

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

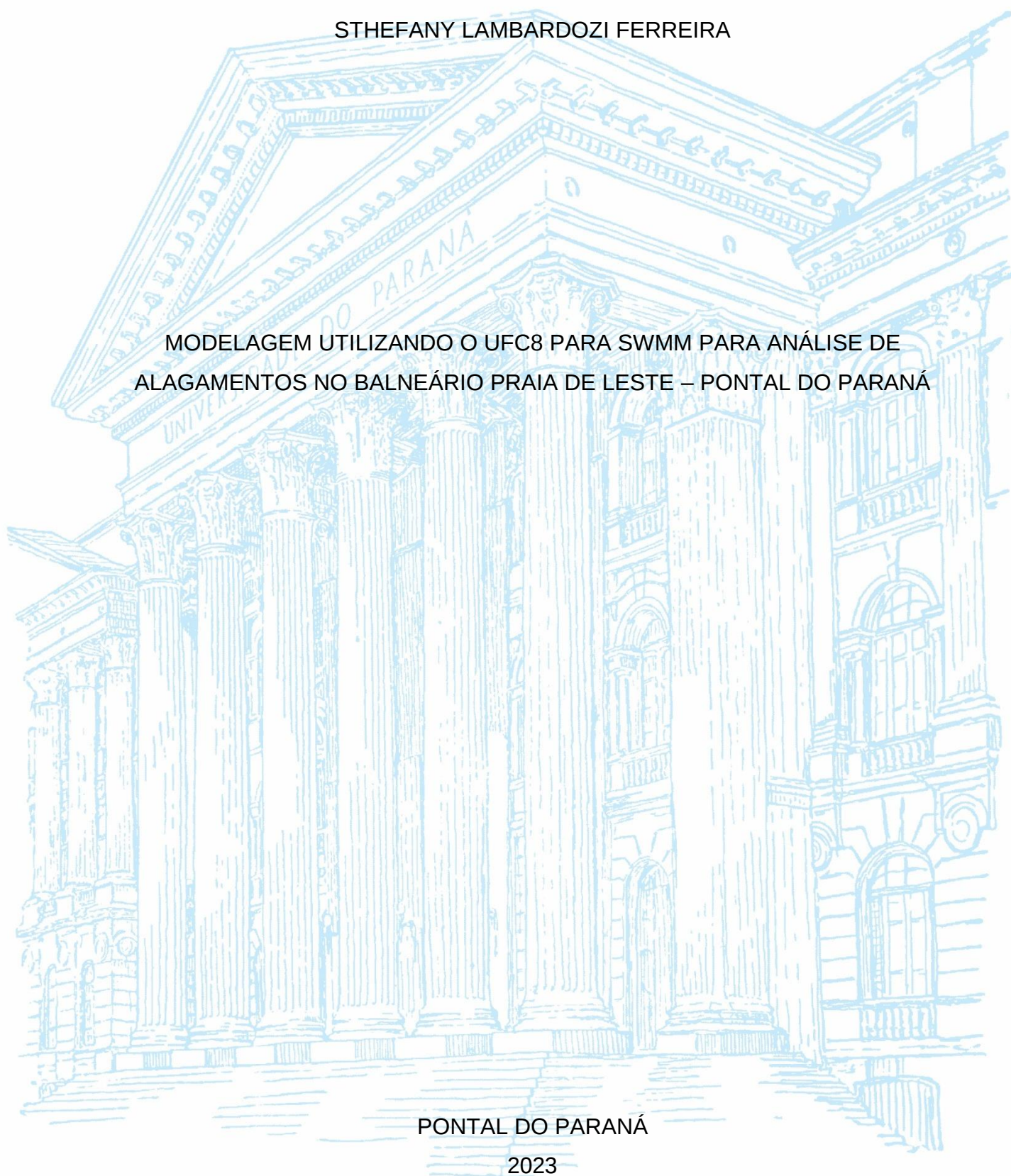
GABRIEL ALVES COLERE

STHEFANY LAMBARDOZI FERREIRA

MODELAGEM UTILIZANDO O UFC8 PARA SWMM PARA ANÁLISE DE
ALAGAMENTOS NO BALNEÁRIO PRAIA DE LESTE – PONTAL DO PARANÁ

PONTAL DO PARANÁ

2023



GABRIEL ALVES COLERE
STHEFANY LAMBARDOZI FERREIRA

MODELAGEM UTILIZANDO O UFC8 E SWMM PARA ANÁLISE DE
ALAGAMENTOS NO BALNEÁRIO PRAIA DE LESTE – PONTAL DO PARANÁ

Monografia apresentada ao curso de Graduação em engenharia civil, Setor de Ciências da Terra, Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador(a): Prof(a). Dr(a). Roberta Brondani Minussi

Coorientador(a): Prof(a). Dr(a). Amanara Potykyta de Sousa Dias Vieira

PONTAL DO PARANÁ
2023

DADOS INTERNACIONAIS DE CATALOGAÇÃO NA PUBLICAÇÃO (CIP)
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
SISTEMA DE BIBLIOTECAS – BIBLIOTECA DO CENTRO DE ESTUDOS DO MAR

Colere, Gabriel Alves
C683m Modelagem utilizando o UFC8 para SWMM para análise de alagamentos no Balneário
Praia de Leste - Pontal do Paraná / Gabriel Alves Colere, Sthefany Lambardozi Ferreira.
– Pontal do Paraná, 2023.
1 arquivo [64 f.] : PDF.

Orientadora: Profa. Dra. Roberta Brondani Minussi
Coorientadora: Profa. Dra. Amanara Potykyta de Sousa Dias Vieira
Monografia (Graduação) – Universidade Federal do Paraná, Campus Pontal do
Paraná, Centro de Estudos do Mar, Curso de Engenharia Civil.

1. Inundações. 2. Controle de inundações. 3. Solos - Inundações. 4. Saneamento. I.
Ferreira, Sthefany Lambardozi. II. Minussi, Roberta Brondani. III. Vieira, Amanara
Potykyta de Sousa Dias. IV. Título. V. Universidade Federal do Paraná.

627.4



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

ATA DE REUNIÃO

TERMO DE APROVAÇÃO

Gabriel Alves Colere e Sthefany Lambardozi Ferreira

“MODELAGEM UTILIZANDO O UFC8 E SWMM PARA ANÁLISE DE ALAGAMENTOS NO BALNEÁRIO DE PRAIA DE LESTE - PONTAL DO PARANÁ”

Monografia aprovada como requisito parcial para a obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Civil, da Universidade Federal do Paraná, pela Comissão formada pelos membros:

Profa. Dra. Roberta Brondani Minussi

Prof. Orientador - CPP-CEM/UFPR

Profa. Dra. Simone Malutta

Centro Tecnológico de Joinville/Campus de Joinville/UFSC

Prof. Dr. Fernando Augusto Silveira Armani

CPP-CEM/UFPR

Pontal do Paraná, 06 de fevereiro de 2023.



Documento assinado eletronicamente por **ROBERTA BRONDANI MINUSSI, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 06/02/2023, às 16:24, conforme art. 1º, III, "b", da Lei 11.419/2006.



Documento assinado eletronicamente por **Simone Malutta, Usuário Externo**, em 08/02/2023, às 09:16, conforme art. 1º, III, "b", da Lei 11.419/2006.



Documento assinado eletronicamente por **FERNANDO AUGUSTO SILVEIRA ARMANI, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 10/02/2023, às 18:15, conforme art. 1º, III, "b", da Lei 11.419/2006.



A autenticidade do documento pode ser conferida [aqui](#) informando o código verificador **5269638** e o código CRC **556D10F9**.

AGRADECIMENTOS

Nós, Gabriel e Sthefany, gostaríamos de agradecer a todos os docentes que fizeram parte desta jornada, tanto com os conteúdos ministrados em aulas, quanto com conselhos no âmbito profissional e pessoal, em especial a nossas professoras orientadoras Dra. Roberta e Dra. Amanara pela sabedoria e paciência durante a construção desta monografia.

Aos nossos colegas de caminhada, em especial aos amigos que fazem parte do “quinteto”: Jessica, José Victor e Odival, muito obrigado! Sem vocês, com certeza, não teria sido tão divertido e acolhedor.

Eu, Gabriel, agradeço aos meus tios Luiz, Miriam, Johnson e Massae, pelo acolhimento que me deram, vocês sabem que não há nada que possa mensurar o que fizeram por mim. Minha avó Noemi e meus padrinhos, Sandro e Sandra, que estiveram ao meu lado de uma maneira única, a vocês, gratidão além do que consigo expressar. Agradeço também aos meus pais por sempre batalharem por mim, meus irmãos, familiares e amigos que me orientaram e aconselharam em muitos momentos. Aos profissionais que encontrei no estágio, por algumas lições de vida singulares. Para todos aqueles que possa eventualmente ter me esquecido de citar por ser “um cabeça de vento”, minhas desculpas e saibam que também carrego sabedoria advinda de vocês.

Eu, Sthefany, agradeço a Deus, pois sem Ele nada seria. Aos meus pais, Ester e José, por sempre me apoiarem e lutarem para que meus sonhos fossem realizados, sem vocês nada disso seria possível. Ao meu esposo, Thomas, por sempre estar ao meu lado e acreditar no meu potencial quando eu mesma não acreditava.

A minha avó Geralda, tia Rosa e prima Camila, por serem exemplos, pela ajuda e incentivos. Além das pessoas citadas acima agradeço a todos os meus familiares por sempre se orgulharem das minhas conquistas.

No meio da dificuldade encontra-se a oportunidade. (ALBERT EINSTEIN)

Apreendi que a coragem não é a ausência do medo, mas o triunfo sobre ele.
O homem corajoso não é aquele que não sente medo, mas o que conquista este
medo. (NELSON MANDELA, 1995)

RESUMO

Assim que chega à superfície terrestre, a água proveniente das chuvas pode escoar superficialmente sobre o solo ou infiltrá-lo. Considerando o processo de urbanização, a ocorrência natural desses fenômenos é prejudicada, levando a iminência de eventos como inundações, alagamentos e enxurradas. O litoral do Estado do Paraná sofre muito com esses eventos, pois, o sistema de saneamento dos municípios não comporta a vazão que é solicitada em um curto período de tempo, tendo como consequência grandes transtornos para a população local como ruas e as próprias casas alagadas. O presente trabalho tem como objetivos: simular três cenários de chuva para o Balneário de Praia de Leste na cidade de Pontal do Paraná/PR; caracterizar quais destes cenários é o mais adequado para se aplicar soluções de mitigação ou atenuação dos problemas causados e indicar três soluções. Para a construção das simulações foram utilizados: o levantamento topográfico da região (previamente realizado pela Universidade Federal do Paraná, campus Centro de Estudos do Mar) e os softwares UFC8 e SWMM. Para as simulações, o principal parâmetro utilizado foi a taxa de permeabilidade, tendo sido adotado três valores: 25% para o cenário 1, 70% para o cenário 2 e 50% para o cenário 3. Os resultados mostraram que os cenários 1 e 3 são semelhantes, porém o cenário 1 foi escolhido como ideal, em decorrência da grande similaridade com a situação real da região e do grande volume alagado em relação aos outros dois cenários.

Palavras-chave: Alagamento. Saneamento. Simulações. Taxa de permeabilidade. Soluções mitigadoras.

ABSTRACT

As soon as it reaches the earth's surface, rainwater can either run superficially over the soil or infiltrate it. Considering the urbanization process, the natural occurrence of these phenomena is impaired, leading to imminence of events such as floods, overflows and flash floods. The coast of State of Paraná suffers a lot from these events, since the sanitation system of the municipalities does not support the flow that is requested in a short period of time, resulting in major inconvenience for the local population, with flooded streets and houses. The present work aims to: simulate three rain scenarios for the Balneário de Praia de Leste in the city of Pontal do Paraná/PR; characterize which of these scenarios is the most suitable for applying mitigation or mitigation solutions to the problems caused and indicate three solutions. For the construction of the simulations, the following were used: the topographical survey of the region (previously carried out by the Federal University of Paraná, Campus Centro de Estudos do Mar) and the software UFC8 and SWMM. For the simulations, the main parameter used was the permeability rate, with three values adopted: 25% for scenario 1, 70% for scenario 2 and 50% for scenario 3. The results showed that scenarios 1 and 3 are similar, but scenario 1 was chosen as ideal, due to the great similarity with the real situation in the region and the large volume of flooding in relation to the other two scenarios.

Keywords: Flooding. Sanitation. Simulations. Permeability rate. Mitigating solutions.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 – UNIDADES HIDROGRÁFICAS DO PARANÁ	24
FIGURA 2 – RIOS, CANAIS E REDE DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA DE PONTAL DO PARANÁ.....	25
FIGURA 3 – TIPOLOGIAS TÉCNICAS	28
FIGURA 4 – ÁREA DE ESTUDO	41
FIGURA 5 – BACIA HIDROGRÁFICA.....	41
FIGURA 6 – ZONEAMENTO DA REGIÃO DE ESTUDO	42
FIGURA 7 – LOCALIDADE DOS BUEIROS	43
FIGURA 8 – BACIAS APÓS A DIVISÃO	47
FIGURA 9 – CONFIGURAÇÕES DE SIMULAÇÃO	44
FIGURA 10 – PONTOS DE ACÚMULO DE ÁGUA E VAZÕES DE INUNDAÇÃO ...	50
FIGURA 11 – DIREÇÕES DE FLUXO	51

LISTA DE GRÁFICOS

GRÁFICO 1 – VOLUME TOTAL INUNDADO DOS CENÁRIOS	47
GRÁFICO 2 – TAXA MÁXIMA DOS CENÁRIOS	48

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 – ZONEAMENTO DO USO E OCUPAÇÃO DO SOLO DO MUNICÍPIO DE PONTAL DO PARANÁ.....	22
TABELA 2 – COMITÊS DE BACIA HIDROGRÁFICA.....	23
TABELA 3 – TEMPOS DE RETORNO (Tr) – DAEE e CETESB (1980)	33
TABELA 4 – CN PARA ÁREA URBANAS CONSIDERANDO PERCENTUAL DE ÁREA IMPERMEÁVEL	34
TABELA 5 – INFRAESTRUTURA E SISTEMAS EXISTENTES.....	37
TABELA 6 – INFRAESTRUTURA DE ACORDO COM O SNIS	38
TABELA 7 – ZONEAMENTO DA REGIÃO DA BACIA DE ESTUDO, ÁREA E TAXA DE PERMEABILIDADE.....	42
TABELA 8 – ÍNDICES DE INUNDAÇÃO PARA O CENÁRIO 1	46
TABELA 9 – ÍNDICES DE INUNDAÇÃO PARA O CENÁRIO 2	47
TABELA 10 – ÍNDICES DE INUNDAÇÃO PARA O CENÁRIO 3	47
TABELA 11 – NÓS COM ACÚMULO DE ÁGUA ACIMA OU IGUAL A 1,3 METRO.....	49

