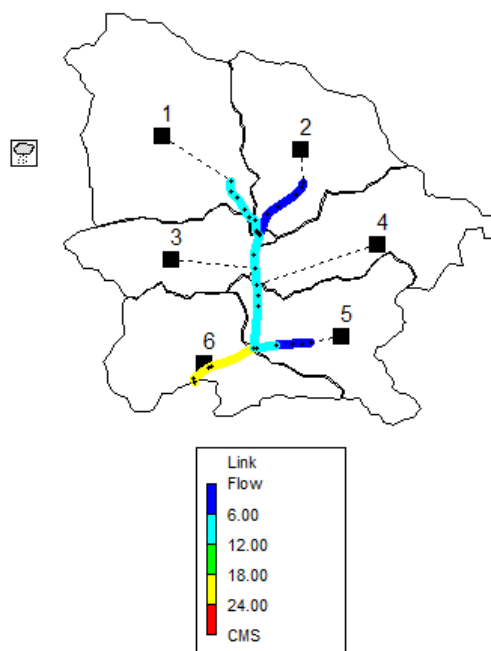


Comparando os resultados obtidos nesse cenário com o diagnóstico atual, observa-se que essa intervenção tem como resultado, uma diminuição da concentração de DBO de 6% no trecho 3 e 4% no trecho 5, e da concentração de DQO no trecho 3 de aproximadamente 5% e no trecho 5 de 4%, ou seja, não representa muita eficiência em relação a redução da concentração, pois ainda se percebe que os pontos críticos permanecem com valores muito altos.

Ao contrário do que se poderia esperar, a retirada de contribuições dispersas não é uma solução viável para ser usada pelo gestor, uma vez que o impacto ambiental resultante dessa ação é muito pequeno, tornando-se uma solução de baixa sustentabilidade. No gerenciamento da qualidade das águas de drenagem urbana, um importante aspecto a ser levando em consideração é a viabilidade ambiental das ações propostas e, neste caso, tal modificação não conduz a um resultado positivo.

Em relação ao comportamento da carga poluidora (Figura 25), comparando com o mapa do Cenário 1 (simulação evento seco), tem-se uma considerável redução de carga poluidora ao longo de toda a extensão do canal, como essa variável é em função da vazão, por consequência, obtém-se uma redução de aproximadamente 30% tanto para carga poluidora de DBO quanto para DQO, ambas apresentando comportamentos similares.

Figura 25 – Mapa da carga poluidora de DBO após 12 horas de simulação (Cenário 2)



