



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE - UFCG**  
**CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS CTRN**  
**UNIDADE ACADÊMICA DE ENGENHARIA CIVIL - UAEC**

**LUCAS EDUARDO PINHEIRO PONTES**

**MONITORAMENTO DA POLUIÇÃO DIFUSA NO CANAL DAS PIABAS,**  
**CAMPINA GRANDE – PB.**

**CAMPINA GRANDE-PB**  
**NOVEMBRO DE 2019**

LUCAS EDUARDO PINHEIRO PONTES

**MONITORAMENTO DA POLUIÇÃO DIFUSA NO CANAL DAS PIABAS,  
CAMPINA GRANDE-PB**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à  
Universidade Federal de Campina Grande –  
UFCG, para encerramento do componente  
curricular e conclusão da graduação em  
Engenharia Civil.

**Orientadores: Profa. Dra. Mônica de Amorim Coura  
Eng. Lorena Rayssa Cunha França**

**CAMPINA GRANDE-PB  
NOVEMBRO DE 2019**

LUCAS EDUARDO PINHEIRO PONTES

MONITORAMENTO DA POLUIÇÃO DIFUSA NO CANAL DAS PIABAS, CAMPINA  
GRANDE-PB

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à  
Universidade Federal de Campina Grande –  
UFCG, para encerramento do componente  
curricular e conclusão da graduação em  
Engenharia Civil.

Aprovado em: \_\_\_\_ de \_\_\_\_\_ de 2019.

**BANCA EXAMINADORA**

\_\_\_\_\_  
**Dra. Mônica de Amorim Coura**  
(Orientadora) **Nota: \_\_\_\_\_**

\_\_\_\_\_  
**Eng. Lorena Rayssa Cunha França**  
(Co-Orientadora) **Nota: \_\_\_\_\_**

\_\_\_\_\_  
**Dra. Andréa Carla Lima Rodrigues**  
(1º Examinador) **Nota: \_\_\_\_\_**

\_\_\_\_\_  
**Eng. Sinara Martins Camelo**  
(2º Examinador) **Nota: \_\_\_\_\_**

## **AGRADECIMENTOS**

A DEUS, por toda força e graça dada a mim para poder chegar até aqui.

Aos meus pais, FERNANDA MARIA LIMEIRA PINHEIRO e JOÃO BOSCO PONTES DE SOUZA, por todo amor, incentivo, investimento, abdicção e dedicação que me proporcionaram para que todos os meus sonhos fossem realizados, sem eles eu nunca chegaria até aqui.

A minha namorada JÉSSICA, pelo amor, paciência e todo apoio dado em todos os meus momentos de desespero e de vontade de desistir.

Aos meus amigos e irmãos de caminhada, GABRIEL, WEVERTON E GUILHERME, que do início ao fim estiveram comigo, mostrando companheirismo em todas as etapas.

À minha orientadora MÔNICA DE AMORIM COURA, pela orientação, ensinamentos, conselhos e disposição no desenvolvimento desse trabalho.

À minha coorientadora LORENA RAYSSA CUNHA FRANÇA, que sem toda ajuda, empenho, ensinamento, disposição e comprometimento dados, eu não conseguiria concluir essa pesquisa.

Ao Laboratório de Saneamento e todos os seus funcionários, pela disposição e auxílio nas atividades laboratoriais

A Prefeitura Universitária e ao setor de transportes da UFCG, por promover o deslocamento até os pontos de coleta durante o período de desenvolvimento do trabalho

Por fim, a todos meus familiares, amigos e colegas que, direta ou indiretamente, contribuíram para que eu chegasse ao fim dessa caminhada.

## RESUMO

O acelerado e desordenado processo de urbanização que vem ocorrendo nas últimas décadas tem acarretado graves impactos na saúde da população e do meio ambiente. A falta de gerenciamento e deficiência dos serviços de saneamento básico nos centros urbanos geram uma poluição que degrada a qualidade da água nos corpos hídricos. Com a ocorrência de chuvas, é provocada uma lavagem superficial que carrega poluentes depositados na superfície até os sistemas de drenagem urbana; a poluição se agrava com a ocorrência de ligações clandestinas de esgoto doméstico nesses sistemas. Os sistemas de drenagem transportam essas águas poluídas até os mananciais ocasionando a degradação dos mesmos. O objetivo desse trabalho é avaliar a poluição difusa, em termos de matéria orgânica, no sistema de drenagem do Canal das Piabas localizado na cidade de Campina Grande-PB. Tal pesquisa, se caracterizou como um estudo de caso, tendo seguido algumas etapas para sua operacionalização; a princípio foi delimitada a área de estudo que consiste na fração do leito do canal com recobrimento artificial; esta área abrange as sub-bacias C3, C4, C5, C6, C7 e C8 da Bacia Hidrográfica Riacho das Piabas, segundo a divisão feita por Tsuyuguchi (2015); em seguida foram realizadas visitas *in loco* para reconhecimento e caracterização estrutural do sistema de drenagem, mapeando as entradas de esgoto e os locais onde foram realizadas as coletas de amostra e medição de vazão. Com as amostras coletadas semanalmente, foram realizadas as análises laboratoriais para determinação das concentrações de Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) e Demanda Química de Oxigênio (DQO). As análises foram executadas por alunos do Programa de Pós-Graduação de Engenharia Civil e Ambiental – PPGECA, no Laboratório de Saneamento da Universidade Federal de Campina Grande. Com todos os dados necessários em posse, foi feito uso do modelo *Storm Water Management Model* – SWMM para realizar a modelagem do canal e assim simular cenários propostos com intuito de diminuir as concentrações de poluentes no corpo hídrico. Na análise dos resultados, foi possível constatar: A concentração de matéria orgânica na água; a ineficácia do sistema separador absoluto; perceber as entradas de esgoto com maior potencial poluente, e obter com isso a mudança no comportamento das concentrações das cargas poluidoras e classificar a água que escoou no canal.

Palavras-chave: Qualidade de água. DBO. DQO. Modelagem matemática. SWMM.

## **ABSTRACT**

The accelerated and disordered process of urbanization that has been taking place in recent decades has had serious impacts on the health of the population and the environment. The lack of management and deficiency of basic sanitation services in urban centers generates pollution that degrades water quality in water bodies. When rains occur, a surface wash is carried which carries surface pollutants to the urban drainage systems; Pollution is aggravated by the occurrence of clandestine domestic sewage connections in these systems. The drainage systems carry these polluted waters to the springs causing their degradation. The objective of this work is to evaluate the diffuse pollution, in terms of organic matter, in the drainage system of the Piabas Canal located in the city of Campina Grande-PB. Such research was characterized as a case study, having followed some steps for its operationalization; At first, the study area was defined as the fraction of the artificially coated canal bed; this area covers the C3, C4, C5, C6, C7 and C8 sub-basins of the Riacho das Piabas Basin, according to the division made by Tsuyuguchi (2015); Next, site visits were carried out for the recognition and structural characterization of the drainage system, mapping the sewage inlets and the places where the sample collections and flow measurement were performed. With the samples collected weekly, laboratory analyzes were performed to determine the Biochemical Oxygen Demand (BOD) and Chemical Oxygen Demand (COD) concentrations. The analyzes were performed by students from the Graduate Program of Civil and Environmental Engineering - PPGECA, at the Sanitation Laboratory of the Federal University of Campina Grande. With all the necessary data in possession, the Storm Water Management Model (SWMM) was used to model the channel and thus simulate proposed scenarios in order to decrease the pollutant concentrations in the water body. In the analysis of the results, it was possible to verify: The concentration of organic matter in the water; the ineffectiveness of the absolute separator system; to understand the sewage inlets with the highest pollutant potential, and to obtain the change in the behavior of the pollutant load concentrations and to classify the water flowing into the channel.

**Keywords:** Water quality. BOD. COD. Mathematical modeling. SWMM.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Esquema do sistema separador absoluto .....	12
Figura 2: Poluição pontual e difusa da água .....	14
Figura 3: Fluxograma das etapas metodológicas da pesquisa .....	17
Figura 4: Localização bacia hidrográfica do Rio Paraíba.....	18
Figura 5: Riacho das Piabas e as bacias urbanas do município de Campina Grande .....	19
Figura 6: Mapa da localização dos pontos de coleta de água .....	21
Figura 7: Imagens <i>in loco</i> dos pontos de coleta.....	21
Figura 8: Medição de vazão no canal .....	23
Figura 9: Entradas de esgoto que contribuem na vazão do canal .....	24
Figura 10: Método de determinação da vazão das entradas de esgoto .....	24
Figura 11: Divisão das sub-bacias da Bacia das Piabas.....	25
Figura 12: Respresentação da área de estudo no SWMM .....	26
Figura 13: Fluxograma dos cenários avaliados .....	31
Figura 14: Acúmulo de resíduos sólidos no Canal das Piabas .....	32
Figura 15: Resultado dos erros de continuidade na simulação.....	34
Figura 16: Escala de cores para concentração de cargas .....	34
Figura 17: Representação dos pontos do canal.....	35
Figura 18: Representação dos trechos do canal.....	35
Figura 19: Mapa do comportamento da concentração de DBO (situação atual).....	36
Figura 20: Mapa do comportamento da concentração de DQO (situação atual).....	37
Figura 21: Mapas de concentração de DBO para o cenário atual.....	39
Figura 22: Mapas de concentração de DQO para o cenário atual .....	40
Figura 23: Mapa da concentração de poluentes após 12 horas de simulação (cenário 2) .....	42
Figura 24: Mapa da concentração de poluentes após 12 horas de simulação (cenário 3) .....	44
Figura 25: Mapa da concentração de poluentes após 12 horas de simulação (cenário 4) .....	46
Figura 26: Trecho natural do Canal das Piabas .....	47

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Impactos da urbanização sobre uma bacia hidrográfica .....	11
Quadro 2: Descrição dos pontos amostrais utilizados na pesquisa.....	20
Quadro 3: Métodos analíticos empregados na determinação das variáveis analisadas .....	22
Quadro 4: Características e localização dos pontos de medição de vazão .....	22
Quadro 5: Características e localização das entradas de esgoto no canal.....	23
Quadro 6: Parâmetros de caracterização dos condutos.....	26
Quadro 7: Parâmetros dos nós .....	27
Quadro 8: Precipitação horária do evento em tempo seco (mm/h) .....	29
Quadro 9: Precipitação horária do evento em tempo chuvoso (mm/h) .....	29
Quadro 10: Vazões medidas nos pontos de entrada esgoto .....	32
Quadro 11: Resultados dos indicadores de poluição antes da calibração .....	33
Quadro 12: Resultados dos indicadores de poluição após a calibração.....	34

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ACE	<i>Army Corps of Engineers</i>
CAD	<i>Computer Aided Design</i>
DBO	Demanda Bioquímica de Oxigênio
DBO <sub>5</sub>	Demanda Bioquímica de Oxigênio de 5 dias
DQO	Demanda Química de Oxigênio
EPA	<i>Environmental Protection Agency</i>
HSPF	<i>Hydrological Simulation Program</i>
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
SIG	Sistema de Informação Geográfica
SWMM	<i>Storm Water Management Model</i>
USEPA	<i>United States Environmental Protection Agency</i>

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	8
<b>2. OBJETIVOS</b> .....	9
2.1. GERAL.....	9
2.1.1. Específicos.....	9
<b>3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	10
3.1. URBANIZAÇÃO E SEU IMPACTOS.....	10
3.2. DRENAGEM URBANA .....	11
3.3. FONTES DE POLUIÇÃO NOS SISTEMAS DE DRENAGEM URBANA .....	13
3.4. INDICADORES DE POLUIÇÃO DAS ÁGUAS PLUVIAIS .....	14
3.5. MODELAGEM MATEMÁTICA COM USO DO <i>STORM WATER MANAGEMENT MODEL</i> (SWMM).....	15
3.5.1. SWMM .....	16
<b>4. METODOLOGIA</b> .....	17
4.1. DELIMITAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO .....	17
4.1.1. O Canal das Piabas .....	19
4.2. MONITORAMENTO .....	20
4.2.1. Pontos de Coleta e Análise .....	20
4.2.3. Monitoramento de Qualidade .....	22
4.2.4. Monitoramento das Vazões .....	22
4.2.5. Dados de Precipitação .....	24
4.3. MODELAGEM .....	24
4.3.1. Sub-bacias.....	25
4.3.2. Condutos.....	26
4.3.3. Nós.....	27
4.3.4. Modelo de Transporte Hidráulico .....	28
4.3.5. Dados Hidrológicos .....	28
4.3.6. Calibração do modelo.....	30

4.3.7.	Validação dos parâmetros de qualidade .....	30
4.4.	CENÁRIOS PROPOSTOS .....	30
<b>5.</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>31</b>
5.1.	DIAGNÓSTICO DO SISTEMA DE DRENAGEM URBANA PLUVIAL.....	31
5.1.1.	Aspectos gerais .....	31
5.1.2.	Análise das vazões nas entradas de esgoto do canal .....	32
5.2.	RESULTADOS DA MODELAGEM MATEMÁTICA .....	33
5.2.1.	Calibração .....	33
5.2.2.	Resultados dos cenários propostos .....	34
<b>6.</b>	<b>CONCLUSÕES.....</b>	<b>49</b>
<b>7.</b>	<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>50</b>

## 1. INTRODUÇÃO

O desenvolvimento industrial e o crescimento populacional resultam em um processo de urbanização desordenado. A ocupação de áreas sujeitas a inundação, impermeabilizando e canalizando cursos d'água, e removendo a cobertura vegetal natural, afeta diretamente o processo de enchentes, que junto a exploração dos recursos naturais aceleram a degradação ambiental.

O aumento na concentração populacional é ligado diretamente a maior produção de resíduos, que associado a serviços precários do saneamento, contribui diretamente para a evolução da poluição ambiental e, conseqüentemente, para a deterioração da qualidade das águas dos corpos receptores.

O despejo irregular de efluentes domésticos na rede de drenagem das cidades é uma realidade em todo o Brasil. Esta prática resulta na contaminação das águas nas galerias, e, juntamente com as deficiências no saneamento básico, atinge diretamente a saúde da população.

Os agentes poluidores atingem os corpos d'água de forma pontual ou difusa, sendo a forma pontual concentrada, com a descarga de efluentes sendo lançada em um ponto específico do corpo hídrico, e a difusa sendo lançada de forma distribuída ao longo da extensão do corpo d'água. Especialmente nas áreas urbanas, a poluição se torna mais significativa à medida do quanto maior for a deficiência da coleta de esgotos e da limpeza pública (SPERLING, 1995).