LISTA DE ABREVIATURAS OU SIGLAS

A	- Área da bacia
As	- Área da seção transversal de um conduto
BH	- Bacia hidrográfica
BHC	- Balanço hídrico climatológico
BMP	- <i>Best Management Practices</i>
C	- Coeficiente de escoamento superficial/ <i>Hazen-Williams</i>
CBH	- Comitê de Bacia Hidrográfica
CBH BIG	- Comitê de Bacia Hidrográfica da Bacia da Ilha Grande
CERH/PR	- Conselho Estadual de Recursos Hídricos– Paraná
CETESB	- Companhia Ambiental do Estado de São Paulo
CN	- Número de curva
Dd	- Densidade de drenagem
DNIT	- Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes
G	- Aceleração da gravidade
H	- Nível de água
I	- Intensidade da precipitação
ITCG	- Instituto de Terras, Cartografia e Geologia do Paraná
L	- Extensão média do escoamento superficial
LENHS UFPB	- Laboratório de Eficiência Energética em Hidráulica e Saneamento - Universidade Federal da Paraíba
LID	- <i>Low Impact Development</i>
LIUDD	- <i>Low Impact Urban Design and Development</i>
MC	- Controle na fonte
N	- Coeficiente de Manning
Q	- Vazão
R _h	- Raio hidráulico
S	- Declividade do conduto
S ₀	- Inclinação longitudinal de fundo
SbN	- Soluções baseadas na natureza
SCS	- <i>Soil Conservation Service</i>
SECS	- Setor de Comércio e Serviços
SEMA	- Secretaria do Meio Ambiente e Infraestrutura

Sf	- Inclinação da linha de energia
SIN	- Sinuosidade do curso da água
SNIS	- Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento
SUNDERHSA	- Superintendência de Desenvolvimento de Recursos hídricos e Saneamento Ambiental
SUDS	- <i>Sustainable Urban Drainage Systems</i>
SWMM	- <i>Storm Water Management Model</i>
T	- Tempo
Tc	- Tempo de concentração
Td	- Tempo assumido de chuva
Tr	- Tempo de Retorno
UFC8	- Módulo 8 do Sistema UFC
UFC	- Universidade Federal do Ceará, também se refere ao <i>software</i>
WSUD	- <i>Water Sensitive Urban Design</i>
x	- Distância na direção do fluxo principal
y	- Profundidade da água
ZEAS	- Zona Especial do Aterro Sanitário
ZEIS	- Zona Especial de Interesse Social
ZEP	- Zona Especial Portuária
ZETUR	- Zona Especial de Turismo
ZIS	- Zona Industrial e de Serviços
ZOE	- Zona de Ocupação Especial
ZR	- Zona Residencial

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	17
1.1	CONTEXTO E PROBLEMA	17
1.2	OBJETIVOS	18
1.2.1	Objetivo geral	18
1.2.2	Objetivos específicos.....	19
1.3	JUSTIFICATIVA	19
2	REVISÃO TEÓRICO-EMPÍRICA.....	20
2.1	INTRODUÇÃO AO PROCESSO DE URBANIZAÇÃO NO BRASIL E NO MUNICÍPIO DE PONTAL DO PARANÁ	20
2.2	HIDROGRAFIA DA REGIÃO E SEUS PARÂMETROS	22
2.3	DRENAGEM URBANA	26
2.3.1	Sistemas de drenagem urbana.....	30
2.3.2	Critérios/definições utilizadas em projetos de acordo com o Plano Diretor de Drenagem de Curitiba	33
2.3.3	Sistemas de pavimentação e drenagem de Pontal do Paraná.....	37
3	METODOLOGIA	39
4	RESULTADOS E ANÁLISE DOS DADOS.....	46
5	CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....	52
	REFERÊNCIAS.....	55
	APÊNDICE.....	60

1 INTRODUÇÃO

1.1 CONTEXTO E PROBLEMA

Os problemas de drenagem urbana surgem com a não aplicação adequada do que consta no Plano Nacional de Saneamento Básico e na Constituição Federal, sobre saneamento básico (RODRIGUES *et al.*, 2022). Segundo Tucci (1997 *apud* RODRIGUES *et al.*, 2022), a drenagem urbana não se limita a aspectos meramente restritos à Engenharia, pois também se refere ao conjunto de medidas não estruturais que visam à minimização dos riscos e prejuízos decorrentes de inundações, aos quais a sociedade está sujeita.

As primeiras cidades se desenvolveram às margens dos rios devido ao fácil transporte de água. Como consequência, ocupou-se áreas que naturalmente seriam inundadas em períodos chuvosos, criando-se assim a necessidade da drenagem urbana.

Alguns autores, como Chebbo *et al.* (2001), na França, e Ide (1984), Neves (2006) e Pimentel (2009), no Brasil, apresentaram estudos para avaliar a qualidade das águas no sistema de drenagem pluvial, ficando evidente a relação entre as águas pluviais e os outros componentes do saneamento básico, com destaque para a presença significativa de resíduos sólidos, que exercem papel importante no mau funcionamento das redes de drenagem, e para o esgotamento sanitário, cuja mistura nos corpos d'água urbanos provoca a degradação das águas e cria um importante argumento para sua canalização. (SOUZA, MORAES e BORJA, 2013, p. 2).

Segundo Christofidis, Assumpção e Kligerman (2019), a drenagem urbana está dividida em três fases:

1. Drenagem urbana tradicional: controle das águas para reduzir o impacto das cheias, era insuficiente para superar os problemas, pois tinha como visão a coleta e afastamento imediato das águas pluviais;
2. Drenagem urbana sustentável: controle das águas das chuvas na fonte e indução à infiltração e à retenção das águas, reduzindo os picos de cheias;
3. Soluções baseadas na natureza (SbN): ter consciência que se deve conhecer e cuidar das águas para a sua gestão.

Entre os problemas de drenagem urbana, os mais usuais e que causam grandes transtornos são as enchentes, inundações, alagamentos e enxurradas. Dowell e Licco (2015) define enchente como a elevação do nível das águas do canal

de drenagem devido ao aumento da vazão, podendo atingir a cota máxima do canal sem extravasar; as inundações são o transbordamento das águas do curso d'água, atingindo a planície de inundação adjacente ou então áreas de várzea. Além destes, os alagamentos são os eventos de acúmulo momentâneo de águas em determinadas regiões por causa de alguma deficiência no sistema de drenagem e as enxurradas são escoamentos superficiais de alta energia de transporte, podendo ou não estar associados a áreas de domínio de processos fluviais.

Tucci (2007 *apud* RODRIGUES *et al.*, 2022) aponta dois fatores para a dificuldade das enchentes nas cidades: 1. Enchentes em áreas ribeirinhas que atingem a população ocupante de leitos de rios, evidenciando a falta de planejamento urbano e 2. Uso do solo, pela ocupação inadequada do espaço urbano.

Segundo Rodrigues *et al.* (2022), os problemas de drenagem relacionados a urbanização são devido a maneira como se lidou com o que é drenagem urbana e suas medidas e a dificuldade do escoamento da água no solo, e os principais efeitos são o aumento da vazão máxima, a antecipação do pico e a ampliação do volume do escoamento superficial.

Christofidis, Assumpção e Kligerman (2019), também citam como fatores que causam esses problemas: o uso do solo, vegetação e águas; atuação de forma setorial e fragmentada; interferências danosas pela falta de integração entre os agentes (governamentais e privados, a sociedade civil, militares, indivíduos ou grupos de pessoas); desconexão entre atividades/serviços das agências em níveis distintos (federal, estadual, municipal e distrital); e a maneira como a urbanização ocorreu sem considerar a dinâmica hídrica.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo geral

O objetivo geral deste trabalho é simular alguns pontos de alagamento no Balneário de Praia de Leste – Pontal do Paraná, com intuito de propor medidas compensatórias como soluções de drenagem a serem aplicadas para mitigar ou atenuar os problemas causados.

1.2.2 Objetivos específicos

- Escolher três cenários para simulações, de forma a abranger as mais diversas condições;
- Levantamento de soluções de drenagem em planos de drenagem urbana;
- Simulação hidráulica com o uso de software para os cenários iniciais.

1.3 JUSTIFICATIVA

A interferência antrópica e, neste caso em particular, os processos de urbanização, acabam por aumentar a proporção dos eventos citados acima, tornando-os um problema que podem desorganizar a vida da população, ocasionando deterioração da qualidade de vida, perda de bens materiais, tanto para sociedade civil quanto para o poder público como a deterioração de construções históricas, causado até mesmo perdas devidas humanas (Tucci, 1994 *apud* BRITO, 2006).

Segundo Brito (2006), outros impactos que são consequência de inundações são os impactos ambientais como, por exemplo, o assoreamento causado pelas enchentes, aumento dos diâmetros condutos pluviais para suprir maiores volumes de águas e veiculação de patologias hídricas como leptospirose, hepatite A, diarreias bacterianas, febre tifoide, tétano, a dengue através da proliferação do vetor de transmissão *Aedes Aegypti* entre outras doenças (VEJA, 2020). As inundações também podem paralisar as atividades econômicas de vários setores da sociedade.

Os impactos das inundações e alagamentos podem ser observados em Pontal do Paraná em matérias como a do Paraná Portal (2021), onde foram relatadas inundações nos balneários de Ipanema, Olho D'agua e Marissol, que impossibilitaram os moradores de deixarem suas casas.

Analisando os impactos e prejuízos decorrentes das inundações e alagamentos junto às evidências de ocorrência dessas na região de estudo, verifica-se a pertinência de estudos sobre a vulnerabilidade do sistema de drenagem regional quanto à eventos de precipitação e como diferentes cenários podem influir na resposta do sistema de drenagem a eventos pluviométricos.

2 REVISÃO TEÓRICO-EMPÍRICA

Para entender melhor quais seriam as soluções de drenagem mitigadoras mais adequadas para a região de estudo é preciso entender o processo de urbanização no Brasil e, principalmente, no município de Pontal do Paraná. Após a introdução a esses pontos é possível adentrar, de fato, ao tema de drenagem urbana e especificar as condições analisadas para este estudo.

2.1 INTRODUÇÃO AO PROCESSO DE URBANIZAÇÃO NO BRASIL E NO MUNICÍPIO DE PONTAL DO PARANÁ

A urbanização é um processo natural que ocorre com o crescimento da população. Para Miguez *et al.* (2016), a urbanização representa o processo de crescimento das cidades, o qual implica a modificação das características naturais ou rurais, transformando-as em urbanas. Nas áreas que passam a ser ocupadas, retira-se parte da vegetação até então presente, faz-se aterros e cortes, pavimentação e edificações (TORRES, 2014). Segundo Botelho (1998 *apud* TORRES, 2014), o processo de urbanização pode ser dividido em três alternativas: 1. Urbanizar respeitando as características naturais que o terreno apresenta. Isso evita danos de grande proporção no futuro; 2. Urbanizar sem respeitar as características da área. Esta alternativa pode ter danos evitados, porém através de obras muito custosas; 3. Urbanizar sem se preocupar com as características locais e sem projetar obras de contenção. Esta opção pode gerar consequências perigosas para a população.

No Brasil, o processo de urbanização foi caracterizado por especulações imobiliárias e ausência de áreas urbanizadas destinadas à moradia popular, levando a população de renda mais baixa a buscar áreas ambientalmente frágeis, como margens de rios e encostas de morros (BOTELHO, 1998 *apud* TORRES, 2014). Segundo Brito e Pinho (2012), o processo de urbanização no país foi acelerado e historicamente recente, com migrações internas que fomentaram este processo entre 1960 e o final dos anos oitenta (durante este período, quase 43 milhões de pessoas saíram do campo para as cidades).

No litoral do Paraná (composto por: Paranaguá, Pontal do Paraná, Matinhos, Guaratuba, Guaraqueçaba, Morretes e Antonina), a partir do século XVII, ocorreu uma ocupação rural, pois os trabalhadores que restaram da atividade mineradora na região

mudaram seu nicho de trabalho, deslocando para as atividades de pesca e agricultura (CUNHA, 2018). Antes, todos esses municípios eram área de Paranaguá e o processo de urbanização de Pontal do Paraná ocorreu por loteamentos, destacando que Pontal do Paraná só se tornou de fato um município em 1995, por meio da lei estadual 1152/1995 através de um processo de desmembramento do município de Paranaguá (CUNHA, 2018).

O estopim da urbanização em Pontal do Paraná foi o projeto “Cidade Balneária Pontal do Sul”, que surgiu em 1948 com a Prefeitura de Paranaguá solicitando ao Estado do Paraná (lei estadual nº 249/1949) uma área de aproximadamente 3000 hectares onde fica localizado Pontal do Sul, tendo o pedido atendido. Em 1951, o Estado passa para Paranaguá uma área de 4303 hectares. No mesmo ano, a Prefeitura de Paranaguá transfere essas terras para a “Empresa Balneária Pontal do Sul S/A” (constituída por Antonio B. Pereira, João Goiz Saião Filho e Luiz Ferraz de Mesquita) através de um “contrato de concessão” por meio da lei municipal nº 56/1950 (CUNHA, 2018).

Segundo Polidoro e Deschamps (2013), outra característica importante da urbanização em Pontal do Paraná é o conceito de segundas residências, composto por residências particulares permanentes não ocupadas (uso ocupacional e vago) e residências particulares improvisadas ocupadas. Este fator intensifica o poder do veraneio na economia e na disponibilidade de serviços da região, e a dualidade entre as condições dos moradores e os visitantes.

Em 2014, a Lei Complementar nº 009 foi sancionada, onde dispõe sobre o zoneamento, o uso e ocupação do solo do município de Pontal do Paraná, Estado do Paraná, nesta, as zonas estão divididas conforme a TABELA 1.

TABELA 1 – ZONEAMENTO DO USO E OCUPAÇÃO DO SOLO DO MUNICÍPIO DE PONTAL DO PARANÁ

Zonas		Descrição
Zona Residencial (ZR)	ZR1	Moradias unifamiliares e de baixa densidade e comércio e serviço vicinal
	ZR2	Uso habitacional de baixa densidade e atividade comercial
	ZR3	Uso habitacional de média densidade e atividade comercial
	ZR4	Uso habitacional de alta densidade e atividade comercial
	ZR5	Uso habitacional de altíssima densidade e atividade comercial
	ZR6	Uso habitacional de altíssima densidade e atividade comercial
Setor de Comércio e Serviços (SECS)	SECS1	Comércio e serviço vicinal, de bairro e setorial já estão consolidados
	SECS2	Entorno imediato da Rodovia PR407, comércio e serviço de maior porte
Zona Industrial e de Serviços (ZIS)		Atividades industriais e de serviços
Zona Especial Portuária (ZEP)		Atividades portuárias e complementares
Zona Especial de Interesse Social (ZEIS)	ZEIS1	Regularização fundiária
	ZEIS2	Desenvolvimento de assentamentos urbanos vinculados a programas habitacionais
Zona Especial do Aterro Sanitário (ZEAS)		Comércio e indústria de aterro sanitário, reciclagem e compostagem
Zona Especial de Turismo (ZETUR)		Exploração turística
Zona de Ocupação Especial (ZOE)	ZOE1	Áreas de elementos naturais relevantes
	ZOE2	Áreas entre a nova rodovia projetada e o canal

FONTE: Prefeitura Municipal de Pontal do Paraná (2014).