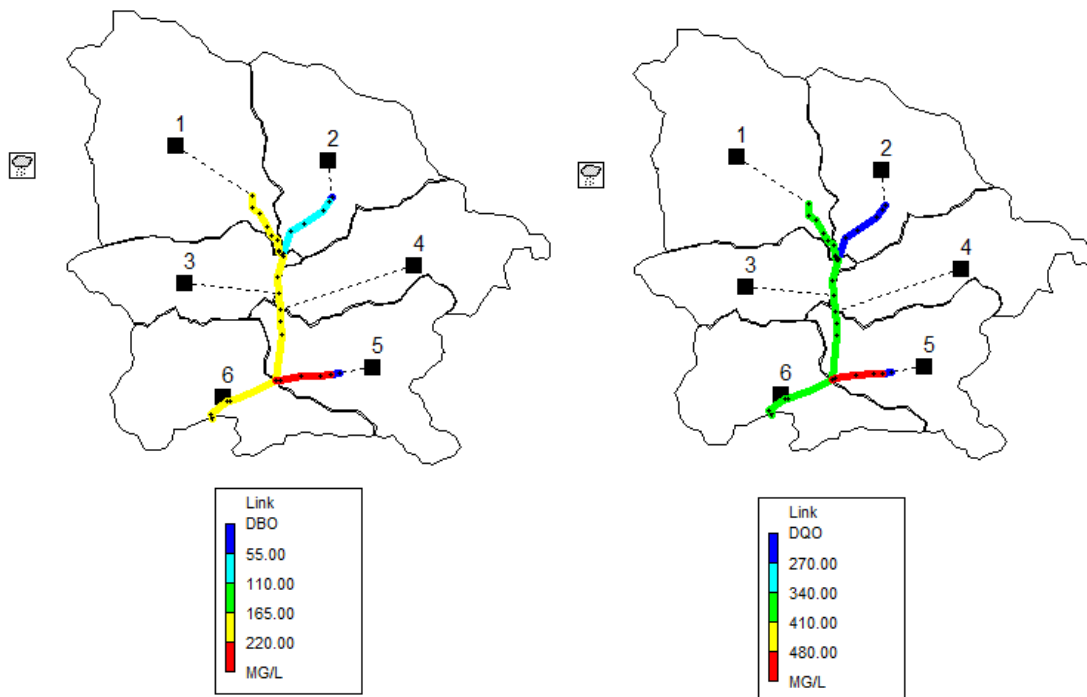
Fonte: Autoria Própria

#### 4.2.2.3 Cenário 3 – Retirada da entrada com maior concentração de DBO e DQO

Para a modelagem do Cenário 3 foi considerada a retirada da entrada de esgoto com maior concentração de DBO e DQO, entretanto, três entradas apresentaram essa maior concentração. Assim, foi escolhida a Entrada G por apresentar maior vazão e maior viabilidade de ser retirada, uma vez que possui apenas uma tubulação diferentemente da Entrada E que apresenta três tubulações. Essa entrada apresenta uma vazão de  $0,01327\text{m}^3/\text{s}$  o que corresponde a aproximadamente 9% da vazão total escoada, com concentrações de DBO de  $400\text{ mg/l}$  e DQO  $784,93\text{ mg/l}$ .

Comparando o resultado dessa simulação (Figura 26) com o resultado do Cenário 1 (simulação evento seco), observa-se que a retirada da contribuição da Entrada G influenciou mais significativamente as concentrações no trecho 6 obtendo-se uma redução de aproximadamente 10% na concentração de DBO e DQO.

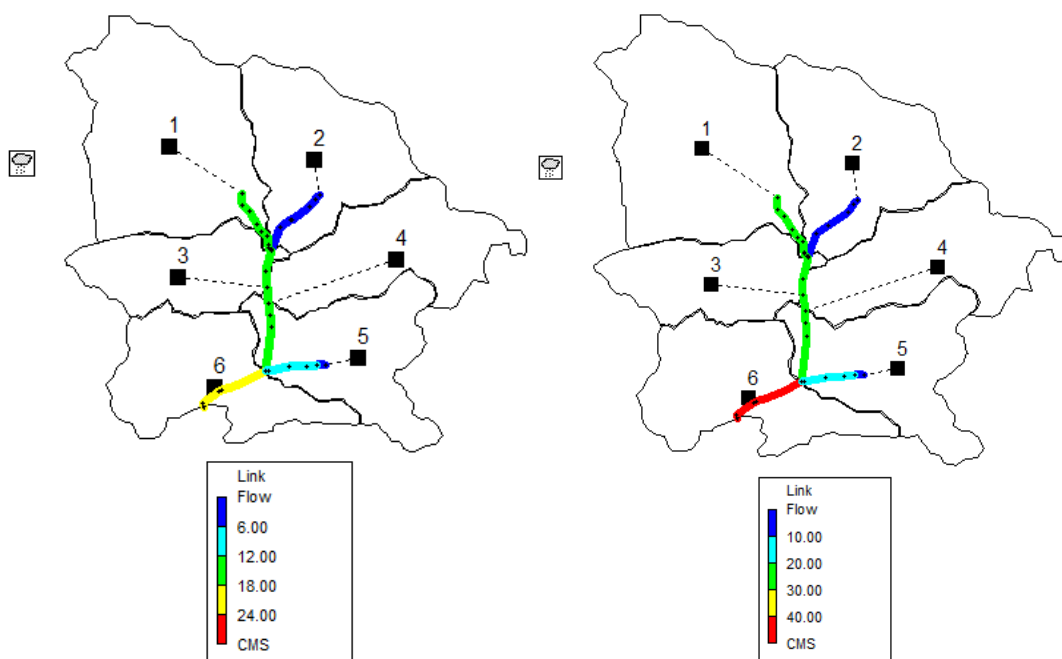
Figura 26- Mapa concentração após 12 horas de simulação (Cenário 3)  
a) Para DBO b) Para DQO