Conhecer as alterações no uso e ocupação do solo e a interferência da urbanização nos hidrogramas de cheia é de suma importância para se poder elaborar diretrizes que guiem um desenvolvimento sustentável de uma bacia hidrográfica.

A importância de se estudar as bacias hidrográficas urbanas vem sendo cada vez mais notada nos últimos anos, o que justifica a relevância do estudo aqui apresentado. Para minimizar os diversos problemas causados pelo crescimento acelerado e desordenado das cidades brasileiras, vem se tornando cada vez mais necessário o desenvolvimento de novas técnicas para o entendimento dos processos de escoamento pluvial para o planejamento sustentável das bacias urbanas.

A utilização de modelos matemáticos para prever cenários que necessitem intervenção é capaz de identificar pontos críticos atingidos pela poluição, onde se encontram os maiores riscos à população, sendo possível ser utilizado como auxílio para a gestão pública tomar decisões sobre essas adversidades.

A cidade de Campina Grande fica localizada no interior da Paraíba, a cerca de 120 quilômetros de distância da capital João Pessoa, é uma cidade de médio porte com problemas

explícitos no seu saneamento básico, mesmo estando acima da média nacional com cerca de 90% da população sendo atendida por rede de esgotamento sanitário e 100% por rede de abastecimento de água potável. É possível, encontrar diversos problemas no saneamento básico pela cidade, apresentando casos de disposição de resíduos sólidos em terrenos baldios, vias públicas e canais de drenagem. Além disso várias localidades apresentam redes de esgoto à céu aberto.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1. GERAL**

- Avaliar a poluição difusa decorrente por matéria orgânica no sistema de drenagem do Canal das Piabas no município de Campina Grande/PB.

#### **2.1.1. Específicos**

- Identificar as fontes de poluição orgânica no Canal das Piabas;
- Monitorar os indicadores de matéria orgânica;
- Modelar o comportamento das cargas poluidoras de DBO e DQO utilizando o software SWMM;
- Avaliar os impactos das contribuições de esgoto no sistema de drenagem.

### **3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

#### **3.1. URBANIZAÇÃO E SEU IMPACTOS**

Nas áreas metropolitanas os impactos ambientais são maiores do que nas pequenas cidades, com menos de 20 mil habitantes; devido à necessidade de rápida expansão urbana, nestas se verificam os maiores impactos ambientais e danos à natureza (PAVIANI, 2009).

O processo de urbanização modifica os padrões de uso do solo, promovendo a remoção da vegetação, impermeabilização de grandes áreas, canalização dos cursos de água, entre outros aspectos que modificam o regime hidrológico e o clima local (MIGUEZ, et al, 2016). Assim, entender a relação entre a urbanização e enchentes, é um ponto chave para o correto planejamento da drenagem e controle de inundação de uma cidade ante os eventos hidrológicos de alta intensidade.

O aumento da impermeabilização aliado à variação do escoamento superficial, tem impacto direto nos picos de vazão de cheias e no escoamento de base dos rios. Também, o crescimento da população, a industrialização e as massivas atividades antrópicas, em meio a eventos de escassez hídrica, têm acarretado a poluição de cursos naturais de água, tanto superficiais como subterrâneos (SODRÉ, 2012).

Nas áreas urbanas, as águas pluviais contêm concentrações significativas de poluentes nocivos que afetam diretamente a qualidade da água recebida nos córregos. Muitas vezes, os corpos receptores e os sistemas de drenagem, recebem efluentes de esgotos sem tratamento prévio e com presença de contaminantes de variadas fontes (ROSSMAN e HUBER, 2016)

O rápido processo do crescimento da infraestrutura urbana e sanitária, quando ocorrido sem planejamento e organização, impacta nitidamente a saúde e qualidade de vida da população. As alterações na natureza promovem maior ocorrência de inundações, ocasionam o acréscimo da influência de agentes infecciosos, e expõem um número cada vez maior de pessoas à problemas de saúde (OLIVEIRA, 2009).

No Quadro 1, é apresentado um resumo dos impactos da urbanização e seus efeitos nas bacias hidrográficas.

Quadro 1 – Impactos da urbanização sobre uma bacia hidrográfica.

IMPACTOS	EFEITOS
Impermeabilização	Aumento da vazão de cheia; Diminuição da vazão de estiagem.
Redes de Drenagem	Maiores picos a jusante.
Lixo	Degradação da qualidade da água; Entupimento de bueiros e galerias.
Redes de esgotos deficientes	Degradação da qualidade da água; Moléstias de veiculação hídrica; Enchentes agravam os efeitos devido à contaminação da várzea de inundação.
Desmatamento e Desenvolvimento Indisciplinado	Maiores picos e volumes; Mais erosão; Assoreamento em canais e galerias.
Ocupação das várzeas	Maiores prejuízos; Maiores picos; Maiores custos de utilidades públicas.

Fonte: Porto (1995)

### 3.2. DRENAGEM URBANA

A gestão de águas pluviais engloba os serviços de planejamento urbano e gestão das águas desse meio através de sistemas de abastecimento de água, de esgotamento sanitário, de coleta, transporte e tratamento de resíduos sólidos e de drenagem urbana.

A drenagem urbana pode ser entendida como uma infraestrutura existente em uma cidade para realizar a coleta, o transporte e o lançamento final das águas superficiais (FEAM, 2006) que tem o objetivo de prevenir e minimizar os riscos de prejuízos à população causados por inundações, possibilitando que o desenvolvimento urbano ocorra de forma harmônica, articulada e sustentável.

Para Tucci (2005) a drenagem faz parte da infraestrutura urbana, e deve ser planejada em conjunto com os outros sistemas. No entanto, os sistemas de infraestrutura urbana são interdependentes e a não consideração de seus efeitos sobre o ambiente pode reduzir a eficiência de outros sistemas ou, até mesmo, inviabilizar seu funcionamento.

As bacias hidrográficas são compostas por uma rede de drenagem, naturalmente formada, composta por rios, riachos, correços e pântanos, que atuam de forma dinâmica no meio ambiente. Com a urbanização e o aumento das descargas de águas, este sistema é alterado

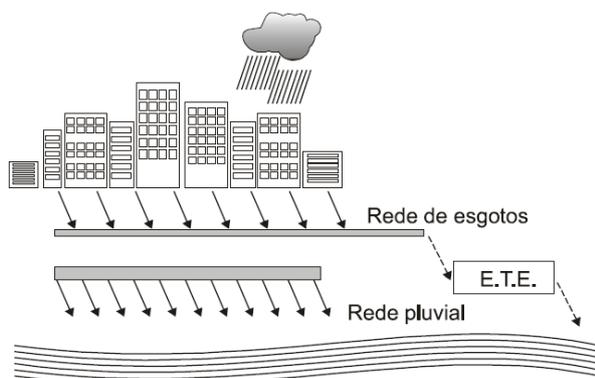
pela introdução de elementos artificiais e se divide em dois tipos: O sistema de microdrenagem, compreendendo pavimentos, guias, sargetas, bocas de lobo, galerias de drenagem, valas, entre outros dispositivos relacionados; e o sistema de macrodrenagem, que herda as funções da rede de drenagem natural da bacia, substituindo-as por canalizações, túneis, reservatórios de detenção e retenção, barragens, entre outros dispositivos.

A destinação final das águas de drenagem, pode ser do tipo separador absoluto ou unitário. Este último não é muito implantado por apresentar algumas desvantagens como os elevados investimentos devidos ao grande diâmetro das canalizações; a dificuldade do controle da poluição a jusante e os riscos de refluxo de esgoto sanitário para o interior de residências em épocas de cheias.

No Brasil, a Lei 11.445/2007, que institui a Política Nacional de Saneamento Básico, recomenda a utilização do Sistema Separador Absoluto, para a coleta e transporte das águas pluviais e residuárias em redes independentes. Os sistemas separadores absolutos são comumente utilizados em regiões de clima tropical, devido à baixa frequência, duração e intensidade das precipitações nessas regiões, são constituídos por duas redes de tubulações: uma para atender as contribuições de esgoto, conduzindo os efluentes a uma estação de tratamento; e outra, composta pelas galerias de águas pluviais, responsáveis pela drenagem urbana, conduzindo essas águas para um corpo receptor.

No entanto, o sistema separador absoluto nem sempre funciona como projetado. A existência de ligações clandestinas de esgoto nas redes de águas pluviais, acarretam poluição na drenagem das águas pluviais.

Figura 1 – Esquema do sistema separador absoluto



Fonte: Tsutya e Bueno (2004)

### 3.3. FONTES DE POLUIÇÃO NOS SISTEMAS DE DRENAGEM URBANA

É de grande importância entender as fontes potenciais de poluentes para se realizar o estudo dos impactos do lançamento dos deflúvios. Ainda que a acumulação de poluentes na bacia possa ser proveniente de inúmeras fontes, com efeitos individuais de difícil separação, o conhecimento qualitativo das prováveis fontes permite ao pesquisador concentrar-se nas áreas problemáticas, e assim, avaliar métodos de controle que possam ser usados para desviar cargas adversas antes que elas atinjam o sistema de macrodrenagem. (PRODANOFF, 2005)

Segundo Sartor e Boyd (1972), algumas das principais fontes poluidoras do escoamento urbano são: A degradação da superfície de rolamento da pavimentação; o lançamento e derramamento de combustíveis e lubrificantes dos veículos; a deposição atmosférica de poluentes resultantes de processos naturais ou antropogênicos; a deposição de resíduos sólidos; o despejo sem tratamento dos esgotos domésticos, industriais e pluviais; e a ocupação do solo urbano sem controle nem preocupação com seu impacto sobre os sistemas hídricos.

Os poluentes provindos das fontes supracitadas, podem ser lançados no meio ambiente de forma pontual, ou de forma difusa. A poluição pontual, ocorre com descarga de efluentes em um ponto específico, de forma contínua ou descontínua, geralmente associada aos despejos de efluentes domiciliares e industriais. A poluição difusa, segundo Campbell et al. (2004), ocorre sobre uma vasta área e geralmente está associada ao tipo de uso e ocupação do solo, sendo o escoamento superficial um importante agente de transporte, que arrasta diversos contaminantes presentes na bacia hidrográfica para os corpos d'água.

Pode-se caracterizar a poluição como difusa quando o lançamento da carga poluidora é intermitente, seus poluentes são transportados a partir de extensas áreas, e não é possível identificar a origem das cargas poluidoras.

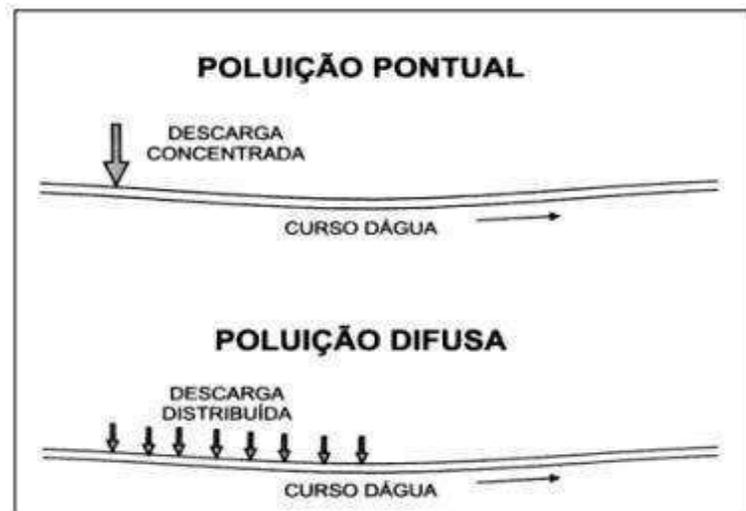
A análise e estabelecimento de padrões de qualidade para o lançamento desses efluentes se torna muito difícil, uma vez que a carga lançada varia com a intensidade e duração dos eventos meteorológicos, a extensão da áreas, e outros fatores. (NOVOTNY, 2003)

A água escoada carrega em sua composição matéria orgânica, aumentando assim concentrações de nutrientes na água, como hidrocarbonetos, metais, fósforo e nitrogênio. Juntamente com esta água, há descargas provindas de ligações clandestinas de esgotamento sanitário na rede de drenagem, deposição de fezes de animais, transbordamento de fossas sépticas; entre outras situações, que aumentam a presença de microorganismos patogênicos (MIGUEZ. et. al., 2016).

Devido a dificuldade de monitoramento e estabelecimento de padrões, além da sua

relação direta com a ocorrência de endemias e doenças de veiculação hídrica, a poluição difusa tem sido um dos maiores problemas sanitários das áreas urbanas (NOVOTNY, 1995).

Figura 2 - Poluição pontual e difusa da água.



Fonte: Sperling (2005).

### 3.4. INDICADORES DE POLUIÇÃO DAS ÁGUAS PLUVIAIS

O grau de pureza das águas pluviais pode ser alterado de acordo com a presença de seus componentes e pode ser classificado de acordo com as suas características físicas, químicas e biológicas.

As principais características físicas da água são sólidos, cor, odor e temperatura. As químicas englobam a concentração de ferro, manganês, matéria orgânica, oxigênio dissolvido, nitrogênio e fósforo. E as biológicas mais relevantes são associadas a transmissão de doenças por organismos patogênicos. Essas últimas podem ser mensuradas através de indicadores de contaminação fecal como, por exemplo, os coliformes fecais, também denominados de organismos termotolerantes.

As consequências desses poluentes no corpo d'água são inúmeras, os sólidos contribuem para turbidez, a matéria orgânica para redução do oxigênio dissolvido, o fósforo e o nitrogênio para a eutrofização e os patógenos inviabilizam a água para consumo humano. Tudo isso degrada a qualidade da água, a vida aquática e põe em risco a saúde humana (RIGHETTO, 2009).

A poluição das águas pluviais através da matéria orgânica é resultado, em sua maior parte dos despejos domésticos e industriais, e sua quantificação ocorre de forma indireta a

partir de dois parâmetros: Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) e Demanda Química de oxigênio (DQO). Ambos tem o oxigênio dissolvido como indicador de qualidade, o qual tem sua concentração em função da temperatura, salinidade e pressão atmosférica. O oxigênio dissolvido é de fundamental importância para a respiração dos microrganismos aeróbios, pois eles são responsáveis pela degradação da matéria orgânica.

A Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) é um indicador de poluição orgânica importantíssimo para determinar a qualidade da água nos corpos hídricos e é o mais usado mundialmente. O teste mede a quantidade de oxigênio, expressa em mg/L, necessária para oxidar a matéria orgânica, com auxílio de microrganismos, num período de cinco dias, mantendo-se a uma temperatura de 20°C. Se houver, por exemplo, grande quantidade de esgoto, haverá grande quantidade de matéria orgânica e as bactérias necessitarão de uma grande quantidade de oxigênio para estabilizar essa matéria, significando que existe uma alta demanda bioquímica de oxigênio.