2.2 HIDROGRAFIA DA REGIÃO E SEUS PARÂMETROS

Pode-se dizer que uma bacia hidrográfica (BH) é uma região geográfica limitada por terrenos mais elevados (divisores de águas). Esses divisores direcionam as águas das chuvas até uma área mais baixa, formando cursos de água que se tornam afluentes para um curso de água principal. A qualidade e quantidade das águas (balanço hídrico) são influenciadas pelas formas de uso, os tipos de solos e seus relevos e, o tipo de cobertura superficial (vegetação ou superfície urbanizada) (SEMA, 2015).

Indústrias, propriedades rurais e cidades influenciam na qualidade da água dos cursos de água tornando a BH uma unidade territorial de planejamento para atuação do poder público, da sociedade civil e de seus usuários (SEMA, 2015). Nesse contexto, o balanço hídrico é a contabilização de entradas e saídas de volumes em um determinado intervalo de tempo em um determinado espaço (CBH BIG, 2018).

O balanço pode ser calculado para uma camada do solo, um trecho de rio ou para conjuntos de bacias hidrográficas. Usualmente a disponibilidade hídrica de uma região é avaliada pelo balanço hídrico climatológico (BHC), que utiliza como principais condicionantes a precipitação pluvial e a evapotranspiração potencial (PEREIRA *et al.*, 2002 *apud* SOUZA, 2013).

Os estudos de balanço hídrico têm potencial para aplicação em definição de zoneamentos agroclimáticos, irrigações suplementares, hidrologia, dimensionamento de reservatórios, drenagem, dentre outras. Geralmente é incluída ainda a avaliação do balanço qualitativo das águas de uma bacia hidrográfica principalmente dos rios dessa (FIM, 2018).

Quanto ao hábito administrativo em 26 de novembro de 1999 foi instituída a Lei nº 12.726, que adota a bacia hidrográfica como unidade de planejamento, com usos múltiplos, reconhecendo a água como um bem finito e vulnerável com valor econômico e com a necessidade de gestão descentralizada e participativa. A Lei tem o objetivo de instituir o uso racional, integrado e sustentável dos recursos hídricos, a prevenção e a defesa contra eventos hidrológicos críticos naturais ou não (SEMA, 2015).

Os Comitês de Bacias fazem a gestão das águas, conduzida pelas prefeituras e sociedade civil organizada, bem como outras instâncias dos governos estadual e federal (DEMETRIOS *et al.*, 2019). A TABELA 2 lista os oito Comitês de Bacias instalados no Estado do Paraná e suas composições.

TABELA 2 – COMITÊS DE BACIA HIDROGRÁFICA

Comitês de Bacia Hidrográfica	Composição – Número de Membros			Total
	Poder Público	Usuários dos Recursos Hídricos	Sociedade Civil	
Alto Iguaçu / Alto Ribeira	12	14	12	38
Tibagi	13	16	11	40
Jordão	9	9	5	23
Paraná 3	13	13	7	33
Piraponema	16	16	8	40
Norte Pioneiro	14	13	8	35
Litorânea	10	10	7	27
Baixo Ivaí	16	16	8	40

FONTE: SEMA (2015).

Conforme o conceito de que uma região hidrográfica é limitada por um divisor de águas, a resolução nº 024/2006/SEMA dividiu o Estado do Paraná em 16 Bacias Hidrográficas, sendo essas: Litorânea, Iguaçu, Ribeira, Itararé, Cinzas, Tibagi, Ivaí, Paranapanema 1, Paranapanema 2, Paranapanema 3, Paranapanema 4, Pirapó, Paraná 1, Paraná 2, Paraná 3 e Piquiri (SEMA, 2015).

De acordo com SEMA (2015), visando a gestão dos recursos hídricos, juntamente com critérios fisiográficos e socioeconômicos e de uso e ocupação do solo, as bacias hidrográficas foram reorganizadas em 12 unidades hidrográficas de Gerenciamento de Recursos Hídricos pela resolução nº 49/2006/CERH/PR, essas unidades incluem: Litorânea, Alto Iguaçu/Ribeira, Médio Iguaçu, Baixo Iguaçu, Itararé/Cinzas/Paranapanema I e II, Alto Tibagi, Baixo Tibagi, Pirapó/Paranapanema III e IV, Alto Ivaí, Baixo Ivaí/Paraná I, Piquiri/Paraná II, Paraná III, como exemplifica a FIGURA 1.

FIGURA 1– UNIDADES HIDROGRÁFICAS DO PARANÁ



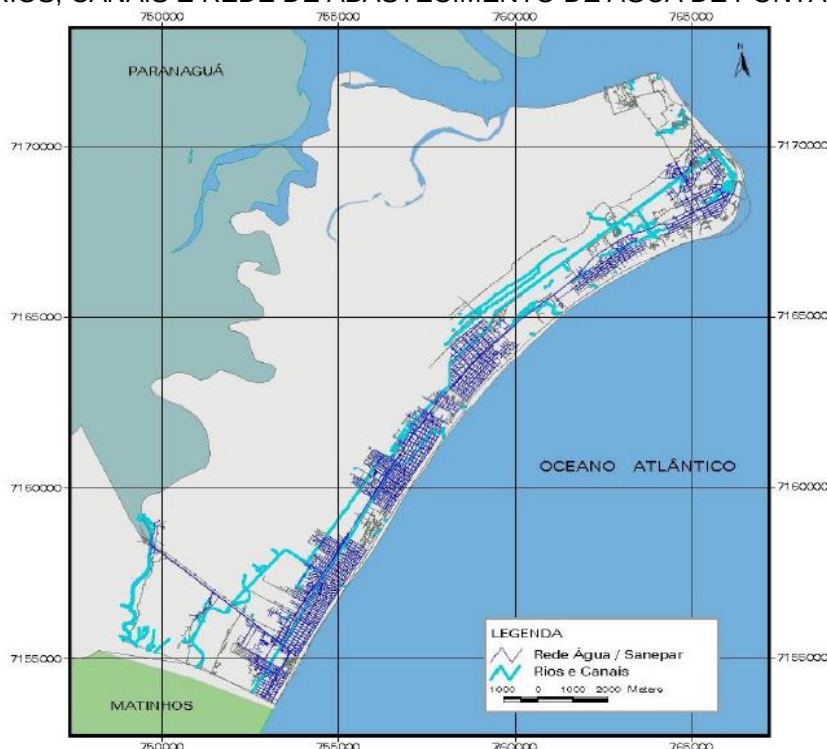
FONTE: SEMA (2015).

O município de Pontal do Paraná está localizado na Bacia Hidrográfica Litorânea, possuindo uma área de 5.630,8 km², correspondendo a 3% da área do estado e uma população de 283.023 habitantes. O município de Pontal do Paraná possui 202,2 km² de área, correspondendo 3,1% da área da bacia (SEMA, 2015).

Segundo o Caderno Diagnóstico do Plano Diretor de Pontal do Paraná, de 2004, a Bacia Litorânea do Paraná é composta pelas sub-bacias de Paranaguá (3.882 km² de área) e Guaratuba (1.393 km² de área), além dessas completam a Bacia Litorânea as sub-bacias Saí-Guaçu, a do Mar Ararapira e pequenos riachos que deságuam direto no mar (POLIDORI e PRESTES, 2004).

O principal rio de Pontal do Paraná (FIGURA 2) é o rio Guaraguaçu, possuindo nascentes na Serra do Mar e a foz no canal da Cotinga e com uma área de 635,51 km² para microbacia deste rio, a bacia é dividida em duas partes, uma com relevo mais acidentado na Serra do Mar e a outra na planície litorânea. Na região, foram construídos os canais DNOS para fins de drenagem e navegação, esse canal influencia significativamente as configurações de alguns rios da região, como o Perequê, Peri e Pai Antônio (POLIDORI e PRESTES, 2004).

FIGURA 2 – RIOS, CANAIS E REDE DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA DE PONTAL DO PARANÁ



FONTE: Polidori e Prestes (2004).

Há também o canal Lagoa Amarela, que nasce no município de Matinhos e foz no Gamboa Olho D'água, sendo a maior parte de sua extensão em Pontal do Paraná (FERREIRA e ARMANI, 2018 *apud* OLIVEIRA, 2019).

Para uma adequada gestão da drenagem urbana, é necessário o conhecimento da infiltração da água no solo, bem como de outras características do ciclo hidrológico da água. Segundo Collischonn e Dornelles (2015), a infiltração é a penetração da água no solo, a partir da superfície, afetando diretamente a geração de escoamento superficial, quando há redução na infiltração, normalmente resulta no aumento de escoamento superficial, o que pode contribuir para aumentar a frequência e a intensidade das cheias. O escoamento da água da chuva sobre a superfície pode formar pequenos córregos temporários ou escoar em forma de uma lâmina em superfícies mais lisas, sendo denominado de escoamento superficial, é importante porque gera os picos de vazão nos rios.

Dependendo da proporção da precipitação, do tipo de escoamento e das condições urbanas da região, pode ocorrer cheias, que é uma elevação normal do curso d'água dentro do seu leito e inundação é a elevação não usual, provocando transbordamento e possíveis prejuízos (CARVALHO e SILVA, 2006).

Os fatores que o influenciam o escoamento superficial, segundo Carvalho e Silva (2006), podem ser de natureza climática (precipitação ou características físicas da bacia), climáticos (intensidade e duração da precipitação, e precipitação antecedente), fisiográficos (área, forma, permeabilidade, capacidade de infiltração e topografia da bacia). Ainda, eles definem as grandezas que caracterizam o escoamento superficial, como:

1. Vazão (Q): unidade m^3s^{-1} ou Ls^{-1} ;
 - a. Vazão média diária: é a média aritmética das vazões ocorridas durante o dia;
 - b. Vazão específica: é a vazão por unidade de área da bacia.
2. Coeficiente de escoamento superficial (C): é a razão entre o volume de água escoado superficialmente e o volume de água precipitado, podendo ser relativo a uma chuva isolada ou um intervalo de tempo onde várias chuvas ocorreram;
3. Tempo de concentração (t_c): é o tempo gasto para que toda bacia contribua para o escoamento superficial na seção considerada.

4. Tempo de Retorno (T_r): é o tempo médio em que um determinado evento é igualado ou superado pelo menos uma vez, normalmente para projetos em áreas urbanas ou de maior importância econômica, recomenda-se utilizar o período de retorno de 50 ou 100 anos;
5. Nível de água (h): é a altura atingida pelo nível d'água em relação a um nível de referência.

2.3 DRENAGEM URBANA

Segundo Tucci *et al.* (2015) drenagem urbana é o conjunto de medidas que têm por objetivo minimizar os riscos a que as populações estão sujeitas, diminuir os prejuízos causados por inundações e possibilitar o desenvolvimento urbano de forma harmônica, articulada e sustentável. Por muito tempo a drenagem urbana foi focada em remover as águas pluviais de forma mais eficiente o possível, concentrando na execução de projetos e obras e na análise de custos e benefícios econômicos das intervenções estruturais, contudo, a vivência nacional e internacional mostra que este enfoque muitas vezes não é o mais eficaz e sustentável para a questão da drenagem urbana; melhores abordagens sobre a questão da drenagem envolvem uma compreensão integrada do ambiente urbano e das relações entre os aspectos de engenharia, componentes políticos, sociólogos e de gerência.

Ainda, segundo Tucci *et al.* (2015), soluções eficazes para drenagem urbana dependem de:

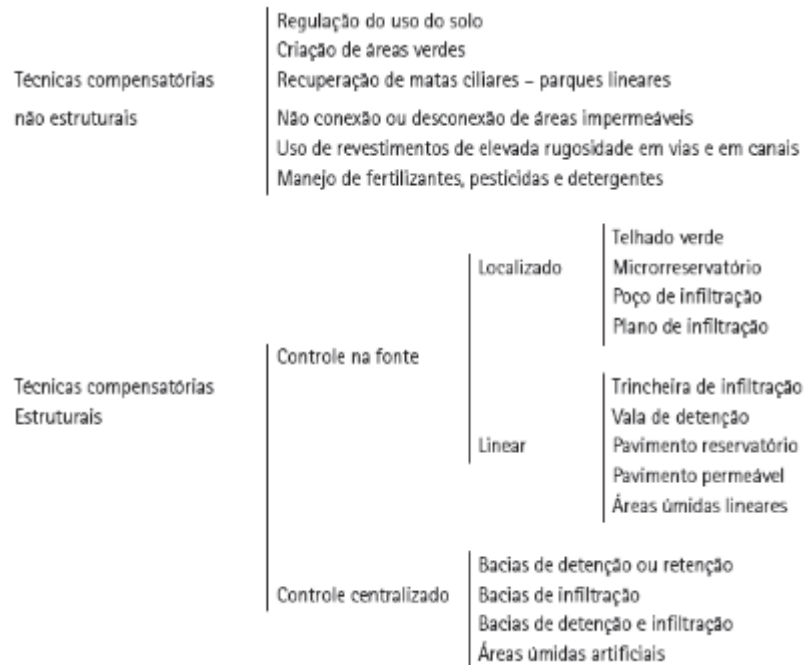
- Existência de política que defina os objetivos e os meios para alcançá-los;
- Existência de uma política de ocupação do solo integrada com a política de drenagem urbana, principalmente em relação a ocupação das várzeas de inundação;
- Processo de planejamento em curto, médio e longo prazo e que integre as medidas de drenagem das águas pluviais com o complexo do ambiente urbano;
- Existência de uma entidade eficiente que domine todos os aspectos para administração da drenagem urbana, integrando os aspectos estruturais, tecnológicos, sociais, de planejamento e liderança em geral;

- Organização de campanhas de educação e esclarecimento da opinião pública.