Fonte: Autoria Própria

Em termos de Carga Poluidora, os resultados são similares, conforme apresentado na Figura 27, o que se justifica pelo fato dessa entrada influenciar apenas na parte final do canal, representando uma redução no trecho 6 de aproximadamente 19% da Carga Poluidora de DBO e 13% na Carga Poluidora de DQO.

Figura 27- Mapa da carga poluidora após 12 horas de simulação (Cenário 3)  
a) Para DBO b) Para DQO



Fonte: Autoria Própria

Confrontando esse resultado com o Cenário 2 observa-se que em termos de concentração o Cenário 2 apresenta variação de concentração por todo canal, uma vez que se altera a vazão de todas as entradas e, por consequência, gera-se uma maior redução da carga poluidora tendo em vista que essa se comporta de forma cumulativa. Já no Cenário 3, é alterada apenas uma entrada, o que faz com que a resposta dessa mudança seja localizada a jusante dessa contribuição. Em termos de concentração localizada nos trechos 5 e 6, apresenta um melhor resultado, porém em termos de carga poluidora, quando comparado com o Cenário 2, não é tão eficaz.

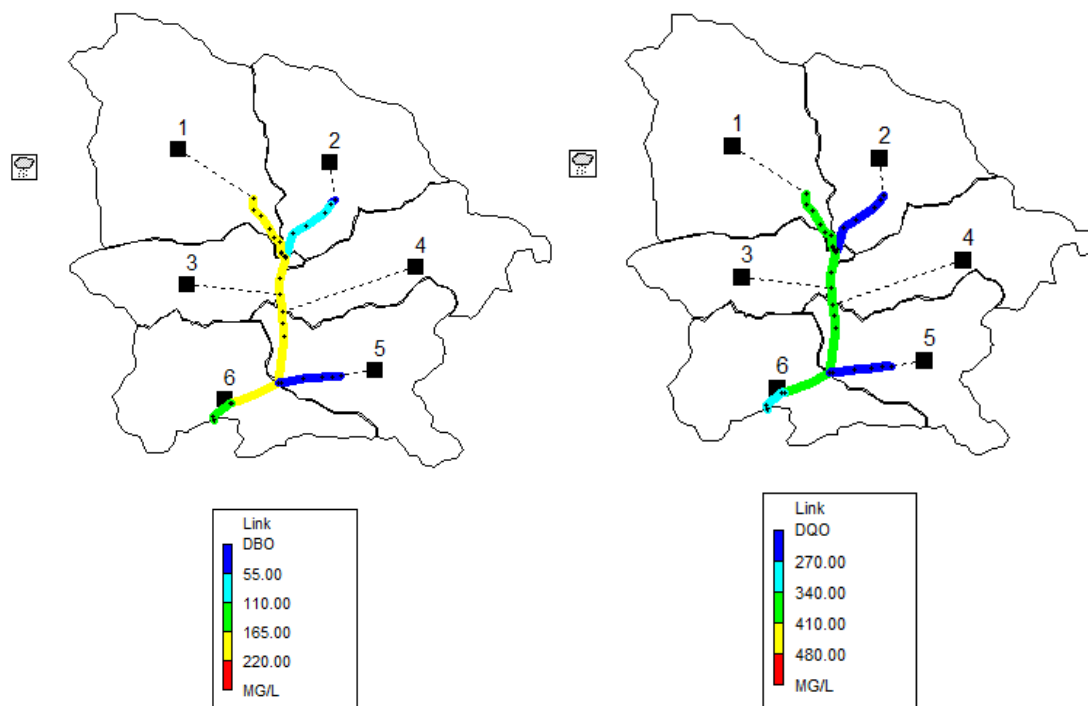
Por outro lado, retirar uma única contribuição de esgoto do canal é um procedimento mais simples e implica em ações, possivelmente, mais econômicas para a gestão pública. Além disso, os impactos são concentrados em apenas dois trechos mais significativos e poderão trazer uma melhoria da qualidade de vida da população residente nas proximidades dos trechos contemplados.

