



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE  
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS  
UNIDADE ACADÊMICA DE ENGENHARIA CIVIL  
CAMPUS CAMPINA GRANDE - PB**

**AMANDA KELLY DE SOUSA COSTA**

**ESTUDO PARA IMPLANTAÇÃO DE TÉCNICA DE DESENVOLVIMENTO DE  
BAIXO IMPACTO NA BACIA DE DRENAGEM DO RIACHO DO PRADO NA  
CIDADE DE CAMPINA GRANDE-PB**

**CAMPINA GRANDE – PB**

**2021**

**AMANDA KELLY DE SOUSA COSTA**

**ESTUDO PARA IMPLANTAÇÃO DE TÉCNICA DE DESENVOLVIMENTO DE  
BAIXO IMPACTO NA BACIA DE DRENAGEM DO RIACHO DO PRADO NA  
CIDADE DE CAMPINA GRANDE-PB**

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

**Orientadores:** Profa. Dra. Mônica de Amorim Coura

**Coorientadora:** Jessica Kaori Sasaki

**CAMPINA GRANDE - PB**

**2021**

AMANDA KELLY DE SOUSA COSTA

**ESTUDO PARA IMPLANTAÇÃO DE TÉCNICA DE DESENVOLVIMENTO DE  
BAIXO IMPACTO NA BACIA DE DRENAGEM DO RIACHO DO PRADO NA  
CIDADE DE CAMPINA GRANDE-PB**

Trabalho de Conclusão do Curso apresentado ao curso de Engenharia Civil da Universidade Federal de Campina Grande como requisito obrigatório para conclusão da disciplina de Trabalho de Conclusão do Curso, sob a orientação Profa. Dra. Mônica de Amorim Coura e coorientação de Jessica Kaori Sasaki.

Aprovado em: \_\_\_/\_\_\_\_ de 2021.

Nota: \_\_\_\_\_

---

Profa. Dra. Mônica de Amorim Coura  
Universidade Federal de Campina Grande  
Orientadora

---

Jessica Kaori Sasaki  
Universidade Federal de Campina Grande  
Coorientadora

---

Profa. Dra. Dayse Luna Barbosa  
Universidade Federal de Campina Grande  
Examinadora Interna

---

Msc. Lorena Rayssa Cunha França  
Universidade Federal de Campina Grande  
Examinadora Externa

Dedico este trabalho à minha família pelo  
apoio concedido em todas as etapas  
vivenciadas durante o curso.

## AGRADECIMENTOS

A DEUS, autor do meu destino, só Ele sabe verdadeiramente o quão feliz eu estou por encerrar este ciclo na minha vida.

A minha família em especial meus avôs EPAMINONDAS, DEDÉ, LURDES E INÁCIO, por serem responsáveis pela construção e fortalecimento da base da minha família.

Ao meu pai CLAUDIONOR BRANDÃO, sua presença significa segurança e certeza de que não estou sozinha nessa caminhada. À minha mãe ROSEMARY MACHADO, seu carinho, cuidado e dedicação foram o que me deram, em todos os momentos, a esperança para que eu pudesse seguir em frente!! E aos melhores irmãos do mundo BRUNA KAREN E CAIO KELVENY, meus primeiros melhores amigos!!!

À GUILHERME ANDRADE, meu amor e melhor amigo, por todo carinho, coragem e apoio. Obrigada pelo companheirismo, amor e pelas palavras carinhosas (ou, quando necessário, duras), que me ajudaram nessa trajetória.

As amigas e amigos que construí ao longo da vida. Em especial THAYANE ARAÚJO, por nunca soltar a minha mão, por todo carinho, zelo e parceria desde o IFPB, e a todo os meus colegas de profissão que fizeram parte da Alicerce Arquitetura e Engenharia Júnior, em destaque GUILHERME, ALANA, MARIANA, IVAN e DÉBORA.

À minha FAMÍLIA UPA, em especial WÊNIA, BRUNO, CLARA, ARTHUR, LORENA E IGOR. Todos vocês me presentearam com palavras de carinho e motivação, me reinventaram no caminho de Deus.

Agradeço às minhas orientadoras DR<sup>a</sup> MÔNICA DE AMORIM COURA, JÉSSICA KAORI SASAKI, DR<sup>a</sup> DAYSE LUNA BARBOSA E A MSC. LORENA RAYSSA CUNHA FRANÇA, não apenas por toda atenção, dedicação e esforço para que eu pudesse ter confiança e segurança na realização deste trabalho, mas também por todo o aprendizado pessoal e profissional que me forneceram durante essa trajetória.

A todos os professores que durante todos esses anos me ensinaram e me mostraram por meio de suas experiências como ser um bom e digno profissional, obrigado pelo convívio, pelo apoio e compreensão.

Vocês todos tornaram a minha vida mais afetuosa, completa, simples e feliz, muito obrigada!

## RESUMO

O manejo e drenagem de águas pluviais no Brasil apresentam graves problemas frente ao cenário atual em decorrência de falhas na gestão e fiscalização dos sistemas de drenagem. O processo de urbanização, associado ao crescimento desordenado das cidades, afeta diretamente os parâmetros qualitativos e quantitativos do escoamento superficial promovido por eventos chuvosos. O canal do Prado, dispositivo de macrodrenagem presente na cidade de Campina Grande – PB, é um exemplo local das lacunas na gestão das águas de drenagem urbanas do município, uma vez que este recebe entradas de efluentes e as mais variadas contribuições provindas do uso e ocupação do solo das áreas das sub-bacias do Riacho do Prado. O presente estudo buscou fazer a modelagem matemática do canal supracitado através do uso do programa Storm Water Management Model (SWMM), que permitiu simular e acompanhar o comportamento dos parâmetros químicos DBO, DQO e Fósforo Total para um evento ocorrido no dia 08/06/2018 e para a chuva de projeto com tempo de retorno de 10 anos. Para isso, foi realizada a simulação de dois cenários com o uso de pavimentos permeáveis, dispositivo de desenvolvimento de baixo impacto – LID. Neste contexto, foi verificada a eficácia da LID sobre a área de estudo, uma vez que, através do tratamento de 50% das áreas impermeabilizadas das sub-bacias, em eventos simulados com precipitação de baixa intensidade, a carga de poluentes diminuiu, se comparada com a do processo de lavagem superficial natural. Além disso, as vazões de escoamento diminuíram 39%. Os resultados das simulações mostraram que a aplicação de soluções de baixo impacto promove a melhoria dos sistemas convencionais de drenagem urbana.

**Palavras-chave:** Qualidade das águas de drenagem; Modelagem matemática; SWMM.

## ABSTRACT

The management and drainage of rainwater in Brazil presents serious problems compared to the current scenario due to lacks of management and inspection of drainage systems. The urbanization process, associated with the disorderly growth of cities, affects directly the qualitative and quantitative parameters of the runoff promoted by rainy events. The Prado channel, a macro-drainage device present in the city of Campina Grande - PB, is a local example of the gaps in the management of urban drainage waters in the municipality, since it receives effluent inputs and the most varied contributions from the use and land occupation of the areas of the Riacho do Prado sub-basins. The present study sought to do the mathematical modeling of the aforementioned channel through the use of the Storm Water Management Model (SWMM) program, which allowed to simulate and monitor the behavior of the chemical parameters BOD, COD and Total Phosphorus for an event that occurred on 08/06/2018 and for the project rain with a 10-year payback time. For this, the simulation of two scenarios was carried out with the use of permeable pavements, a low impact development device - LID. In this context, the effectiveness of the LID on the study area was verified, since, through the treatment of 50% of the waterproofed areas of the sub-basins, in simulated events with low intensity precipitation, the load of pollutants decreased, if compared with that of the natural surface washing process. In addition, runoff flows decreased by 39%. The results of the simulations showed that the application of low impact solutions promotes the improvement of conventional urban drainage systems.

**Keywords:** Drainage water quality; Mathematical modeling; SWMM.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Etapas metodológicas da pesquisa .....	26
Figura 2 - Localização da Bacia do Rio Paraíba .....	27
Figura 3 - Bacias Hidrográficas de Campina Grande – PB.....	28
Figura 4 - Canal Artificial do Prado – Campina Grande/PB.....	29
Figura 5 – Microbacias - Canal do Prado .....	31
Figura 6 - Declividade Média das Sub-bacias .....	32
Figura 7 - Mapa de Uso e ocupação do Solo das Sub-bacias .....	32
Figura 8 - Pontos de coleta no Canal do Prado .....	33
Figura 9 - Pontos de contribuições de esgoto .....	35
Figura 10 - Representação da bacia do Riacho do Prado no SWMM.....	39
Figura 11 - Cenários propostos.....	46
Figura 12 .Representação do modelo hidrológico no SWMM.....	47
Figura 13 - Resultados da simulação sem calibração .....	49
Figura 14 - Simulação Chuva-Vazão com calibração .....	50
Figura 15 - Calibração da DBO no evento do dia 08/06/2018.....	53
Figura 16 Calibração DQO para o evento do dia 08/06/2018.....	54
Figura 17 - Calibração FT para o evento do dia 08/06/2018.....	54
Figura 18 - Divisão do canal em trechos - Escoamento Superficial.....	55
Figura 19 - Simulação do escoamento no canal em estudo, para chuva de projeto TR 10, sem aplicação de técnicas LID .....	57
Figura 20 - Simulação do escoamento no canal em estudo, para chuva de projeto TR 10, com aplicação de técnicas LID .....	57
Figura 21 – Simulação da DBO no evento chuvoso do dia 08/06/2018.....	59
Figura 22 - Simulação DQO para o evento chuvoso do dia 08/06/2018.....	60
Figura 23 – Simulação das concentrações de Fósforo Total no período chuvoso do dia 08/06/2018.....	61

**LISTA DE QUADROS**

Quadro 1 - Estudos anteriores sobre a Bacia do Riacho do Prado .....	30
Quadro 2 - Metodologia das análises químicas .....	34
Quadro 3 - Parâmetros das sub-bacias.....	36
Quadro 4 - Parâmetros para cálculo da infiltração .....	40
Quadro 5 - Parâmetros dos nós.....	41
Quadro 6 - Dados para caracterização dos poluentes.....	43
Quadro 7 - Parâmetros para a simulação dos pavimentos permeáveis.....	45
Quadro 8 - Intensidade de precipitação para tempo de retorno de 10 anos.....	48
Quadro 9 - Vazões simuladas para o evento chuvoso 08/06/2018.....	56

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Vazões medidas no Canal do Prado .....	34
Tabela 2 - Vazões das entradas de esgoto .....	35
Tabela 3 - Coeficiente de Manning das Sub-bacias .....	38
Tabela 4 - Capacidade de armazenamento em depressões .....	38
Tabela 5 - Coeficiente de Manning da região em estudo .....	40
Tabela 6 - Dados do evento de precipitação do dia 08/06/2018.....	41
Tabela 7 - Valores do Tempo de Retorno para obras de drenagem .....	42
Tabela 8 - Concentrações Médias Período Chuvoso - DBO, DQO e FT - Pontos de Coleta...	43
Tabela 9 - Concentrações Médias Período Seco - DBO, DQO e FT - Pontos de Coleta .....	43
Tabela 10 - Comparação vazões observadas e vazões calibradas - SWMM.....	50
Tabela 11 - Concentrações médias em dias secos .....	51
Tabela 12 - Valores de C1 e C2.....	52
Tabela 13 - Concentrações médias em dias chuvosos.....	52
Tabela 14 - Área das sub-bacias com aplicação de LID - Pavimentos Permeáveis .....	62
Tabela 15 - Quantidade de poluentes removidos em cada evento simulado.....	62

## LISTA DE ABREVIACÕES

APHA	American Public Health Association
CAGEPA	Companhia de Água e Esgoto da Paraíba -
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
DBO	Demanda Bioquímica de Oxigênio
DESA	Departamento de Assuntos Econômicos e Sociais
DQO	Demanda Química de Oxigênio
EPA	Environmental Protection Agency
FT	Fósforo Total
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IDF	Intensidade, Duração e Frequência
LID	Low Impact Development
MNT	Modelo Numérico de Terreno
PB	Paraíba
PLANASA	Plano Nacional de Saneamento
PMSB	Plano Municipal de Saneamento Básico
SEPLAN	Secretaria de Planejamento
SUD	Sustainable Urban Drainage Systems
SWMM	Storm Water Management Model
UFCG	Universidade Federal de Campina Grande
USEPA	United States Environmental Protection Agency
WHO	World Health Organization
WRE	Water Resources Engineers
WRSRL	Water System Research Laboratory
WSUD	Water Sensitive Urban Design

## SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO .....	13
2	OBJETIVOS .....	15
2.1	OBJETIVO GERAL .....	15
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	15
3	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	16
3.1	A URBANIZAÇÃO E AS MODIFICAÇÕES NO USO E OCUPAÇÃO DO SOLO	16
3.2	SANEAMENTO BÁSICO E DRENAGEM URBANA .....	17
3.3	QUALIDADE DAS ÁGUAS DE DRENAGEM .....	19
3.3.1	<i>Demanda Biológica de Oxigênio – DBO</i> .....	19
3.3.2	<i>Demanda Química de Oxigênio - DQO</i> .....	20
3.3.3	<i>Nutrientes</i> .....	21
3.4	DRENAGEM URBANA SUSTENTÁVEL.....	21
3.4.1	<i>Desenvolvimento Urbano de Baixo Impacto - LID</i> .....	22
3.5	MODELAGEM MATEMÁTICA DOS SISTEMAS DE DRENAGEM.....	23
3.5.1	<i>SWMM – Storm Water Management Model 5.1</i> .....	24
4	METODOLOGIA.....	26
4.1	CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO .....	26
4.1.1	SISTEMA DE DRENAGEM URBANA DE CAMPINA GRANDE - PB.....	27
4.1.1.1	Bacia Hidrográfica do Riacho do Prado .....	28
4.1.1.2	Caracterização da Canal do Prado .....	29
4.1.1.3	Delimitação das microbacias .....	30
4.1.1.4	Declividade .....	31
4.1.1.5	Uso e Ocupação do Solo.....	32
4.1.1.6	Dados quantitativos e qualitativos das águas.....	33
4.2	SWMM – MODELAGEM MATEMÁTICA .....	36
4.2.1	<i>Caracterização das Sub-bacias</i> .....	36
4.2.2	<i>Infiltração</i> .....	39
4.2.3	<i>Conduitos</i> .....	40
4.2.4	<i>Nós</i> 41	
4.2.5	<i>Dados Hidrológicos</i> .....	41
4.2.6	<i>Dados de Qualidade</i> .....	42
4.2.6.1	<i>Caracterização dos poluentes</i> .....	42

4.2.6.2	Acumulação e lixiviação de agentes poluentes .....	44
4.2.7	<i>Representação dos dispositivos LIDs</i> .....	44
4.2.7.1	Pavimentos permeáveis .....	44
4.2.7.2	Calibração do Modelo.....	45
4.2.7.3	Validação .....	45
4.3	SIMULAÇÃO DOS CENÁRIOS.....	46
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES .....	47
5.1	MODELAGEM FÍSICA.....	47
5.1.1	<i>Variáveis Hidrológicas</i> .....	47
5.1.2	<i>Calibração Chuva-Vazão</i> .....	48
5.2	MODELAGEM DA QUALIDADE DA ÁGUA.....	50
5.2.1	<i>Função Acúmulo dos Poluentes</i> .....	51
5.2.2	<i>Função de lixiviação</i> .....	52
5.2.3	<i>Calibração da Simulação de Qualidade</i> .....	53
5.3	CENÁRIOS COM USO DE LID .....	54
5.3.1	<i>Efeitos da LID sobre o Escoamento Superficial</i> .....	55
5.3.2	<i>Efeito dos dispositivos LID na qualidade das águas de drenagem</i> .....	58
6	CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES .....	64
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	66

## 1 INTRODUÇÃO

O processo de urbanização e de uso e ocupação do solo quando ocorrem sem o devido planejamento da infraestrutura urbana e o respeito aos planos diretores, acarretam problemáticas cada vez mais evidentes. Questões como desigualdade social, informalidade, insegurança, além de lacunas nos serviços de saneamento básico e na adaptação da rede de macrodrenagem e microdrenagem de uma região, propiciam o surgimento de fenômenos como alagamentos, inundações e, conseqüentemente, exposição da população local a riscos de saúde pública.

O saneamento básico promove em sua essência quatro serviços de suma importância para uma sociedade, são eles: abastecimento de água, esgotamento sanitário, drenagem urbana e o manejo dos resíduos sólidos. Porém, falhas nas políticas públicas voltadas ao planejamento, fiscalização e manutenção desses serviços, promovem graves impactos no meio ambiente, na segurança e saúde pública.

Nesse sentido, é comum a não distinção das redes coletoras de águas pluviais das redes coletoras de efluentes em cidades que sofrem com o desenvolvimento desenfreado, corroborando para a poluição dos corpos hídricos receptores, alterando assim a qualidade das águas.

Estudos apontam os efeitos provocados pela poluição difusa, alterando as demandas químicas e bioquímicas de oxigênio, além do desequilíbrio no quantitativo de nutrientes nas águas.

Desse modo, o planejamento integrado e os projetos de sistemas de drenagem urbana tornaram-se foco de pesquisas que ajudem a dirimir os efeitos da poluição e solucionar problemas advindos das lacunas de gestão e manutenção. Assim, surge o conceito de drenagem sustentável, que traz a necessidade da sociedade em buscar alternativas de desenvolvimento de baixo impacto como soluções mitigadoras das problemáticas supracitadas.