A Demanda Química de Oxigênio é um indicador que determina a quantidade de oxigênio necessária para a oxidação da matéria orgânica através da utilização de um agente químico. A técnica avalia a concentração de carga poluidora de uma amostra a partir da oxidação química por agentes oxidantes fortes em condições ácidas (PIVELI E KATO, 2005)

A principal vantagem da DQO em relação a DBO é que pode ser realizada em duas horas, enquanto a DBO leva 5 dias.

### 3.5. MODELAGEM MATEMÁTICA COM USO DO *STORM WATER MANAGEMENT MODEL* (SWMM)

A importância de se estudar as bacias hidrográficas urbanas vem sendo cada vez mais notada nos últimos anos. Para minimizar os problemas causados pelo crescimento acelerado e desordenado das cidades, vem se tornando cada vez mais necessário o desenvolvimento de novas técnicas para, assim, ser possível entender os processos de escoamento pluvial, para em seguida realizar o planejamento sustentável das bacias urbanas.

Através da modelagem urbana é possível realizar a avaliação das respostas das bacias, para com isso desenvolver estratégias de planejamento do sistema, avaliar a poluição das águas, realizar um gerenciamento operacional, sendo possível ter controle destas respostas e da interação entre sub-bacias (MAKSIMOVIC,2001).

A modelagem dos agentes poluidores presentes nas águas de drenagem se dá através da interação de vários fatores envolvidos, como o intervalo, volume e intensidade das

precipitações nos eventos de chuva, a caracterização do uso e ocupação do solo, a regularidade da realização da limpeza urbana, a contribuição de fontes pontuais ou difusas, entre outras variáveis. Sendo assim, a qualidade das águas, depende, de forma geral, das características da urbanização na área de estudo (BOLLMANN, 2003).

Entre os diversos softwares de modelagem que podem ser aplicados à drenagem urbana, o *Storm Water Management Model* (SWMM) é um dos mais utilizados. O software foi desenvolvido pela United States Environmental Protection Agency (USEPA). Outros softwares bastante utilizados que se pode ressaltar são: o STORM e o *Army Corps of Engineers* (ACE); ambos desenvolvidos por U.S.; e o *Hydrological Simulation Program* (HSPF) desenvolvido pela Environmental Protection Agency (EPA).

O SWMM é normalmente utilizado devido à sua capacidade de simulações, além de ser um software de domínio público, e parcialmente integrado com ambiente de Sistema de Informação Geográfica (SIG) e Computer Aided Design (CAD).

### 3.5.1. SWMM

O *Storm Water Management Model* (SWMM) é um modelo hidrológico desenvolvido em 1971 pela U.S EPA – *Environmental Protection Agency*, e vem passando por várias melhorias, merecendo destaque por se tratar de um pacote de domínio público, bastante utilizado e que permite a integração do nível de detalhamento desejado na micro e macrodrenagem. O modelo simula, a partir de dados de entrada, hidrogramas que determinam a quantidade do escoamento gerado em cada sub-bacia, vazão e profundidade do fluxo, qualidade da água no canal, entre outras funções, podendo assim, ter diversas aplicações, entre elas o controle de inundações, o controle da qualidade da água e de fontes de geração de poluentes.

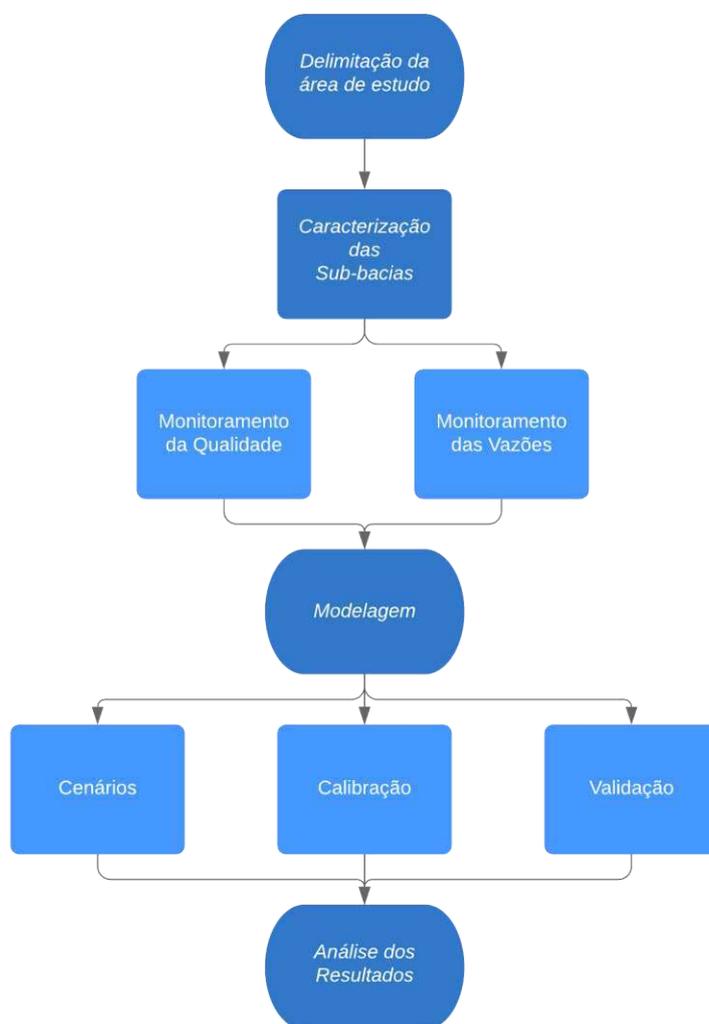
O software dispõe os resultados em forma de planilhas, relatórios, gráficos e mapas, podendo ser feita a visualização para cada item da modelagem, como sub-bacias, canais e nós. Através da ferramenta de mapas é possível visualizar alterações no escoamento causadas pelas chuvas durante um evento simulado.

Na maioria das aplicações do SWMM, a principal origem dos poluentes que comprometem a qualidade da água é o escoamento superficial, mas, na realidade, no Brasil, a principal causa da degradação das águas pluviais urbanas é o despejo ilegal de águas residuárias domésticas diretamente no sistema de drenagem urbana (CAMELO, 2019).

#### 4. METODOLOGIA

O fluxograma apresentado na Figura 3 demonstra cronologicamente as atividades realizadas para a obtenção dos resultados da pesquisa.

Figura 3 - Fluxograma das etapas metodológicas da pesquisa.



Fonte: Elaborada pelo autor, 2019.

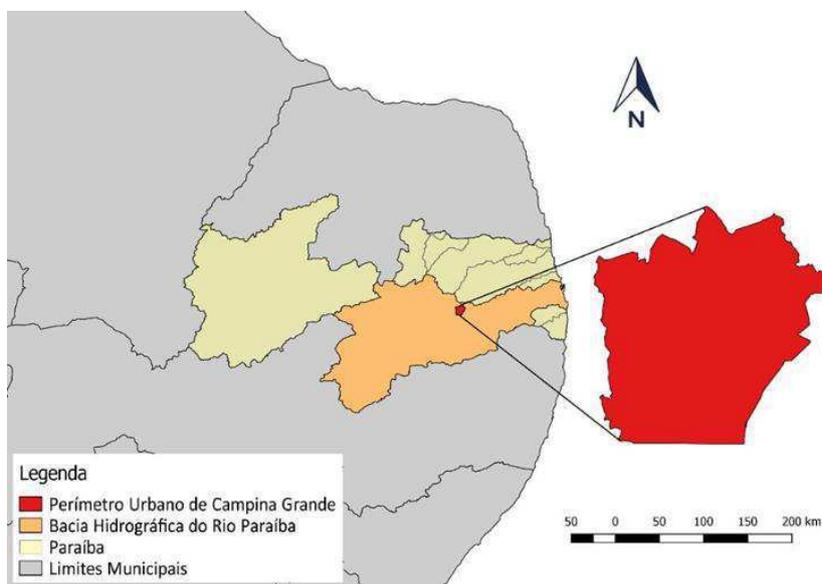
##### 4.1. DELIMITAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

O município de Campina Grande ( $7^{\circ}13'51''$  Sul e  $35^{\circ}52'54''$ Oeste) está situado no estado da Paraíba a 120 km da capital João Pessoa. A sede do município homônimo é localizada na sub-bacia do médio curso do Rio Paraíba, PB, Nordeste do Brasil, Figura 4. Além da sede,

o município é composto pelos distritos de Catolé de Boa Vista, Catolé de Zé Ferreira, São José da Mata, Santa Terezinha e Galante.

De acordo com o IBGE (2019) o município possui uma população composta de 407 mil habitantes que ocupam uma área de 594,2 Km<sup>2</sup>, com uma densidade demográfica de 687,11 hab/Km<sup>2</sup>.

Figura 4 - Localização da bacia hidrográfica do Rio Paraíba



Segundo a classificação climática de Köppen-Geiger, a cidade apresenta um clima semiárido com chuvas de verão, precipitação média anual de 765mm, e temperatura média de 22,9 °C.

Entre o início do século XX e final da década de 1930, Campina Grande teve um crescimento desordenado devido a imigração atraída pelo crescimento do mercado e cultivo do algodão. Sua população passou, em 30 anos, de 20 mil para 130 mil habitantes, e em 2010 já possuía 390 mil habitantes (IBGE, 2019).

O rápido crescimento da população, associado ao processo de urbanização acelerado, resultou na impermeabilização e canalização dos cursos d'água, aumentando o volume de escoamento superficial, o que ocasionou problemas de inundações em várias áreas da cidade, principalmente nos períodos de chuva.

A cidade de Campina Grande é servida por um sistema de microdrenagem constituído por bocas de lobo, sarjetas, poços de visitas, tubos de ligação e galerias, e um de macrodrenagem que compreende canais trapezoidais, parabólicos e retangulares, em sua maioria abertos. Dentre os canais principais estão o canal das Piabas, do Prado, de Bodocongó,

da Ramadinha, das Malvinas e de Santa Rosa, construídos com o objetivo de transportar de forma rápida as águas pluviais para os corpos hídricos mais próximos (FREIRE, 2014).

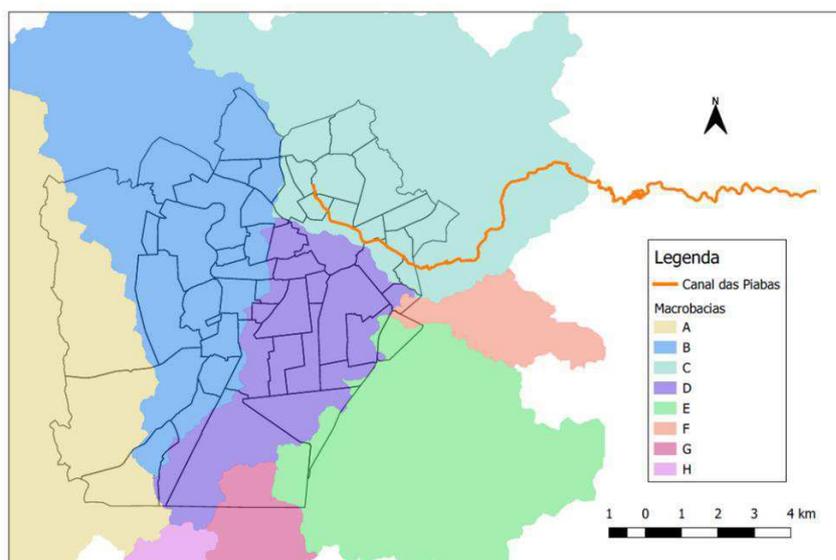
A cidade adota o sistema separador absoluto, em que o esgoto sanitário é coletado separadamente das águas pluviais. No entanto, de acordo com estudos realizados por diversos pesquisadores da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), na bacia do Riacho das Piabas, constatou a existência de ligações clandestinas de esgoto e acúmulo de resíduos sólidos no Canal das Piabas, tendo sido sua água caracterizada como esgoto doméstico fraco.

#### 4.1.1. O Canal das Piabas

O canal das Piabas, inserido na Bacia Hidrográfica Riacho das Piabas, representado na Figura 5, possui aproximadamente 50 km<sup>2</sup> e transporta as águas do Riacho das Piabas. Em sua extensão são encontradas tanto áreas comerciais como residenciais.

A canalização do Riacho das Piabas tem início nas imediações do bairro Rosa Mística, seu curso segue pela avenida Canal até uma bifurcação, onde o fluxo é desviado, pelo bairro Monte Castelo, para o Rio Bacamarte. Nas épocas de chuva, o canal recebe águas do Açude Velho, desviadas pela bifurcação, que contribuem para o aumento da vazão na canalização.

Figura 5 - Riacho das piabas e as bacias urbanas do município de Campina Grande.



Fonte: Adaptado de Tsuyuguchi (2015)

## 4.2. MONITORAMENTO

Para realizar o mapeamento do sistema de macrodrenagem do Canal das Piabas, foram realizadas visitas in loco para identificar os componentes estruturais, as características do ambiente, determinar os pontos de coleta para análise da água e pontos acessíveis para medição de vazão

### 4.2.1. Pontos de Coleta e Análise

Foram estabelecidos cinco pontos de coleta de amostras ao longo do canal para as análises da qualidade da água. As características e coordenadas obtidas em campo através de um GPS portátil estão no Quadro 2. Foram realizadas 30 coletas de amostra de água, com frequência semanal, no período de março a novembro de 2019.