Para Righetto (2009), no contexto de adotar uma abordagem mais consciente e integral da temática da drenagem urbana, e a partir das experiências supracitadas, cada vez mais estão sendo desenvolvidas técnicas compensatórias de drenagem pluvial, esse termo refere-se ao propósito central dessas técnicas em atenuar os impactos da urbanização no ciclo hidrológico. Segundo Ellis (2008 *apud* RIGHETTO, 2009), existe uma grande diversidade de técnicas compensatórias para drenagem pluvial, sendo que grande parte delas tem o enfoque em processos de armazenamento ou infiltração das águas pluviais, ainda há abordagens que visam processos de interceptação e a evapotranspiração. Há também enfoques que optam por desconectar certas áreas impermeáveis do sistema de drenagem, dirigindo alternativamente essas águas para áreas verdes com capacidade de infiltração.

Outra questão que atualmente tem sido ponderada no planejamento da drenagem urbana é a de uma melhor inserção urbanística das técnicas compensatórias, visando promover muitas vezes usos múltiplos das áreas destinadas a drenagem como, por exemplo, associando-as a áreas verdes, parques, áreas adequadas à prática de esportes e funções semelhantes. Com isto pretende-se facilitar a inserção das soluções de drenagem pluvial ao projeto urbano, promovendo a aceitação mais fácil dessas soluções por parte da população e tornando mais justificável a reserva do solo, usualmente de alto valor em espaço urbano para fins de manejo de águas pluviais (RIGHETTO, 2009). A FIGURA 3 exemplifica algumas tipologias de técnicas compensatórias estruturais e não estruturais.

FIGURA 3 – TIPOLOGIAS TÉCNICAS



FONTE: RIGHETTO (2009).

No Brasil, nessa fase inicial da drenagem de águas pluviais, houve histórico de ocupação de áreas alagadiças, criando-se aterros de áreas inundáveis, limpeza de alguns rios e retificação de outros, cujas condições ambientais as tornavam vulneráveis às epidemias. No período no qual essa abordagem foi mais recorrente houve intensa urbanização, ocasionando impermeabilização de superfícies e canalização de rios, aumentando significativamente a chance de inundações durante eventos intensos de chuva (DEMETRIOS *et al.*, 2019).

Righetto (2009) observa uma mudança de paradigma a partir da década de 70, quando diversos países passaram a desenvolver novos conceitos e tecnologias alternativas de drenagem pluvial às previamente estabelecidas. Para Demetrios *et al.* (2019), essas tecnologias envolviam a implementação de medidas como o controle na fonte e a indução à infiltração e à retenção, pensadas de modo a integrar as águas urbanas e gerar menos interferência no ciclo de águas naturais, essa nova concepção foi baseada no conceito de redução de impacto ambiental, denominada LID (*Low Impact Development*) e ampliada nas duas décadas seguintes, especialmente nos anos 2000 e 2010 nos Estados Unidos da América (EUA) e Canadá.

Na Nova Zelândia esse conceito foi expandido e denominado LIUDD (*Low Impact Urban Design and Development*), tendo como principais características as soluções locais e pontuais, integrando uma paisagem funcional hidrológica, para proporcionarem o balanço hidrológico que existia na fase de pré-ocupação humana.

Outro conceito surgiu nos anos 80, ampliado na década de 1990, chamado de BMP (*Best Management Practices*), baseado em práticas agrícolas eficazes em atividades rurais dos EUA e adaptados para as atividades de drenagem urbana (DEMETRIOS *et al.*, 2019).

Ainda segundo Demetrios *et al.* (2019), a partir das experiências anteriores, na década de 1990, surgiu na Austrália o WSUD (*Water Sensitive Urban Design*) como modo de conceber o urbanismo com o princípio da precaução, que além de evitar ou minimizar os impactos hidrológicos da urbanização nos ambientes hídricos, constitui também medidas multidisciplinares e plurissetoriais, associando o manejo fluvial com o pluvial, assim como a qualidade das águas e seus regimes. Foram propostos modelos que integraram a gestão dos serviços de abastecimento d'água, tratamento de esgotos e controle de inundações, levando em conta o balanço hídrico local.

Nos anos 2000 o Reino Unido adotou os SUDS (*Sustainable Urban Drainage Systems*) que compatibilizou diversos tipos de tecnologia para compor as diversas técnicas de drenagem e atuar de modo sustentável com as águas urbanas no contexto de bacias hidrográficas, e em 2018, foi concebido um novo paradigma que busca uma visão de sintonia com a natureza (DEMETRIOS *et al.*, 2019).

Foi apenas nos anos 1990 que o Brasil iniciou a mudança de paradigma adotada no mundo afora, em 1997 houve o marco na forma da Lei nº 9.433, a Lei das Águas, que instituiu a Política Nacional de Recursos Hídricos e criou o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos; esta lei definiu as bacias hidrográficas como unidades de planejamento para gestão de águas pelos Comitês de Bacias Hidrográficas (DEMETRIOS *et al.*, 2019).

2.3.1 Sistemas de drenagem urbana

Segundo Sunderhsa (2002), no Brasil, a urbanização e em consequência os projetos de drenagem são planejados para que as águas pluviais escoam o mais rápido possível para as áreas ribeirinhas mais a jusante, fazendo com que nessas áreas, que sofrem uma tendência de ocupação pela população durante épocas de estiagem, surja a problemática do aumento no nível e frequência de inundações em decorrência do aumento da vazão máxima e do volume de águas escoadas, além dessa problemática, surgem outras como:

- O processo de urbanização gera o aumento da produção de sedimentos em razão da desproteção das superfícies, produção de resíduos sólidos e deterioração da qualidade da água superficial e subterrânea por causa das lavagens das ruas, ocasionando assim transporte de material sólido;
- Ligações clandestinas de esgoto sanitário aos de esgoto pluvial e as ocorrências relacionadas a obstáculos físicos como: pontes e taludes que podem obstruir o escoamento e a redução da seção de escoamento por aterros entre outras ocorrências.

Para mudar esse paradigma é necessário adotar alguns princípios na concepção dos projetos de manejo de águas pluviais, sendo esses (SUNDERHSA, 2002):

- O aumento de vazão devido à urbanização não deve ser transferido para jusante;
- A bacia hidrográfica deve ser o domínio físico de avaliação dos impactos resultantes de novos empreendimentos;
- O horizonte de avaliação deve contemplar futuras ocupações urbanas;
- As áreas ribeirinhas somente poderão ser ocupadas dentro de um zoneamento que contemple as condições de enchentes;
- As medidas de controle devem ser preferencialmente não-estruturais.

Ainda segundo Sunderhsa (2002), as medidas de controle de inundações podem ser divididas em:

1. Estruturais: quando modificam a estrutura, visando reduzir o risco de enchentes através de obras para conter, reter ou aprimorar os escoamentos. Essas medidas implicam na construção de barragens, diques, canalizações, reflorestamento, entre outros; não são concebidas para proporcionar proteção completa ao sistema, pois tal dimensionamento seria física e economicamente inviável na maioria das situações. Podem ser classificadas em:
 - a. Extensivas: atuam de forma global na bacia hidrográfica, modificando a relação entre precipitação e vazão pela alteração da cobertura vegetal do solo, que reduz e retarda os picos de enchentes e controla a erosão da bacia;

- b. Intensivas: agem em menor escala, nos cursos d'água e superfícies, podendo ser obras de contenção como diques e pôlderes, aumento da capacidade de descarga dos cursos hídricos através de retificações, ampliações de seção e corte de meandros, de desvio do escoamento por canais e de retardamento e infiltração, como reservatórios, bacias de amortecimento e dispositivos de infiltração no solo.
2. Não estruturais: envolvem a implementação de ações de convivência ou estabelecimento de diretrizes para reversão ou minimização do problema, assim evitando reduzir o risco das enchentes naturais e podendo eventualmente que revertam riscos majorados artificialmente aumentados por ações antrópicas. Envolvem medidas como o zoneamento de áreas de inundações associado ao Plano Diretor Urbano, previsão de cheia, seguro de inundação, legislações diversas, entre outras; além de envolver, também, a preparação da sociedade para que as medidas a serem implementadas sejam obedecidas na atualidade e no futuro. Usualmente as medidas não estruturais são menos custosas que as medidas estruturais.

Sunderhsa (2002) ainda classifica as medidas em distribuídas ou na fonte (atua sobre o lote, praças e passeios); na microdrenagem, que age em menor escala; na macrodrenagem, que age em maior escala, controlando os principais rios urbanos; e com a ação sobre o hidrograma, sendo esses: infiltração e percolação, armazenamento, aumento da eficiência do escoamento, diques e estações de bombeamento.

Os projetos de microdrenagem são definidos como sistemas de condutos pluviais na rede primária urbana (SUNDERHSA, 2017). Esses sistemas são limitados pela área de até 4 km², junto do controle da vazão como reservatórios de detenção ou retenção e seu dimensionamento pode ser subdividido nas seguintes etapas (SUNDERHSA, 2002):

- Subdivisão da área e traçado;
- Identificação de áreas controladas e não-controladas por MCs (controle na fonte);
- Determinação das vazões que afluem à rede de condutos;
- Dimensionamento da rede de condutos;

- Dimensionamento das medidas de controle.

Segundo Sunderhsa (2002), a primeira fase do planejamento do sistema de drenagem, e uma das mais importantes, é a concepção do sistema. Nesta etapa são definidas as linhas básicas do traçado das redes, locação dos poços de visita e bocas-de-lobo e, pontos de lançamento no sistema de drenagem. Após a concepção do sistema, é realizado o lançamento da rede básica principal sobre o arruamento da área, utilizando os elementos topográficos disponíveis e a rede de drenagem existente. Em seguida, é necessária uma compatibilização com o projeto urbanístico da área para definir a configuração da rede com melhor aproveitamento das áreas de retenção ou retenção conforme as diretrizes de projeto da área. O ideal é que o sistema de galerias atue de forma integrada proporcionando para todas as áreas as condições adequadas de drenagem, sendo considerada a implantação em etapas, priorizando áreas predefinidas para, por exemplo, serem edificadas.

Segundo o DNIT (2006), a ordem de elementos do sistema urbano de drenagem segue: sarjetas e os dispositivos de esgotamento (usualmente sendo a bocas-de-lobo). As bocas-de-lobo são dispositivos que têm a função de captar e conduzir as vazões superficiais para as galerias, para os pontos mais baixos do sistema e devem possuir vistas. Além disso, deve-se evitar a criação de zonas mortas com alagamentos e águas paradas (SUNDERHSA, 2002). As bocas-de-lobo podem funcionar sob duas condições diferentes: como escoamento com superfície livre, quando a boca-de-lobo funciona como um vertedor, e como um orifício quando está sob regime de escoamento afogado (DNIT, 2006).

2.3.2 Critérios/definições utilizadas em projetos de acordo com o Plano Diretor de Drenagem de Curitiba

O escoamento de um rio, arroio ou canalização pode ocorrer de acordo com dois regimes: 1. Permanente (utilizado em projeto, com as vazões máximas previstas para um determinado sistema hidráulico); 2. Não permanente (permite conhecer os níveis e vazões ao longo do rio e no tempo, representando a situação real). O Tr, definido anteriormente, é calculado de acordo com a TABELA 3.

TABELA 3 – TEMPOS DE RETORNO (Tr) – DAEE e CETESB (1980)

Sistema	Tipo de Ocupação	Tr (anos)
---------	------------------	-----------

Microdrenagem	Residencial	2
	Comercial	5
	Áreas com edifícios de serviço público	5
	Aeroportos	2 a 5
	Áreas comerciais e artérias de tráfego	5 a 10
Macro drenagem	Áreas comerciais e residenciais	50 a 100
	Áreas de importância específica	100*

FONTE: Prefeitura Municipal de Curitiba (2013).

NOTA: * Valores podem variar de acordo com o tipo de obra e necessidade do projeto.

A taxa de permeabilidade é o percentual da área do terreno que deve ser mantido permeável, é variável e vinculada ao zoneamento urbano. A capacidade de retenção do solo é calculada avaliando o CN (parâmetro empírico utilizado para prever o coeficiente de *runoff* ou infiltração devido às chuvas excessivas) a partir da tipologia do solo e do uso e ocupação do solo na bacia (TABELA 4).

TABELA 4 – CN PARA ÁREA URBANAS CONSIDERANDO PERCENTUAL DE ÁREA IMPERMEÁVEL

Descrição do tipo de cobertura e condição hidrológica	% média de área impermeável	CN para grupo de solo hidrológico			
		A	B	C	D
Zonas urbanas desenvolvidas					
Espaços abertos (jardins, parques, cemitérios, etc.)	-	-	-	-	-
Más condições (cobertura gramada < 50%)	-	68	79	86	89
Condições razoáveis (cobertura gramada entre 50% a 75%)	-	49	69	79	84
Boas condições (cobertura gramada > 75%)	-	39	61	74	80
Áreas impermeáveis					
Estacionamentos pavimentados, lotes, telhados, etc.	-	98	98	98	98
Ruas e rodovias					
Pavimentadas com guias de drenagem	-	98	98	98	98
Pavimentadas com valas de drenagem	-	83	89	92	93
Cascalho	-	76	85	89	91
Terra natural	-	72	82	87	89
Áreas urbanas não ocupadas					
Paisagem natural (apenas áreas permeáveis)	-	63	77	85	88
Paisagem artificial (barreiras impermeáveis, vegetação com 2,5 a 5 cm de cascalho)	-	96	96	96	96

FONTE: Adaptado da Prefeitura Municipal de Curitiba (2022).

Os solos podem ser divididos em quatro classificações: 1. solo A – produzem baixo escoamento superficial e alta infiltração, são os solos arenosos profundos com pouco silte e argila; 2. solo B – são menos permeáveis e menos profundos do que o solo A, com permeabilidade superior à média; 3. solo C – geram escoamento superficial acima da média e com capacidade de infiltração abaixo da média, contendo porcentagem considerável de argila e pouco profundo; 4. solo D – contém argila expansiva, pouco profundo, baixa capacidade de infiltração, gerando a maior proporção de escoamento superficial.

A vazão máxima e intensidade da precipitação são calculadas de acordo com a equação (1) e (2), respectivamente.

$$Q = \frac{C \times I \times A}{3600} \quad (1)$$

onde:

- Q: vazão máxima (L/s);
- C: coeficiente de escoamento;
- I: intensidade da precipitação (m/h);
- A: área da bacia (km²).

$$I = \frac{5726,64 * T_r^{0,159}}{(t_d + 41)^{1,041}} \quad (2)$$

onde:

- I: intensidade da chuva (mm/h);
- t_d: assumido igual ao tempo de duração da chuva (min);
- T_r: tempo de retorno (anos).

O transporte de água em um conduto livre está regido pelas equações de conservação de massa e da quantidade de movimento, para fluxo gradualmente variado não permanente (isto é, as equações de *Saint Venant*) (ROSSMAN, 2015).