O uso de softwares que permitem modelar e entender a drenagem urbana, possibilita o desenvolvimento assertivo de tecnologias que viabilizem a diminuição dos impactos ambientais. São exemplos de tais tecnologias o uso de telhados verdes, pavimentos permeáveis, trincheiras de infiltração etc. Simuladores como o *Storm Water Management Model* – SWMM, entre outros, podem verificar a eficiência e/ou a necessidade dessas tecnologias em determinadas regiões.

Dessa forma, esse trabalho tem como objetivo promover um estudo sobre a bacia do Riacho do Prado, na cidade de Campina Grande-PB, visando desenvolver possíveis propostas

com o uso de Técnicas de Desenvolvimento de Baixo Impacto, mitigando assim os efeitos do escoamento superficial existentes na qualidade das águas da Bacia do Riacho do Prado.

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 OBJETIVO GERAL**

Analisar a rede de macrodrenagem urbana da bacia do Riacho do Prado, no município de Campina Grande - PB para propor soluções de desenvolvimento de baixo impacto.

### **2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Propor cenários com o uso de pavimentos permeáveis na área de estudo;
- Analisar os efeitos da introdução de técnicas LID sobre o escoamento superficial da área de drenagem em estudo;
- Verificar os efeitos da introdução de técnicas LID sobre a qualidade da água do Canal do Prado.

### 3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

#### 3.1 A URBANIZAÇÃO E AS MODIFICAÇÕES NO USO E OCUPAÇÃO DO SOLO

Segundo o Departamento de Assuntos Econômicos e Sociais (DESA) da ONU – Organização das Nações Unidas em 2018 aproximadamente 55% da população mundial habita em áreas urbanas, uma proporção que deve aumentar para 68% até 2050. Essas projeções mostram que o fenômeno da urbanização e êxodo rural, combinados com o total crescimento da população mundial poderão adicionar outros 2,5 bilhões de pessoas às áreas urbanas até 2050.

García et al. (2005) explana que o crescimento populacional e a consequente expansão urbana desordenada são temas em evidência principalmente em cidades de países em desenvolvimento.

A urbanização, segundo Miguez et al. (2016), é um dos fatores, provenientes das atividades antrópicas, que mais provocam alterações nas características de uso do solo, acarretando intensos impactos ambientais nas áreas originais.

Com o aumento da industrialização, ou seja, da produção e o consequente consumo de suprimentos, aumenta-se a busca de recursos de água doce, gerando assim maiores demandas de esgotamento sanitário e elevação dos índices de poluição hídrica, agravados pela ineficácia da legislação e fiscalização dos órgãos responsáveis os quais deveriam garantir práticas adequadas quanto ao uso e ocupação do solo (RIGUETTO et. al, 2017).

De acordo com Tucci (2008) fatores como o forte adensamento urbano associados às questões climáticas e às práticas inconsequentes da população como o despejo de esgoto industriais e domésticos, sem o devido tratamento, o lançamento de resíduos sólidos nas redes de drenagem, que contaminam as águas superficiais e subterrâneas, podem gerar a obstrução de canais, bueiros, bocas de lobo etc. Problemáticas que em períodos de chuva, acarretam consequências diretas no escoamento superficial e na drenagem urbana.

Além dos fatores supracitados, Santos et al. (2017) alega que as falhas no planejamento urbano agravam impactos ambientais provindos da perda de cobertura vegetal causada pela implantação de pavimentos impermeáveis, o que implica na diminuição da capacidade de infiltração da água no solo, aumentando assim a sua quantidade e velocidade de escoamento.

De acordo com Andimuthu et al. (2019), nas redes urbanas típicas de águas pluviais, vulnerabilidades como inundações surgem à medida que a capacidade dos componentes no sistema de drenagem é sobrecarregada e o escoamento acumula-se na superfície.

### 3.2 SANEAMENTO BÁSICO E DRENAGEM URBANA

A Lei 14.026 de 2020 considera o Saneamento Básico como: conjunto de serviços públicos, infraestruturas e instalações operacionais de abastecimento de água potável, esgotamento sanitário, limpeza urbana e manejo de resíduos sólidos e drenagem e manejo de águas pluviais. Essa lei ainda define que os serviços de drenagem urbana e o manejo de águas pluviais são constituídos pelas atividades, pela infraestrutura e pelas instalações operacionais de drenagem de águas pluviais, transporte, detenção ou retenção para o amortecimento de vazões de cheias, tratamento e disposição final das águas pluviais drenadas, contempladas a limpeza e a fiscalização preventiva das redes (BRASIL, 2020).

Tucci (2008) cita que o desenvolvimento das infraestruturas de saneamento passou por três fases distintas. A primeira, refere-se ao período pré-higienista, em que os esgotos eram despejados em fossas, não havia canais de drenagem e o abastecimento urbano de água utilizava fontes próximas das casas (CHRISTOFIDIS, 2010; TUCCI, 2008). Nesse período, houve grande proliferação de doenças e epidemias, surgindo a necessidade de desenvolvimento de medidas mitigadoras.

Nesse contexto, desenvolve-se o período higienista, no qual foram construídas as canalizações e os condutos para transportar os esgotos e escoamentos pluviais para longe das cidades, o que ocasionou a transferência dos problemas a jusante, poluindo os corpos hídricos e aumentando as inundações. Na tentativa de controlar os impactos advindos do enfoque higienista, desenvolveu-se a fase corretiva em que se praticou o tratamento do esgoto doméstico e industrial e o amortecimento das vazões de escoamento pluvial (BAHIENSE, 2013).

Após o fim da Segunda Guerra Mundial muitos países passaram por um processo de evolução tecnológica e de reestruturação urbana, porém associado a este contexto, tem-se o crescimento desenfreado promovido pelo fenômeno da urbanização.

Em 1970 foi aprovado a *Clean Water Act* (Lei da Água Limpa) nos Estados Unidos, que define a necessidade de tratamento dos efluentes com a melhor tecnologia disponível, objetivando a recuperação e conservação dos rios, a necessidade de medidas corretivas frente aos sistemas de canalizações existentes e a preocupação quanto a real situação das redes de drenagem, sendo esta fase conhecida como o período corretivo das águas urbanas (TUCCI, 2012). Além desse marco, surge o Plano Nacional de Saneamento – PLANASA no Brasil, primeira atuação governamental quanto ao que se conhece hoje por saneamento básico.

Ainda segundo Tucci (2012), a partir dos anos 90 até os dias atuais, tem-se a implantação do conceito de desenvolvimento sustentável, que vincula o planejamento da ocupação do espaço urbano aos aspectos econômicos, sociais e principalmente ambientais.

O manejo de águas pluviais é uma das vertentes fundamentais do saneamento, uma vez que proporciona a preservação da estrutura física de uma comunidade. De acordo com Miguez et al. (2012) o sistema de drenagem urbana compreende dois subsistemas principais: microdrenagem e macrodrenagem. Microdrenagem é o sistema de condutos construídos para receber e transportar a água da chuva que flui das superfícies urbanas (telhados, lotes, ruas, praças etc.). O sistema de microdrenagem é essencialmente definido pelo layout das ruas em áreas urbanas e tem como principais elementos constitutivos os meios-fios, sarjetas, bocas de lobo, poços de visitas, galerias, condutos forçados e estações de bombeamento.

Ainda Miguez et al. (2012) cita que a rede de macrodrenagem é destinada para receber a descarga final do escoamento superficial da rede de microdrenagem. A macrodrenagem corresponde à principal rede de drenagem, constituída por rios e obras complementares, como canais artificiais, galerias de águas pluviais, diques etc.

Fatores como a falta de planejamento urbano que englobam: o desrespeito a diretrizes de uso e ocupação do solo, a má gestão dos recursos hídricos, impermeabilização massiva dos solos, lacunas no aporte tecnológico para implementação e manutenção das redes de macrodrenagem e microdrenagem, acentuam problemáticas que envolvem vazões sazonais, interferindo no processo de escoamento natural e podendo gerar problemáticas como inundações, enchentes e alagamentos (MIGUEZ, 2016).

Dentre os aspectos ambientais, são de suma importância para a implementação de uma rede drenante eficaz a obediência aos mecanismos naturais de escoamento, controle de micro poluentes, estudos para o entendimento do que se trata de poluição difusa e a importância da recuperação do processo de infiltração para o controle do escoamento pluvial (TUCCI, 2012).

Os diferentes usos do solo pertencentes a uma bacia hidrográfica podem impactar os córregos, lagos e reservatórios com uma variedade de poluentes transportados pelos sistemas de drenagem. Camelo (2019) afirma que podem existir duas formas de lançamentos de poluentes no meio ambiente, a primeira seria de maneira concentrada ou pontual e a segunda de maneira distribuída ou difusa.

Segundo Lima et al. (2016) as fontes pontuais são aquelas cujos poluentes, independente de condições climáticas, atingem um determinado corpo de água de forma concentrada no espaço, com localização bem definida. Os efluentes domésticos e as descargas industriais são exemplos das maiores fontes artificiais desse tipo de poluição.

Já no tocante a poluição difusa, Riguetto et al. (2017) cita que essa tipologia está intrinsecamente ligada à precipitação uma vez que tem início com a lavagem e transporte de

poluentes atmosféricos por meio das chuvas, carreando matéria depositada na superfície da bacia que chega até o seu destino em um corpo receptor.

A poluição difusa é um dos principais problemas para a gestão de bacias hidrográficas. Informações sobre a extensão em que os poluentes advindos das águas pluviais alcançam precisam ser monitoradas para ajudar na proteção e restauração de córregos nas bacias hidrográficas urbanas (TSUJI et al., 2019).

### 3.3 QUALIDADE DAS ÁGUAS DE DRENAGEM

O monitoramento dos fluxos de águas pluviais é importante para analisar a influência do crescimento urbano e as mudanças nos padrões de uso da terra. De acordo com Camacho et al. (2017) corpos receptores, nos países em desenvolvimento, frequentemente recebem águas com altos índices de poluentes devido a combinação de falhas como conexões incorretas dos esgotos, contribuição de águas residuais provindas de sistemas de drenagens e descargas industriais não controladas.

O monitoramento da qualidade da água é uma etapa de grande relevância e demanda um processo complexo, uma vez que muitos fatores devem ser considerados, tais como pontos de monitoramento, seleção de indicadores de qualidade da água, frequência do monitoramento e identificação dos objetivos do monitoramento (BEHMEL et al. 2016).

Na modelagem de qualidade das águas de drenagem, indicadores de conteúdo orgânico e de nutrientes são fundamentais. Neste contexto, pode-se enfatizar os indicadores: DBO (demanda bioquímica de oxigênio), DQO (demanda química de oxigênio) e os que expressam as concentrações de fósforo e nitrogênio.

#### 3.3.1 *Demanda Biológica de Oxigênio – DBO*

Segundo Sant’anna Jr. (2013), o teste da DBO visa replicar a biodegradação dos poluentes presentes no esgoto quando lançados em corpos d’água receptores, esse teste ocorre em dois estágios. No primeiro estágio tem-se a oxidação da matéria carbonácea e no segundo, que ocorre tardiamente, a demanda nitrogenada.

A  $DBO_5^{20}$  é um parâmetro amplamente usado para análises quanto a poluição orgânica aplicada às águas residuais e às águas superficiais e representa a quantidade de oxigênio consumido por bactérias para a degradação da matéria orgânica sob condições aeróbias, este é o indicador de poluição orgânica mais usado universalmente (METCALF e EDDY, 2016).

Na Resolução CONAMA N° 357/2005 são expostas classes de uso e valores padrões de DBO para água doce. Para a classe I (águas para abastecimento público após tratamento

simplificado), classe II (águas para abastecimento público após tratamento convencional) e classe III (águas para abastecimento público após tratamento avançado) os valores de DBO são respectivamente 3, 5 e 10mg/L.

Já de acordo com o programa “Córrego Limpo” desenvolvido em São Paulo - SP, foram caracterizados córregos na região, nos quais valores de DBO dentro da faixa de 10 a 30mg/L ainda são considerados de boas condições, com aspecto estético bom, sem odores permitindo a existência de vida aquática, porém a partir de 30mg/L a qualidade das águas diminui e ao chegar em 70mg/L são consideradas poluídas (SILVA, 2014). Segundo Von Sperling (2014), para esgotos domésticos brutos a  $DBO_5$  pode variar na faixa de 250 a 400mg/L, com valor típico de 300mg/L.

Uma das principais razões para o tratamento de águas residuais antes de sua descarga em um recurso hídrico é diminuir sua DBO, ou seja, reduzir sua necessidade de oxigênio e, assim, diminuir sua demanda dos córregos, lagos, rios ou estuários nos quais é liberada (BASANT et al. 2010).

De acordo com o artigo 16º da resolução do CONAMA Nº 430/2011, para lançamento de efluentes de forma direta nos corpos receptores, a  $DBO_5$  deve apresentar redução de no mínimo 60%. Caso tenha a comprovação por meio de estudos de que o corpo hídrico possui capacidade de autodepuração, esses valores podem ser revisados.

### 3.3.2 *Demanda Química de Oxigênio - DQO*

DQO é indicador indispensável no estudo de caracterização de esgotos sanitários. Para Li et al. (2019) um teste de DQO pode ser usado para quantificar facilmente a quantidade de matéria orgânica na água. A aplicação mais comum de DQO é na quantificação de poluentes oxidáveis encontrados nas águas superficiais (por exemplo, lagos e rios) ou nas águas residuais.

Segundo Metcalf e Eddy (2016) DQO é a quantidade de oxigênio necessária para oxidação da matéria orgânica através de um agente químico. Na determinação da DQO, normalmente se utiliza dicromato de potássio ( $K_2Cr_2O_7$ ) como agente oxidante em meio ácido. O teste é realizado em um prazo de 2 a 3 horas, mais rápido que o teste da DBO. Em contrapartida, diferentemente do teste de DBO, a DQO não diferencia o material orgânico biodegradável do não biodegradável

Em análises de esgotos domésticos os valores da DQO variam na faixa de 200 a 800mg/L, apresentando, tipicamente, valores em torno de 600mg/L. O aumento da concentração de DQO num corpo hídrico se deve, principalmente, a despejos de origem industrial. (JORDÃO E PESSOA, 2011).

A razão típica DQO/DBO para esgotos domésticos é da ordem de 1,7 a 2,5, valores superiores são indicativos de presença de esgotos industriais (CETESB, 2017).

### 3.3.3 *Nutrientes*

Devido aos lançamentos clandestinos de esgotos domésticos e industriais no sistema de águas pluviais e ao carreamento de fertilizantes oriundos de áreas agrícolas, corpos hídricos se tornam poluídos e passam a ter altas concentrações de Nitrogênio e Fósforo. Nesses corpos hídricos o nitrogênio pode ser encontrado como nitrogênio orgânico, nitrogênio amoniacal, nitrito e nitrato e o fósforo, como fosfatos orgânicos, ortofosfatos e polifosfatos. (MARTINS, 2017).

## 3.4 DRENAGEM URBANA SUSTENTÁVEL

Os sistemas de drenagem podem contribuir para o desenvolvimento sustentável, equilibrando as diferentes oportunidades e desafios que influenciam o design urbano e o desenvolvimento das comunidades.

Segundo Sillanpää et al. (2015) o objetivo do gerenciamento sustentável no tocante ao escoamento urbano é prevenir e mitigar mudanças resultantes da urbanização. Com uma abordagem convencional, o gerenciamento de riscos de inundação se concentra em lidar com eventos não frequentes de escoamento induzido por grandes tempestades.

Porém, existem vertentes para gerenciamento das águas superficiais que levam em consideração a quantidade de água (inundações), a qualidade da água (poluição), a biodiversidade (animais selvagens e plantas) e as comodidades necessárias para o alcance de qualidade de vida. Salienta-se a abordagem baseada nos Sistemas de Drenagem Urbana Sustentáveis (Sustainable Urban Drainage Systems – SUDs) no Reino Unido, o de Design Urbano Sensível a Água (Water Sensitive Urban Design – WSUD) na Austrália e o de Desenvolvimento Urbano de Baixo Impacto (Low Impact Development – LID) na América do Norte (URRUTIAGUER et al., 2010).

Considerando o fato de que as LIDs oferecem benefícios econômicos, ambientais e estéticos, podendo ser efetivamente incluídas nos planos e projetos integrados de gerenciamento de inundações urbanas, as suas implantações são fortemente sugeridas para os países em desenvolvimento (LIAO et al., 2015).

Em 2012, no Brasil, foi desenvolvido pelo Ministério das Cidades, um manual com propostas que objetivam a aplicação da abordagem LID na implantação e ampliação de sistemas de drenagem urbana sustentáveis em cidades com mais de 50 mil habitantes (BRASIL, 2012)

### 3.4.1 *Desenvolvimento Urbano de Baixo Impacto - LID*

As abordagens de Desenvolvimento Urbano de Baixo Impacto (LID) fornecem ferramentas eficazes para resolver problemas de gerenciamento de inundações urbanas, mantendo e/ou restaurando as condições hidrológicas naturais e melhorando as condições ambientais em uma determinada bacia (LEE et al., 2012).

Para alcançar os objetivos pretendidos de gerenciamento de águas pluviais, as abordagens LID se baseiam no balanço hídrico, concentrando-se em práticas que promovem maior evapotranspiração, infiltração e recarga de água subterrânea além de menores volumes de escoamento superficial e taxas de fluxo (MOVAHEDINIA et al., 2019).