#### 4.2.2.4 Cenário 4 – Retiradas dos pontos críticos

Para a modelagem do Cenário 4 foram retiradas as vazões das Entradas E, F e G localizadas no trecho 4, que correspondem as contribuições mais críticas, tanto em termos de concentração de DBO e DQO, como de volume representando aproximadamente 20% da vazão

total escoada no canal. A Figura 28 apresenta os mapas de concentração de DBO e DQO para este cenário.

Figura 28– Mapa da concentração após 12 horas de simulação (Cenário 4)  
a) Para DBO b) Para DQO



Fonte: Autoria Própria

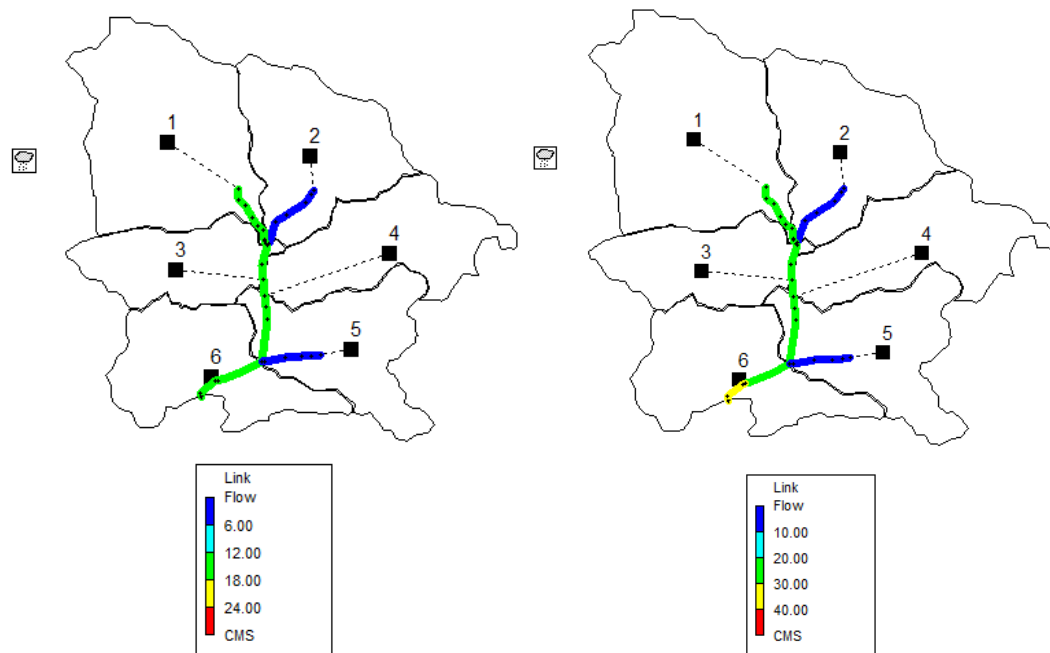
Avaliando os mapas e comparando com o Cenário 1 (simulação evento seco), constata-se que de fato, essas entradas são as mais relevantes, apresentando com suas retiradas, mudanças significativas a jusante dessas contribuições. Em relação a concentração de DBO houve uma redução de 24% no trecho 5 e 20% no trecho 6, já a concentração de DQO, houve redução de 23% no trecho 5 e 24% no trecho 6.