Segundo Negrão (2015), as equações de *Saint Venant* na sua versão unidimensional com as seguintes hipóteses: distribuição de pressão hidrostática; inclinação média do canal suave, podendo-se considerar que a medição vertical da profundidade é equivalente à medição perpendicular; velocidade uniformemente distribuída pelo canal, ou seja, a velocidade e o nível variam apenas na direção longitudinal do canal; canal prismático; fluxo homogêneo e incompressível.

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{Q^2}{A} \right) + gA \frac{\partial y}{\partial x} + gA(S_f - S_0) = 0 \quad (3)$$

onde:

- A: área da seção transversal (m²);
- t: tempo (s);
- Q: vazão (m³/s);
- x: distância na direção do fluxo principal (m);
- g: aceleração da gravidade (m/s²);

y: profundidade da água (m);

S_f: inclinação da linha de energia (m/m);

S₀: inclinação longitudinal de fundo (m/m).

Para algumas aplicações essas equações podem ser simplificadas. Contudo, para a modelagem deste trabalho, foi aplicada no software o modelo de Onda Dinâmica, se utilizando da equação de Manning para o cálculo do transporte hidráulico em condutos com sua seção não totalmente preenchida. Para escoamentos pressurizados e condutos circulares a equação de Hazen-Williams é aplicada, sendo as equações de Manning e Hazen-Williams respectivamente:

$$Q = \frac{1}{n} A R_h^{2/3} \sqrt{S} \quad (4)$$

$$Q = 0,5493 C R_h^{0,63} S^{0,54} \quad (5)$$

onde:

Q: vazão no conduto (m³/s);

A: área da seção transversal (m²);

R_h: raio hidráulico;

S: declividade do conduto;

C: coeficiente de Hazen-Williams;

n: coeficiente de Manning.

A verificação da conservação de massa para os fluxos na rede é feita por meio de:

$$ERRO\ DE\ CONTINUIDADE = 100 \left(1 - \frac{fluxo_{entrada}}{fluxo_{saída}} \right) \quad (6)$$

Sendo o fluxo de entrada igual à somatória de todas as fontes de entrada de água no sistema, sendo estas decorrentes de chuvas, de água inicialmente existente no sistema, ou ainda advinda de outras fontes possíveis (como presença de neve). Já o fluxo de saída inclui todas as fontes de saída de água do sistema, para o

SWMM (o software usado para simulação), existem diversas fontes de saída, como: evapotranspiração, infiltração, fluxo de saída do sistema de drenagem, remoção de volumes de neve entre outras fontes (DICKINSON, 2010) e (ALLASIA et. al., 2022). Os erros devem estar preferencialmente abaixo de 10% para qualquer ponto do sistema e com erros desprezíveis na equação do balanço de massa (continuidade) para o escoamento e para a propagação do fluxo (-0.05% e -0.064%, respectivamente), considerando que os dados de entrada foram informados corretamente (ROSSMAN, 2010).

2.3.3 Sistemas de pavimentação e drenagem de Pontal do Paraná

A TABELA 5 mostra a infraestrutura e sistemas existentes em relação a pavimentação e saneamento de Pontal do Paraná, 46,6% das vias públicas de área urbana são pavimentadas e possuem meio-fio (INSTITUTO DE ÁGUA E SANEAMENTO, 2022).

TABELA 5 – INFRAESTRUTURA E SISTEMAS EXISTENTES

Infraestrutura e sistemas existentes	%
Cobertura de vias públicas com redes ou canais pluviais subterrâneos, na área urbana	22,4
Parcela de cursos d'água naturais perenes em área urbana com parques lineares	36,4
Parcela de cursos d'água naturais perenes com canalização aberta	100
Parcela de cursos d'água naturais perenes com canalização fechada	0
Parcela de cursos d'água naturais perenes com diques	0

FONTE: Instituto de Água e Saneamento (2022).

A TABELA 6 mostra a quantidade de bocas de lobo, bocas de leão ou bocas de lobo múltiplas e poços de visita existentes segundo o SNIS. Ainda, o sistema informa 65 (de 290) vias públicas com redes ou canais de águas pluviais subterrâneos e 135 com pavimento e meio-fio.

TABELA 6 – INFRAESTRUTURA DE ACORDO COM O SNIS

Infraestrutura	Quantidade
Bocas de lobo	390
Bocas de leão ou bocas de lobo múltiplas	390
Poços de visita	80

FONTE: SNIS (2022).

Segundo o Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS, 2020), o sistema de drenagem urbana em Pontal do Paraná é exclusivo, 100% do sistema é destinado exclusivamente às águas pluviais e não há informações sobre opções de tratamento. O município apresenta 150 domicílios sujeitos a risco de alagamento (INSTITUTO DE ÁGUA E SANEAMENTO, 2022).

3 METODOLOGIA

A prefeitura de Pontal do Paraná não possui um Plano Diretor específico para drenagem urbana. Porém a lei complementar nº 8, de 28 de outubro de 2014, que institui o Plano Diretor e estabelece normas, princípios básicos e diretrizes para sua implantação e execução (LEIS MUNICIPAIS, 2022), apresenta algumas informações referentes à drenagem em seus artigos 58 e 59.

De acordo com o art. 58, para assegurar a proteção necessária aos recursos hídricos do município são definidas faixas de drenagem calculadas de acordo com dados e coeficiente de distribuição das chuvas, tempos de recorrência, de concentração, coeficiente de escoamento (*run off*) e a vazão da bacia. Ainda, quando a faixa for inferior à faixa de preservação do Código Florestal Brasileiro, deverão ser respeitadas as determinações do mesmo. Para o art. 59, uma das diretrizes da política de saneamento básico é a implantação de programas de educação sanitária voltada às questões de saneamento, ou seja, esgotamento sanitário, drenagem urbana e abastecimento de água (LEIS MUNICIPAIS, 2022).

Devido às poucas informações sobre drenagem no Plano Diretor de Pontal do Paraná, foi utilizado e adaptado como metodologia o Plano Diretor de Drenagem de Curitiba (Prefeitura Municipal de Curitiba, 2013).

As simulações foram feitas utilizando o módulo 8 do UFC e o SWMM. O UFC é um conjunto de softwares que realizam todas as tarefas referentes ao traçado e dimensionamento hidráulico otimizado de redes de abastecimento de água, adutoras, redes de coleta de esgoto sanitário, redes de microdrenagem urbana e simulação hidrológica e hidráulica de sistemas de macrodrenagem. O módulo 8 especificamente, possibilita o traçado da rede de microdrenagem no AutoCAD e transferência de dados da rede para o SWMM (LAHC, 2022).

O *Storm Water Management Model* – SWMM (Modelo de Gestão de Drenagem Urbana) é um modelo dinâmico de chuva-vazão que simula a quantidade e qualidade do escoamento superficial, especialmente em áreas urbanas (LENHS UFPB, 2010).

Para o modelo estudado neste trabalho foram usados os elementos sub-bacia, nós de conexão e condutores. As sub-bacias são unidades hidrológicas de terreno onde essa é modelada de modo que o escoamento é conduzido a um único ponto de descarga, o nó de exultório (boca de lobo), podendo esses nós serem

entradas de outras sub-bacias (ROSSMAN, 2010) e (ROSSMAN, 2015). As bacias são compostas de áreas permeáveis e impermeáveis, sendo essas áreas divididas em subáreas contendo ou não armazenamento em depressão e fluindo de uma subárea para outra até a saída da bacia. A infiltração da chuva nas sub-bacias pode ser modelada por três modelos diferentes:

- Modelo de infiltração de Horton;
- Modelo de infiltração de Green-Ampt;
- Modelo de infiltração baseado na curva de número do SCS.

Neste trabalho se utilizou do método do SCS, sendo este modelo uma aproximação a partir da denominada Curva – Número (CN). Assim foi possível estimar um escoamento superficial, sendo que a capacidade total de infiltração do solo pôde ser obtida da tabela de Curva-Número (CN). A capacidade de infiltração foi calculada através da chuva acumulada e da capacidade de infiltração remanescente, sendo para esse modelo os parâmetros de entrada o número CN e o tempo de secagem do solo (ROSSMAN, 2010).

O SWMM calcula o modelo de águas subterrâneas através de fluxos no solo, sendo a parte superior não saturada e a parte inferior do solo saturado. Os fluxos são divididos em infiltração desde a superfície, evapotranspiração desde a zona superior, evapotranspiração desde a zona inferior, percolação da zona superior para a zona inferior, percolação da zona inferior para as águas subterrâneas profundas e a troca de águas subterrâneas com o sistema de drenagem (ROSSMAN, 2015).

As simulações de inundações foram realizadas prevendo um sistema de micro drenagem projetado para atender a drenagem de precipitações de risco moderado (período de retorno de 2 a 10 anos) e que realiza a coleta e o afastamento das águas superficiais ou subterrâneas. Ainda, deve ser composto por elementos de pavimentação das ruas, condutos de águas pluviais, aberturas coletoras, rede de galerias e canais de pequenas dimensões (CURITIBA, Prefeitura Municipal de Curitiba, 2013).

Primeiramente fez-se a caracterização da área de estudo – balneário de Praia de Leste, no município de Pontal do Paraná (FIGURA 4). Depois, foi gerada a bacia hidrográfica (FIGURA 5) da região, determinando o solo, clima, área e declividade (m/m). Para geração da bacia foi utilizado o módulo 8 do sistema UFC e o levantamento topográfico realizado pelo Professor Doutor Alexandre Bernardino.

O UFC8 utiliza o método das equações de chuva para o cálculo da precipitação total e intensidade, sendo necessário apontar-se a duração escolhida e o período de retorno. Além disso, deve-se informar o estado e município, o município mais próximo de Pontal do Paraná disponível foi Morretes.

FIGURA 4 – ÁREA DE ESTUDO



FONTE: Os autores (2022).

FIGURA 5 – BACIA HIDROGRÁFICA

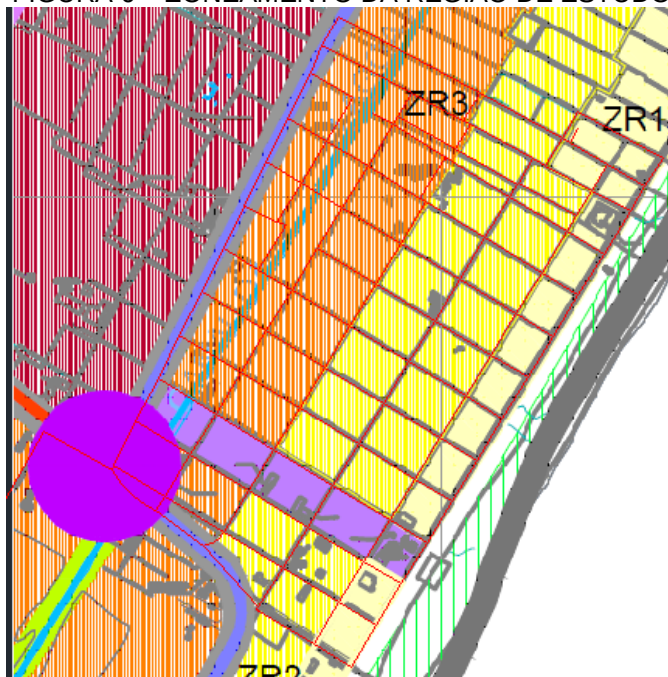


FONTE: Os autores (2022).

Após a geração da bacia, foi utilizada a função *geolocation* no AutoCad versão estudante 2023, que permitiu visualizar o mapa da região para sobrepor a bacia e o mapa 01 do zoneamento do balneário de Praia de Leste (FIGURA 6). As zonas (sub-

bacias) dentro da bacia e a taxa de permeabilidade para as mesmas estão descritas na TABELA 7.

FIGURA 6 – ZONEAMENTO DA REGIÃO DE ESTUDO



FONTE: Os autores (2022).

TABELA 7 – ZONEAMENTO DA REGIÃO DA BACIA DE ESTUDO, ÁREA E TAXA DE PERMEABILIDADE

ZONA	Área (km²)	Taxa de permeabilidade (%)
ZR1	0,11	25
ZR2	0,27	25
ZR3	0,31	25

FONTE: Adaptado da Prefeitura Municipal de Pontal do Paraná (2022).

Foram escolhidos três cenários. Para os três cenários, as obras de saneamento (sarjeta + boca de lobo) foram colocadas como encontradas visualmente na região, mudando-se apenas a taxa de permeabilidade. No primeiro cenário, utilizou-se uma taxa de permeabilidade igual à mínima para cada zona da bacia. No segundo cenário a taxa de permeabilidade utilizada foi de 70% para cada zona da bacia e para o terceiro cenário foi de 50%. Na região estudada as obras de saneamento existentes são os bueiros, totalizando em 43 (FIGURA 7).

FIGURA 7 – LOCALIDADE DOS BUEIROS



FONTE: Os autores (2022).

Para facilitar futuras edições de alguma seção específica da área e com a intenção de tornar o desenho dos traçados mais fácil, optou-se pela subdivisão da bacia (FIGURA 8).

FIGURA 8 – BACIAS APÓS A DIVISÃO



FONTE: Os autores (2023).

Para determinação do CN (TABELA 4) considerou-se a condição II – situação média na época das chuvas, ou seja, as chuvas nos últimos cinco dias anteriores ao da precipitação de projeto, que totalizam entre 15 e 40 milímetros (CURITIBA, Prefeitura Municipal de Curitiba, 2013). O CN escolhido para o cenário 1 foi de 68, para o cenário 2 foi de 39 e o cenário 3 foi de 49.

O coeficiente de escoamento superficial foi obtido do Plano Diretor de Drenagem de Curitiba, 0,70 para o cenário 1, para o cenário 2 foi de 0,30 e para o cenário 3 foi de 0,50.

O coeficiente de Manning considerado foi de 0,013, encontrado de acordo com o Plano Diretor de Drenagem de Curitiba, considerando sarjeta de asfalto suave. A duração de precipitação de 25 minutos (sendo a precipitação em intervalos de um minuto) e o tempo de retorno de 5 anos, considerando micro drenagem e área comercial.

FIGURA 9 – CONFIGURAÇÕES DE SIMULAÇÃO

Simulation Options

General Dates Time Steps Dynamic Wave Files

	Date (M/D/Y)	Time (H:M)
Start Analysis on	01/01/2007	00:00
Start Reporting on	01/01/2007	00:00
End Analysis on	01/01/2008	01:00
Start Sweeping on	01/01	
End Sweeping on	12/31	
Antecedent Dry Days	1	

OK Cancel Help

FONTE: Os autores (2023).

Durante as simulações percebemos que aumentando o período de cálculo do sistema influência basicamente na conservação da massa, isto é, diminui significativamente no volume de água que é perdida por imperfeições nos cálculos, não tendo, portanto, deixado o sistema por nenhum dos meios que o modelo permite para saída de volumes das águas pluviais provenientes das precipitações simuladas para esses cenários. A continuidade é garantida evitando instabilidades nos fluxos provenientes e inconsistências nos cálculos.