De acordo com Chen et al. (2018) diferentes tipos de técnicas LIDs foram desenvolvidas visando propiciar o aumento da área de cobertura permeável. Dentre as mais conhecidas, tem-se as zonas de biorretenção, jardins de chuva, telhados verdes, trincheiras de infiltração, pavimentos permeáveis etc.

Em 2014, o Governo Australiano desenvolveu diretrizes para o projeto técnico de biorretenção, uma das principais técnicas LID, que consiste em depressões superficiais na paisagem urbana projetadas para coletar e tratar águas pluviais, que são transportadas para o sistema e tratadas por meio de um filtro com plantas e biologicamente ativo de areia e barro. À medida que a água penetra no meio filtrante, os poluentes são capturados por filtração fina, adsorção e processamento biológicos provenientes dos micróbios e plantas do solo. A água tratada é descarregada e/ou transportada através de tubos perfurados para sistemas de drenagem a jusante, como cursos de água, canais ou tubulações.

As trincheiras de infiltração são escavações rasas com entulho ou pedra que criam um armazenamento temporário subterrâneo do escoamento de águas pluviais, aumentando assim a capacidade natural do solo de armazenar e drenar água (MELO et al., 2016).

Segundo Shafique (2018) os telhados verdes são projetados para promover o crescimento da vegetação e proteger a integridade estrutural do telhado. O benefício de gerenciamento de águas pluviais fornecido pelos telhados verdes consiste na capacidade das plantas em reter água da chuva, aumentando o processo de evapotranspiração e permitindo que o escoamento das águas pluviais seja liberado gradualmente.

A construção de estacionamentos, calçadas e estradas usando pavimentos permeáveis é mais uma técnica LID que ajuda a restaurar as funções naturais de infiltração na paisagem e a reduzir os impactos nos cursos de água, permitindo que a água da chuva se infiltre lentamente

no solo. Os contaminantes são removidos da água da chuva à medida que ela infiltra lentamente entre a sub-base de cascalho e o solo nativo. (IMRAN et al. 2013)

Lin et al. (2015) avaliou a performance de pavimentos permeáveis através do Storm Water Management Model (SWMM) e perceberam bons índices de reduções de escoamentos.

No Japão, o pavimento permeável é integrado a programas que incluem todas as técnicas de infiltração. Tais técnicas são utilizadas principalmente nos bairros das grandes cidades, em lugares disponíveis e que podem ser inundados, tais como quadras de esporte de universidades, pátios de escolas, etc. (ALVES, 2017)

As práticas supracitadas atualmente podem ser estudadas e simuladas por meio de modelos hidrológicos de gerenciamento de águas pluviais a fim de promover a ampla adoção das abordagens sustentáveis levando em consideração o ciclo hídrico por engenheiros, planejadores e outros profissionais da indústria de desenvolvimento.

### 3.5 MODELAGEM MATEMÁTICA DOS SISTEMAS DE DRENAGEM

De acordo com Batista e Boldrin (2018) atualmente os principais conceitos necessários para descrever a dinâmica de drenagem de uma área urbana são conhecidos e aplicáveis em modelos hidrológicos que podem simular o comportamento do sistema de água urbano, servindo como uma ferramenta útil para o planejamento e análise de sistemas de drenagem urbana.

O avanço dos modelos matemáticos como ferramentas para design e operação acompanharam um desenvolvimento histórico de acordo com a finalidade para o qual foram criados como redes de drenagem, estações de tratamento e meios receptores. (DAVID, 2005).

Segundo Camelo (2019) existem diversos modelos matemáticos hidrológicos que objetivam simular o comportamento quantitativo e qualitativo das águas urbanas, destacam-se:

- QUAL2E: Desenvolvido pela EPA – Agência de Proteção Ambiental Americana, tem como principais funções a análise qualitativa das águas de uma bacia hidrográfica, caracterizando-as simultaneamente quanto a DBO, temperatura, clorofila, nitrogênio orgânico e amoniacal, dentre outros.
- L-THIA: Sistema integrado ao de informações Geográficas Arcview, desenvolvido pela Universidade de Purdue nos Estados Unidos, possibilita a quantificação das alterações no escoamento superficial e das cargas difusas de poluição decorrentes de mudanças no uso e ocupação do solo.

- **STORM:** Apresentado em 1973 pela incorporação WRE – Water Resources Engineers na Califórnia é uma ferramenta útil para planejamento quanto a compensação entre tratamento e armazenamento de águas pluviais.
- **SHETRAN:** Simulador desenvolvido pela WRSRL – Water System Research Laboratory no Reino Unido detalha, no tempo e no espaço, os escoamentos superficiais e/ou subsuperficiais, o transporte de sedimentos e poluentes e suas transformações associadas aos impactos e mudanças do uso do solo.
- **SWMM:** Modelo complexo de gestão de águas pluviais desenvolvido pela USEPA (United States Environmental Protection Agency), constantemente utilizado na simulação da quantidade e da qualidade de escoamentos superficiais em áreas urbanas.

Nestes estudo o SWMM foi escolhido como ferramenta de modelagem por apresentar uma boa aceitação no meio científico, ser um software de livre acesso além de ser uma ferramenta importante para análise de viabilidade e aplicação de tecnologias LID.

### 3.5.1 *SWMM – Storm Water Management Model 5.1*

O Modelo de Gerenciamento de Águas Pluviais SWMM atualmente gerenciado pela Agência Americana de Proteção Ambiental (EPA) é um modelo de simulação de código de fonte aberto, que visa representar dinamicamente processos de precipitação pluviométrica, podendo tratar-se eventos únicos ou contínuos, caracterizando aspectos como quantidade e qualidade do escoamento superficial de áreas, principalmente em zonas urbanas (ROSSMAN, 2015).

Tal modelo foi desenvolvido em 1971 e passou por constantes atualizações. Ao longo de uma série de modificações, entre os anos 1980 e 1990, foram adicionadas novas atribuições dentre elas a possibilidade de análises quanto à rotina de fluxo de onda dinâmica completa, infiltração Green-Ampt, modelagens quanto ao processo de derretimento de neve, de águas subterrâneas, de seções transversais irregulares dos canais. Em 2005, foi criada uma versão toda reescrita em linguagem C, incluindo uma melhor interface gráfica, melhorias dos algoritmos e a inclusão de novos recursos como configurações para modelagens de LID e mapas de áreas de drenagem (ROSSMAN, 2017).

Segundo Rossman (2017) com o SWMM é possível desenvolver simulações do âmbito hidrológico como a precipitação variável no tempo, interceptação de chuvas, evaporação da água de superfície e infiltração das chuvas em camadas não saturadas de solos naturalmente e com uso de medidas de controle de baixo impacto, percolação de água bem como interfluxo entre a água subterrânea e o sistema de drenagem. No âmbito hidráulico é possível fazer estudos

quanto à entrada externa de escoamento superficial, fluxo sanitário nos corpos receptores, estações de tratamento, bombeamento, zonas de divisão, conexão e armazenamento de canais.

Em relação à qualidade da água, alguns processos podem ser modelados pelo SWMM para qualquer número de componentes de qualidade da água pré-definidos. Dentre tais processos pode-se citar a acumulação e lavagem de poluentes durante períodos de chuva, a entrada de fluxos sanitários em clima seco, as entradas externas especificadas em qualquer ponto de um sistema de drenagem, bem como, a possibilidade de analisar como as concentrações de poluentes são reduzidas nos sistemas de transporte em função de variáveis, como concentração, vazão, profundidade da água etc. (ROSSMAN e HUBER, 2016).

Quanto ao uso de técnicas de desenvolvimento de baixo impacto é possível simular no SWMM até oito tipologias, sendo elas zonas de biorretenção, o jardim de chuva, a cobertura verde, as trincheiras de infiltração, o pavimento permeável, cisternas, valas de infiltração sem drenos e as áreas vegetadas (ALVES, 2017).

Além dos pontos supracitados o software SWMM é amplamente utilizado na Engenharia Civil, Sanitária e Ambiental em etapas de planejamento, análise e design relacionados ao escoamento de águas pluviais, esgotos combinados, esgotos sanitários e outros sistemas de drenagem em áreas urbanas, com muitas aplicações também em áreas não urbanas. (WAIKAR e NAMITA, 2015).

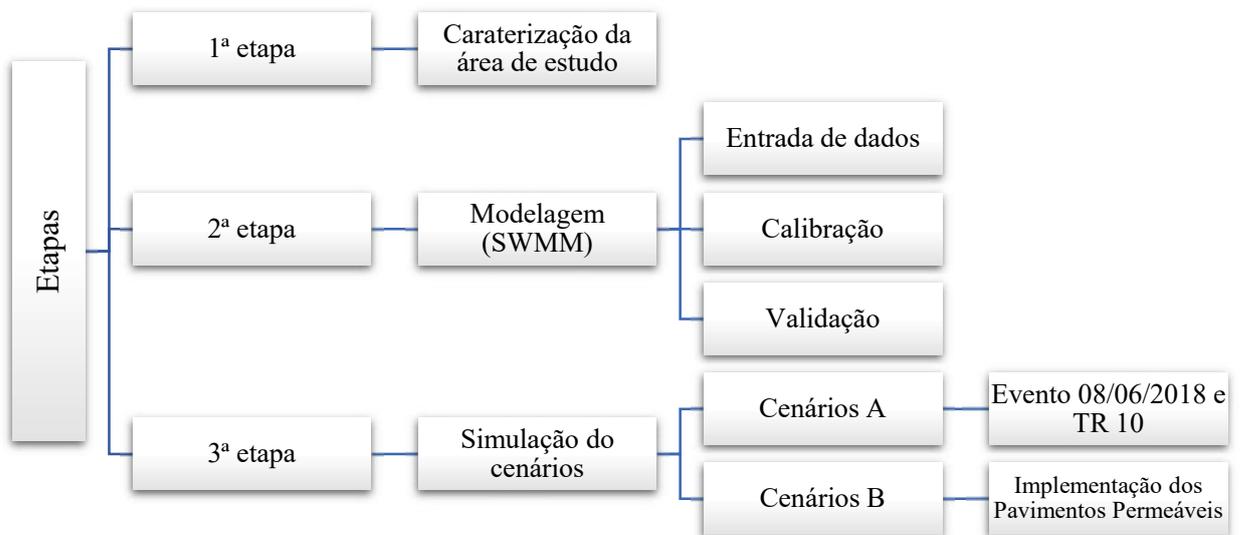
Costa (2013) analisou o comportamento quantitativo e qualitativo das águas de drenagem urbana através do monitoramento de eventos chuvosos pela modelagem matemática, com o modelo SWMM. A autora verificou que o modelo se aplica bem a bacias urbanas, mas pode ser melhorado com a calibração de um evento para estimar as vazões com precisão satisfatória.

Gomes (2014) realizou a calibração do modelo SWMM para uma bacia piloto do município de Natal – RN. Foi avaliado o uso do solo, a partir de análise espacial da acumulação de poluentes, diferenciando-se por classes de poluição nas subáreas.

## 4 METODOLOGIA

A pesquisa foi realizada em três etapas metodológicas apresentadas na Figura 1.

Figura 1 – Etapas metodológicas da pesquisa



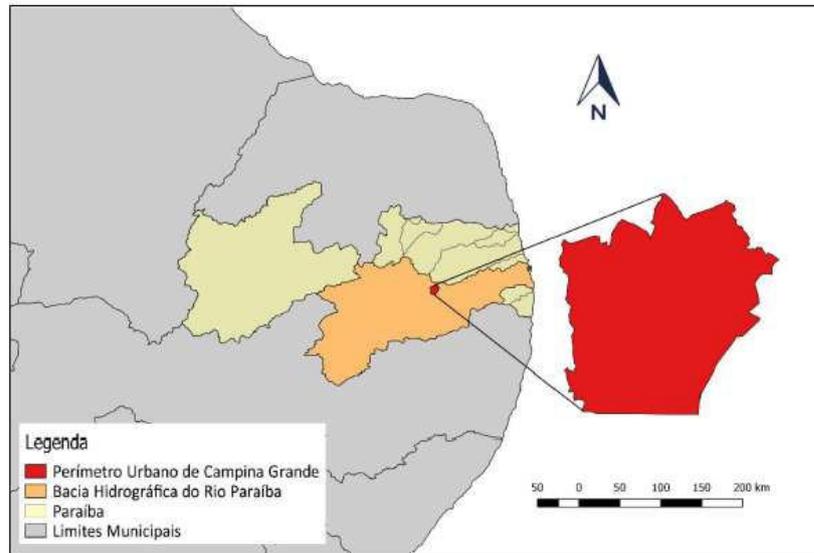
Fonte: Autoria Própria (2021)

### 4.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

O município de Campina Grande está inserido no semiárido brasileiro, a 7°13'50" de latitude Sul e a 35°52'52" de longitude oeste, no interior do estado da Paraíba, entre as regiões do Médio e Baixo Curso do Rio Paraíba (Figura 2) (IBGE,2018). Apresenta 593,658 km<sup>2</sup> de área territorial sendo 42,92km<sup>2</sup> de área urbana que tem densidade populacional de 648,31 hab/km<sup>2</sup> e população estimada em 411.807 habitantes (IBGE, 2020).

Com clima semiárido quente, a cidade de Campina Grande apresenta uma precipitação média anual entre 700mm e 800mm, com predominância de chuvas intensas. Está a 550 m acima do nível do mar e dista 120km da capital do estado, João Pessoa. Possui quatro distritos, São José da Mata, Galante, Catolé de Boa Vista e Sede. (FREIRE, 2014).

Figura 2 - Localização da Bacia do Rio Paraíba



Fonte: Camelo (2019)

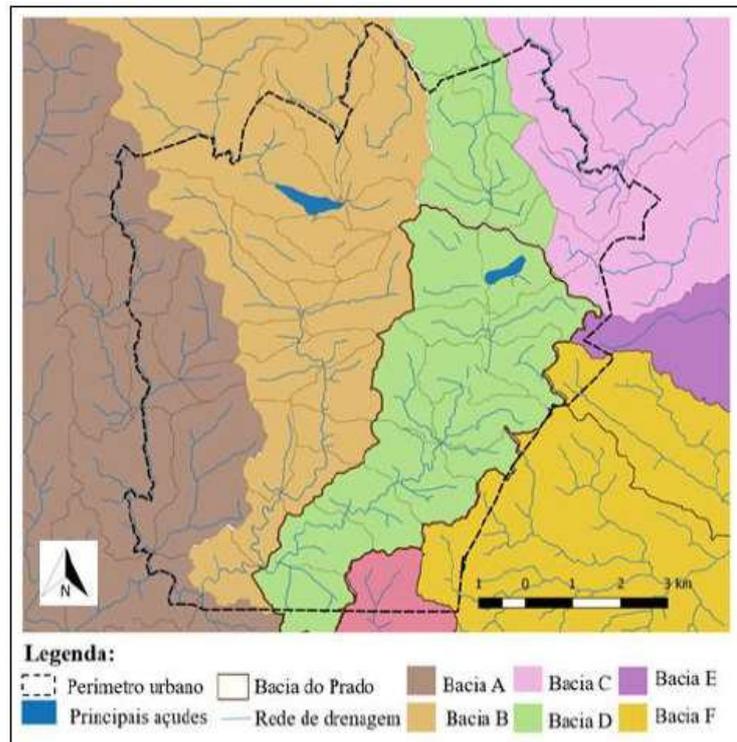
Entre os anos de 1991 e 2010, segundo dados do IBGE (2018) o crescimento populacional do município de Campina Grande apresentou uma taxa de 18%, fator que propiciou o fenômeno da verticalização em alguns bairros da cidade, evidenciando o aumento do índice de impermeabilização do solo e impactos no escoamento superficial (TSUYUGUCHI, 2015).

Os serviços de saneamento do município são prestados por empresas públicas e privadas, dentre elas a Companhia de Água e Esgoto da Paraíba - CAGEPA que contempla os serviços de abastecimento de água e esgotamento sanitário, além de órgãos públicos como a Secretaria de Serviços Urbanos e Meio Ambiente – SESUMA, que promove os serviços de limpeza urbana no município (PMSB/CG, 2014).

#### 4.1.1 SISTEMA DE DRENAGEM URBANA DE CAMPINA GRANDE - PB

O município em estudo tem seu perímetro urbano inserido em uma área com predominância das Bacias do Riacho do Bodocongó (Bacia B), Bacia do Riacho das Piabas (Bacia C) e a Bacia do Riacho do Prado (Bacia D), conforme mostra a Figura 3 (PMSB/CG, 2014).

Figura 3 - Bacias Hidrográficas de Campina Grande – PB



Fonte: Camelo (2019)

O sistema de macrodrenagem da cidade de Campina Grande também é composto por canais abertos trapezoidais, retangulares e parabólicos, dentre eles tem-se como principais canais o de Bodocongó, o canal das Malvinas e de Santa Rosa, o canal das Piabas e o canal do Prado. No tocante a microdrenagem, o sistema é composto por bocas de lobo, sarjetas, poços de vistas, galerias, tubos de ligação etc. (BARROS, 2015).

Nos estudos desenvolvidos por Vidal (2019) e Camelo (2019), foram levantados dados que evidenciaram o lançamento de efluentes domésticos e a inadequada destinação de resíduos sólidos nos canais de Campina Grande-PB, fato que oferece perigo para a população que reside próximo às estruturas de macrodrenagem. Além disso, Ramalho (2015) verificou que alagamentos e enchentes são recorrentes em zonas da cidade, trazendo em questão a ineficiência do sistema de drenagem existente.