Em termos de melhoria na qualidade da água do canal, este cenário foi o que apresentou resultados mais promissores.

Na Figura 29 é apresentado o comportamento da Carga poluidora para o Cenário 4. Para esta variável, comparando os resultados com o cenário 1 (simulação evento seco), observa-se também reduções de aproximadamente 42% da CP de DBO no trecho 5 e 40% no trecho 6, para a CP de DQO de 40% no trecho 5 e 37% no trecho 6.

Figura 29 – Mapa da Carga Poluidora após 12 horas de simulação (Cenário 4)

a) Para DBO b) Para DQO



Fonte: Autoria Própria

Contrapondo este cenário com os Cenários 2 e 3, percebe-se que tanto em relação à concentração quanto em relação à carga poluidora este se apresenta como a melhor intervenção, apesar de ser uma interferência localizada e não no canal como um todo.

Na prática, para a aplicação do Cenário 2, seriam necessárias medidas não estruturais de gestão com foco na diminuição da produção de esgoto doméstico por parte da população que contribui para essa poluição.

Para o Cenário 3, cuja intervenção consiste na retirada da Entrada G, seria necessário, além de um estudo prévio para localizar as casas que contribuem para esse despejo, medidas estruturais de realocação dessa tubulação no sistema de esgotamento sanitário.

O Cenário 4, assim como o Cenário 3, requer medidas estruturais de realocação das entradas, entretanto, como apresenta uma abrangência maior, contendo três entradas de esgoto, apresenta maiores dificuldades, tanto por questões financeiras como pela própria questão construtiva. Em contrapartida, avaliado o aspecto ambiental, essa alternativa sem dúvida traz melhores resultados em relação aos demais cenários avaliados.

Após as visitas *in loco*, pode-se constatar que o problema de poluição no canal se deve, principalmente, a ausência de gestão tanto das águas pluviais urbanas como do sistema de esgotamento sanitário.

Apesar da existência do sistema separador absoluto e das legislações sobre o tema, muitos esgotos ainda desaguam em redes e galerias pluviais da cidade. Outra questão relevante e de grande impacto na qualidade das águas de drenagem do sistema estudado é a frequente disposição de lixo no interior do canal, já discutida anteriormente.

Infelizmente, tanto o despejo de esgotos clandestinos quanto a presença de resíduos sólidos em canais pluviais não são uma realidade vivenciada apenas em Campina Grande, mas também em diversas cidades e regiões metropolitanas do Brasil.

Neste sentido, o uso de modelos matemáticos que preveem o comportamento de cargas poluidoras é de grande valia para auxiliar os gestores na difícil tarefa de tomada de decisão, que na grande maioria das vezes, requer avaliação da viabilidade técnica, ambiental, econômica e social. A modelagem utilizada neste estudo mostrou-se eficiente e apresentou respostas coerentes com relação ao esperado na prática.

## 5 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Diante dos resultados obtidos e considerando os objetivos específicos apresentados no início desse estudo conclui-se que:

- Por meio das visitas em campo observou-se a existência de diversas contribuições de esgoto sanitário lançadas diariamente na rede de drenagem pluvial sem nenhum tratamento prévio. Dessa forma, foi realizado o mapeamento dessas contribuições, apresentando as localizações das principais entradas de esgoto, bem como as medições das vazões que são lançadas.
- A partir das análises de água feitas nos dias sem precipitação, constata-se que, segundo as resoluções do CONAMA, as águas que escoam pelo canal possuem alto teor de matéria orgânica representado pelos elevados valores de concentração de DBO e DQO. A ocorrência de altos valores destes parâmetros causa uma diminuição dos valores de oxigênio dissolvido na água, o que podem provocar mortes de peixes e eliminação de outros organismos aquáticos, além da ocorrência de odores, gerando desconforto a população residente nas proximidades do canal.
- A simulação considerando precipitação mostrou que, desconsiderando a lavagem superficial, a chuva melhora significativamente a qualidade de água do sistema de drenagem, diluindo os poluentes presentes no tempo seco;
- As simulações dos cenários de intervenção foram realizadas utilizando dados de tempo seco, ou seja, sem precipitação, já expondo a ineficiência do sistema separador absoluto uma vez que só deveria conter águas pluviais. Ou seja, as simulações nestes cenários foram realizadas somente com contribuições de esgoto clandestinas.
- A partir das estimativas de vazão e das concentrações de DBO e DQO foi realizada a simulação da situação atual do comportamento dessas variáveis considerando tempo seco. Observando inicialmente que nos primeiros minutos de simulação, há picos de concentração logo após as respectivas entradas de esgoto. No decorrer da simulação observa-se a diluição de alguns poluentes devido a própria propagação do fluxo e a mistura de efluentes com concentrações menores, bem como também há aumentos de concentrações devido a mistura de efluentes com maiores concentrações.
- Comparando o cenário da situação atual com os cenários propostos, observa-se que retirando as contribuições que apresentam maior potencial poluidor, representados pelas Entradas E, F e G tem-se uma melhor resposta em relação a diminuição da concentração e da carga poluidora final. Apesar de necessitar de maiores investimentos por parte dos

gestores, esta alternativa apresenta uma redução de aproximadamente 40% da carga poluidora, representando grande melhoria na qualidade de água que será lançada no canal natural.

Para dar continuidade a linha de pesquisa, recomenda-se:

- Considerar outros indicadores de qualidade de água;
- Aumentar a área de estudo de forma a abranger toda o Canal do Prado;
- Realizar análise de água de todas as entradas de esgoto;
- Realizar simulações considerando variação horária da vazão.



## 6 REFERÊNCIAS

- 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.
- APRÍGIO, P.O. **Avaliação de Modelos de Simulação de Cargas Difusas em Bacias Urbanas**. Dissertação (Mestrado em Hidráulica e Saneamento), Escola de Engenharia de São Carlos - Universidade de São Paulo, São Carlos, São Paulo, 2012.
- BARROS, J. de S. **Distribuição de indicadores de contaminação fecal em águas de drenagem urbana - estudo de caso: Canal do Prado, Campina Grande - PB**. 44f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental) - Universidade Estadual da Paraíba, Campina Grande, 2015.
- BARROS, A. M. de L. **Modelagem da poluição pontual e difusa: aplicação do modelo Moneris à Bacia hidrográfica do rio Ipojuca**. 193f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, 2008.
- BOLDRIN, R. S. (2005). **Avaliação de cenários de inundações urbanas a partir de medidas não-estruturais de controle: Trecho da bacia do Córrego do Gregório, São Carlos – SP**. Dissertação (Mestrado)- Escola de engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2005.
- BRASIL. Fundação Nacional de Saúde. **Manual de saneamento**. ed. 3. rev. Brasília. Fundação Nacional de Saúde. 408 p. 2006.
- BRASIL. **Lei Federal nº 11.445**, de 5 de janeiro de 2007. Estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico, Brasília.
- CAMINHA, M. J. **Degradação da qualidade de água do sistema de drenagem de sub-bacias urbanas de Campina Grande- Paraíba**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) – Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2014.
- CETESB – COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL. **Apêndice E- Significado ambiental e sanitário das variáveis de qualidade**. São Paulo. 2017.
- CHAMUN, C. C. **Avaliação da poluição difusa de esgoto doméstico veiculado à bacia hidrográfica urbana**. 155 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Maria, Rio Grande do Sul, 2008.

CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente, Resolução nº 357. Brasília, 17 de Março de 2005.

CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente, Resolução nº 430. Brasília, 13 de Maio de 2011.