Porém, constata-se que o aumento de tempo de simulação por si só não serve ao objetivo de avaliar a ocorrência de eventos de precipitações mais prolongadas, para isso precisar-se-ia alterar as configurações de pluviômetros adicionando-se mais

períodos de precipitação em cada uma das séries referentes as precipitações para cada bacia do sistema no menu de opções hidrológicas do *software* SWMM.

O SWMM gera um relatório com nove parâmetros, dentre eles foram escolhidos para análise: profundidade do nó (*node depth*) – acúmulo de água e alagamento do nó (*node flooding*) – pontos de alagamento.

4 RESULTADOS E ANÁLISE DOS DADOS

Para as simulações realizadas foram identificados alguns nós com índices que demonstram a ocorrência de alagamentos, nas TABELAS 8, 9 e 10, respectivamente, para os cenários 1, 2 e 3. Numa primeira análise, já se percebe que o cenário 1 resulta em mais pontos de alagamento do que os outros, o que já era esperado devido à baixa taxa de permeabilidade (25%). Os pontos de alagamento iguais para os três cenários foram BC1, BC7 e BC8.

Já o cenário 2 demonstra em como a permeabilidade superficial influencia fortemente na resposta da rede de drenagem estudada. Sendo assim soluções que promovam a permeabilização das superfícies como pavimento permeável em calçadas já pavimentadas como telhado verde em parte das construções e uso de jardins de chuva, com os devidos estudos de viabilidade entre outros, capazes de promoverem um impacto real nos volumes e horas de alagamento.

Nota-se que as horas de alagamento do cenário 1 são até 5 vezes maiores se comparadas com os mesmos nós no cenário 2, já as taxas máximas de alagamentos chegam a serem até 3,5 vezes maiores. Esses dados corroboram a relação à permeabilidade superficial e os alagamentos, portanto há uma correlação entre técnicas compensatórias que visam o aumento da permeabilidade superficial solucionarem os problemas de drenagem da região.

TABELA 8 – ÍNDICES DE ALAGAMENTO PARA O CENÁRIO 1

Nó	Horas de alagamento	Taxa máxima (LPS)	Volume total de alagamento (10⁶ L)
BC1	0,50	63,89	0,021
BC5	0,47	103,46	0,043
BC6	0,39	58,75	0,014
BC7	0,61	173,43	0,057
BC8	1,20	154,65	0,108
BC18	0,25	28,27	0,003
BC23	0,23	37,87	0,007
BC26	0,04	9,85	0,001
PV22	0,31	24,77	0,009
PV27	0,40	98,79	0,008
PV30	0,57	63,64	0,036
PV51	0,14	112,56	0,004
PV193	0,38	131,23	0,013
PV194	0,01	205,75	0,001
PV199	0,38	16,25	0,006

FONTE: Os autores (2023).

TABELA 9 – ÍNDICES DE ALAGAMENTO PARA O CENÁRIO 2

Nó	Horas de alagamento	Taxa máxima (LPS)	Volume total de alagamento (10⁶ L)
BC1	0,13	18,85	0,003
BC7	0,12	29,54	0,003
BC8	0,56	97,14	0,043
PV23	0,01	127,15	0,001

FONTE: Os autores (2023).

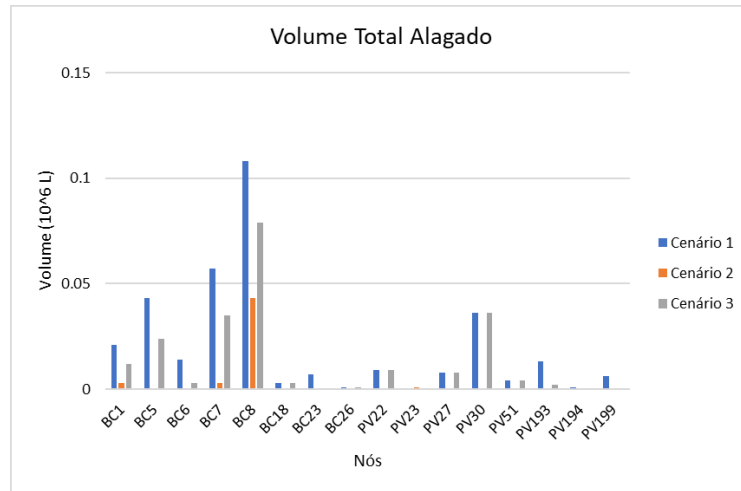
TABELA 10 – ÍNDICES DE ALAGAMENTO PARA O CENÁRIO 3

Nó	Horas de alagamento	Taxa máxima (LPS)	Volume total de alagamento (10⁶ L)
BC1	0,32	45,24	0,012
BC5	0,27	74,43	0,024
BC6	0,14	33,79	0,003
BC7	0,38	119,64	0,035
BC8	0,90	131,71	0,079
BC18	0,25	28,27	0,003
BC26	0,04	9,85	0,001
PV22	0,31	24,77	0,009
PV27	0,40	98,79	0,008
PV30	0,57	63,64	0,036
PV51	0,14	112,56	0,004
PV193	0,12	126,23	0,002

FONTE: Os autores (2023).

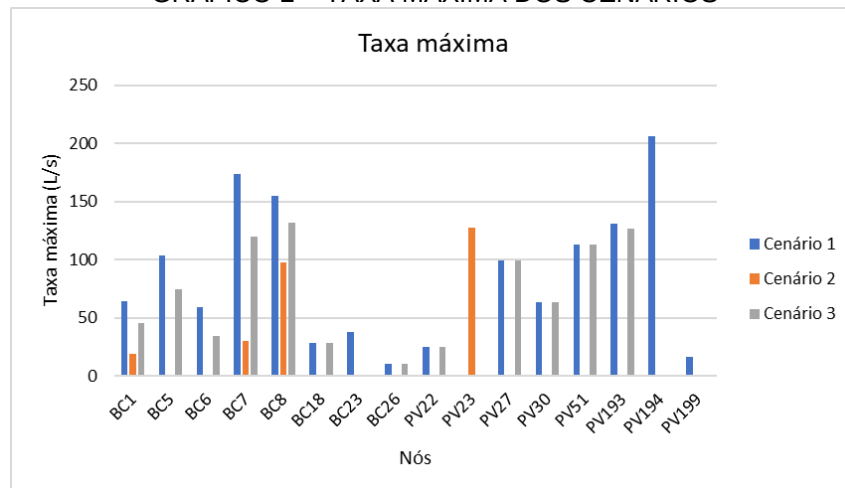
No GRÁFICO 1, está demonstrado o volume total inundado para os três cenários e no GRÁFICO 2, a taxa máxima para os cenários, essa é a maior vazão que o nó alcançou durante o tempo simulado. Os cenários 1 e 3 apresentam características semelhantes, muito provavelmente, pela proximidade da taxa de permeabilidade.

GRÁFICO 1 – VOLUME TOTAL ALAGADO DOS CENÁRIOS



FONTE: Os autores (2023).

GRÁFICO 2 – TAXA MÁXIMA DOS CENÁRIOS



FONTE: Os autores (2023).

O volume total inundado nos cenários foram: $0,331 \times 10^6$ L (cenário 1), $0,050 \times 10^6$ L (cenário 2) e $0,216 \times 10^6$ (cenário 3). Percebe-se que o volume do cenário 3 é $2/3$ do volume do cenário 1.

Os nós que apresentam acúmulo de água acima ou igual a 1,3 metros da base do nó estão descritos na TABELA 11. Sendo esses nós os pontos onde o acúmulo de água atinge a cota do terreno, ocasionando alagamento das sarjetas.

TABELA 11 – NÓS COM ACÚMULO DE ÁGUA ACIMA OU IGUAL A 1,3 METRO

Nós	Altura de acúmulo para o cenário 1 (m)	Altura de acúmulo para o cenário 2 (m)	Altura de acúmulo para o cenário 3 (m)
BC1	1,40	1,31	1,36
BC5	1,50	-	1,41
BC6	1,36	-	1,31
BC7	1,57	1,31	1,46
BC8	1,83	1,51	1,69
BC16	1,37	-	-
BC23	1,32	1,30	1,30
BC26	1,30	-	-
PV2	1,30	-	1,30
PV4	1,30	-	-
PV14	1,30	-	1,30
PV18	1,31	1,30	1,30
PV19	1,30	-	1,30
PV20	1,30	1,30	1,30
PV21	1,30	1,30	1,30
PV22	1,34	1,30	1,30
PV23	1,30	1,30	1,30
PV24	1,30	1,30	1,30
PV26	1,30	-	1,30
PV27	1,34	-	1,30
PV30	1,47	-	1,37
PV31	1,30	-	1,30
PV32	-	-	1,30
PV33	1,30	1,30	1,30
PV34	1,30	-	1,10
PV35	-	1,30	1,30
PV38	1,30	1,30	1,30
PV47	1,30	-	-
PV48	1,30	-	1,30
PV49	1,30	1,30	1,30
PV51	1,32	1,30	1,30
PV53	1,30	1,30	1,30
PV57	1,30	-	1,30
PV63	1,30	-	1,30
PV67	1,30	-	-
PV83	1,30	-	-
PV85	1,30	-	1,30
PV86	1,30	-	1,30
PV120	1,30	-	-
PV122	-	-	1,30
PV127	1,30	-	1,30
PV131	1,30	-	1,30
PV142	1,30	-	-
PV145	1,30	-	-
PV193	1,36	1,30	1,31
PV194	1,31	1,30	1,30

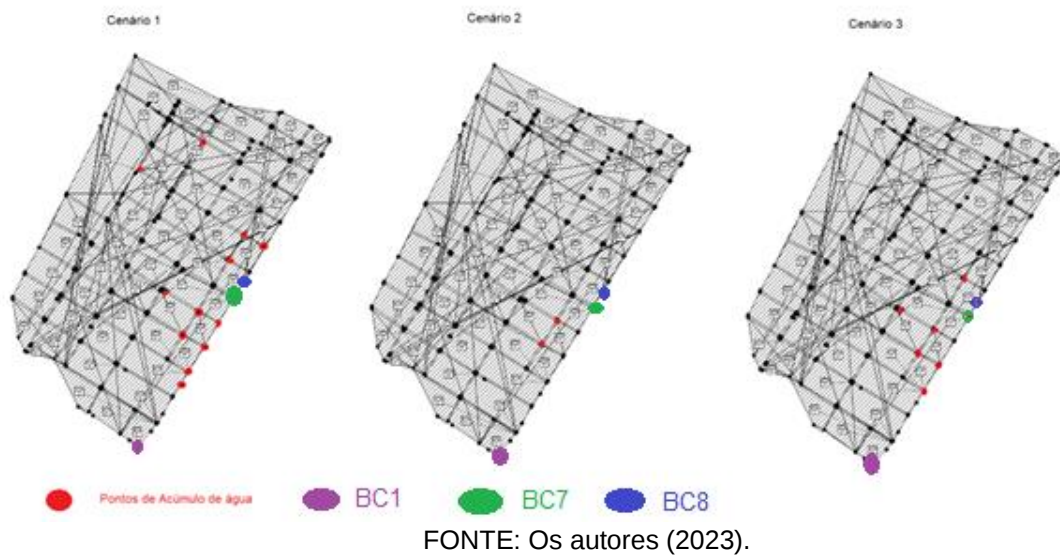
PV195	1,30	-	-
PV196	1,30	-	1,30
PV199	1,33	1,30	1,30
PV200	1,30	1,30	1,30
PV201	1,30	1,30	1,30
PV202	-	-	1,30
PV209	1,30	1,30	1,30
PV212	1,30	-	-

FONTE: Os autores (2023).

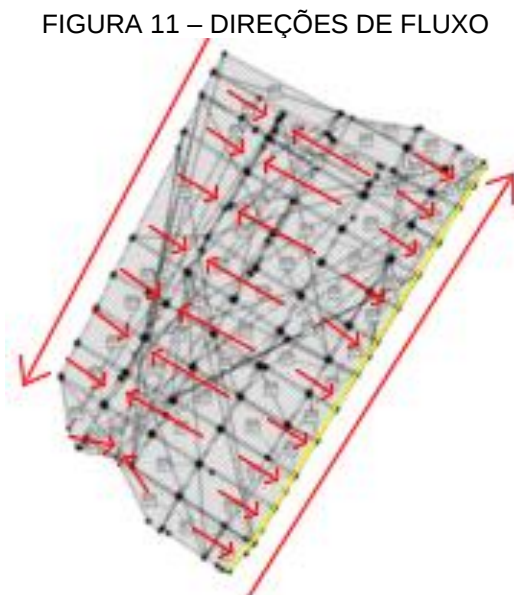
O cenário 1 apresenta significativamente mais pontos com acúmulo de água sobre os nós e uma altura maior para esses acúmulos, o que já era esperado, já que este cenário apresenta uma impermeabilização maior. Assim a rede de drenagem recebe um volume maior de água maior em um espaço de tempo menor quando comparado aos outros cenários, devido ao escoamento superficial em maior quantidade para este cenário se comparado aos outros. O cenário 2 apresenta significativamente menos pontos de acúmulo de água, esse cenário considera uma situação de baixa urbanização e permite que a precipitação se converta em maiores volumes de fluxos de infiltração.

O cenário 3 três representa um estado intermediário de urbanização e apresenta muito mais pontos de alagamento e de acúmulo de água que o cenário 2, os volumes de infiltração e de escoamento superficial são quase equivalentes, sendo a taxa de impermeabilização deste cenário de 50%, é natural que os volumes de água se comportem desta maneira. Nas FIGURAS 10, 12, 13 e 14 (APÊNDICE) podem ser observados os pontos de ocorrências de vazões de alagamento e acúmulo de água sobre os nós.

FIGURA 10 – PONTOS DE ACÚMULO DE ÁGUA E VAZÕES DE ALAGAMENTO



Pode se observar na FIGURA 11 as direções preferenciais de fluxo devido a topografia do local de estudo, a linha em amarelo representa a Avenida Deputado Aníbal Khury.



Pode-se observar pela FIGURA 12 que os pontos de ocorrência de alagamento e os pontos de maiores acúmulos de águas ocorrem nos pontos onde a topografia contribui para o escoamento e acúmulo de água. Isso é corroborado pela maior densidade de bocas-de-lobo na Avenida Dep. Aníbal Khury (em amarelo na FIGURA 16), sendo os pontos nesta rua e em pontos em áreas próximas sendo os mais prováveis de ocorrer inundações.