#### 4.1.1.1 Bacia Hidrográfica do Riacho do Prado

A Bacia do Riacho do Prado, possui uma área de 24,7 km<sup>2</sup> e perímetro de 40,2 km. O trecho construído do canal do Prado (Figura 4) tem início no Açude Velho, localizado no Centro

da cidade, e termina no bairro Jardim Paulistano, após esse ponto o canal segue seu curso natural (CAMELO, 2019).

Figura 4 - Canal Artificial do Prado – Campina Grande/PB



Fonte: Autoria Própria (2021).

#### 4.1.1.2 Caracterização da Canal do Prado

Para este estudo foram analisados dados disponíveis quanto à caracterização da bacia, coletados por trabalhos anteriores em Campina Grande (Quadro 1), além de dados da Prefeitura Municipal e de ferramentas como Google Earth e Google Street View. Os dados coletados de tais estudos foram organizados em planilhas eletrônicas.

Quadro 1 - Estudos anteriores sobre a Bacia do Riacho do Prado

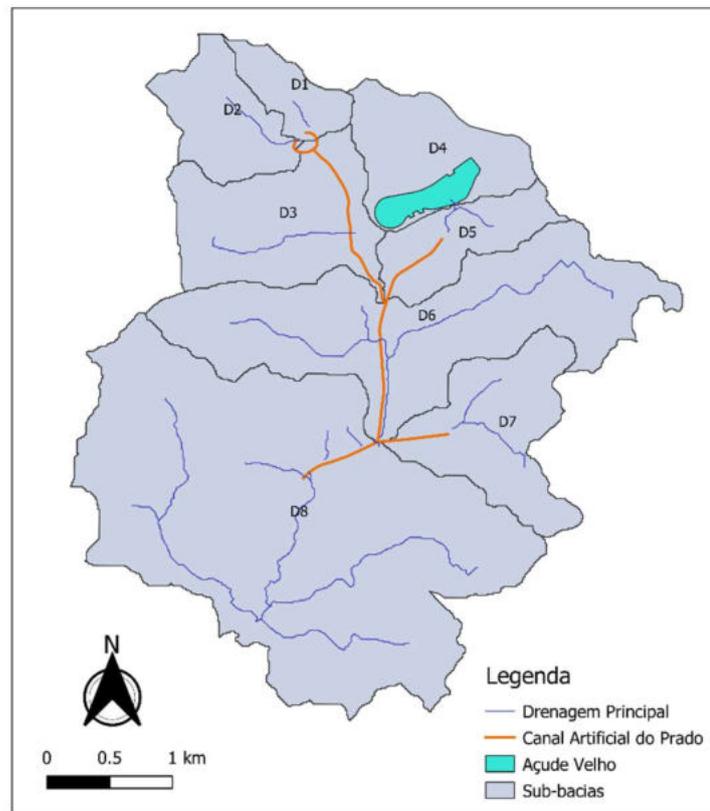
<b>Autor/publicação</b>	<b>Contribuição</b>
Nóbrega (2012)	Análise do sistema de drenagem de Campina Grande-PB para proteção de áreas de risco de inundação
Henriques (2014)	Distribuição da contaminação fecal em águas de drenagem afluentes do canal do Prado, Campina Grande-PB
PMSB CG (2014)	Diagnóstico, prognóstico e proposição de medidas para o Sistema de Drenagem Urbana de Campina Grande – PB
Barros (2015)	Distribuição de indicadores de contaminação fecal em águas de drenagem urbana – estudo de caso: Canal do Prado, Campina Grande-PB
Tsuyuguchi (2015)	Macrodrenagem e ocupação do solo no município de Campina Grande: caracterização, simulação e análises sistêmicas
Alves (2017)	Simulações de medidas compensatórias sustentáveis de drenagem: propostas em duas microbacias urbanas
Camelo (2019)	Modelagem da poluição difusa em sistemas de macrodrenagem de bacias urbanas
Vidal (2019)	Avaliação da poluição difusa no sistema de macrodrenagem de Campina Grande-PB

Fonte: Autoria Própria (2021).

#### **4.1.1.3 Delimitação das microbacias**

A Figura 5 ilustra as 8 sub-bacias, D1, D2, D3, D4, D5, D6, D7 e D8, presentes na bacia do Riacho do Prado, que contribuem para o canal artificial em estudo.

Figura 5 – Microbacias - Canal do Prado

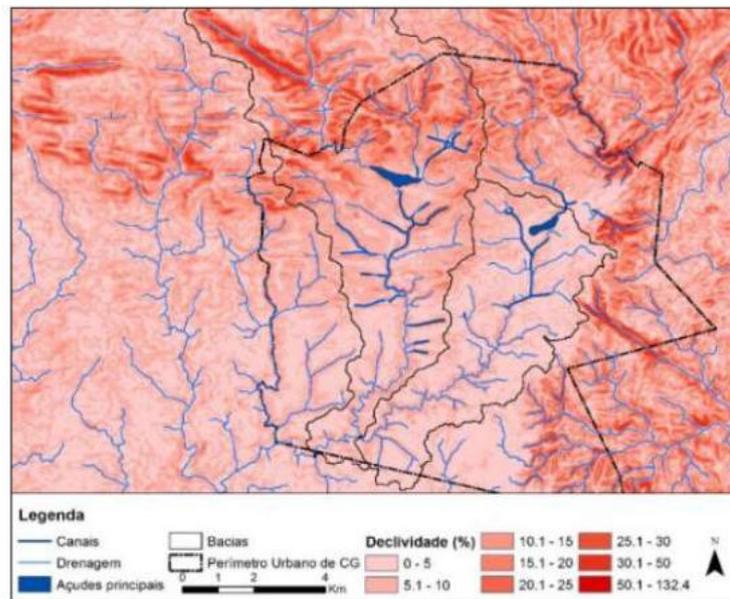


Fonte: Autoria Própria (2021).

#### 4.1.1.4 Declividade

De acordo com o mapa de declividade de um local, é possível entender a forma como uma cidade é ocupada, fato que também sofre influências econômicas como o desenvolvimento de infraestruturas e a construção de vias de transporte. As declividades da área de estudo, como expostas na Figura 6, são inferiores a 30% em toda sua extensão (CAMELO,2019).

Figura 6 - Declividade Média das Sub-bacias

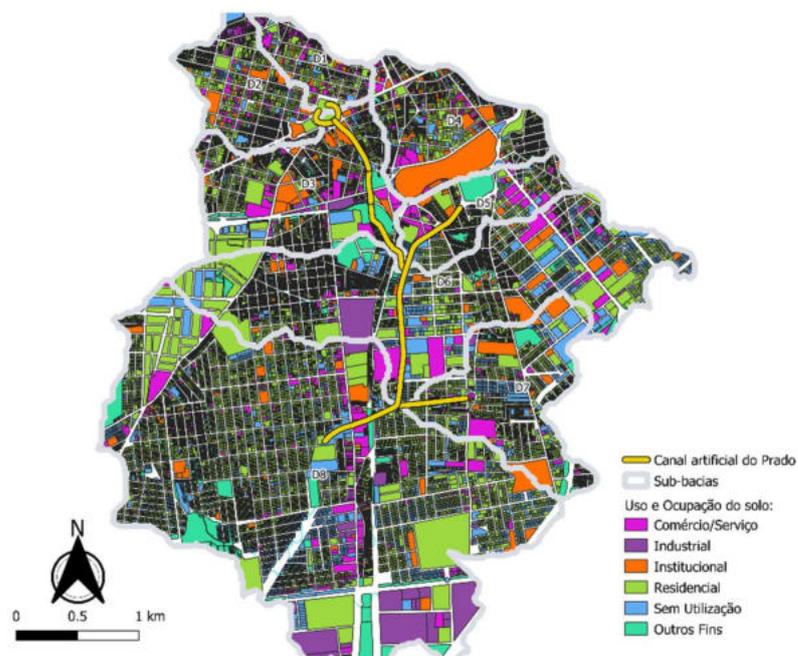


Fonte: Adaptado de Tsuyuguchi (2015)

#### 4.1.1.5 Uso e Ocupação do Solo

Após análises do mapa de uso e ocupação do solo (Figura 7), pode-se observar que a região do Canal do Prado é composta com áreas predominantemente residenciais, de comércio e serviços.

Figura 7 - Mapa de Uso e ocupação do Solo das Sub-bacias

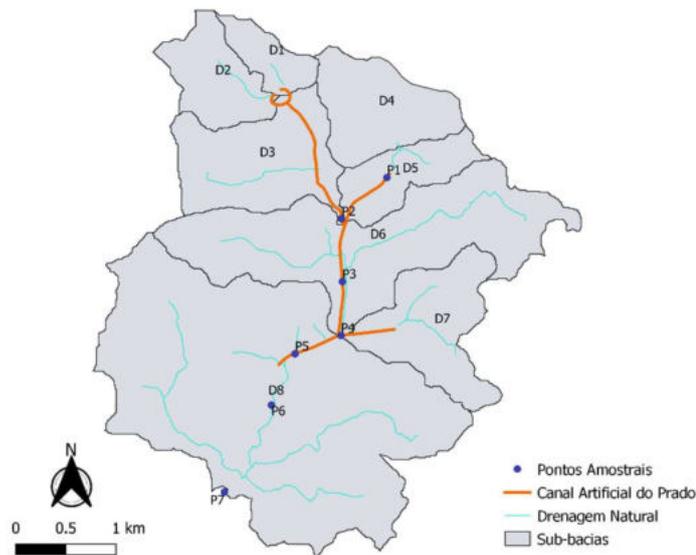


Fonte: Autoria Própria (2021).

#### 4.1.1.6 Dados quantitativos e qualitativos das águas

Neste estudo foram utilizados dados levantados por Camelo (2019), Vidal (2019) e Filho (2019), referentes às características quantitativas e qualitativas das águas do canal do Prado, para tal, foram monitorados 7 pontos de coleta distribuídos ao longo do canal, como ilustra a Figura 08.

Figura 8 - Pontos de coleta no Canal do Prado



Fonte: Autoria Própria (2021).

Para o estudo serão analisados apenas os dados referentes ao trecho construído do canal do Prado, compreendidos pelos pontos P1, P2, P3, P4 e P5. O ponto P1 representa a contribuição das sub-bacias D4 e D5; o ponto P2 compreende as sub-bacias D1, D2 e D3; o P3 recebe as contribuições da sub-bacia D6; o P4 encontra-se em um tributário e compreende as contribuições da sub-bacia D7; o P5 representa parte das contribuições da sub-bacia D8.

Dentre o período de março a agosto de 2018, foram coletadas amostras semanalmente para realização de análises químicas, seguindo os padrões do *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*, conforme explana o Quadro 2 a seguir. (CAMELO, 2019)

Quadro 2 - Metodologia das análises químicas

Variável	Método
Demanda bioquímica de oxigênio - DBO (mg/L)	Diluição em frascos padrões de DBO com incubação a 20° C durante 5 (cinco) dias
Demanda química de oxigênio -DQO (mg/L)	Refluxação fechada do dicromato de potássio com determinação titulométrica
Fósforo total (mg/L)	Ácido ascórbico após digestão

Fonte: Camelo (2019)

Para as medições de vazão foi utilizado o método do flutuador, que possibilitou a obtenção dos dados quanto à velocidade e volume de água nos trechos em estudo, associando a distância percorrida do objeto flutuador e as dimensões do canal. Essas medições foram realizadas no dia 08/06/2018, ao final de um evento de precipitação e nos dias 24/07/2018, 31/08/2018 e 11/09/2018 na ausência de chuvas, todos os dados foram agrupados na Tabela 1 a seguir.

Tabela 1 - Vazões medidas no Canal do Prado

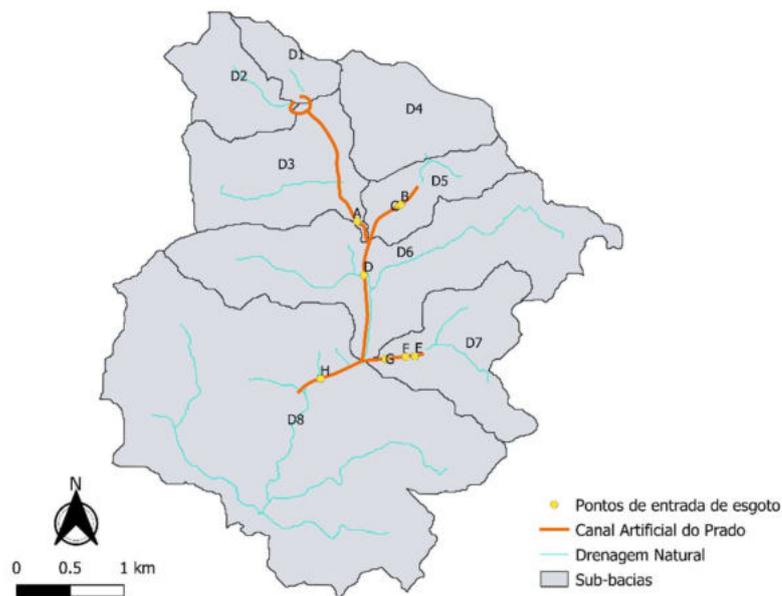
Pontos	Vazão medida (m <sup>3</sup> /s)			
	08/06/2018	24/07/2018	31/08/2018	11/09/2018
P1	0,063	0,005	0,005	0,011
P2	0,337	0,106	0,106	0,066
P3	0,393	0,140	0,140	0,176
P4	0,076	0,031	0,031	0,053
P5	0,678	0,393	0,393	0,204

Fonte: Camelo (2019)

Camelo (2019) e Vidal (2019), fizeram um mapeamento de 10 entradas de esgotos no canal do Prado, associando as contribuições mais significativas. Tais entradas foram nomeadas como A, B, C, D, E, F, G, H, I e J (Figura 9). As vazões de E e J foram levantadas por meio do método do flutuador, já a vazão de entrada de I, foi obtida através da estimativa das contribuições da zona residencial localizada nas margens do canal, correlacionando o número de residências e a produção média de esgoto doméstico por habitante. As demais entradas foram avaliadas utilizando o método volumétrico de acordo com o tempo necessário para captação de

um volume conhecido. A Tabela 2 apresenta as vazões médias das entradas de esgoto A, B, C, D, E, F, G, H, I e J.

Figura 9 - Pontos de contribuições de esgoto



Fonte: Autoria Própria (2021).

Tabela 2 - Vazões das entradas de esgoto

Entradas de esgoto	Vazão média (m <sup>3</sup> /s)
Entrada A	0,0007
Entrada B	0,0004
Entrada C	0,0002
Entrada D	0,0019
Entrada E	0,0154
Entrada F	0,0005
Entrada G	0,0133
Entrada H	0,0242
Entrada I	0,0831
Entrada J	0,0008

Fonte: Camelo (2019)

## 4.2 SWMM – MODELAGEM MATEMÁTICA

Para modelar um sistema de drenagem urbana no SWMM é necessário inserir todos seus componentes, são eles: sub-bacias, nós e condutos. Além disso, informações como o grau de permeabilidade do solo, cotas de nível e coordenadas geográficas, também são fundamentais para caracterizar o sistema em estudo

### 4.2.1 Caracterização das Sub-bacias

As sub-bacias correspondem as unidades hidrológicas de terreno cujas características topográficas e de drenagem conduzem o escoamento para um ponto de descarga. São representadas pelos parâmetros mostrados no Quadro 3.

Quadro 3 - Parâmetros das sub-bacias

Parâmetros	Siglas	Unidade
Área	A	ha
Declividade	S	%
Áreas impermeáveis	AI	%
Largura	W	m
Coefficiente de rugosidade de Manning – superfícies impermeáveis	NI	-
Coefficiente de rugosidade de Manning – superfícies permeáveis	NP	-
Capacidade de armazenamento em depressões – superfícies impermeáveis	DI	mm
Capacidade de armazenamento em depressões – superfícies permeáveis	DP	mm
Áreas impermeáveis não conectadas	AINC	%

Fonte: Camelo (2019)

Para cálculo da área das sub-bacias, declividade e áreas impermeáveis utilizou-se o software QGIS por meio das shapefiles e do Modelo Numérico de Terreno (MNT) desenvolvido por Tsuyuguchi (2015). Quanto às larguras (W) referentes às sub-bacias, utilizou-se o método do retângulo equivalente (le), adotando a representação retangular das bacias (GARCIA,2015) conforme a Equação 1:

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

Onde:

le = Largura do retângulo equivalente, m;

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

O kc é determinado através da Equação 2:

$$Kc = 0,282 \times \left( \frac{P}{\sqrt{A}} \right) \quad (2)$$

Para o cálculo de Coeficiente de compacidade (Kc), adota-se:

kc= Coeficiente de compacidade, que é definido pelo perímetro da bacia e a circunferência da área (igual a área da bacia);

P = Perímetro da bacia hidrográfica ou sub-bacia, m;

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

Assim foi determinada as larguras das sub-bacias por meio da Equação 3:

$$W = \left( \frac{A}{le} \right) \quad (3)$$

Através do conhecimento do tipo de superfície que recebe o escoamento, pode-se calcular o coeficiente de rugosidade de Manning para superfícies impermeáveis (NI) e superfícies permeáveis (NP). Se uma superfície apresentar mais de uma tipologia, calcula-se a média ponderada dos coeficientes de Manning levando em consideração as diferentes áreas. McCuen, R. et al. (1996) adota alguns valores para tal coeficiente, como mostra o Tabela 3 abaixo.