Quadro 2- Descrição dos pontos amostrais utilizados na pesquisa

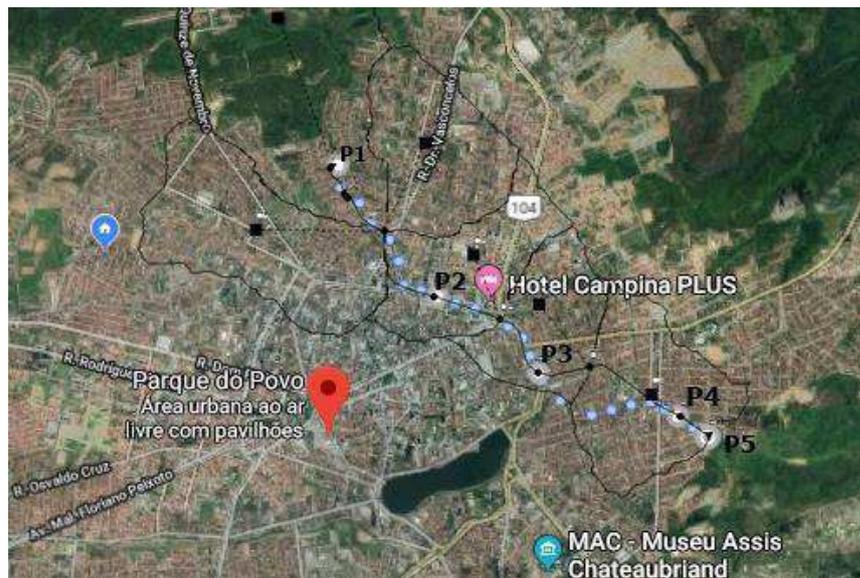
<b>Ponto</b>	<b>Características</b>	<b>Latitude e longitude</b>
<b>P1</b>	Leito natural e grande quantidade de residências próximas ao riacho, com provável contribuição de esgoto e grande quantidade de resíduos;	7°12'27.11"S 35°53'13.24"O
<b>P2</b>	Limite de duas sub-bacias. Recebe contribuições dos bairros da Conceição, Lauritzen e Centro.	7°12'54.84"S 35°52'52.32"O
<b>P3</b>	Desvio que recebe águas do Açude Velho em eventos críticos de precipitação. Contribuições dos bairros Centro e Santo Antônio.	7°13'10.84"S 35°52'30.85"O
<b>P4</b>	Recebe contribuições dos bairros José Pinheiro e Monte Castelo.	7°13'20.20"S 35°52'1.37"O
<b>P5</b>	Fim do recobrimento artificial do canal e com grande quantidade de resíduos.	7°13'24.42"S 35°51'55.08"O

Fonte: Elaborada pelo autor, 2019.

Os Critérios para a escolha dos pontos foram a proximidade deles a entradas de esgoto que contribuíssem na vazão do canal, os pontos de início e fim do recobrimento artificial do canal e pontos com presença significativa de acúmulo de resíduos sólidos.

Nas Figuras 6 e 7 estão demarcadas as localizações dos pontos de coleta e imagens dos locais.

Figura 6 – Mapa de localização dos pontos de coleta de água



Fonte: Adaptado do Google Maps (2019).

Figura 7 – Imagens *in loco* dos pontos de coleta



Fonte: Elaborada pelo autor, 2019.

#### 4.2.3. Monitoramento de Qualidade

Para o presente trabalho, os índices escolhidos para avaliação da qualidade da água foram Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO<sub>5</sub>) e Demanda Química de Oxigênio (DQO). As análises foram executadas por alunos do Programa de Pós-Graduação de Engenharia Civil e Ambiental – PPGECA no Laboratório de Saneamento da Universidade Federal de Campina Grande, localizado no bairro de Bodocongó, seguindo técnicas padrões do *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (APHA, AWWA-WEF, 2012). Os métodos analíticos utilizados para cada indicador estão apresentados no Quadro 3.

Quadro 3 - Métodos analíticos empregados na determinação das variáveis analisadas

Variável	Método
<b>Demanda bioquímica de oxigênio - DBO<sub>5</sub> (mg/L)</b>	Diluição em frascos padrões de DBO com incubação a 20° C durante 5 (cinco) dias
<b>Demanda química de oxigênio -DQO (mg/L)</b>	Refluxação fechada do dicromato de potássio com determinação titulométrica

Fonte: Elaborada pelo autor (2019).

#### 4.2.4. Monitoramento das Vazões

A medição de vazão no canal foi realizada pelo método do flutuador, em trechos acessíveis, longos e retilíneos do canal, também sendo realizada a coleta de dados como a largura e comprimento dos trechos escolhidos, e por fim a medição da profundidade da lâmina d'água e velocidade média do escoamento do canal, demonstrada na Figura 8 e ilustrada na Figura 10. Para uma melhor confiabilidade dos resultados, todos os dados foram coletados 4 vezes em cada seção do canal para assim obter um valor médio. As medições de vazão foram realizadas nos dias 11/07/2019, 30/08/2019, 17/09/2019 e 22/10/2019, nos pontos P2, P3 e P4, descritos no Quadro 4.

Quadro 4 - Características e localização dos pontos de medição de vazão.

Ponto	Características	Latitude e longitude
<b>V1</b>	Localizado no encontro de quatro sub-bacias, no Ponto Cem Réis, e com uma elevada contribuição de esgoto.	7°12'43.51"S 35°53'2.21"O
<b>V2</b>	Desvio que recebe águas do Açude Velho em eventos críticos de precipitação, com duas contribuições intermitentes de esgoto e é um ponto amostral (P3).	7°13'10.84"S 35°52'30.85"O
<b>V3</b>	Localizado na seção transversal retangular do canal, com aumento da largura e profundidade. É o ponto amostral (P4).	7°13'20.20"S 35°51'1.37"O

Fonte: Elaborada pelo autor (2019).

Figura 8 - Medição de vazão no canal.



Fonte: Elaborada pelo autor (2019).

A identificação dos pontos de entrada de esgoto no Canal das Piabas ocorreu a partir de observações em campo. Foi feita toda a cobertura do canal a fim de se detectar as entradas com contribuições intermitentes. As entradas de esgoto escolhidas para estudo estão descritas no Quadro 5 e ilustradas na Figura 9.

Por se tratar de esgotos domésticos, o volume das saídas depende do consumo de água da população e das variações mensais, diárias e horárias.

Quadro 5 - Características e localização das entradas de esgoto no canal.

Ponto	Características	Latitude e longitude
E1	Localizado no encontro de quatro sub-bacias, no Ponto Cem Réis, e com uma elevada contribuição de esgoto.	7°12'43.51"S 35°53'2.21"O
E2	Desvio que recebe águas do Açude Velho em eventos críticos de precipitação, com duas contribuições intermitentes de esgoto e é um ponto amostral (P1).	7°13'10.84"S 35°52'30.85"O
E3	Localizado na seção transversal retangular do canal, com aumento da largura e profundidade. Ponto que recebe contribuições intermitentes de uma saída de esgoto e que é um ponto amostral (P2).	7°13'20.20"S 35°51'1.37"O

Fonte: Elaborada pelo autor (2019).

Figura 9 - Entradas de esgoto que contribuem na vazão do canal



Fonte: Elaborada pelo autor, 2019.

Figura 10 – Método de determinação da vazão das entradas de esgoto.



Fonte: Elaborada pelo autor, 2019.

#### 4.2.5. Dados de Precipitação

Os dados de precipitação da área de estudo foram coletados no site da Estação Agro meteorológica da Unidade Acadêmica de Ciências Atmosféricas, de coordenadas 07°12'55" S e 35°54'22"O, instalada na Universidade Federal de Campina Grande.

#### 4.3. MODELAGEM

Para o processo de modelagem no SWMM é necessário inserir as características físicas das sub-bacias e os valores dos resultados obtidos nas análises em laboratório durante o

monitoramento do canal. A partir desses dados é possível executar a calibração do modelo, a fim de se obter resultados o mais próximo possível da realidade da área de estudo.

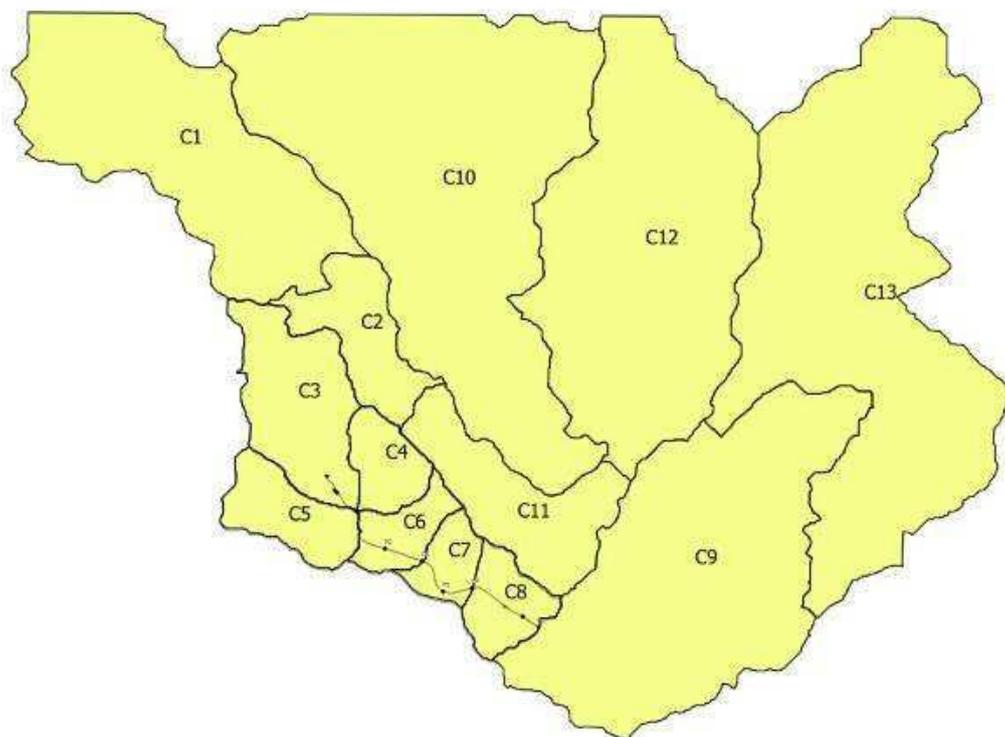
A calibração foi realizada por meio do processo iterativo, em que os valores dos resultados obtidos para os parâmetros em estudo são alcançados de forma manual e através de um processo de tentativa e erro. Quando os resultados alcançam valores compatíveis com os observados em medição é finalizada a etapa da calibração.

Após a análise e interpretação do relatório de estado produzido na simulação, que apresentou o resumo dos erros de continuidade gerados pelo software, é possível validar o modelo. Caso os erros de cada simulação executada ultrapassem o valor de 10%, a validade dos resultados deverá ser questionada (ROSSMAN, 2015).

#### 4.3.1. Sub-bacias

As sub-bacias são os elementos de drenagem que conduzem o escoamento resultante de uma precipitação até um ponto de descarga. A parte artificial do canal das Piabas, está inserida em seis sub-bacias denominadas C3, C4, C5, C6, C7 e C8, segundo a divisão feita por Tsuyuguchi (2015) e representada na Figura 11.

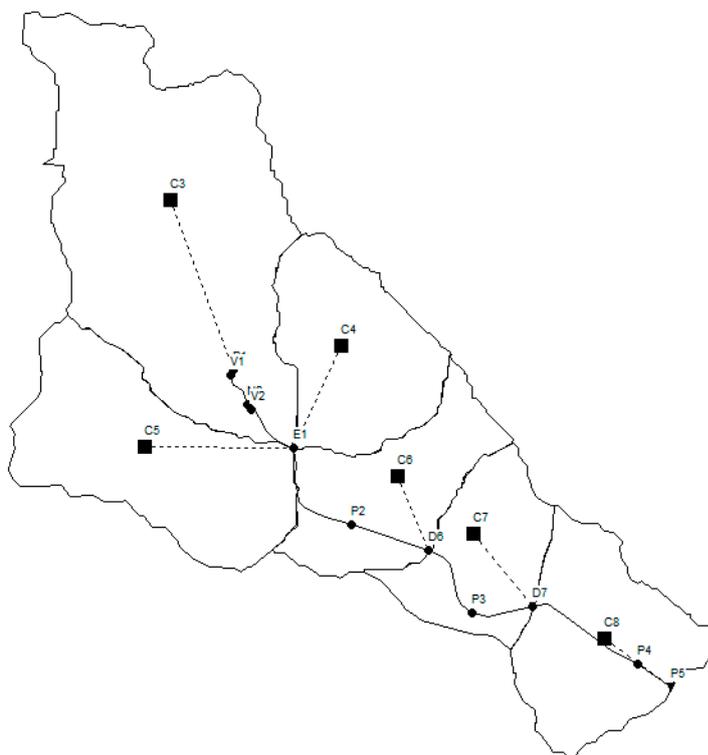
Figura 11 – Divisão das sub-bacias da Bacia das Piabas



Fonte: Adaptado de Tsuyuguchi (2015).

A Figura 12 mostra a subdivisão das bacias, a representação dos condutos e dos nós, utilizados para realizar a modelagem matemática, no SWMM.

Figura 12 – Representação da área de estudo no SWMM.



Fonte: produzido no SWMM (2019).

#### 4.3.2. Condutos

No SWMM, os condutos podem ser canais naturais ou artificiais, como rios e tubulações de águas pluviais, respectivamente. Esses podem ser caracterizados de acordo com o formato da sua seção transversal e quanto a serem abertos ou fechados. No Quadro 6 a seguir estão demonstrados os parâmetros usados para a caracterização do canal.

Quadro 6 - Parâmetros de caracterização dos condutos.

Parâmetros	Siglas	Unidades
Comprimento	L	m
Coefficiente de rugosidade	n	-
Seção Transversal	-	-

Fonte: Elaborada pelo autor (2019).

O comprimento dos trechos do canal foi definido pela distância entre nós e medido no SWMM. As declividades nos trechos foram calculadas *com o auxílio do QGIS e Google Earth*. As seções transversais do canal foram reconhecidas durante as medições *in loco*. O coeficiente de Manning foi adotado de acordo com a Tabela 1.

Tabela 1- 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
Tudo metal conrugado	0,024
Superfície cimentada	0,024
Solos não cultiváveis	0,050
Solos cultiváveis	0,06-0,17
Solos com vegetação natural	0,04-0,8

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

#### 4.3.3. Nós

No SWMM, os nós ilustram as junções de conexão dos condutos, podendo representar o encontro de superfícies naturais, poços de visita, ou elementos de tubulações. Neste estudo os nós representaram os pontos de monitoramento do canal a fim de facilitar a inserção das características no modelo e a análise dos resultados obtidos, e também os pontos de descarga da bacia (D3, D6 e D7). Os parâmetros utilizados para caracterizar os nós são apresentados na Quadro 7.

Quadro 7 - Parâmetros dos nós.

Parâmetro	Sigla	Unidade
Coordenadas geográficas	x, y	-
Cota de fundo	Z	m
Profundidade máxima	hmáx	m

Fonte: Elaborada pelo autor, 2019.

#### 4.3.4. Modelo de Transporte Hidráulico

Levando em consideração que a simulação realizada no SWMM é relativamente simples, as influências sobre o corpo hídrico são diretas e não foram representados fenômenos complexos. Assim, optou-se por utilizar o modelo de Onda Cinemática para representar o transporte hidráulico. Esse permite relacionar a variação da vazão e da área pelo espaço e tempo, no interior do conduto. Rossman (2009) demonstra essa relação utilizando das equações de continuidade (Equação 1) e da quantidade de movimento 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).

#### 4.3.5. Dados Hidrológicos

Os dados hidrológicos foram adquiridos da Estação Agrometeorológica Principal da Unidade Acadêmica de Ciências Atmosféricas da Universidade Federal de Campina Grande.