Os modelos parecem mostrar que os pontos de maior vulnerabilidade à alagamento são as de cotas topográficas mais baixas, nos quais os escoamentos tendem a se direcionar e onde, também, é possível observar visualmente um maior número de bocas-de-lobo. É provável que no dimensionamento da rede de drenagem de Pontal do Paraná, tenham sido alocados essas peças de drenagem de forma a absorver as vazões da rede que tende a se direcionarem para esses pontos e gerar maiores volumes acumulados de água das precipitações.

5 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

A modelagem e simulação da rede de drenagem se utilizando dos softwares sistema UFC e *SWMM* se provou um desafio, tendo diversos pontos de facilitação e também alguns pontos de observação. O sistema UFC se utiliza da plataforma AutoCAD (aplicação adicionada ao *software* AutoCAD), isso pode ser encarado como ponto positivo, visto que é um programa muito difundido no meio acadêmico e no mercado de trabalho de modo geral, o mesmo pode ser dito do *SWMM* que, por ser gratuito, é amplamente utilizado ao redor do mundo. Levando em conta essas características, conseguimos encontrar informações com mais facilidade sobre as dúvidas que surgiram sobre o *SWMM*.

O sistema UFC permite a definição de padrões de diversos parâmetros físicos e hidrológicos, dessa forma, o trabalho mais dispendioso realizado foi o da modelagem física das bacias e o desenho do traçado da rede. O desenho da rede foi realizado de forma manual, incluindo o traçado das sarjetas, dos condutos, das bacias e das bocas-de-lobo. Os poços de visita possuem uma ferramenta de inserção automática, resumindo assim essa etapa da modelagem.

Ainda sobre o UFC, o sistema apresentou diversos erros na execução da modelagem, no desenho das bacias, sarjetas e condutos, muitas vezes forçando o reinício da modelagem desde o início, principalmente na modelagem das bacias. Esses erros podem tornar a modelagem trabalhosa e frustrante em alguns casos e apenas a experiência permite evitar a maioria desses erros. A construção contínua de conhecimento para essa aplicação é necessária para a comunidade científica, pois, a

mesma apresenta um grande potencial se houver mais estudos, construção e compartilhamento de conhecimento sobre.

O *SWMM* se apresentou adequado para o tipo de simulação realizada. Havia alternativas para esse software, talvez até mesmo mais robustos que o *SWMM*, contudo o fato de ser gratuito e amplamente empregado pela comunidade científica tornou-o muito atraente para o uso.

O *SWMM* possui uma interface relativamente simples e intuitiva, possui os principais métodos de cálculos hidráulicos para realizar a modelagem de redes de drenagem, garantindo assim a validade dos resultados caso o modelo tenha sido corretamente construído, ademais, apresenta uma grande disponibilidade de informações ajudando na resolução de possíveis incompatibilidades que o modelo possa apresentar.

Para todos os cenários os pontos mais críticos quanto a geração de alagamento e acúmulo de água estão localizados na Avenida Dep. Aníbal Khury e nas áreas e ruas adjacentes, sendo o cenário 1 o mais representativo, pois é que se aproxima mais das condições reais da região de estudo.

No geral, o modelo parece apresentar uma boa correlação entre o que é observado fisicamente no balneário, sendo a Avenida Dep. Aníbal Khury, a via com maior densidade de bocas-de-lobo e na simulação a região da rede com maior estresse em relação a alagamentos. A topografia também sugere que a tendência de escoamento e estresse ocorra nas regiões acusadas pelas simulações. Os dados de impermeabilização também corresponderam ao esperado quanto ao volume de águas de precipitação que se infiltram e o volume que se transformam em escoamento superficial.

Nota-se que o cenário 1 apresenta índices de alagamentos superiores aos dos outros cenários, principalmente o cenário 2, onde a região segue um modelo onde há baixa interferência por parte do ser humano. O volume total de alagamento do cenário 1 é de até 6,6 vezes o volume total de alagamento do cenário 2. As horas de alagamento do cenário 1 é de até 5 vezes maior que no cenário 2. Já a taxa de alagamento é de até 3,5 maior no cenário 1 em relação ao cenário 2. Nota-se por esses dados que a permeabilidade superficial influi nos índices que demonstram os alagamentos na região.

Recomenda-se em estudos futuros a observação da região, principalmente a Avenida Dep. Aníbal Khury e as áreas adjacentes, para determinação de uma boa

correlação entre o modelo teórico da região nesse estudo e o que é observado fisicamente. O ideal seria realizar as simulações observando eventos pluviométricos mais longos e/ou extremos, para determinar os impactos desses no funcionamento da rede de drenagem.

Outra sugestão é estudar quais medidas compensatórias podem ser aplicadas na região, relevantes perante o atual panorama do sistema de saneamento da região. As redes de drenagem cada vez mais tem sido planejada para incluírem medidas que fazem a transferência das águas pluviais ocorrerem de forma mais harmoniosa, evitando grandes picos nos volumes de águas durante os eventos pluviométricos. Os cenários foram modelados como redes de drenagem convencionais, sem medidas compensatórias de nenhum tipo, nesse contexto, salientamos a importância de modelagens e testes de impactos de diferentes tipos de medidas compensatórias.

Analisando de uma forma sucinta, sugerimos três técnicas a serem aplicadas nas condições simuladas neste trabalho: pavimento permeável em calçadas já pavimentadas, telhado verde em parte das construções e uso de jardins de chuva.

Segundo Galvane (2018), o uso de pavimentos permeáveis diminui a necessidade de gestão de águas pluviais no local do projeto sem a necessidade de novas construções. Os telhados verdes são um sistema com vegetação (tecido geotêxtil ou cascalho) de baixo a médio crescimento e tolerantes à seca, necessitam de um sistema de drenagem para gerenciamento, diminuem as temperaturas e reduzem o volume do escoamento em, pelo menos, 50%. Por fim, os jardins de chuva são como uma célula de biorretenção, com a camada de solo sem cascalho abaixo. Seu uso tem vários benefícios, como: proteger a comunidade de problemas de alagamento, ajudar a proteger a hidrografia local de poluentes transportados pela chuva, aumentar a quantidade de água que se filtra no solo (recarrega aquíferos locais e regionais) e, ainda, servir de habitat para pássaros, borboletas e insetos e beleza para pátios e bairros.

Uma terceira opção seria realizar as simulações com diferentes parâmetros para esta mesma rede e também abranger diferentes pontos do município para conseguir um maior entendimento da rede de forma macro. Ainda, cabe uma análise experimental da área de estudo, com observação de possíveis pontos de inundações em eventos reais de precipitação.

Concluimos que o sistema UFC e o *SWMM* apresentam uma gama enorme de possibilidades de simulações, e a sua aplicação na região litorânea do Paraná é

muito positiva para a construção de uma maior base de dados e informações regionais sobre o tema.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO. Portal Hidroweb. 2005. Disponível em: <https://www.snirh.gov.br/hidroweb/apresentacao>. Acesso em: 12 out. 2022.

ÁGUA E SANEAMENTO. Disponível em: <https://www.aguaesaneamento.org.br/municipios-e-saneamento/pr/pontal-do-parana>. Acesso em: 8 nov. 2022.

ALMEIDA, F. N. **Estudo de concepção do sistema de drenagem urbana**. Distrito Federal: RHUMB Planejamento e Urbanismo, 2021. Relatório técnico.

BAHIA. Superintendência de Proteção e Defesa Civil. Disponível em: http://www.defesacivil.ba.gov.br/?page_id=218. Acesso em: 19 out. 2022.

BRITO, D. S. **Metodologia para seleção de alternativas de sistemas de drenagem**. 2006. 117f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos) – Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade Brasília, Brasília (DF), 2006.

BRITO, F. A.; PINHO, B. A. T. D. A dinâmica do processo de urbanização no Brasil, 1940-2010. Cedeplar, Universidade Federal de Minas Gerais, n. 464, p. 1 – 19, 2012.

CHRISTOFIDIS, D.; ASSUMPÇÃO, R. S. F. V.; KLIGERMAN, D. C. A evolução histórica da drenagem urbana: da drenagem tradicional à sintonia com a natureza, **Saúde Debate**, Rio de Janeiro, v. 43, n. 3, p. 94-108, dez. 2019.

COLLISCHONN, W.; DORNELLES, F. **Hidrologia para Engenharia e Ciências Ambientais**. Porto Alegre: ABRH, 2015.

COMITÊ DE BACIA HIDROGRÁFICA DA BAÍA DA ILHA GRANDE. Balanço Hídrico. Disponível em: <http://www.cbhbig.org.br/balanco-hidrico#:~:text=O%20Balan%C3%A7o%20H%C3%ADrico%20pode%20ser,para%20conjuntos%20de%20bacias%20hidrogr%C3%A1ficas>. Acesso em: 6 ago. 2022.

CUNHA, I. M. **Cidade, lei e desenvolvimento: Pontal do Paraná, uma estrada para o futuro?**. 2018. 124 f. Dissertação (Mestrado em Meio Ambiente) - Setor de Ciências

Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba (PR), 2018. Disponível em: <https://acervodigital.ufpr.br/handle/1884/58910>. Acesso em: 03 ago. 2022.

DAEE/CETESB. **Manual de Drenagem Urbana**. 2 ed., São Paulo: DAEE/CETESB, 1980.

DICKINSON, R. OPEN SWMM. Interpreting continuity error. 2010. Disponível em: <https://www.openswmm.org/Topic/4223/interpreting-continuity-error>. Acesso em: 03 jan. 2023.

DNIT. **Manual de drenagem de Rodovias**. 2 ed., Rio de Janeiro: Instituto de Pesquisas Rodoviárias, 2006.

DOWELL, S. F. M.; LICCO, E. A. Alagamentos, Enchentes Enxurradas e Inundações: Digressões sobre seus impactos sócio econômicos e governança. **Revista de Iniciação Científica, Tecnológica e Artística**, São Paulo, v. 5, n. 3, p. 160-174, dez. 2015.

ELLIS, J.B. Third generation urban surface water drainage: from rooftop to the receiving water subcatchment. In: Proc. 11th International Conference on Urban Drainage, 2008, Edinburgh, UK.

FERREIRA, L. R. A.; ARMANI, F. A. S. **III Relatório de Monitoramento de Rios e Canais do Litoral Paranaense**. 2018.

FIM, B. M. **Análise quantitativa e qualitativa das águas superficiais da Bacia Hidrográfica Ribeirão Rodeador/DF para avaliação das cargas de poluição**. 2018. 107 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos) - Departamento de Engenharia civil e Ambiental da Universidade de Brasília, Brasília, 2018.

GOVERNO DO ESTADO DO PARANÁ. **Manual de Drenagem Urbana: Região Metropolitana de Curitiba-PR**. Curitiba: SUNDERHSA, 2002.

INFO SANBAS. Disponível em: https://infosanbas.org.br/municipio/pontal-do-parana-pr/#politicas_publicas_saneamento. Acesso em: 8 nov. 2022.

ITCG – Instituto de Terras, Cartografia e Geologia do Paraná. Disponível em: http://www.geoitcg.pr.gov.br/geoitcg/pages/templates/initial_public.jsf?windowId=9ae. Acesso em: 10 out. 2022.

LAHC UFC. Disponível em: <http://www.lahc.ufc.br/manual/>. Acesso em: 4 jan. 2023.

LEIS MUNICIPAIS. Disponível em: <https://leismunicipais.com.br/plano-diretor-pontal-do-parana-pr>. Acesso em: 10 out. 2022.

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

MUNICÍPIO DE CURITIBA. **Manual de Drenagem Urbana:** Região Metropolitana de Curitiba-PR. Curitiba: SUNDERHSA, 2002.

MUNICÍPIO DE TOLEDO. **Manual de Drenagem Urbana:** Toledo-PR. Toledo: SUNDERHSA, 2017.

NEGRÃO, A. C. **Modelagem hidrodinâmica unidimensional da passagem de onda de cheia em um córrego urbano considerando escoamento transcrito.** 2015. 175 f. Dissertação (Mestrado em Ciências: Engenharia Hidráulica e Saneamento) – Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Carlos, 2015.

OLIVEIRA, F. M. M. Qualidade das águas dos rios e canais de Pontal do Paraná, Paraná, Brasil. 55 f. Monografia de graduação (Bacharel em Engenharia Ambiental e Sanitária) – Universidade Federal do Paraná, Pontal do Paraná, 2019.

PARANÁ (Estado). **Lei Estadual nº 249, de 1949.** Autoriza o Poder Executivo a doar terras ditas devoluta. Legislação do Estado do Paraná, Paranaguá, 1949.

PARANÁ (Estado). **Lei Municipal nº 56, de 17 de janeiro de 1950.** Autoriza o prefeito assinar contrato da construção da cidade balneária do Pontal do Sul. Legislação do Estado do Paraná, Paranaguá, 17 de janeiro de 1950. Disponível em: <https://leismunicipais.com.br/PR/PARANAGUA/LEI-56-1950-PARANAGUA-PR.pdf>. Acesso em: 10 out. 2022.

PARANÁ (Estado). **Lei Ordinária nº 12726, de 26 de novembro de 1999.** Institui a política estadual de recursos hídricos e adota outras providências. Legislação do Estado do Paraná, Curitiba, 26 de novembro de 1999. Disponível em: <https://leisestaduais.com.br/pr/lei-ordinaria-n-12726-1999-parana-institui-a-politica-estadual-de-recursos-hidricos-e-adota-outras-providencias>. Acesso em: 10 out. 2022.

PARANÁ (Estado). **Lei Complementar nº 8, de 28 de outubro de 2014.** Dispõe sobre a instituição do Plano Diretor de Desenvolvimento Integrado de Pontal do Paraná, e dá outras providências. Legislação do Estado do Paraná, Pontal do Paraná, 28 de outubro de 2014. Disponível em: <https://leismunicipais.com.br/a/pr/p/pontal-do-parana/lei-complementar/2014/0/8/lei-complementar-n-8-2014-dispoe-sobre-a-instituicao-do-plano-diretor-de-desenvolvimento-integrado-de-pontal-do-parana-e-da-outras-providencias>. Acesso em: 10 out. 2022.

PARANÁ (Estado). **Lei Complementar nº 9, de 28 de outubro de 2014.** Dispõe sobre o Zoneamento, o Uso e a Ocupação do Solo do Município de Pontal do Paraná, Estado do Paraná. Legislação do Estado do Paraná, Pontal do Paraná, 28 de outubro de 2014. Disponível em: <https://leismunicipais.com.br/a/pr/p/pontal-do-parana/lei-complementar/2014/0/9/lei-complementar-n-9-2014-dispoe-sobre-o-zoneamento-o-uso-e-a-ocupacao-do-solo-do-municipio-de-pontal-do-parana-estado-do-parana>. Acesso em: 10 out. 2022.