COSTA, M. E.L. (2013) **Monitoramento e modelagem das águas de drenagem urbana na bacia do lago Paranoá**. Dissertação Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos, Publicação PTARH.DM-148/2013, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 179p.

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.

FEAM. FUNDAÇÃO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. **Orientações básicas para drenagem urbana**. Belo Horizonte: Fundação do Meio Ambiente, 2006.

FERREIRA, L.C. de A. **Variação da qualidade da água do escoamento superficial de duas bacias de drenagem de Natal/RN – Brasil**. 2008. 119 f.

FREIRE, J. R. P. **Análise do sistema separador absoluto no âmbito da drenagem pluvial da cidade de Campina Grande - Estudo de caso do Canal das Piabas**. 2014. 91 p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande. 2014.

GOOGLE EARTH (2018) Disponível em <<https://www.google.com/maps>> Acesso em: 25 novembro 2018.

HENRIQUES, J. A. **Distribuição da contaminação fecal em águas de drenagem afluentes do canal do prado, Campina Grande-PB**. 2014 Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) - Universidade Federal de Campina Grande. Campina Grande- PB, 2014.

IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística). Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pb/campina-grande/panorama>>. Acesso em: 16 de Outubro de 2018.

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

MCCUEN, R. et al. (1996), *Hidrology*, FHWA-SA-96-067, Federal Highway Administration, Washington, DC.

MIGUEZ, M. G.; VERÓL, A. P.; REZENDE, O. M. 2016. **Drenagem Urbana: Do Projeto Tradicional À Sustentabilidade**. 1ªed. Rio de Janeiro: Elsevier. 366p.

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.

PEHOVAZ, R. P. A. **Avaliação experimental e teórica da qualidade da água das bacias urbanas com base na ecoidrologia**. 2010. 218p. Dissertação (Mestrado). Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo, São Carlos, 2010.

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

RIGHETTO, A.M.; MOREIRA, L.F.F.; SALES, T.E.A. **Manejo de Águas Pluviais Urbanas. In: Manejo de Águas Pluviais Urbanas/ Antonio Marozzi Righetto (coordenador)**. Rio de Janeiro: ABES, 2009.

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

SANTOS, D. C. **Sanemaento para gestão integradadas águas urbana**. 1. Ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2016.

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

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.

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.

SOUZA, F.P. **Monitoramento e modelagem hidrológica da sub-bacia do Lago Paranoá - Brasília/DF - e avaliação de bacias de detenção**. Dissertação de Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos, Publicação PTARH.DM-165/2014, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 139, 2014.

TUCCI, Carlos E. **Drenagem urbana**. E artigo. São Paulo: Cienc. Cult. vol.55 no.4 São Paulo Oct./Dec. 2003.

TUCCI, C.E.M. **Inundações e Drenagem Urbana**. In: TUCCI, C.E.M. & BERTONI, J.C. Inundações Urbanas na América do Sul. Associação Brasileira de Recursos Hídricos, Porto Alegre, 1.ed. 2003.

TUCCI, C. E.M. **Gestão de Águas Pluviais Urbanas**. Brasília: Ministério das Cidades, Global Water Partnership, World Bank, Unesco, 2005.

TSUTIYA, M. T. & BUENO, R. C. R., **Contribuição de águas pluviais em sistemas de esgoto no Brasil**. Agua latinoamérica, v. 4, nº 4. Julho e Agosto de 2004.

TSUYUGUCHI, B. B. “**Macro drenagem e a ocupação do solo no município de Campina Grande – PB, caracterização, simulação e análises sistêmicas**”. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Campina Grande, 2015.

VON SPERLING, M. (2005). **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. 452 p. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental; UFMG, Belo Horizonte- MG.

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.

ZAFFANI, A. G. **Poluição difusa da drenagem urbana com base ecohidráulica: Diagnóstico atual e cenários de longo prazo em bacias urbanas de São Carlos -SP**. Dissertação de Mestrado - Departamento de Hidráulica e Saneamento - Universidade de São Paulo, São Carlos, 2012.