Tabela 3 - Coeficiente de Manning das Sub-bacias

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

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

Para os dados relacionados à capacidade de armazenamento em depressões em superfícies impermeáveis (DI) e permeáveis (DP), adotou-se os valores obtidos por Nóbrega (2012) (Tabela 4).

Tabela 4 - Capacidade de armazenamento em depressões

<b>Parâmetros calibrados</b>		
<b>Capacidade de armazenamento em depressões para superfícies impermeáveis - (Di)</b>	<b>Capacidade de armazenamento em depressões para superfícies permeáveis - (Dp)</b>	<b>Áreas impermeáveis não conectadas (AINC)</b>
1,91 mm	5,08 mm	10%

Fonte: Nóbrega (2012)

No SWMM, após a inserção de todos os parâmetros supracitados, foi gerada a representação das sub-bacias como ilustra a Figura 10.

Figura 10 - Representação da bacia do Riacho do Prado no SWMM



Fonte: Aatoria Própria (2021)

#### 4.2.2 Infiltração

De acordo Rossman (2009), o SWMM permite a entrada de três métodos para cálculo de infiltração, um deles é o da Equação de Horton que se baseia em observações empíricas, mostrando que a infiltração decresce exponencialmente desde um valor inicial máximo até um certo valor mínimo ao longo do evento da chuva. Os parâmetros de entrada, necessários para este método, são a capacidade de infiltração inicial ( $I_0$ ), capacidade de infiltração final ( $I_f$ ) e o coeficiente de decaimento ( $k$ ), que descreve o quanto a infiltração decresce rapidamente ao longo do tempo.

Para a modelagem em estudo foi utilizado o método de Horton. Os parâmetros necessários para esse modelo foram obtidos através de pesquisas realizadas na cidade de Lagoa Seca-PB que dista 9,4km de Campina Grande-PB e apresenta características geofísicas similares ao município estudado. Tais dados foram disponibilizados por Paixão et al. (2009) e adaptados para a região em estudo, conforme o Tabela 4.

Tabela 5 - Coeficiente de Manning da região em estudo

Trecho	Coeficiente de Manning
Canal do Prado	0,016
Calha do riacho	0,045

Fonte: Camelo (2019)

Através de análises in loco e do projeto do canal, disponibilizado pela Secretaria de Planejamento – SEPLAN, Camelo (2009) definiu as seções do Canal do Prado. Uma vez inseridas as coordenadas geográficas no modelo, foi possível determinar o comprimento dos condutos, assim foram determinados os parâmetros necessários para o cálculo da infiltração (Quadro 4).

Quadro 4 - Parâmetros para cálculo da infiltração

Parâmetros	Siglas	Unidades
Comprimento	L	m
Coeficiente de rugosidade	N	-
Seção transversal	-	-

Fonte: Camelo (2019)

#### 4.2.3 Condutos

Os condutos representam os trechos nos quais as águas superficiais escoam, sendo eles construídos ou naturais (CAMELO, 2019). Para estes, são atribuídos os seguintes parâmetros:

- Identificação dos nós de entrada e saída;
- Offset do nó de entrada e de saída;
- Comprimento do conduto;
- Coeficiente de Manning;
- Geometria da seção transversal do conduto.

A critério opcional também podem ser inseridos dados quanto aos coeficientes de perdas, tanto para a entrada, como para a saída do conduto; como também a indicação de presença de dispositivos de retenção para prevenir o fluxo inverso.

#### 4.2.4 Nós

No estudo foram inseridos nós que representam os pontos de saída de cada sub-bacia com suas respectivas contribuições à montante e pontos de monitoramento, seguindo os seguintes parâmetros (Quadro 5):

Quadro 5 - Parâmetros dos nós

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

Fonte: Adaptado de Rossman (2015).

Para expor o encontro de canais, sejam eles superficiais ou naturais, os poços de visita e os elementos de conexão das tubulações, pode-se utilizar os nós como representação gráfica no modelo. (ROSSMAN, 2015)

#### 4.2.5 Dados Hidrológicos

Através das informações hidrológicas utilizadas nos estudos de Camelo (2019) foi possível realizar uma calibração do modelo, permitindo uma simulação realista dos eventos.

O evento de precipitação escolhido, ocorreu no dia 08 de junho de 2018, em razão da maior disponibilidade de dados de vazão, apresentando um total acumulado de 10,6 mm. A precipitação horária desse dia foi obtida junto à Estação Agrometeorológica Experimental da Unidade Acadêmica de Ciências Atmosféricas da Universidade Federal de Campina Grande, tais dados estão dispostos no Tabela 6.

Tabela 6 - Dados do evento de precipitação do dia 08/06/2018

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

Fonte: Estação Agrometeorológica Experimental da UFCG

Para o estudo utilizou-se a chuva de projeto a partir da equação geral da curva de Intensidade-Duração-frequência (IDF) (Equação 4) apresentada por Aragão et al. (2000).

$$i = \frac{334T^{0,227}}{(t+5)^{0,596}} \quad (4)$$

Onde:

i = intensidade da chuva (mm/h);

T = período de retorno (anos);

t = duração da chuva (minutos).

O tempo de retorno (TR) de um evento é o tempo médio em anos em que esse evento é igualado ou superado pelo menos uma vez. Para o dimensionamento de sistemas de drenagem, estipula-se um TR no qual a rede consiga suportar cheias atípicas ocorridas em uma série histórica, com segurança. Nesta pesquisa foram adotadas precipitações com tempo de retorno de 10, conforme Tabela 7, proposto por Tucci e Bertoni (2003).

Tabela 7 - Valores do Tempo de Retorno para obras de drenagem

Sistema	Característica	T (anos)	Valor frequente (anos)
Microdrenagem	Residencial	2-5	2
	Comercial	2-5	5
	Áreas de prédios públicos	2-5	5
	Aeroporto	5-10	5
	Áreas comerciais e avenidas	5-10	10
Macro drenagem		10-25	10
Zoneamento de zonas ribeirinhas		5-100	100

Fonte: Tucci e Bertoni (2003)

#### 4.2.6 Dados de Qualidade

##### 4.2.6.1 Caracterização dos poluentes

De acordo com o manual de referência do SWMM, é possível simular a geração, entrada e transporte de poluentes seguindo as preferências do usuário. Para caracterizá-los na modelagem utiliza-se os seguintes parâmetros (Quadro 6):

Quadro 6 - Dados para caracterização dos poluentes

<b>Propriedade</b>	<b>Sigla</b>	<b>Unidade</b>
Concentração do poluente	Rconc	mg/L
Concentração do poluente na água subterrânea	GWconc	mg/L
Concentração do poluente em processos de entrada direta ou infiltração	I e Iconc	mg/L

Fonte: Camelo (2019)

Para o estudo do canal foram analisadas as variáveis DBO, DQO e Fósforo Total (FT) e suas respectivas concentrações médias no período seco e chuvoso, referentes ao monitoramento realizado por Camelo (2019). Esses valores estão expostos nas Tabelas 8 e 9.

Tabela 8 - Concentrações Médias do Período Chuvoso - DBO, DQO e FT e Pontos de Coleta

<b>PONTO</b>	<b>DBO (mg/L)</b>	<b>DQO (mg/L)</b>	<b>FT (mg/L)</b>
P1	46	108	1,4
P2	237	426	6,3
P3	170	353	5,0
P4	315	550	7,6
P5	108	267	3,9

Fonte: Camelo (2019)

Tabela 9 - Concentrações Médias Período Seco - DBO, DQO e FT e Pontos de Coleta

<b>PONTO</b>	<b>DBO (mg/L)</b>	<b>DQO (mg/L)</b>	<b>FT (mg/L)</b>
P1	82	195	3,2
P2	341	618	8,8
P3	272	518	7,7
P4	517	796	10,9
P5	135	416	5,4

Fonte: Camelo (2019)

#### 4.2.6.2 Acumulação e lixiviação de agentes poluentes

Uma vez definido o tipo de uso de solo referente a cada sub-bacia, pode-se verificar o processo de acumulação e lixiviação de agentes poluentes. Para a acumulação dos poluentes calcula-se o quantitativo de massa por unidade de área. Fatores como o número de dias sem precipitação antecedentes a eventos de chuva influenciam diretamente no quantitativo existente de poluentes.

A acumulação dos agentes poluentes é calculada por meio de funções, dentre elas tem-se a função de saturação (Equação 5) que foi escolhida para este estudo.

$$B = \frac{C1 \times t}{C2 + t} \quad (5)$$

Onde:

C1 é a acumulação máxima possível (massa por unidade de área);

C2 é a coeficiente de acumulação (número de dias necessários para alcançar a metade da máxima acumulação possível).

O processo de lixiviação de agentes poluentes se dá através de períodos chuvosos, seus parâmetros podem ser obtidos através do cálculo da concentração Média do Evento (CME), que estabelece uma relação linear entre carga lixiviada e vazão de escoamento conforme a Equação 6. Foi usada neste trabalho a função CME, por apresentar um nível satisfatório de eficiência quanto à carga poluidora existente em um corpo hídrico e ser de simples compreensão.

$$W = e1 \times Q \quad (6)$$

Onde:

e1 - Concentração de poluente lixiviado em unidades de massa por litro;

Q - Vazão em L/s

#### 4.2.7 Representação dos dispositivos LIDs

##### 4.2.7.1 Pavimentos permeáveis

França (2020) cita que os pavimentos permeáveis são estruturados em camadas, sendo elas de concreto ou asfalto permeável, uma camada de solo e outra de cascalho na parte inferior podendo conter opcionalmente um dreno para escoar águas provindas da camada de armazenamento.

Para inserir pavimentos permeáveis no modelo, utiliza-se os seguintes parâmetros apresentados no Quadro 7, recomendados por Rossman (2015) e França (2020).

Quadro 7 - Parâmetros para a simulação dos pavimentos permeáveis

<b>Parâmetros</b>	<b>Valor</b>
<b>Superfície</b>	
Profundidade de armazenamento (mm)	125
Coefficiente de Manning	0,05
Declividade (%)	2
<b>Pavimento</b>	
Espessura (mm)	125
Índice de vazios (in)	0,17
Permeabilidade (mm/h)	5,4
Fator de colmatação	180
<b>Armazenamento</b>	
Altura (mm)	300
Índice de vazios	0,6
Taxa de infiltração (mm/h)	7
Fator de colmatação	180

Fonte: França (2020)

#### 4.2.7.2 Calibração do Modelo

Sabe-se que modelos hidrológicos visam alcançar os resultados mais fidedignos possíveis frente a realidade. Para isso, faz-se necessário ajustar as informações geradas, associando-as aos dados coletados in loco, a fim de sejam alcançadas porcentagens de erros aceitáveis. Para o estudo, tal comparação foi realizada por meio do método da tentativa e erro com os dados coletados no dia 08/06/2018.

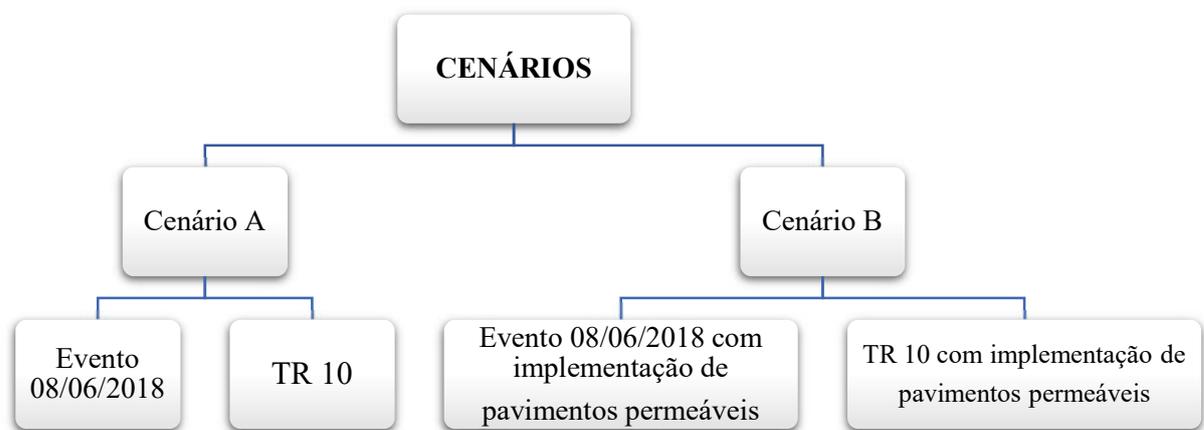
#### 4.2.7.3 Validação

Após inserção de todos os dados pertinentes a área em estudo, o software disponibiliza resumos de erros e relatórios de continuidade que direcionam as interpretações e análises dos resultados esperados. De acordo com Rossman (2015), o processo de validação da simulação consiste em legitimar os resultados obtidos através de erros menores ou iguais a 10%, se tal premissa ocorrer, conclui-se que de fato os resultados desenvolvidos representam as situações reais, caso a porcentagem supracitada seja ultrapassada, deve-se reavaliar todos os estudos.

### 4.3 SIMULAÇÃO DOS CENÁRIOS

Para este estudo foram propostos 02 cenários distintos para simulações (Figura 11). O Cenário A representa as simulações nos eventos chuvosos do dia 08/06/2018 e a chuva de projeto com TR de 10 anos do canal do Prado sem a aplicação de técnicas LID. O cenário B, se aplica as mesmas características do Cenário A, porém com a implementação dos dispositivos LID. Assim, foi possível fazer análises comparativas frente as simulações quantitativas e qualitativas das águas presentes no canal de drenagem.

Figura 11 - Cenários propostos



Fonte: Aatoria Própria (2021).

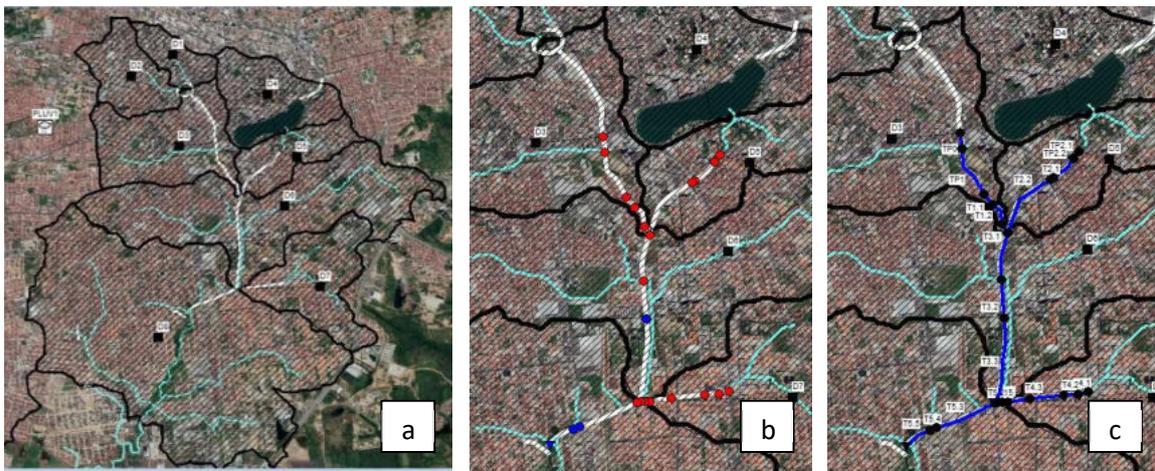
## 5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 5.1 MODELAGEM FÍSICA

Após a inserção de todos os parâmetros físicos, obteve-se o modelo representado na Figura 12.

Figura 12 .Representação do modelo hidrológico no SWMM

a) Sub-bacias e Pluviômetro, b) Nós e c) Condutos



Fonte: Autoria Própria (2021).

#### 5.1.1 Variáveis Hidrológicas

Para o evento do dia 08/06/2018 adotou-se a precipitação total 10,6mm, já para a chuva de projeto com tempo de retorno de 10 anos, utilizou-se a precipitação total de 100,4 mm, referente ao tempo de chuva de 6 horas, conforme Quadro 8.