Para o processo de modelagem foi realizada a simulação com os eventos do dia 22/10/2019, devido a disponibilidade dos dados de vazão e das análises laboratoriais com as amostras coletadas no canal e nas entradas de esgoto. Neste dia não ocorreu precipitação durante o intervalo de tempo escolhido para o monitoramento e simulação (Quadro 8).

Quadro 8 – Precipitação horária do evento em tempo seco (mm/h)

Medição de vazão - 22/10/2019					
Mês	Dia/hora	Chuva (mm)	Mês	Dia/Hora	Chuva (mm)
10	21 22:00:00	0.00	10	22 05:00:00	0.00
10	21 23:00:00	0.00	10	22 06:00:00	0.00
10	22 00:00:00	0.00	10	22 07:00:00	0.00
10	22 01:00:00	0.00	10	22 08:00:00	0.00
10	22 02:00:00	0.00	10	22 09:00:00	0.00
10	22 03:00:00	0.00	10	22 10:00:00	0.00
10	22 04:00:00	0.00	10	22 11:00:00	0.00
Total acumulado (mm)			0.00		

Fonte: Elaborada pelo autor (2019).

Para outra simulação, foi inserido uma precipitação para demonstração da funcionalidade do software em dias chuvosos, para isso, foram inseridos os dados de precipitação do dia 11/07/2019, apresentados no Quadro 9.

Quadro 9 – Precipitação horária do evento em tempo chuvoso (mm/h).

Medição de vazão - 11/07/2019					
Mês	Dia/hora	Chuva (mm)	Mês	Dia/Hora	Chuva (mm)
7	10 22:00:00	0.00	7	11 05:00:00	0.10
7	10 23:00:00	0.00	7	11 06:00:00	0.40
7	11 00:00:00	0.10	7	11 07:00:00	0.70
7	11 01:00:00	1.50	7	11 08:00:00	0.20
7	11 02:00:00	0.30	7	11 09:00:00	0.00
7	11 03:00:00	0.00	7	11 10:00:00	0.00
7	11 04:00:00	0.10	7	11 11:00:00	0.00
Total acumulado (mm)			3.40		

Fonte: Elaborada pelo autor, 2019.

O parâmetro utilizado para caracterizar se o dia foi chuvoso ou seco, foi analisando o total precipitado e o total evaporado, caso o total evaporado tenha sido maior que o precipitado, o dia foi caracterizado como seco, e vice-versa.

#### 4.3.6. Calibração do modelo

A calibração do modelo no SWMM foi feita manualmente, através do processo de tentativa e erro, cujos valores obtidos na simulação foram aproximados aos valores reais, medidos em campo.

#### 4.3.7. Validação dos parâmetros de qualidade

Com o objetivo de legitimar os resultados obtidos nas simulações, foi realizado a validação do método através da interpretação e análise desses resultados. Esses valores foram obtidos no relatório de simulação e no resumo de erros de continuidade produzidos pelo software, considerando uma margem de erro limite de 10%.

### 4.4. CENÁRIOS PROPOSTOS

Um dos objetivos da pesquisa foi avaliar a influência das contribuições de esgoto doméstico clandestino através da análise das concentrações de DBO e DQO, sendo assim propostos quatro cenários.

No primeiro cenário 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. No cenário 2, foi desconsiderada a entrada de esgoto E1, que produz maior contribuição e maior concentração de DBO e DQO. No cenário 3, foi retirada toda a contribuição das entradas de esgoto em estudo (E1, E2 e E3) para avaliar a qualidade do efluente, em relação ao comportamento das concentrações dos poluentes. Após as simulações dos cenários 1, 2 e 3 foi observado que na região do ponto P2 existe ainda existia contribuições que tem impacto considerável na qualidade da água do canal, e por isso no cenário 4 o ponto P2 foi considerado como uma entrada de esgoto e retirada sua contribuição, pois, possivelmente, essa influência na qualidade é devido a presença de contribuições de esgoto que não foram consideradas no estudo. No primeiro cenário também foi realizada uma simulação considerando uma precipitação de 3,4mm, caracterizando um dia chuvoso, para comparar com os resultados obtidos em tempo seco e assim avaliar a qualidade do efluente, em relação ao comportamento das concentrações de DBO e DQO, após a diluição.

Figura 13 – Fluxograma dos cenários avaliados.



Fonte: Elaborada pelo autor (2019).

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1. DIAGNÓSTICO DO SISTEMA DE DRENAGEM URBANA PLUVIAL

#### 5.1.1. Aspectos gerais

Com as visitas in loco, foi possível observar diversas situações e problemas que não deveriam ocorrer no canal de drenagem. A Secretaria de Serviços Urbanos e Meio Ambiente (SESUMA), como órgão de administração pública, cumpre com sua responsabilidade de realizar limpezas e manutenções com regularidade, mas a falta de conscientização da população impede a constância da limpeza. As contribuições de esgoto clandestinas e o lançamento de resíduos sólidos diretamente nas galerias e nas ruas, são situações recorrentes em quase toda a extensão do canal, como mostrado na Figura 14.

O lançamento de esgoto e resíduos sólidos nas galerias resulta em diversos problemas que atingem diretamente a população a curto e a longo prazo, principalmente para aqueles que moram nas intermediações do canal. Além do risco de contaminação pela água, o acúmulo de lixo compromete o funcionamento do sistema de drenagem, aumentando consideravelmente a possibilidade de inundações durante eventos chuvosos.

Figura 14: Acúmulo de resíduos sólidos no Canal das Piabas.



Fonte: Elaborada pelo autor, 2019.

#### 5.1.2. Análise das vazões nas entradas de esgoto do canal

Foram realizadas quatro medições de vazão nas entradas de esgoto escolhidas para análise. Durante as visitas em campo, pode-se perceber que as contribuições ocorrem em uma área predominantemente doméstica, justificando a presença do esgoto doméstico encontrado no canal. Foi possível observar também que as entradas de contribuição ocorrem de forma intermitente e com valores de vazão de até 0,066 m<sup>3</sup>/s (5.702.400 l/dia).

Os resultados obtidos nessas medições estão expostos no Quadro 10. Em Campina Grande, conforme o Plano Municipal de Saneamento Básico do município, o sistema de drenagem é do tipo separador absoluto, portanto, a existência de contribuição de esgoto mostra a ineficácia do sistema adotado.

Quadro 10 - Vazões medidas nos pontos de entrada esgoto.

[m <sup>3</sup> /s]	11/jul	30/ago	17/set	23/out
E1	0.003	0.003	0.003	0.002
E2	0.001	0.003	0.002	0.002
E3	0.01	0.066	0.024	0.01

Fonte: Elaborada pelo autor, 2019.

## 5.2. RESULTADOS DA MODELAGEM MATEMÁTICA

A modelagem da área de estudo foi subdividida em 6 sub-bacias (C3, C4, C5, C6, C7 e C8) que juntas contabilizam uma área total de 636,74 hectares. Foram inseridos dez nós representando os pontos onde foram coletadas as amostras, e também onde ocorreram as medições de vazão. O canal foi dividido em dez trechos contabilizando um comprimento total de 3,4 quilômetros. Os trechos T1 e T2 possuem seção trapezoidal, dos trechos T3 a T8 a seção se torna parabólica, e nos trechos T9 e T10 foi considerada como seção retangular aberta.

Foi utilizado o módulo de transporte hidráulico na modelagem, para assim ser possível realizar a propagação do fluxo e a distribuição e concentração dos poluentes DBO e DQO ao longo do canal.

### 5.2.1. Calibração

Para se poder dar início às simulações, de forma que os resultados fossem os mais próximos possíveis dos valores medidos em campo; o modelo foi calibrado pelo método de tentativa e erro. Na data de 22/10/2019, foram realizadas coletas de amostra tanto da água do canal como da água das saídas de esgoto. Os resultados laboratoriais desse dia foram utilizados como dados iniciais para calibração, considerando que por terem mais relação, se aproximavam mais da realidade. Em seguida esses valores foram sendo ajustados de forma que os valores resultantes da simulação no canal se aproximassem ao máximo dos valores médios dos resultados obtidos em todas as coletas realizadas. Os dados antes e depois da calibração são apresentados nos quadros abaixo.

Após a calibração os erros de continuidade deram bem abaixo do máximo recomendado de 10%, todos aproximando de 0%, como mostrado na Figura 15.

Quadro 11 – Resultados dos indicadores de poluição antes da calibração

ANTES DA CALIBRAÇÃO								
Canal	Indicador	Coleta	Data	P1	P2	P3	P4	P5
	DBO	28	22/10/2019	125.63	124.34	106.53	82.39	180.43
	DQO	28	22/10/2019	200.52	372.40	203.13	252.60	294.27

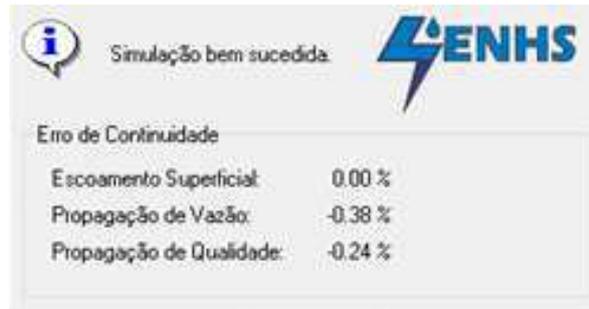
Fonte: Elaborada pelo autor (2019).

Quadro 12 – Resultados dos indicadores de poluição após a calibração

APÓS A CALIBRAÇÃO								
Canal	Indicador	Coleta	Data	P1	P2	P3	P4	P5
	DBO	28	22/10/2019	125.63	124.12	106.46	82.97	179.49
	DQO	28	22/10/2019	200.52	372.34	202.43	252.71	294.51

Fonte: Elaborada pelo autor (2019).

Figura 15: Resultado dos erros de continuidade na simulação

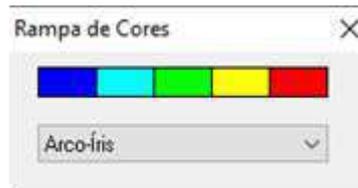


Fonte: Produzido no SWMM

### 5.2.2. Resultados dos cenários propostos

Os resultados dos cenários simulados foram representados em mapas de concentração de carga poluidora através de uma escala de cores, como mostrado na Figura 16, sendo as regiões representadas em azul com as menores concentrações de poluentes, e as em vermelho com as maiores concentrações. Assim, essa representação gráfica permitiu analisar os pontos mais críticos de poluição em um intervalo de tempo pré-determinado, sendo possível acompanhar a dispersão ou concentração das cargas poluidoras.

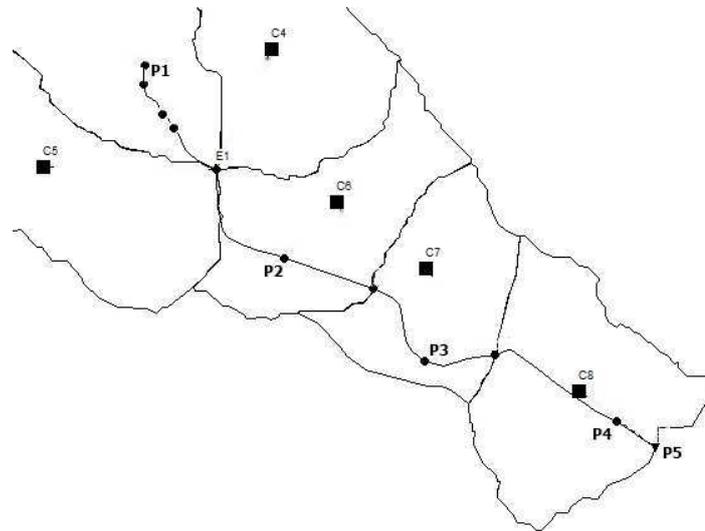
Figura 16: Escala de cores para concentração de cargas



Fonte: Produzido no SWMM

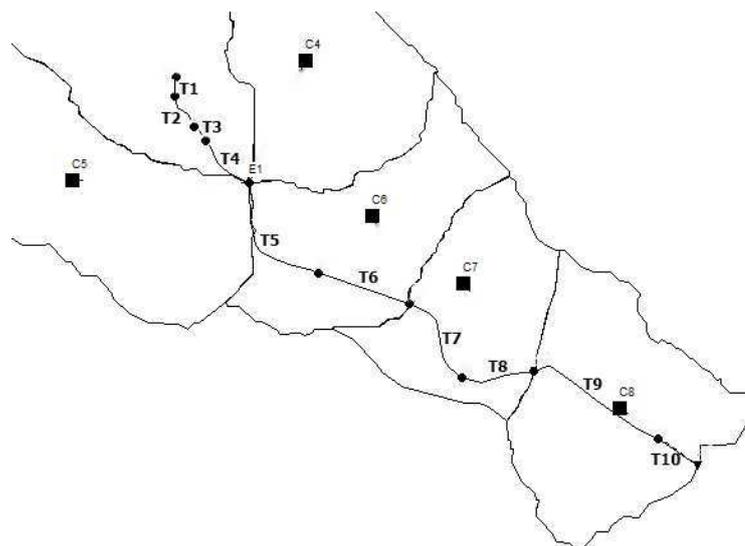
Para a análise e discussão dos resultados o canal foi dividido em pontos e trechos, conforme ilustrados na Figura 17 e Figura 18, respectivamente. A denominação dos trechos do canal indicada nas figuras será utilizada na análise que segue.

Figura 17: Representação dos pontos do canal



Fonte: Elaborada pelo autor (2019).

Figura 18: Representação dos trechos do canal



Fonte: Elaborada pelo autor (2019).