Quadro 8 - Intensidade de precipitação para tempo de retorno de 10 anos

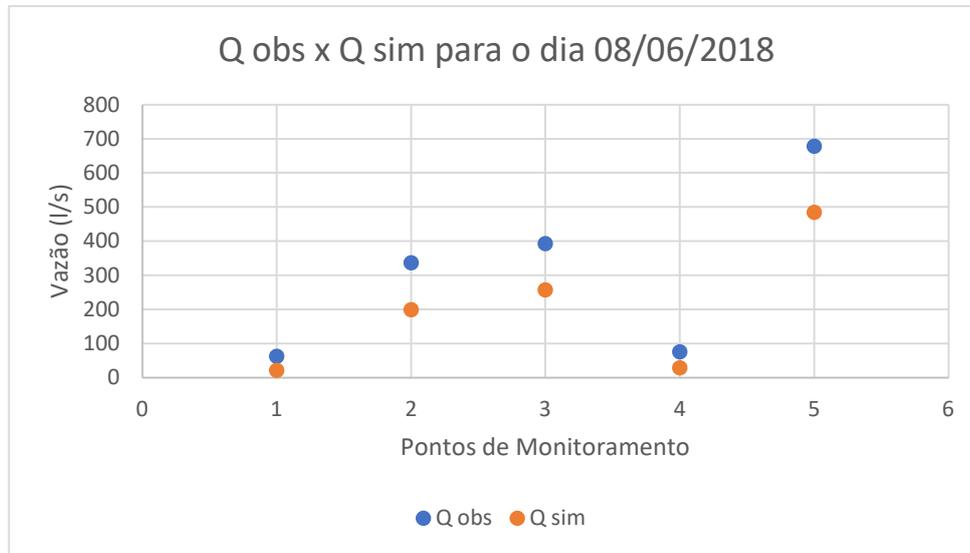
TR - 10 ANOS			
Tempo (min)	i(mm/h)	Tempo (min)	i(mm/h)
6	134,92	186	24,62
12	104,09	192	24,17
18	86,93	198	23,74
24	75,71	204	23,33
30	67,68	210	22,94
36	61,59	216	22,57
42	56,78	222	22,21
48	52,85	228	21,87
54	49,58	234	21,54
60	46,80	240	21,22
66	44,40	246	20,92
72	42,31	252	20,63
78	40,46	258	20,34
84	38,81	264	20,07
90	37,33	270	19,81
96	35,99	276	19,56
102	34,77	282	19,31
108	33,66	288	19,08
114	32,64	294	18,85
120	31,69	300	18,63
126	30,82	306	18,41
132	30,01	312	18,20
138	29,25	318	18,00
144	28,54	324	17,80
150	27,88	330	17,61
156	27,26	336	17,43
162	26,67	342	17,25
168	26,11	348	17,07
174	25,59	354	16,90
180	25,09	360	16,73

Fonte: Autoria Própria (2021).

### 5.1.2 Calibração Chuva-Vazão

Uma vez caracterizadas as sub-bacias e o canal, desenvolveu-se a primeira simulação. Os resultados obtidos, referentes aos parâmetros de chuva-vazão, apresentaram divergência frente aos valores medidos in loco, como ilustra a Figura 13.

Figura 13 - Resultados da simulação sem calibração



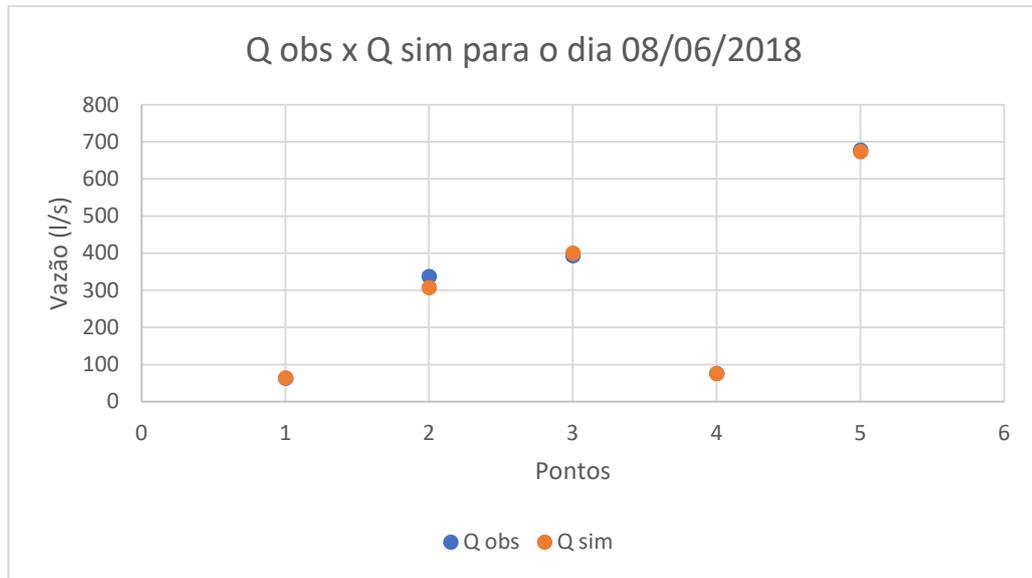
Fonte: Autoria Própria (2021).

As diferenças encontradas são justificadas pelo fato de que nos estudos de Camelo (2019) foi aplicado o método do flutuador para obtenção dos dados de vazão, tal método apresenta significativa imprecisão, gerando assim possíveis fonte de erros. O indicado seria a utilização de vários medidores automáticos nos pontos de monitoramento, bem como nos pontos de entrada de efluente no canal, para garantir dados com maior precisão.

Outro motivo é ausência de dados referentes a concentração dos poluentes analisados nas entradas de efluentes no canal. Por se tratar de esgotos domésticos, seu volume e concentração dependem do consumo de água da população que varia ao longo do dia, sendo também uma possível fonte de erro.

Dessa forma, realizou-se a calibração chuva-vazão, fazendo ajustes no modelo tornando-o mais fiel frente aos dados obtidos pelas medições in loco. Assim, foi alcançada uma calibração satisfatória, que gerou erros equivalentes a 0,06% para o escoamento superficial e 0,14% para fluxo contínuo, como ilustrado na Figura 14 e exposto na Tabela 10.

Figura 14 - Simulação Chuva-Vazão com calibração



Fonte: Autoria Própria (2021).

Tabela 10 - Comparação entre as vazões observadas e calibradas no modelo

Pontos Monitorados	Vazão observada (L/s)	Vazão calibrada (L/s)
P1	63	64
P2	337	307
P3	393	399
P4	76	76
P5	678	673

Fonte: Autoria Própria (2021).

## 5.2 MODELAGEM DA QUALIDADE DA ÁGUA

O conhecimento qualitativo das prováveis fontes poluidoras que alcançam o escoamento superficial, possibilita ao investigador a se concentrar nas áreas problemáticas e avaliar dispositivos de controle que podem ser usados para desviar cargas adversas antes que elas atinjam o sistema de drenagem.

A bacia do Riacho de Prado apresenta diferentes tipos de uso e ocupação do solo, fato que pode ser verificado pela variação das concentrações de DBO, DQO e Fosforo Total encontradas nas análises dos pontos de coleta. Os coeficientes C1 e C2 foram estimados empiricamente a partir dos dados das concentrações dos poluentes obtidas da análise de laboratório da água do canal no período seco desenvolvido por Camelo (2019).

Os valores médios de concentração no período seco obtidos nos pontos analisados foram considerados também para cada sub-bacia.

### 5.2.1 Função Acúmulo dos Poluentes

Os valores médios da concentração dos poluentes DBO, DQO e Fosforo Total obtidos nos dias secos para cada ponto estão expostos na Tabela 11.

Tabela 11 - Concentrações médias dos poluentes em dias secos para cada ponto avaliado

Concentrações médias (mg/L)				
Sub-bacia	Ponto	DBO	DQO	FT
D1	P2	341	618	8,8
D2	P2	341	618	8,8
D3	P2	341	618	8,8
D4	P1	82	195	3,2
D5	P1	82	195	3,2
D6	P3	272	518	7,7
D7	P4	517	796	10,9
D8	P5	135	416	5,5

Fonte: Aatoria Própria (2021).

Associando a precipitação total equivalente de 10,6mm às áreas de contribuição de cada sub-bacia, calculou-se o precipitado total em litros para cada uma delas. Posteriormente, utilizando-se as concentrações médias supracitadas, foram obtidas as concentrações (C1) por unidade de área (kg/ha) dos poluentes analisados para o evento do dia 08/06/2018 e para o tempo de retorno de 10 anos.

O valor do coeficiente de lixiviação (e1) foram considerados os valores médios das concentrações dos poluentes durante o período chuvoso analisado. Na Tabela 12 encontram-se os resultados obtidos para C1 e e1.

Tabela 12 - Valores de coeficiente de acúmulo (C1) e do coeficiente de lixiviação (e1) dos eventos em estudo

C1 (kg/ha)				e1 (1/dia)
Evento 08/06/2018				
Sub-bacia	DBO	DQO	FT	
D1, D2 e D3	25,1	45,2	0,7	0,07
D4 e D5	4,9	11,4	0,1	0,07
D6	18,0	37,4	0,5	0,07
D7	33,4	58,2	0,8	0,07
D8	11,4	28,3	0,4	0,07
C1 TR 10 anos (kg/ha)				e1 (1/dia)
Sub-bacia	DBO	DQO	FT	
D1, D2 e D3	342,4	620,5	8,8	0,07
D4 e D5	82,3	195,8	3,2	0,07
D6	273,1	520,1	7,7	0,07
D7	519,1	799,2	10,9	0,07
D8	135,5	417,7	5,5	0,07

Fonte: Autoria Própria (2021).

### 5.2.2 Função de lixiviação

A função de lixiviação refere-se ao comportamento dos poluentes durante um evento chuvoso. Para determinação do coeficiente C1, foram considerados os valores médios das concentrações dos poluentes durante o período de chuva, presentes na Tabela 13 abaixo.

Tabela 13 - Concentrações médias de DBO, DQO e FT em dias chuvosos

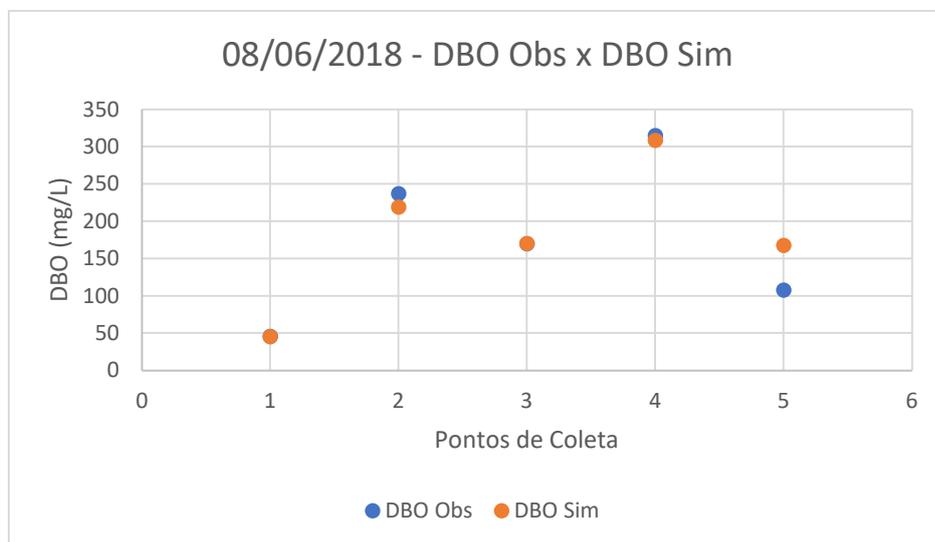
Concentrações médias (mg/L)				
Sub-bacia	Ponto	DBO	DQO	FT
D1	P2	236,5	426,3	6,3
D2	P2	236,5	426,3	6,3
D3	P2	236,5	426,3	6,3
D4	P1	46,1	107,7	1,4
D5	P1	46,1	107,7	1,4
D6	P3	169,9	352,7	5,0
D7	P4	315,4	549,5	7,6
D8	P5	108,0	267,0	3,9

Fonte: Autoria Própria (2021).

### 5.2.3 Calibração da Simulação de Qualidade

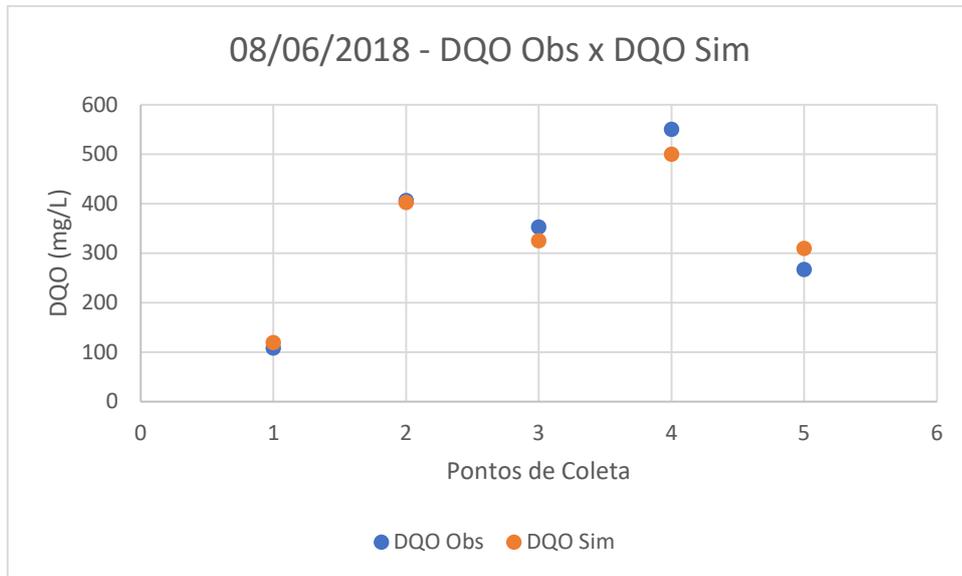
Para calibração dos parâmetros de DQO, DBO e FT aplicou-se o método de tentativa e erro, ajustando manualmente os valores de entrada de vazão de efluentes no canal, visando obter-se a aproximação dos valores simulados com os valores medidos in loco. Os resultados obtidos da calibração foram validados, uma vez que o erro na simulação qualitativa foi 0,44%, inferior ao valor limite, determinado pelo manual do SWMM, de 10%. Os resultados das calibrações dos parâmetros de qualidade estão ilustrados nas Figura 15, 16 e 17.

Figura 15 - Calibração da DBO no evento do dia 08/06/2018



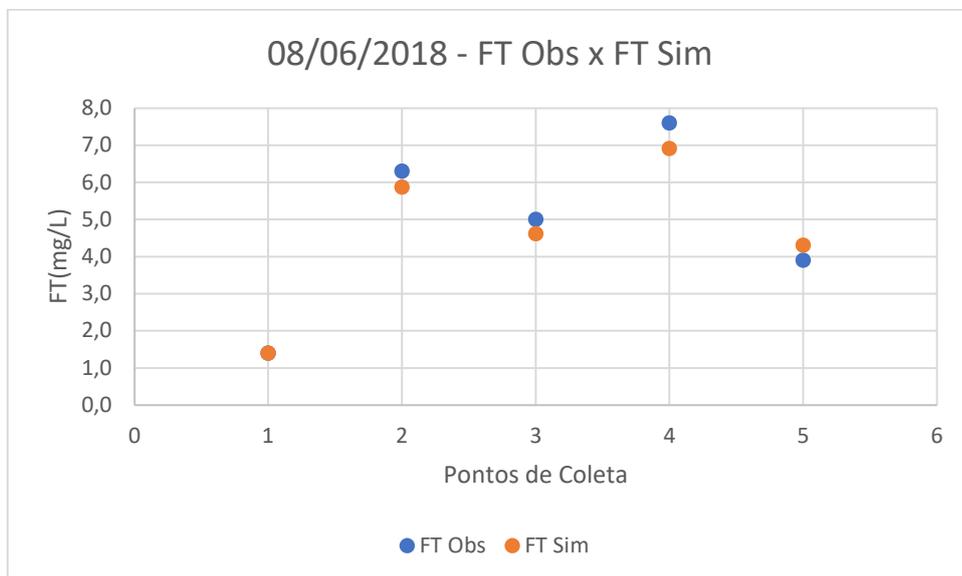
Fonte: Autoria Própria (2021).

Figura 16 Calibração DQO para o evento do dia 08/06/2018



Fonte: Autoria Própria (2021).

Figura 17 - Calibração FT para o evento do dia 08/06/2018



Fonte: Autoria Própria (2021).

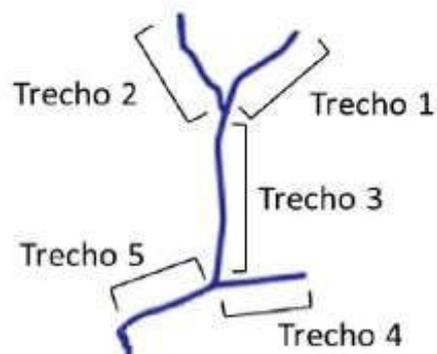
### 5.3 CENÁRIOS COM USO DE LID

Os resultados obtidos foram avaliados através dos mapas gerados pelo SWMM, nos quais foi possível verificar as vazões presentes no canal no período em análise, bem como os valores de DBO, DQO e FT nos pontos de monitoramento.

### 5.3.1 Efeitos da LID sobre o Escoamento Superficial

Para facilitar a discussão sobre os efeitos no escoamento superficial, dividiu-se o canal em trechos. A denominação dos trechos do canal encontra-se indicada na Figura 18, a nomenclatura apresentada será utilizada na análise dos cenários propostos.

Figura 18 - Divisão do canal em trechos - Escoamento Superficial



Fonte: Autoria Própria (2021).

As vazões em cada trecho do canal foram analisadas e estão organizadas no Quadro 9.