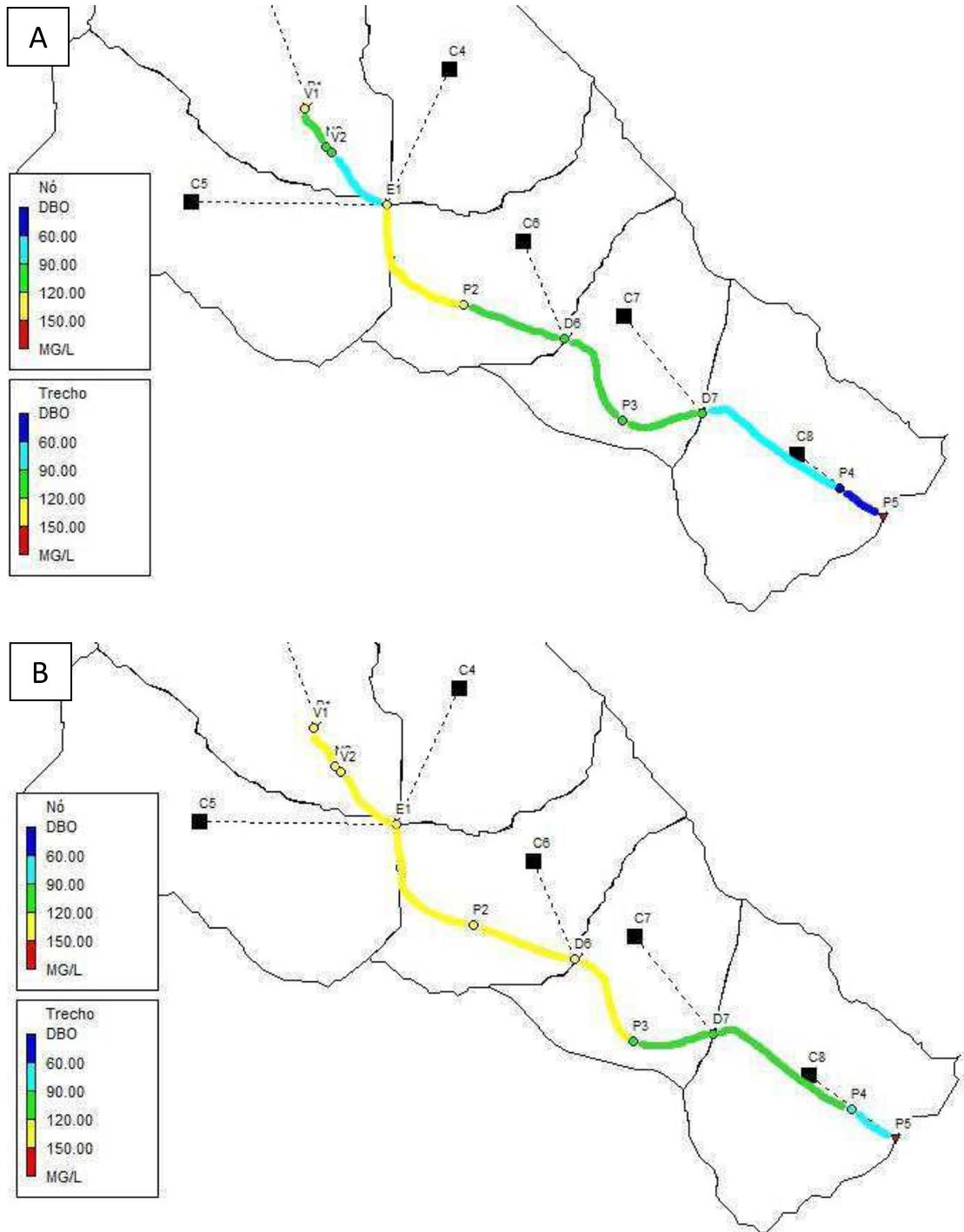
#### 5.2.2.1. Cenário 1 – Situação atual após calibração

Para a simulação do cenário atual foi considerado a princípio fluxo de tempo seco, sem eventos de chuva recentes, propagando pelo corpo hídrico apenas as afluições. No cenário foram avaliadas as concentrações em mg/l de DBO e DQO em duas situações, a primeira

decorridos 20 minutos do início da simulação, e a outra após se passado 12 horas de simulação.

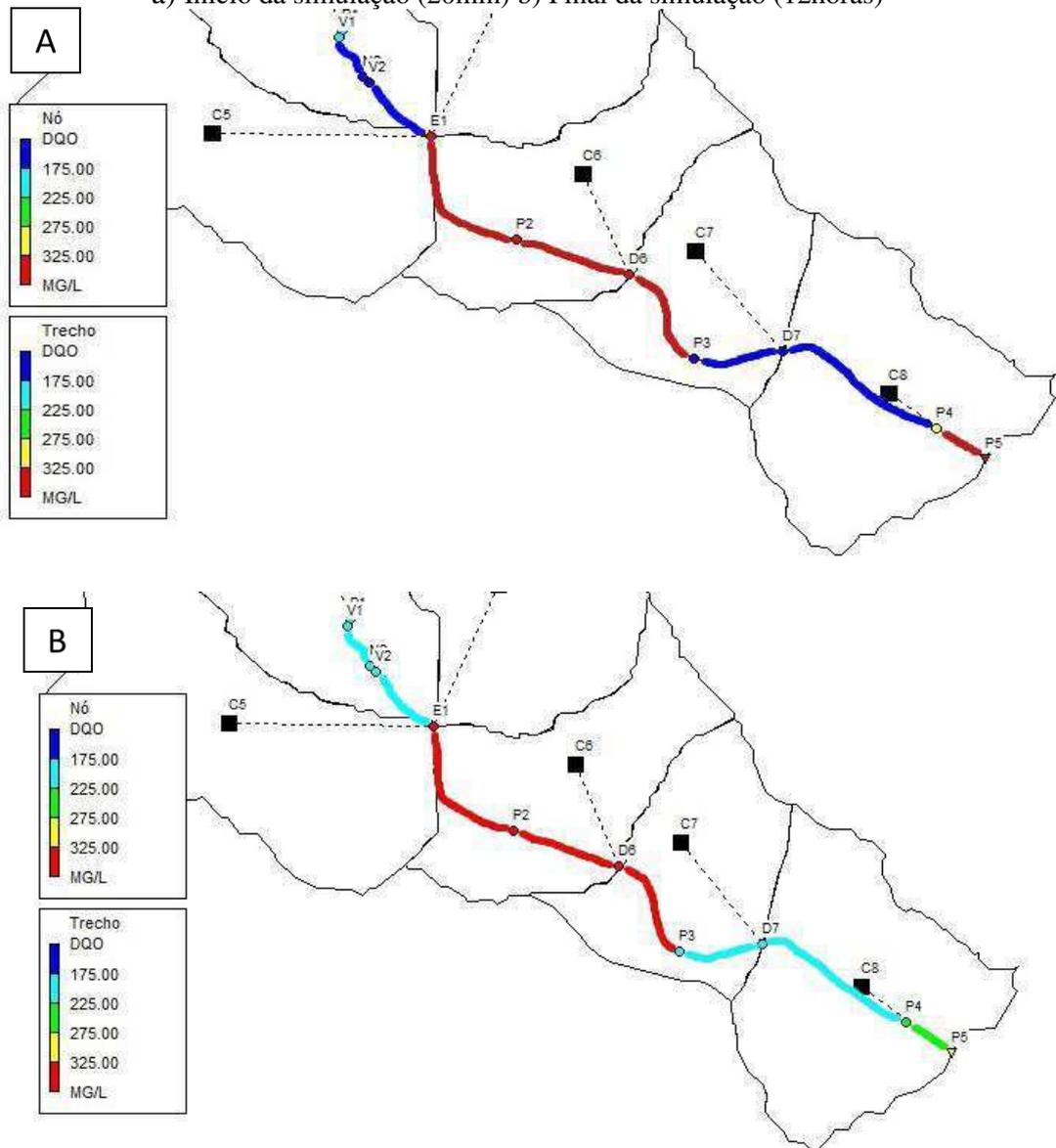
Na Figura 19 e Figura 20, estão os mapas com as representações de concentração de DBO e DQO, respectivamente, nas duas situações supracitadas.

Figura 19 - Mapa do comportamento da concentração de DBO (Situação atual)  
a) Início da simulação (20min) b) Final da simulação (12horas)



Fonte: Elaborada pelo autor (2019).

Figura 20: Mapa do comportamento da concentração de DQO (Situação atual)  
a) Início da simulação (20min) b) Final da simulação (12horas)



Fonte: Elaborada pelo autor (2019).

Analisando os mapas é possível observar que nos primeiros 20 minutos de simulação, as concentrações de DBO e DQO são maiores nos trechos entre os pontos E1 e D7, isso ocorre devido maiores contribuições de esgoto estarem nos pontos de entrada de esgoto E1 e P3. No ponto P4 a concentração de poluentes está mais baixa que nos demais pontos por ainda não ter recebido a contribuição dos pontos anteriores nesses primeiros 20 minutos.

Após 12 horas de simulação, há uma mudança no comportamento dessa variável ao longo do canal devido à propagação dos fluxos e, em consequência, a mistura dos efluentes. Entre os trechos T4 e T5 ocorre um aumento na concentração de DBO e DQO devido a

contribuição do esgoto E1, que possui o maior potencial poluidor. Após a contribuição de E1, o trecho T5 apresenta concentrações de DBO e DQO de 129,51 mg/L e 368,94mg/L, respectivamente, típico de esgoto doméstico fraco como classificado por Pessôa e Jordão (2011). O aumento da carga poluidora de DQO é bastante significativa ao passar pela contribuição E1, aumentando de 200,5 mg/L para 368 mg/L, esse aumento pode acontecer devido a presença de diversas oficinas e lava-jatos nas redondezas descarregando uma quantidade alta de componentes oxidáveis.

Ao passar pelo ponto P2, ocorre uma diminuição da concentração de DBO na água devido a descarga provinda de ligações de esgoto, que foram identificadas porém não estavam contribuindo nos horários de monitoramento da vazão, por isso não foram incluídas no estudo. Essas contribuições apresentam uma menor concentração de DBO, diluindo a carga na água do canal, diminuindo a concentração de 129,51 mg/L para 124,10 mg/L; o mesmo ocorre ao passar pela entrada de esgoto E2 do ponto P3, a diluição dos poluentes reduz a concentração de 124,10mg/L para 106,46mg/L, e também no ponto P4, após a entrada E3, diminuindo a concentração para 82,96mg/L. Além da menor diluição dos poluentes, outro fator que pode diminuir essa concentração é a ocorrência de aeração da água, ao sair da entrada de esgoto e também no decorrer do escoamento pelo canal devido ao desgaste da superfície, que pode gerar turbulência, aumentando a quantidade de oxigênio dissolvido.

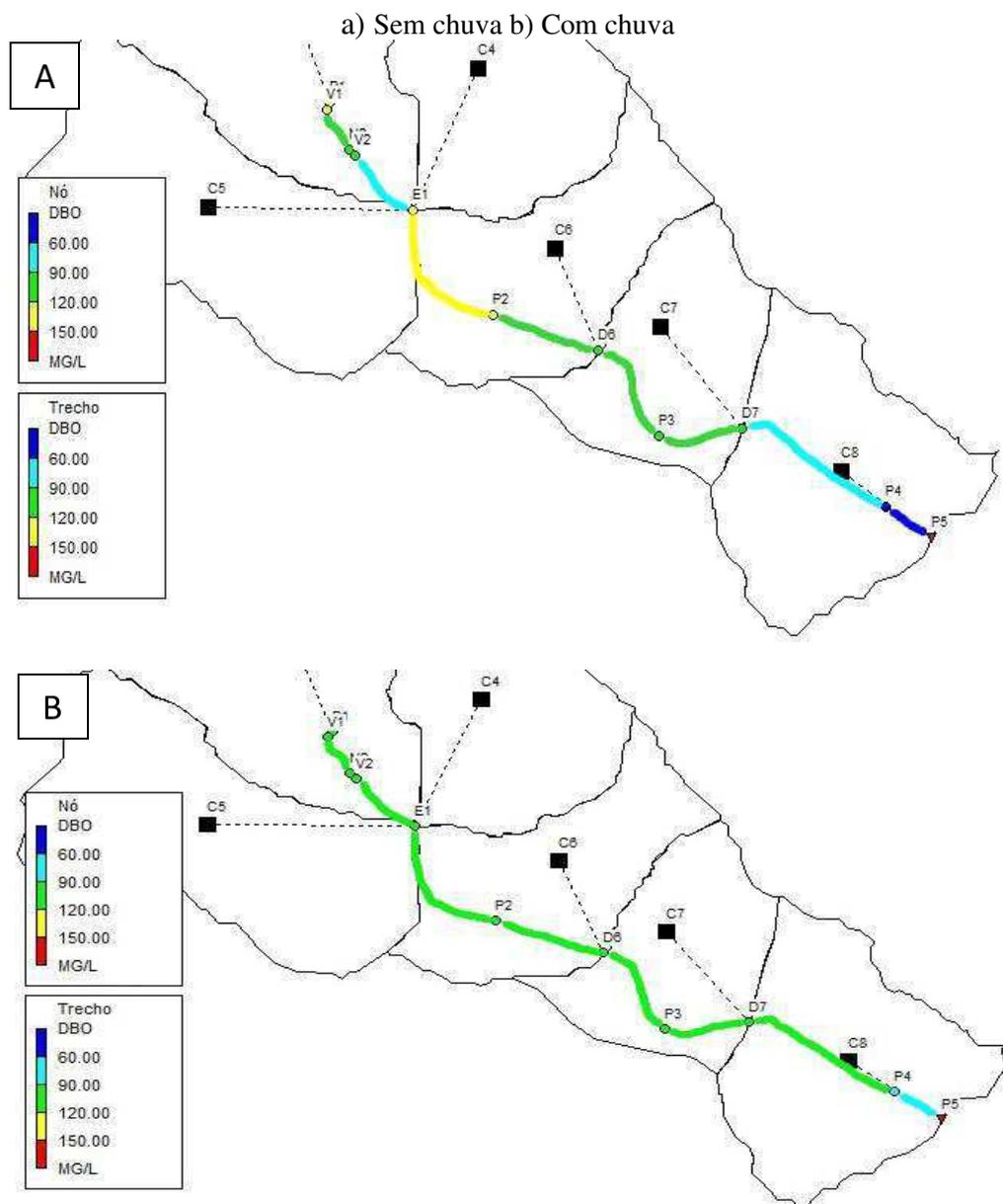
Ao chegar no ponto P5 é possível identificar um acúmulo da concentração da DBO, chegando a 179,49 mg/L, nesse ponto é onde se encontra as maiores quantidades de resíduos sólidos despejados no canal, provavelmente provenientes de várias residências construídas na borda do canal, justificando esse aumento pontual. Os valores da DBO dos resíduos sólidos foram inseridos no ponto para a simulação.

O comportamento das concentrações de DQO no trajeto do canal é bem semelhante ao da DBO. Após passar pelo nó da entrada E1, ocorre um aumento significativo da concentração do poluente, sendo diluído após passar pelos pontos P2 e P3, sendo no P3 a diluição mais significativa. A diferença de comportamento se encontra apenas no trecho após o ponto P4, onde há um aumento da concentração de 202,37 mg/L para 252,69 mg/L, esse aumento pode ser provindo do despejo de esgoto provindo de algumas lavanderias localizadas nas proximidades.