Quadro 9 - Vazões simuladas para o evento chuvoso 08/06/2018

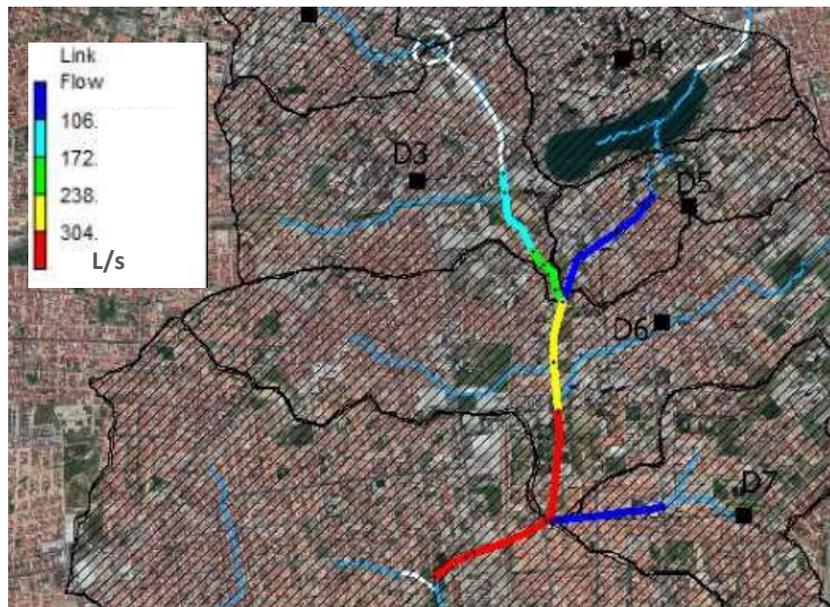
08/06/2018		
TRECHO	VAZÃO SEM LID (L/s)	VAZÃO COM LID 50% (L/s)
1	63,68	47,5
	64,87	47,86
	65,65	48,59
	66,63	49,14
2	211,23	128,3
	216,23	130,04
	303,87	214,14
	307,14	215,03
	308,27	215,29
3	382,26	266,31
	400,29	272,42
	476,8	292,86
4	45	45
	60,41	60,41
	60,93	60,93
	75,93	75,93
	75,93	75,93
	75,93	75,93
	106,75	83,71
5	632,01	393,18
	678,91	438,86
	690,49	443,04

Fonte: Autoria Própria (2021).

Percebe-se que com o uso do dispositivo LID no evento do dia 08/06/2018, as vazões nos trechos diminuiram. Isso ocorre pelo fato de que nas áreas impermeáveis ao serem aplicadas as técnicas LIDs, estas promovem um tratamento da superfície, permitindo que os volumes de água passem a infiltrar no solo, reduzindo assim as contribuições de descarga das sub-bacias junto ao canal. As reduções das vazões chegaram a cerca de 39%, tornando, assim, o processo eficiente.

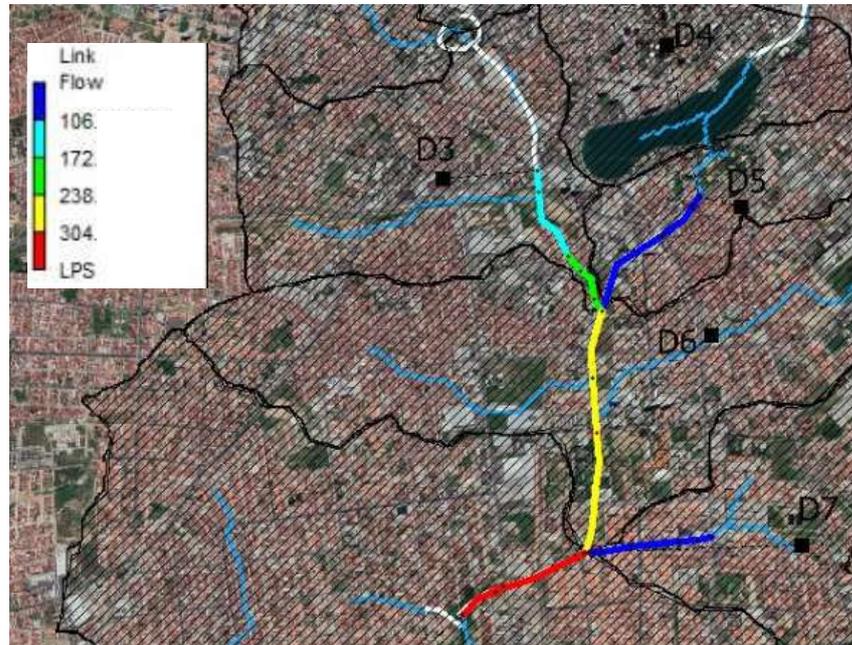
Já para o tempo de retorno de 10 anos, o escoamento presente no trecho 3 diminuiu e para os demais trechos percebe-se poucas alterações. Tal situação pode ter sido influenciada pela possibilidade do dispositivo LID aplicado nos trechos 1, 2, 4 e 5 terem alcançado seu limite de capacidade de tratamento das zonas impermeáveis, como ilustrado nas figuras 19 e 20. Possivelmente, diante de eventos com altas intensidades de chuva, associados principalmente a capacidade de infiltração do solo, pode-se variar a velocidade do escoamento superficial, justificando assim tal comportamento.

Figura 19 - Simulação do escoamento no canal em estudo, para chuva de projeto TR 10, sem aplicação de técnicas LID



Fonte: Autoria Própria (2021).

Figura 20 - Simulação do escoamento no canal em estudo, para chuva de projeto TR 10, com aplicação de técnicas LID



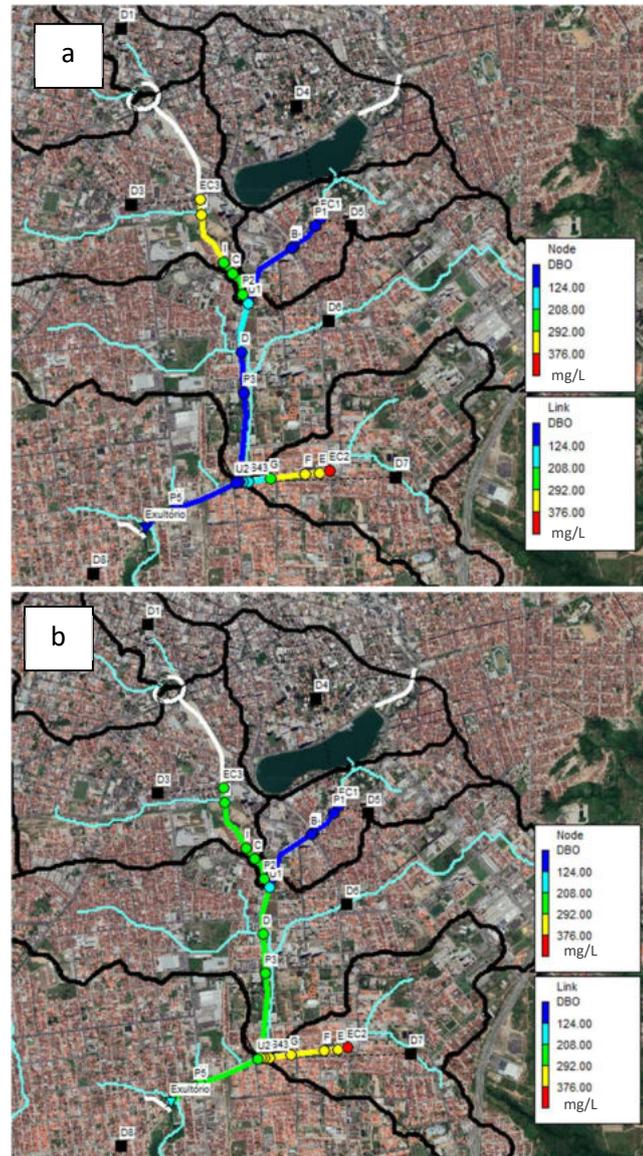
Fonte: Autoria Própria (2021).

Já para o tempo de retorno de 10 anos, o escoamento presente no trecho 3 diminuiu. Para os demais trechos percebe-se poucas alterações. Tal situação pode ter sido influenciada pela possibilidade do dispositivo LID aplicados nos trechos 1, 2, 4 e 5 terem alcançado seu limite de capacidade de tratamento das zonas impermeáveis. Possivelmente, diante de eventos com altas intensidades de chuva, associados principalmente a capacidade de infiltração do solo, pode-se variar a velocidade do escoamento superficial, justificando assim tais valores.

### 5.3.2 Efeito dos dispositivos LID na qualidade das águas de drenagem

Inicialmente foi feita a análise da qualidade das águas de drenagem sem o uso da LID para o dia 08/06/2018. Na Figura 21 pode-se verificar o comportamento da DBO após 15 min (Figura 21a) e no final da simulação (Figura 21b).

Figura 21 – Simulação da DBO no evento chuvoso do dia 08/06/2018

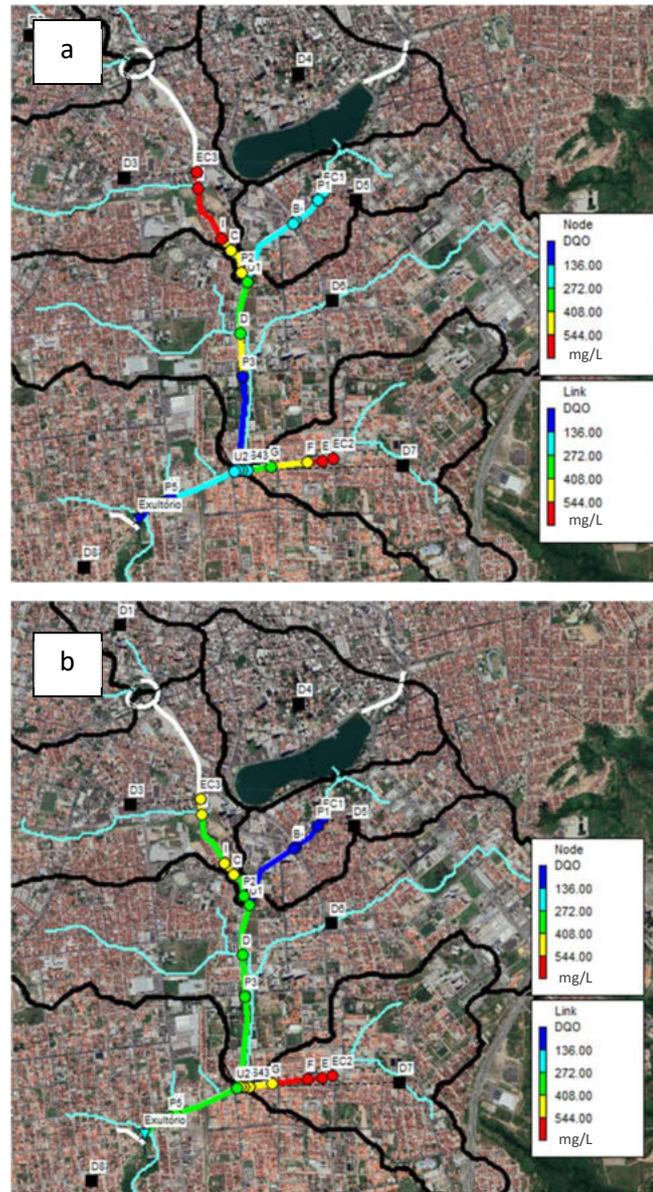


Fonte: Autoria Própria (2021).

De acordo com a simulação, nota-se que os trechos 1 e 4 apresentam as maiores taxas de concentração de compostos orgânicos biodegradáveis, isso se justifica pela presença dos pontos de descarga de efluentes C, I, J, E, F e G. Já o trecho do canal que contempla o ponto P1 dispõe de um dos menores índices de concentração, fato corroborado pela ausência de pontos de esgotamento e uma possível diluição promovida pela entrada de águas excedentes do Açude Velho.

A Figura 22 ilustra os valores simulados de DQO no canal no período de 15min de simulação (Figura 22a) e no final da simulação (Figura 22b).

Figura 22 - Simulação DQO para o evento chuvoso do dia 08/06/2018

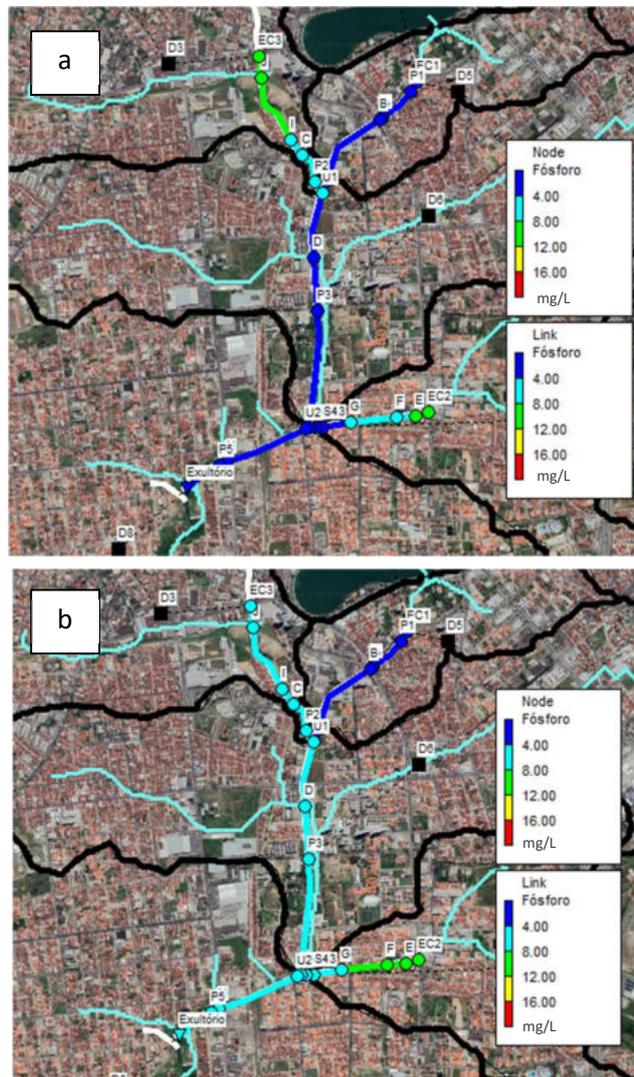


Fonte: Autoria Própria (2021).

Após finalizada a simulação observou-se que o comportamento da DQO foi similar ao da DBO no tocante a trechos com altos e baixos índices de poluição difusa. Ao final do trecho construído do Canal do Prado, foi obtido uma DQO de 251 mg/L, assim a razão DBO/DQO nesse mesmo ponto é equivalente a 1,24.

Na Figura 23 pode-se verificar o comportamento de FT após 15 min (Figura 23a) e no final da simulação (Figura 23b).

Figura 23 – Simulação das concentrações de Fósforo Total no período chuvoso do dia 08/06/2018



Fonte: Autoria Própria (2021).

Para as análises do FT, após as 12 horas de simulação, obteve-se para P1 a concentração de 1,37mg/L, e para os pontos críticos P2 e P4 os valores 6,11 mg/L e 7,12 mg/L, respectivamente. A presença de Fósforo Total em águas naturais se deve principalmente às descargas de esgotos sanitários, impregnados de detergentes superfosfatados, efluentes de indústrias fertilizantes, dentre outras.

Posteriormente, foi desenvolvido o cenário com a aplicação dos pavimentos permeáveis na área de drenagem do Canal do Prado. As simulações foram realizadas utilizando os eventos chuvosos de 10,6 mm referente ao dia 08/06/2018 e 100,4 mm para a chuva de projeto com tempo de retorno de 10 anos.

Os parâmetros para dimensionamento do dispositivo LID foram inseridos em 30% da área total das sub-bacias (Tabela 14), seguindo a recomendação da Associação Brasileira de Cimento Portland – ABCP (2013) para áreas urbanas densamente povoadas.

Tabela 14 - Área das sub-bacias com aplicação de LID - Pavimentos Permeáveis

Sub-bacia	Área Total (m <sup>2</sup> )	Área com LID (m <sup>2</sup> )
D1	400000	120000
D2	790000	237000
D3	1530000	459000
D4	1100000	330000
D5	690000	207000
D6	3130000	939000
D7	1270000	381000
D8	6660000	1998000

Fonte: Autoria Própria (2021).

Para a simulação foi adotado o tratamento equivalente a 50% das áreas impermeáveis de cada sub-bacia, visando analisar a eficiência da técnica LID, esta porcentagem foi adotada pensando na viabilidade de uma possível aplicação concreta as áreas em estudo.

O estudo da aplicação das medidas LIDs foi realizado a partir dos mapas de concentração e do relatório de estado gerados pelo SWMM. Na Tabela 15 são expostos os valores totais de remoção de poluentes promovidos pela implantação dos pavimentos permeáveis nas sub-bacias.

Tabela 15 - Quantidade de poluentes removidas em cada evento simulado

<b>SIMULAÇÃO - 08/06/2018 – QUANTIDADE DE POLUENTES (Kg)</b>			
	<b>DBO</b>	<b>DQO</b>	<b>FT</b>
<b>Remoção</b>	<b>50%</b>	<b>50%</b>	<b>50%</b>
Dispositivo LID	6613,77	10122,10	182,41
Lavagem superficial	2706,26	4535,98	75,03
<b>SIMULAÇÃO - TR 10 ANOS – QUANTIDADE DE POLUENTES (Kg)</b>			
	<b>DBO</b>	<b>DQO</b>	<b>FT</b>
<b>Remoção</b>	<b>50%</b>	<b>50%</b>	<b>50%</b>
Dispositivo LID	168437,67	302035,44	4549,87
Lavagem superficial	82665,17	155035,65	2214,37

Fonte: Autoria Própria (2021).

Analisando a Tabela 15, fica evidente que com a aplicação do dispositivo pavimento permeável, foi possível remover cerca de 40% da concentração em massa total em todas as sub-bacias de DBO, DQO e FT para as chuvas do dia 08/06/2018, e cerca de 50% respectivamente para o evento com a chuva de projeto, se comparado ao processo de carreamento de sedimentos que ocorre naturalmente sem o uso de técnicas LID.