Para simular um cenário com precipitação foi adicionado o evento chuvoso de 3,4 mm, ocorrido no dia 11/07/2019, desconsiderando a lavagem da superfície. Com a água das chuvas presentes no modelo notou-se uma diluição do efluente, que passou a apresentar menores

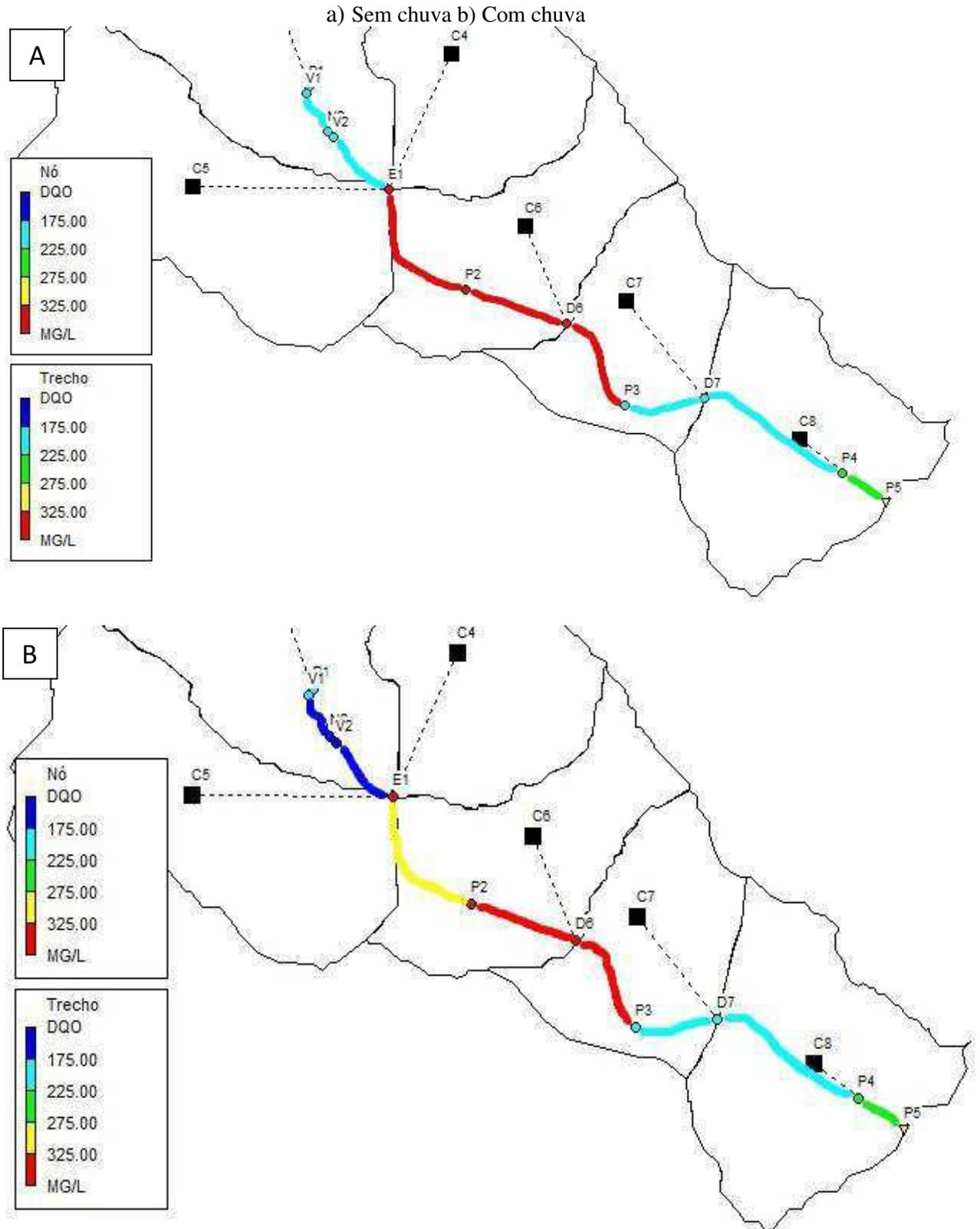
concentrações de matéria orgânica com concentrações de DBO, principalmente no trecho T5 que se encontra depois da contribuição do E1, ocorrendo uma diminuição da concentração de 129 mg/L para 113,98 mg/L. O mesmo aconteceu para a concentração de DQO que foi reduzida de 368,94 mg/L para 332,21 mg/L. Na Figura 21 estão apresentados os mapas com a concentração de DBO sem a presença de chuva e com a presença de chuva, ou seja, após a diluição), e na Figura 22 estão apresentados os mapas com a concentração de DBO sem a presença de chuva e com a presença de chuva, ou seja, após a diluição).

Figura 21 – Mapas de concentração de DBO para o Cenário atual



Fonte: Elaborada pelo autor (2019).

Figura 22 – Mapas de concentração de DQO para o Cenário atual



Fonte: Elaborada pelo autor (2019).

Segundo a classificação de tipos de esgoto feitas por Pessôa e Jordão (2011), de acordo com as características dos parâmetros encontrados em toda extensão do canal na situação atual, em tempo seco ou chuvoso, toda a água que corre é classificada como esgoto doméstico fraco, com excessão do exutório no ponto P5 que atinge valores de 337,85mg/L para DBO e 439,63 mg/L para DQO, caracterizando-se como esgoto doméstico médio.

Freire (2014) estudando a distribuição da contaminação por DBO e DQO na mesma área de estudo, encontrou valores compatíveis com os dessa pesquisa, caracterizando as águas presentes no Canal das Piabas como esgoto doméstico fraco.

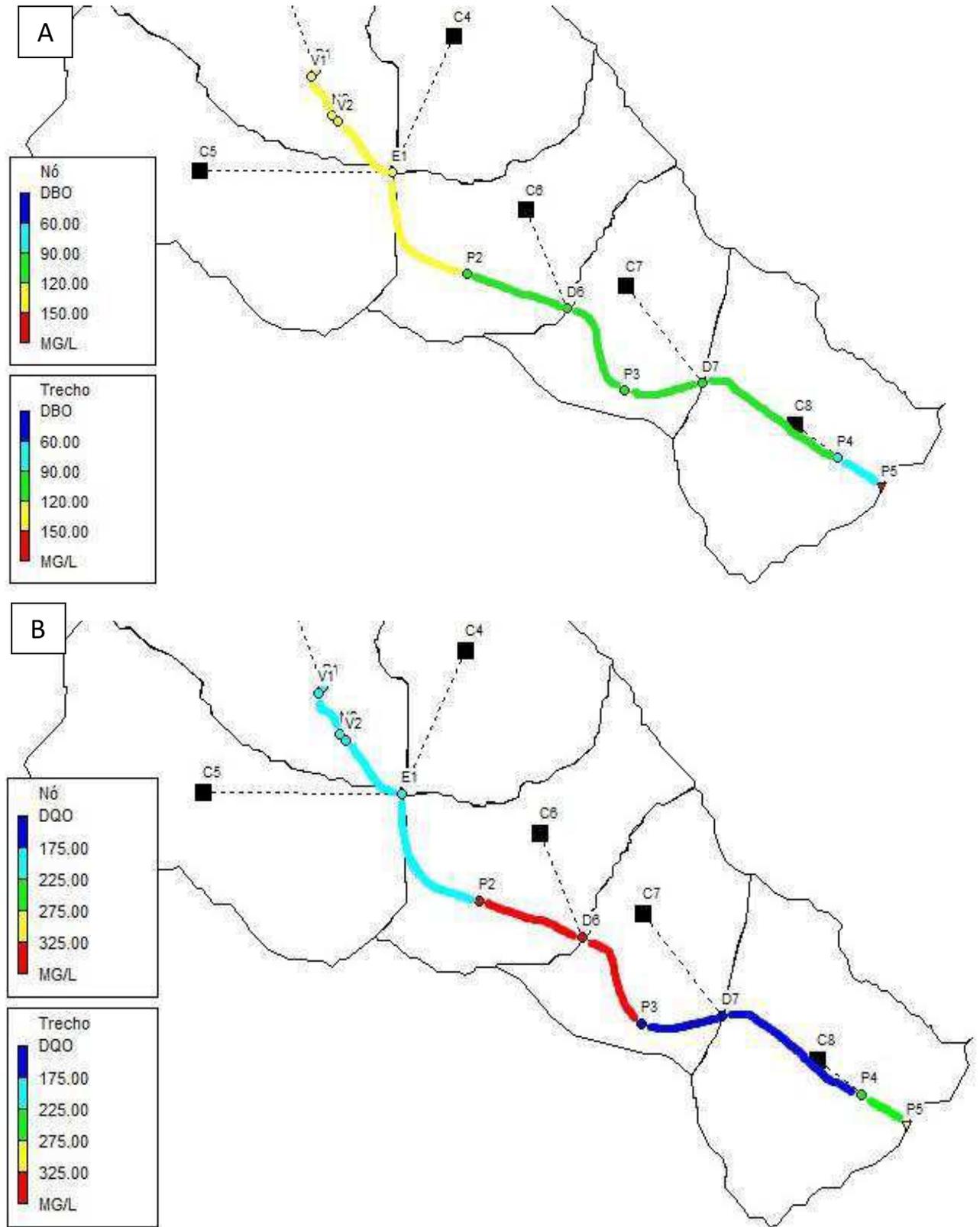
Henriques (2014), analisou a qualidade de água dos sistemas de drenagem do Canal do Prado, também localizado no município de Campina Grande, e encontrou valores médios de DBO e DQO acima de 140 mg/L e 400 mg/L, respectivamente. Comparando com os resultados obtidos nesse estudo, o canal do Prado apresenta piores condições em termos de concentração de matéria orgânica.

Alvarez (2010) ao avaliar a qualidade da água das bacias urbanas da cidade de São Carlos – SP, encontrou valores médios de 4,9mg/L para DBO e 9,3mg/L para DQO, o que caracteriza um sistema expressivamente menos poluído do que o analisado nesse estudo.

#### 5.2.2.2. Cenário 2 – Retirada da contribuição de esgoto E1

Neste cenário foi desconsiderada toda a vazão de contribuição da entrada de esgoto E1, que possui o maior impacto poluidor no corpo hídrico, possuindo maiores concentrações de DBO e DQO, e é o unico ponto que aumenta a concentração desses poluentes no trecho que procede uma entrada de esgoto. A Figura 23 apresenta o comportamento das concentrações de DBO e DQO após 12 horas de simulação.

Figura 23 – Mapa da concentração de poluentes após 12 horas de simulação (cenário 2)  
a) Concentração e DBO b) Concentração de DQO



Fonte: Elaborada pelo autor (2019).

Comparando os resultados desse cenário com o Cenário 1, é possível constatar uma melhora significativa nas concentrações de poluentes, principalmente na DQO. No trecho T5 que se encontra após a entrada E1, constatou-se uma diminuição de 8% na concentração de DBO, e uma diminuição de 29,8% na concentração de DQO. Com a retirada da contribuição de E1, ocorre uma média de 10% de diminuição das concentrações dos poluentes em estudo no corpo hídrico. No ponto do exutório P5, no entanto, ocorre um aumento da concentração, devido a elevada quantidade de resíduos sólidos, pois a diminuição da vazão resultado da retirada do E1, diminui a diluição dos poluentes.

A retirada apenas da entrada E1 ainda não é uma solução satisfatória a ser usada pelo gestor, pois a redução do impacto ambiental resultante dessa ação ainda é pequena, sendo uma solução de baixa sustentabilidade. A viabilidade ambiental das ações propostas é um importante aspecto a ser levado em consideração, e, nessa situação, a modificação não leva a um resultado satisfatório.

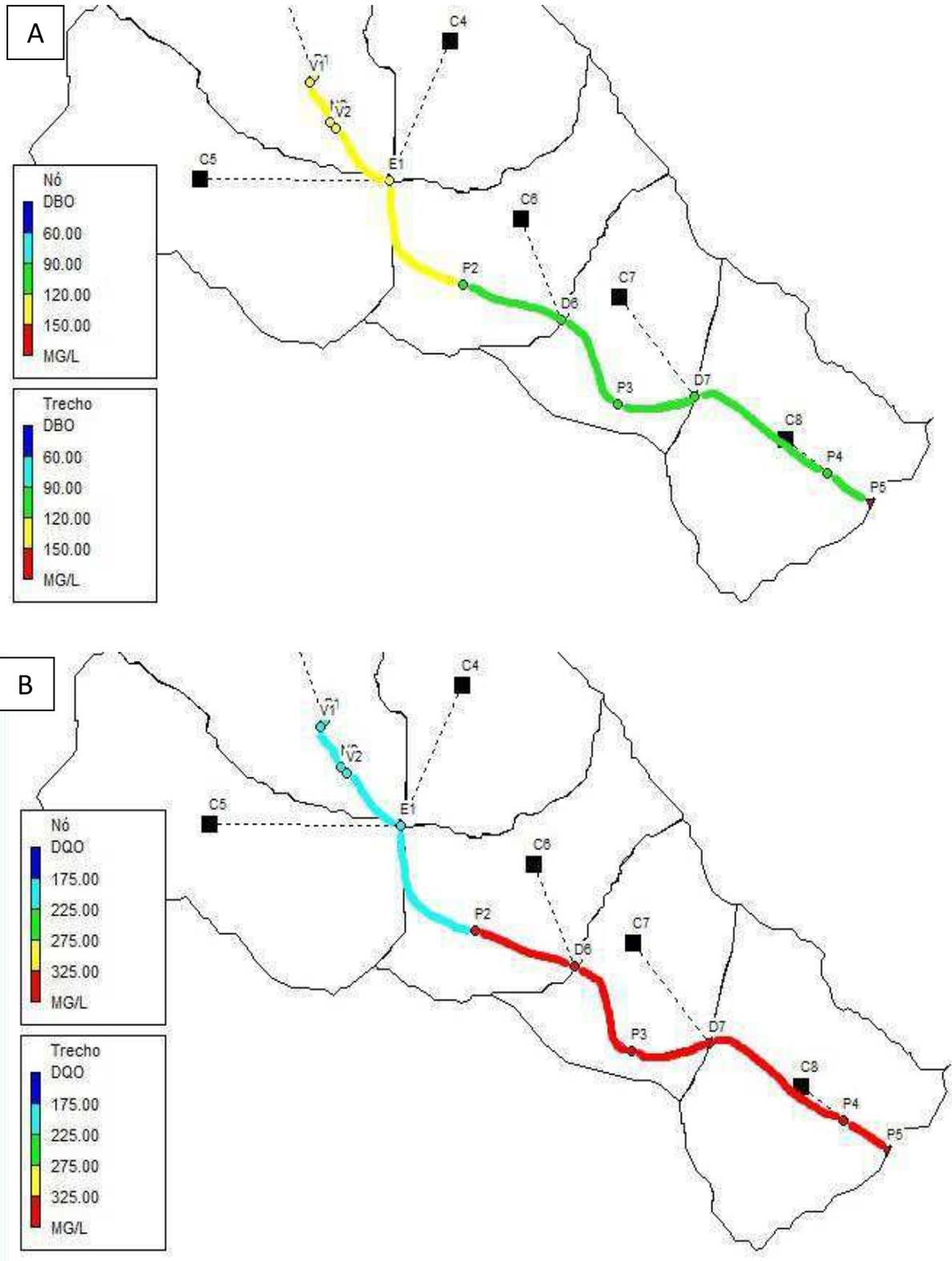
#### 5.2.2.3. Cenário 3 – Retirada das entradas de Esgoto E1, E2 e E3

Para a modelagem do cenário 3, foi considerada a retirada de todas as entradas de esgoto consideradas no estudo. As entradas E1, E2 e E3, em todas as visitas realizadas *in loco* apresentavam contribuição intermitente, por isso o esperado era uma diminuição significativa nas concentrações de DBO e DQO.

A Figura 24 apresenta a simulação das concentrações de DBO e DQO do cenário 3, respectivamente, considerando 12 horas de simulação.

Figura 24- Mapa da concentração de poluentes após 12 horas de simulação (cenário 3)

a) DBO b) Para DQO



Fonte: Elaborada pelo autor (2019).

Analisando o mapa, o resultado da simulação foi bem diferente do esperado, após as retiradas das contribuições das entradas de esgoto, ocorreu um aumento na concentração das cargas poluidoras em todos os trechos, a partir do ponto P3, onde se encontra a entrada de esgoto E2. A concentração de DBO e DQO, que nos cenários anteriores diminuía após o ponto P4, onde se localiza o E3, agora se manteve estável, com o valor do aumento ocorrido após o ponto P3.

No ponto do exutório P5 foi onde ocorreu o maior aumento da concentração, apresentado carga de DBO de 596,20 mg/L e de DQO de 510,96 mg/L; segundo Pessoa e Jordão (2011), esses valores classificam a água como esgoto doméstico forte.

Provavelmente, esse aumento nas concentrações das cargas ocorreu, pois a contribuição advinda das entradas de esgoto E2 e E3, possuíam concentração das cargas poluidoras mais baixa que a da água já presente no canal, logo essa contribuição diluía a água do canal, diminuindo as concentrações de DBO e DQO, e, como já dito anteriormente, a aeração ocorrida na queda de água da entrada de esgoto até o canal, e o percurso na superfície desgastada dele, também diminui essas concentrações

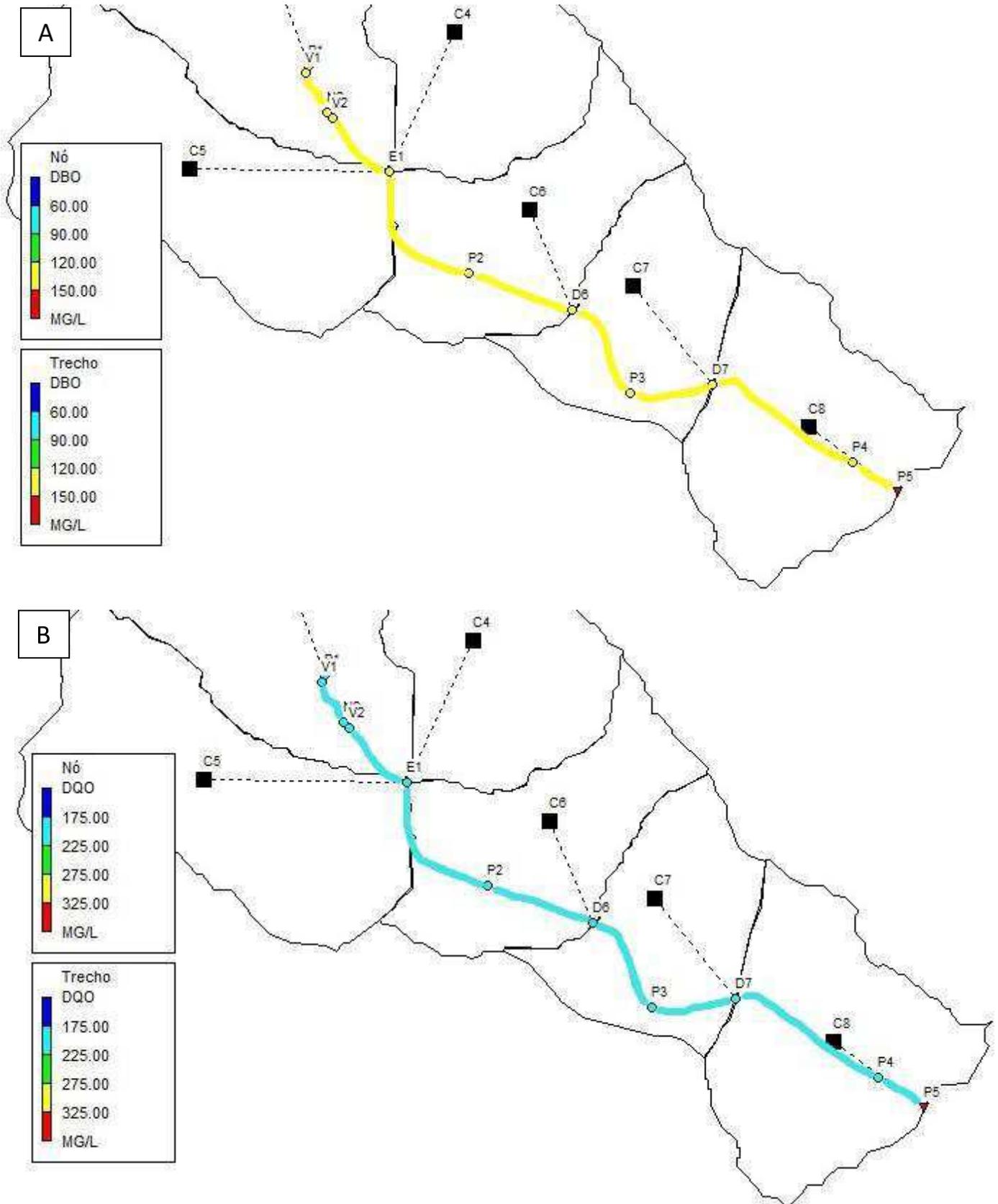
#### 5.2.2.4. Cenário 4 – Retirada das contribuições em E1, E2, E3 e P2

Durante as visitas *in loco* para o reconhecimento das entradas de esgoto clandestinas, as entradas E1, E2 e E3, foram as consideradas no estudo pois apresentaram contribuição intermitente, porém foram observadas outras várias entradas que na visita não estavam contribuindo. Ao analisar os resultados das simulações dos cenários anteriores, foi observado que a partir do ponto P2 existe uma concentração significativa de poluentes, então, para esse cenário, considerou-se a hipótese da existência de entradas de esgoto naquele ponto que não foram consideradas no reconhecimento da área de estudo. Com isso, foi feita uma média da concentração de poluentes nos 30 dias de coleta, antes e depois daquele ponto, para estipular uma carga de contribuição, e assim retirar essa contribuição na simulação para analisar os resultados.

A Figura 25 apresenta a simulação das concentrações de DBO e DQO do Cenário 4, respectivamente, considerando 12 horas de simulação.

Figura 25- Mapa da concentração de poluentes após 12 horas de simulação (cenário 4)

a) Para DBO b) Para DQO



Fonte: Elaborada pelo autor (2019).

Após a análise dos resultados foi constatado que a descarga vinda das contribuições próximas ao ponto P2 também possuem concentração menor de DBO do que a já presente no canal antes daquele ponto, então sem essa contribuição, a concentração do poluente aumenta no decorrer do canal pois não há dissolução. No entanto, o contrário ocorre com a carga de DQO que diminui significativamente cerca de 45%, em comparação ao cenário 1, da sua concentração no trecho T6, que se encontra após o ponto P2.

Dos resultados, pode-se ver que mesmo com a retirada de todas as contribuições de esgoto estudadas, ainda há a presença de contribuições mesmo antes do canal projetado, vindo de sua forma natural, que é justificável devido a presença de centenas de residências construídas próximas as margens do canal natural, como mostrado na Figura 26.

Figura 26: Trecho natural do Canal das Piabas



Fonte: Google Maps (2019).

Para a aplicação de todos os cenários é necessário antes de qualquer coisa realizar um estudo prévio para localizar as contruções que contribuem para o despejo em cada ponto. É possível realizar uma gestão com foco na diminuição da produção de esgoto doméstico por parte da população que contribui para essa poluição. No entanto, para as medidas terem seu impacto real, é necessário uma intervenção estrutural para a relocação das entradas de esgoto, e essa intervenção tem um custo financeiro muito alto, especialmente nos cenários 3 e 4, que possuem diversas entradas de esgoto.

A realização das intervenções do cenário 4, traz ótimos resultados em relação ao aspecto ambiental, porém seria bem mais eficaz se fosse realizada intervenção nas supostas contribuições que ocorrem no curso natural do canal.

Ao se observar os impactos dessas contribuições, pode-se constatar a grande ineficácia do sistema sepador absoluto adotado na bacia.

Utilizando o ponto de exutório P5 como exemplo, pode-se ver que ainda que ocorra a retirada de todas as entradas de esgoto, é necessário um movimento muito amplo de conscientização da população, pois podemos ver uma concentração de poluentes muito alta resultante principalmente do depósito de resíduos sólidos pelos habitantes da região.

A existência de ligações de esgoto clandestino e disposição irresponsável de resíduos sólidos em canais pluviais é uma realidade que é observada em todo o país, e por isso o uso de modelos matemáticos é uma ferramenta de grande suporte para o auxílio dos gestores para tomadas de decisões, economizando em diversos aspectos e evitando gastos com decisões não tão eficazes devido a falta de avaliação técnica, econômica, ambiental e social.

## 6. CONCLUSÕES

Considerando os objetivos da pesquisa e analisando os resultados obtidos no estudo, foi possível concluir que:

- A partir das visitas realizadas in loco, pode-se observar no corpo do canal a existência de várias instalações clandestinas de esgoto sanitário que lançam diariamente contribuições de poluentes.
- Por meio do monitoramento da qualidade das águas coletadas foi possível constatar o alto índice de matéria orgânica presente na água que escoo no canal.
- A partir das análises laboratoriais, a água presente no canal foi classificada como esgoto doméstico fraco.
- A modelagem matemática dos cenários foi realizada utilizando dados de tempo seco, logo a presença de vazão no canal, que deveria servir apenas para transporte de águas pluviais, demonstra a ineficácia do sistema separador absoluto da cidade.
- A simulação, considerando os dados pluviométricos de um dia chuvoso, mostrou que a ocorrência de precipitação ajuda significativamente na dissolução dos poluentes no canal, melhorando a qualidade das águas.
- Observando o comportamento dos poluentes na propagação do fluxo no decorrer de 12 horas, foi possível verificar que no início da simulação a concentração dos poluentes é maior nas saídas das instalações de esgoto, e com o passar das horas, as contribuições de todas as entradas vão se encontrando, o que provoca uma dissolução das concentrações.
- Através da comparação dos cenários simulados, foi possível observar que a entrada com maior contribuição, e que mais afeta o comportamento da concentração dos poluentes em estudo foi a E1, e que sua retirada tem impacto positivo no sistema. Dos outros cenários, retirando as demais contribuições de esgoto foi possível verificar que, mesmo sem essas entradas, existem ainda contribuições de poluentes vindos da parte natural do canal, que chegam ao trecho estudado e tem impacto negativo durante todo seu trajeto.
- Para a revitalização do Canal das Piabas, só é possível se obter um escoamento limpo se ocorrer intervenção em todo seu comprimento, retirando as entradas de esgoto e também conscientizando toda a população das redondezas a não realizar depósito de resíduos sólidos no canal, pois a prefeitura realiza a limpeza com regularidade, mas diariamente são despejados novos resíduos pelos habitantes.

## 7. REFERÊNCIAS

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

APHA, AWWA, WPCF. **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater.** 21th ed., Washington, D.C: American Public Health Association/American Water Works Association/Water Environment Federation, 2012.

BRASIL (2007). Lei Federal nº 11.445, de 5 de janeiro de 2007. Estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico, Brasília.

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

CAMELO, S. M. **Modelagem da poluição difusa em sistemas de macrodrenagem de bacias urbanas.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) – Universidade Federal de Campina Grande. Campina Grande, 2019.

CAMINHA, M. J. **Degradação da qualidade da 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.

CAMPBELL, N; D'ARCY, B.; FROST, A.; NOVOTNY, V.; SANSOM, A. **Diffuse pollution: An introduction to the problems and solutions.** London: IWA Publishing, 2004. 310p.

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

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.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) - Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2014.

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

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Censo Demográfico 2019 – Características Gerais da População. Resultados da Amostra. IBGE, 2019. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/censo2010>>. Acesso em: 28 ago. 2019.

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

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

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

MIGUEZ, M. G.; VERÓL, A. P.; REZENDE, O. M. **Drenagem urbana: do projeto tradicional à sustentabilidade**. 1 ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2016.

NOVOTONY, v. **Water Quality: Diffuse Pollution and Watershed Management**. 2. ED. New York: John Wiley n Sons, 2003. 888p.

NOVOTNY, V. **Nonpoint Pollution and Urban Stormwater Management**. Pennsylvani: TECHNOMIC, v. 9, 1995, 429 p.

PRODANOFF, J. H. A., 2005, **Avaliação da Poluição Difusa Gerada por Enxurradas em Meio Urbano**. Tese de D.Sc., COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

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

PORTO, M. (1995) **Aspectos qualitativos do escoamento superficial em áreas urbanas**. In: TUCCI, C.E.M.; PORTO, R.L.; BARROS, M.T. Drenagem urbana. Porto Alegre: Editora da UFRGS/ABRH. p. 387-428.

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.; HUBER, W. C. **Storm Water Management Model, Reference Manual Volume III – Water Quality**. 2016. U.S. Environmental Protection Agency, Cincinnati, OH45268. September 2016.

ROSSMAN, L. A. **Storm Water Management Model, User's Manual Version 5.1**. 2015. U.S. Environmental Protection Agency, Cincinnati, OH45268. September 2015.

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

SODRÉ, F. F. **Fontes Difusas de Poluição da Água: Características e métodos de controle**. Grupo de Automação, Quimiometria e Química Ambiental (AQQUA), Instituto de Química, Universidade de Brasília. 2012. Brasília, DF. v. 1. P 9-16.

SPERLING, M. V. **Introdução a 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.

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

**TSUYUGUCHI, B. B. Macrodrenagem 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.

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

**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.