## 6 CONCLUSÕES

- Diante das análises qualitativas e quantitativas do escoamento superficial, foi notório observar a grande influência que fatores como o aumento da urbanização, os déficits no planejamento urbano e uso e ocupação do solo têm sobre a gestão das águas de drenagem na região em estudo. Por meio dos fatores supracitados e dos princípios da drenagem sustentável, verificou-se a importância do desenvolvimento de estudos que viabilizem a implantação de dispositivos de desenvolvimento de baixo impacto nas sub-bacias do Riacho do Prado.

- Com o uso do SWMM, foi possível realizar a modelagem de maneira satisfatória dos cenários com e sem o uso das técnicas LID e através dos resultados obtidos, entender com maior propriedade a eficiência do uso dos pavimentos permeáveis nas sub-bacias da área de drenagem em cenários futuros.

- Durante o processo de calibração do modelo foi levantada a hipótese de que o método do flutuador utilizado para a medição de vazão nos estudos de Camelo (2019), corrobora para o surgimento de fontes de erros no quantitativo das vazões na rede de drenagem em estudo.

- As altas taxas de impermeabilização do solo propiciam o aumento do escoamento, favorecendo os riscos de alagamentos e inundações. Devido à escassez de dados referentes as taxas de infiltração do solo comprovados empiricamente para a cidade de Campina Grande, foi adotado para a modelagem dados baseados em estudos realizados em Lagoa Seca-PB. Esse fato pode ter sido uma fonte de imprecisão no modelo com uso medidas de baixo impacto, principalmente diante do evento com chuva de projeto com tempo de retorno de 10 anos, pela ausência de alterações expressivas nas vazões de escoamento superficial dos trechos 1, 2, 4 e 5 do canal.

- O escoamento superficial simulado para precipitações menores, no caso a do dia 08/06/2018, apresentaram uma redução significativa em torno de 39% das vazões de escoamento nos trechos do canal em estudo.

- Outro fator associado aos efeitos nas análises quantitativas das águas de drenagem se dá pelo fato da tipologia LID adotada ter alcançado sua capacidade máxima de eficiência diante de eventos mais intensos de chuva, explicada pela diminuição da vazão apenas no trecho 3.

Logo, pode-se sugerir que o uso de pavimentos permeáveis, para este tipo de evento chuvoso não foi satisfatório.

- Dentre os pontos de monitoramento, destacam-se como os mais poluídos o P2 e o P4, isso se dá pela variação de tipologias de uso e ocupação do solo e a expressiva quantidade de entradas de esgoto presentes nas respectivas regiões do canal, se comparado aos demais trechos, fatores que afetam diretamente os parâmetros qualitativos das águas.

- Com a aplicação dos dispositivos LID com tratamento de 50% das áreas impermeáveis presentes nas sub-bacias, observou-se a redução das concentrações de poluentes, quando comparado ao processo da lavagem superficial, de cerca de 40%, 45% e 41% das concentrações de DBO, DQO e Fósforo Total respectivamente, para o evento do dia 08/06/2018.

- Para a chuva de projeto, com tempo de retorno de 10 anos, as remoções alcançadas foram em torno de 49%, 51% e 48% para DBO, DQO e FT respectivamente. Tornando os efeitos da aplicação dos dispositivos LID relevantes quanto aos aspectos qualitativos das águas de drenagem em estudo.

## **RECOMENDAÇÕES**

- Sugere-se fazer análises futuras com métodos mais precisos, à exemplo dos medidores de vazão automático, uma vez que as entradas de efluentes domésticos no canal do Prado podem variar durante o dia, logo pode-se verificar com exatidão as vazões de entrada e, conseqüentemente, suas influências nas análises qualitativas e quantitativas das águas de drenagem.

- Indica-se o desenvolvimento de estudos voltados a análises da capacidade de infiltração do solo na cidade de Campina Grande – PB, para assim trabalhos futuros com modelagens hidrológicas envolvendo tal cidade, sejam fidedignos a realidade local.

- Recomenda-se o desenvolvimento de estudos que comparem o comportamento de outros tipos de dispositivos LID, à exemplo: telhados verdes e trincheiras de infiltração.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABCP – Associação Brasileira de Cimento Portland. **Projeto Técnico: Pavimento Permeável.** FIB - Fábrica de Ideias Brasileiras. São Paulo, 2013.

ALVES, P. B.R. **Simulações de medidas compensatórias sustentáveis de drenagem: propostas em duas microbacias urbanas.** 2017. Dissertação (Mestrado - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental) – Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, Campina Grande, 2017.

ANDIMUTHU, R.; KANDASAMY, P.; MUDGAL, B.V. **Performance of urban storm drainage network under changing climate scenarios: Flood mitigation in Indian coastal city.** Sci Rep 9, 7783 (2019). <https://doi.org/10.1038/s41598-019-43859-3>.

ARAGÃO, R.; FIGUEIREDO, E. E.; SRINIVASAN, V. S.; GOIS, R. S. S. Chuvas Intensas no Estado da Paraíba. V Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste, 2000, Natal. **Anais do V Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste.** Natal – RN. Associação Brasileira de Recursos Hídricos - ABRH, p. 74-85, 2000.

BAHIENSE, J. M. (2013). **Avaliação de técnicas compensatórias em drenagem urbana baseadas no conceito de desenvolvimento de baixo impacto, com o apoio de modelagem matemática.** 144 f. Dissertação (Mestrado) – Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

BATISTA, J. A. N.; BOLDRIN, A. J. **Avaliação do desempenho hidráulico de um sistema de drenagem de águas pluviais urbanas.** Revista Engenharia Sanitária e Ambiental (online), v. 23, n. 2, p. 263-273, mar./abr. 2018. <http://dx.doi.org/10.1590/s1413-41522018170663>.

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.

BASANT, N.; GUPTA, S.; MALIK, A.; SINGH, K. P. (2010). **Linear and nonlinear modeling for simultaneous prediction of dissolved oxygen and biochemical oxygen demand of the surface water — A case study.** Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems, 104(2), 172–180. doi: 10.1016/j.chemolab.2010.08.005

BEHMEL, S.; DAMOUR, M. & LUDWIG, R. **Water quality monitoring strategies – a review and future perspectives.** Science of the Total Environment, v. 571, 2016, 1312–1329.

BRASIL. **Lei Federal nº 14.026 de 15 de julho de 2020.** Marco Legal do Saneamento Básico. Brasília.

\_\_\_\_\_. **Resolução CONAMA nº 357 de 17 de março de 2005. Classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento dos corpos de água superficiais, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes.** Publicada no D.O.U. nº53 de 18 de março de 2005.

\_\_\_\_\_. **Resolução CONAMA nº 430 de 13 de maio de 2011.** Condições e padrões de lançamento de efluentes. Publicada no D.O.U. nº92 de 16 de maio de 2011.

\_\_\_\_\_. **Manual para apresentação de propostas para sistemas de drenagem sustentável e de manejo de águas pluviais. Programa Drenagem Urbana Sustentável - Gestão de Riscos e Desastres.** Ministério das Cidades. 2012

CAMELO, S. M. **Modelagem de poluição difusa em sistemas de macrodrenagem de bacias urbanas.** 2019. Dissertação (Mestrado - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental) – Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, Campina Grande, 2019.

CAMACHO, L.; NAVAS, A.; SIERRA, R. **Dynamic water quality monitoring and modelling of polluted urban rivers. Study case: Tunjuelo River at Bogotá City – Colombia.** 2017. Proceedings of 14th ICUD – International Conference on Urban Drainage. 14th IWA/IAHR International Conference on Urban Drainage (ICUD 2017), pp. 1584–1588.

CETESB – COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL. **Apêndice E- Significado ambiental e sanitário das variáveis de qualidade.** São Paulo. 2017.

CHEN, T., ZHANG, B., LI, J. & HAN, M. **Process and influencing factors of N removal in grassed paving system by <sup>15</sup>N tracing analysis.** Water Science & Technology, 78 (3), 2018, 611–621.

CHRISTOFIDIS, H. V. (2010). **Drenagem Urbana Sustentável: Análise do uso do Retrofit.** Brasília. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento Sustentável) – Universidade de Brasília.

COSTA, M. E. L. **Monitoramento e Modelagem de Águas de Drenagem Urbana na Bacia do Lago Paranoá.** 203 p. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos), Universidade de Brasília, Brasília - DF, 2013.

DAVID M. **Modelação Matemática em Sistemas de Drenagem Urbana: Um Caso de Estudo.** Instituto Politécnico de Setúbal, 2005, Barreiro, Portugal.

FRANÇA, L. R. C. **Aplicação de técnicas de desenvolvimento de baixo impacto no controle da poluição de águas em sistemas de drenagem urbana.** 2020. Dissertação (Mestrado - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental) – Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, Campina Grande, 2020.

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.

GARCIA, J.I.B. **Monitoramento Hidrológico e Modelagem da Drenagem Urbana da Bacia Hidrográfica do Arroio Cancela.** 2005. 169 p. Dissertação (Mestrado)- Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Maria. Rio Grande do Sul, 2005.

GARCÍA, L., BARREIRO-GOMEZ, J., ESCOBAR, E., TÉLLEZ, D., QUIJANO, N.; OCAMPO-MARTINEZ, C. **Modeling and real-time control of urban drainage systems: A**

**review.** *Advances in Water Resources*, v. 85, 2015. 120–132. <http://doi.org/10.1016/j.advwatres.2015.08.007>

GOMES, K. M. F. **Modelagem Da Poluição Difusa Em Uma Bacia De Drenagem Urbana.** 2014. 76 p. Dissertação (Mestrado - Programa de Pós-graduação em Engenharia Sanitária) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2014.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. (2020). Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br>>.

\_\_\_\_\_. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. (2018). Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br>>.

IMRAN, H. M.; AKIB, S.; KARIM, M. R. **Permeable pavement and stormwater management systems: a review.** *Environmental Technology*, v34(18), 2649–2656, 2013. DOI:10.1080/09593330.2013.782573

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

LEE, J.-M., HYUN, K.-H., CHOI, J.-S., YOON, Y.-J. & GERONIMO, F. K. F. **Flood reduction analysis on watershed of LID design demonstration district using SWMM5.** *Desalination & Water Treatment*, 38 (1–3), 2012, 255–261.

LI, D.; LIU, S. **Detection of River Water Quality.** *Water Quality Monitoring and Management*, 211–220, 2019. doi:10.1016/b978-0-12-811330-1.00007-7

LIAO, Z. L., ZHANG, G. Q., WU, Z. H., HE, Y. & CHEN, H. **Combined sewer overflow control with LID based on SWMM: an example in Shanghai, China.** *Water Science & Technology*, 71 (8), 2015 1136–1142.

LIN, WUGUANG; RYU, SUNGWOO; PARK, DAE GEUN; LEE, JAEHOON; CHO, YOON-HO; **Performance Evaluation of the Runoff Reduction with Permeable Pavements using the SWMM Model.** *International Journal of Highway Engineering*. Volume 17, Issue 4, 2015, pp 11-18.

LIMA, R. N. DE S.; RIBEIRO, C. B. DE M.; BARBOSA, C. C. F.; ROTUNNO FILHO, O. C. **Estudo da poluição pontual e difusa na bacia de contribuição do reservatório da usina hidrelétrica de Funil utilizando modelagem espacialmente distribuída em Sistema de Informação Geográfica.** *Engenharia Sanitaria e Ambiental*, 21(1), 139–150, 2016. <http://doi.org/10.1590/s1413-41520201600100127676>

MARTINS, R. G. **Modelagem da carga de poluição difusa em escala de bacia com valores de concentração média por evento a partir de dados de uma rede de monitoramento local.** 2017. 178 p. Tese (Doutorado). Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo, São Carlos, 2017.

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

MELO, T. A. T.; COUTINHO, A. P.; SANTOS, J. B. F.; CABRAL, J. J. S. P.; ANTONINO, A. C. D.; LASSABATERE, L. **Trincheira de infiltração como técnica compensatória no manejo das águas pluviais urbanas.** Ambiente Construído, 16(3), 2016, 53–72. doi:10.1590/s1678-86212016000300092

METCALF, L.; EDDY, P. H. **Tratamento de efluentes e recuperação de recursos.** 5<sup>a</sup>.ed. Porto Alegre, McGraw - Hill, 2016.

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

MIGUEZ, M. G.; VERÓL, A. P.; CARNEIRO, P. R. F. **Sustainable Drainage Systems: An Integrated Approach, Combining Hydraulic Engineering Design, Urban Land Control and River Revitalization Aspects.** Drainage Systems, Muhammad Salik Javaid, Intech Open, 2012. DOI: 10.5772/33896.

MOVAHEDINIA, M., SAMANI, J. M. V., BARAKHASI, F., TAGHVAEIAN, S., & STEPANIAN, R. Simulating the effects of low impact development approaches on urban flooding: a case study from Tehran, Iran. Water Science and Technology. 2019. doi:10.2166/wst.2019.412

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.

PAIXÃO, F.J.R.; ANDRADE, A.R.S.; AZEVEDO, C.A.V.; COSTA, T.L.; GUERRA, H.O.C. Ajuste da curva de infiltração por meio de diferentes modelos empíricos. **Pesquisa aplicada & Agrotecnologia**, volume 2, nº 1, p 108-112. Guarapuava-PR, 2009.

PREFEITURA MUNICIPAL DE CAMPINA GRANDE - PMCG (2014). **Programas, projetos e ações para universalização dos serviços de Saneamento Básico.** Secretaria de Serviços Urbanos e Meio Ambiente (SESUMA). Campina Grande - PB.

RAMALHO, P. B. et al. (2015). **“Proposição de medidas compensatórias para o sistema atual de drenagem de Campina Grande – PB”** in Anais do XXI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, Brasília – DF, Nov. 2015.

RIGHETTO, A. M.; GOMES, K. M.; FREITAS, F. R.S. **Poluição difusa nas águas pluviais de uma bacia de drenagem urbana.** Engenharia Sanitária e Ambiental, v.22. 1109-1120. 2017. <http://doi.org/10.1590/s1413-41522017162357>.

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

\_\_\_\_\_. **Storm Water Management Reference Model – Volume II Hydraulics.** 2017. U. S. Environmental Protection Agency, Cincinnati, OH45268. May 2017.

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.

SANT'ANNA JR., G. L. **Tratamento biológico de efluentes: Fundamentos e Aplicações**. 2 ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2013. 424 p.

SANTOS, K. A.; RUFINO, I. A. A.; BARROS FILHO, M. N. M. **Impactos da ocupação urbana na permeabilidade do solo: o caso de uma área de urbanização consolidada em Campina Grande - PB**. Eng. Sanit. e Amb. 2017, v.22, n.5, pp.943-952, 2017. ISSN 1413-4152. <https://doi.org/10.1590/s1413-41522016146661>.

SHAFIQUE, M, K; REEHO & KYUNG-HO, K. (2018). **Green Roof for Stormwater Management in a Highly Urbanized Area: The Case of Seoul, Korea**. Sustainability. 10. 10.3390/su10030584.

SILLANPÄÄ, N.; KOIVUSALO, H. **Impacts of urban development on runoff event characteristics and unit hydrographs across warm and cold seasons in high latitudes**. Journal of Hydrology (Amsterdam), v. 521, p. 328-340, 2015. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhydrol.2014.12.008>.

SILVA, J. C. A. **Recuperação de córregos urbanos através do controle de cargas pontuais e difusas. Estudo de caso: Córrego Ibiraporã do Sapé**. 192p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2014.

TSUYUGUCHI, B. B. **Macrodrenagem e ocupação do solo no município de Campina Grande: caracterização, simulação e análises sistêmicas**. 102p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) – Universidade Federal de Campina Grande, 2015.

TSUJI, T. M.; COSTA, M. E. L.; KOIDE, S. **Diffuse pollution monitoring and modelling of small urban watershed in Brazil Cerrado**. Water Sci Technol, v. 79, 1912–1921, 2019. <https://doi.org/10.2166/wst.2019.190>

TUCCI, C.E.M. (2005). Modelos hidrológicos. ABRH, Porto Alegre-RS.

\_\_\_\_\_. **Águas urbanas**. Estudos Avançados, v. 22, n. 63, 2008. p. 97-112.

\_\_\_\_\_. **Gestão da drenagem urbana**. Brasília, DF: CEPAL. Escritório no Brasil/IPEA, 2012. Textos para Discussão CEPAL-IPEA, v.48. 50p

TUCCI, C. E. M. e BERTONI, J. C. B. **Inundações Urbanas na América do Sul**. Porto Alegre: Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 2003.

URRUTIAGUER, M.; LLOYD, S.; LAMSHED, S. **Determining water sensitive urban design project benefits using a multi-criteria assessment tool**. Water Sci. Technol. 2010, 61,2333–2341.

UNDESA (United Nations Department of Economic and Social Affairs). 2018. **World Urbanization Prospects: 2018 Revision**. New York: United Nations Department of Social and Economic Affairs.

VIDAL, I. C. A. **Avaliação da poluição difusa no sistema de macrodrenagem de Campina Grande-PB**. 2019. Dissertação (Mestrado - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental) – Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, Campina Grande, 2019.

VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. 4 ed. Belo Horizonte: UFMG, 2014. 452 p.

WAIKAR, M. & NAMITA, U. **Urban Flood Modeling by using EPA SWMM 5**. Research Journal of Science. v1. 73-82, 2015.