PARANÁ (Estado). **Decreto Estadual nº 3619, de 14 de setembro de 2004.** Nomeação de cargo. Legislação do Estado do Paraná, Curitiba, 14 de setembro de 2004. Disponível em: <https://leisestaduais.com.br/pr/decreto-n-3619-2004-parana>

[aprova-o-regulamento-da-superintendencia-de-desenvolvimento-de-recursos-hidricos-e-saneamento-ambiental-suderhsa](#). Acesso em: 10 out. 2022.

PARANÁ (Estado). **Decreto Municipal nº 1651, de 06 de janeiro de 2003**. Nomeação de cargo. Legislação do Estado do Paraná, Paranaguá, 06 de janeiro de 2003. Disponível em: <https://leismunicipais.com.br/a1/pr/p/paranagua/decreto/2003/166/1651/decreto-n-1651-2003?q=1651>. Acesso em: 10 out. 2022.

PARANÁ (Estado). **Resolução CERH nº 49, de 20 de dezembro de 2006**. Dispõe sobre a instituição e Regiões Hidrográficas, Bacias Hidrográficas e Unidades Hidrográficas e Gerenciamento de Recursos Hídricos do Estado do Paraná. Legislação do Estado do Paraná, Curitiba, 20 de dezembro de 2006. Disponível em: https://www.sedest.pr.gov.br/sites/default/arquivos_restritos/files/migrados/File/r492006.pdf. Acesso em: 10 out. 2022.

PARANÁ (Estado). **Resolução SEMA nº 24, de 14 de julho de 2008**. Estabelece condições e critérios e dá outras providências, para o licenciamento ambiental de Empreendimento de Avicultura no Estado do Paraná e dá outras providências. Legislação do Estado do Paraná, Curitiba, 18 de julho de 2008. Disponível em: <https://www.legisweb.com.br/legislacao/?id=143945>. Acesso em: 10 out. 2022.

PARANÁ PORTAL. Disponível em: <https://paranaportal.uol.com.br/cidades/alagamentos-no-litoral-do-parana-impedem-pessoas-de-sairem-de-casa>. Acesso em: 10 out. 2022.

PEREIRA, A. R. *et al.* Agrometeorologia: fundamentos e aplicações práticas. Guaíba: Agropecuária, 2002. 478 p.

PEREIRA, M. C. B.; SCROCCARO, J. L. **Bacias Hidrográficas do Paraná**. Curitiba: Secretaria de Estado do Meio Ambiente e Recursos Hídricos (SEMA), 2015.

POLIDORI, M. C. L.; PRESTES, M. F. **Plano Diretor de Desenvolvimento Integrado de Pontal do Paraná**: Caderno de diagnóstico. Pontal do Paraná, 2004.

POLIDORO, M.; DESCHAMPS, M. V. Segundas residências e urbanização no Litoral do Paraná. **Revista Paranaense de Desenvolvimento - RPD**, [S.l.], v. 34, n. 125, p. 213-235, 2013. Disponível em: <https://ipardes.emnuvens.com.br/revistaparanaense/article/view/557> / Acesso em: 03 ago. 2022.

PREFEITURA MUNICIPAL DE CURITIBA. Plano Diretor de Drenagem Urbana de Curitiba, Curitiba, 2013. Disponível em: <https://mid.curitiba.pr.gov.br/2018/00238310.pdf>. Acesso em: 10 out. 2022.

RIGHETTO, A. M. **Manejo de Águas Pluviais Urbanas**. Rio de Janeiro: ABES, 2009.

RODRIGUES, M. M.; RODRIGUES, C. E. F.; RODRIGUES, C. C. A falta de drenagem urbana nas cidades brasileiras. **Research, Society and Development**, Tocantins, v.11, n. 6, maio 2022.

ROSSMAN, L. A. A. **SWMM 5.0 Manual do usuário**. Tradução de: ALMEIDA, C. N.; GOMES, H. P.; SALVINO, M. M.; SILANS, A. P.; SILVA, G. N. S. João Pessoa: Laboratório de Eficiência Energética e Hidráulica em Saneamento – Universidade Federal da Paraíba, UFPB, 2010. Título original: STORM WATER MANAGEMENT MODEL – USER’S MANUAL EPA/600/R-05/040 – JULY 2010.

ROSSMAN, L. A. A. **Storm Water Management Model User’s Manual Version 5.1**. Cincinnati: National Risk Management Research Laboratory. Office of Research and Development, U.S. Environmental Protection Agency, 2015.

SANTIS, D. G. D.; MENDONÇA, F. A. **Impactos de inundações em áreas urbanas: o caso de Francisco Beltrão/PR**. Disponível em: <http://www.observatoriogeograficoamericalatina.org.mx/egal8/Procesosambientales/Hidrologia/07.pdf>. Acesso em: 10 out. 2022.

SÃO BERNARDO DO CAMPO, Defesa Civil. Disponível em: <http://dcsbcsp.blogspot.com.br/2011/06/enchente-inundacao-oualagamento.html>. Acesso em: 19 out. 2022.

SCHIAVETTI, A.; CAMARGO, A. F. M. **Conceitos de bacias hidrográficas: teorias e aplicações**. Ilhéus: Editus, 2002, p.17.

SOUZA, A. P.; MOTA, L. L.; ZAMADEI, T.; MARTIM, C. C.; ALMEIDA, F. T.; PAULINO, J. Classificação climática e balanço hídrico climatológico no estado de Mato Grosso. **Nativa Pesquisas Agrárias e Ambientais**, Sinop, v. 01, n. 01, p.34-43, out./dez., 2013.

SOUZA, V. C. B.; MORAES, L. R. S.; BORJA, P. C. Déficit na drenagem urbana: buscando o entendimento e contribuindo para a definição. **GESTA**, Alagoas, v. 1, n. 2, p. 162-175, 2013.

TORRES, T. F. Processos de urbanização e problemas de drenagem em áreas ambientalmente frágeis: estudo de caso da localidade de Três Vendas, município de Campos dos Goytacazes/RJ. **Boletim do Observatório Ambiental Alberto Ribeiro Lamago**, Rio de Janeiro, v. 8, n. 2, p. 143-163, jul/dez 2014. Disponível em: <http://www.bibliotekevirtual.org/index.php/2013-02-07-03-02-35/2013-02-07-03-03-11/1558-boaarl/v08n02/16297-processos-de-urbanizacao-e-problemas-de-drenagem-em-areas-ambientalmente-frageis-estudo-de-caso-da-localidade-de-tres-vendas-municipio-de-campos-dos-goytacazes-rj.html>. Acesso em: 03 ago. 2022. <http://dx.doi.org/10.19180/2177-4560.v8n214-09>.

TUCCI, C. E. M. Enchentes Urbanas no Brasil. **RBE – Revista Brasileira de Engenharia**, Porto Alegre, Caderno de Recursos Hídricos. ABRH. 12 (1), p. 117-137, 1994.

VEJA SAÚDE. Disponível em: <https://saude.abril.com.br/medicina/agua-de-enchente-doencas/>. Acesso em: 10 out. 2022.

APÊNDICE

FIGURA 12 – ÍNDICES DE ESCOAMENTO DO CENÁRIO 1

Subcatchment	Total Precip mm	Total Runon mm	Total Evap mm	Total Infil mm	Imperv Runoff mm	Perv Runoff mm	Total Runoff mm	Total Runoff 10 ⁶ ltr	Peak Runoff LPS	Runoff Coeff
59	40.29	0.00	0.00	11.38	28.20	0.69	28.89	0.50	122.90	0.717
58	28.28	0.00	0.00	8.00	19.80	0.47	20.27	0.23	96.60	0.717
57	25.43	0.00	0.00	7.18	17.80	0.44	18.24	0.32	159.97	0.717
56	36.51	0.00	0.00	10.33	25.56	0.61	26.17	1.19	381.27	0.717
55	33.27	0.00	0.00	9.42	23.29	0.55	23.83	0.32	117.24	0.716
54	30.88	0.00	0.00	8.73	21.62	0.52	22.14	0.28	120.28	0.717
53	22.29	0.00	0.00	6.30	15.60	0.37	15.98	0.20	119.48	0.717
52	28.28	0.00	0.00	8.00	19.80	0.47	20.27	0.22	100.87	0.717
51	23.90	0.00	0.00	6.74	16.73	0.42	17.15	0.14	58.54	0.717
49	22.29	0.00	0.00	6.30	15.60	0.37	15.98	0.09	54.45	0.717
48	28.28	0.00	0.00	8.00	19.80	0.47	20.27	0.22	102.10	0.717
47	28.28	0.00	0.00	8.00	19.80	0.47	20.27	0.24	111.79	0.717
46	25.43	0.00	0.00	7.18	17.80	0.44	18.24	0.20	102.94	0.717
45	25.43	0.00	0.00	7.18	17.80	0.44	18.24	0.21	104.84	0.717
44	26.89	0.00	0.00	7.61	18.82	0.45	19.27	0.23	115.04	0.717
43	26.89	0.00	0.00	7.61	18.82	0.45	19.27	0.22	113.35	0.717
42	25.43	0.00	0.00	7.18	17.80	0.44	18.24	0.22	113.67	0.717
41	32.10	0.00	0.00	9.09	22.47	0.52	22.99	0.27	109.81	0.716
40	30.88	0.00	0.00	8.77	21.62	0.48	22.10	0.02	7.77	0.716
39	39.40	0.00	0.00	11.13	27.58	0.68	28.26	0.10	26.42	0.717
38	34.39	0.00	0.00	9.74	24.07	0.56	24.63	0.26	83.70	0.716
37	28.28	0.00	0.00	8.00	19.80	0.47	20.27	0.13	53.73	0.717
36	38.47	0.00	0.00	10.88	26.93	0.65	27.58	0.16	41.26	0.717
35	36.51	0.00	0.00	10.33	25.56	0.61	26.17	0.63	189.53	0.717
34	26.89	0.00	0.00	7.61	18.82	0.45	19.27	0.22	115.28	0.717
33	25.43	0.00	0.00	7.18	17.80	0.44	18.24	0.21	106.44	0.717
32	25.43	0.00	0.00	7.18	17.80	0.44	18.24	0.21	114.45	0.717
31	22.29	0.00	0.00	6.30	15.60	0.37	15.98	0.19	120.77	0.717
30	23.90	0.00	0.00	6.74	16.73	0.42	17.15	0.19	110.69	0.717
29	28.28	0.00	0.00	8.00	19.80	0.47	20.27	0.23	107.50	0.717
28	28.28	0.00	0.00	8.00	19.80	0.47	20.27	0.24	109.52	0.717
27	22.29	0.00	0.00	6.30	15.60	0.37	15.98	0.09	59.47	0.717
26	22.29	0.00	0.00	6.24	15.60	0.43	16.04	0.10	78.34	0.720
25	22.29	0.00	0.00	6.30	15.60	0.37	15.98	0.17	112.95	0.717
24	22.29	0.00	0.00	6.30	15.60	0.37	15.98	0.19	119.91	0.717
23	22.29	0.00	0.00	6.30	15.60	0.37	15.98	0.19	112.46	0.717
22	23.90	0.00	0.00	6.74	16.73	0.42	17.15	0.20	114.02	0.717
21	22.29	0.00	0.00	6.30	15.60	0.37	15.98	0.20	132.03	0.717
20	22.29	0.00	0.00	6.30	15.60	0.37	15.98	0.18	112.33	0.717
19	28.28	0.00	0.00	8.00	19.80	0.47	20.27	0.23	115.34	0.717
18	29.61	0.00	0.00	8.37	20.73	0.50	21.22	0.24	105.78	0.717
17	29.61	0.00	0.00	8.37	20.73	0.50	21.22	0.25	110.37	0.717
16	30.88	0.00	0.00	8.73	21.62	0.52	22.14	0.10	43.75	0.717
15	22.29	0.00	0.00	6.24	15.60	0.43	16.04	0.07	70.03	0.720
14	22.29	0.00	0.00	6.24	15.60	0.43	16.04	0.11	80.00	0.720
13	22.29	0.00	0.00	6.30	15.60	0.37	15.98	0.11	74.31	0.717
12	22.29	0.00	0.00	6.24	15.60	0.43	16.04	0.11	89.44	0.720
11	22.29	0.00	0.00	6.24	15.60	0.43	16.04	0.11	85.05	0.720
10	22.29	0.00	0.00	6.24	15.60	0.43	16.04	0.11	78.48	0.720
9	28.28	0.00	0.00	8.00	19.80	0.47	20.27	0.14	69.91	0.717
8	28.28	0.00	0.00	8.00	19.80	0.47	20.27	0.13	68.31	0.717
7	22.29	0.00	0.00	6.24	15.60	0.43	16.04	0.11	78.81	0.720
6	34.39	0.00	0.00	9.74	24.07	0.56	24.63	0.47	158.59	0.716
5	33.27	0.00	0.00	9.42	23.29	0.55	23.83	0.47	161.18	0.716
4	44.34	0.00	0.00	12.41	31.04	0.87	31.91	0.30	66.96	0.720
3	23.90	0.00	0.00	6.74	16.73	0.42	17.15	0.19	116.60	0.717
2	22.29	0.00	0.00	6.24	15.60	0.43	16.04	0.11	102.92	0.720

FONTE: Os autores (2023).

FIGURA 13 – ÍNDICES DE ESCOAMENTO DO CENÁRIO 2

Subcatchment	Total Precip mm	Total Runon mm	Total Evap mm	Total Infil mm	Imperv Runoff mm	Perv Runoff mm	Total Runoff mm	Total Runoff 10 ⁶ ltr	Peak Runoff LPS	Runoff Coeff
59	40.29	0.00	0.00	27.76	12.09	0.41	12.50	0.22	85.98	0.310
58	28.28	0.00	0.00	19.33	8.49	0.43	8.92	0.10	69.20	0.315
57	25.43	0.00	0.00	17.68	7.64	0.09	7.72	0.14	113.98	0.304
56	36.51	0.00	0.00	24.68	10.96	0.84	11.80	0.54	260.04	0.323
55	33.27	0.00	0.00	22.89	9.99	0.37	10.35	0.14	79.53	0.311
54	30.88	0.00	0.00	20.82	9.27	0.76	10.03	0.13	81.02	0.325
53	22.29	0.00	0.00	14.77	6.70	0.79	7.49	0.09	84.82	0.336
52	28.28	0.00	0.00	19.33	8.49	0.43	8.92	0.10	70.32	0.315
51	23.90	0.00	0.00	16.72	7.18	0.01	7.19	0.06	45.03	0.301
49	22.29	0.00	0.00	14.77	6.69	0.79	7.49	0.04	39.15	0.336
48	28.28	0.00	0.00	19.33	8.49	0.43	8.92	0.10	70.22	0.315
47	28.28	0.00	0.00	19.33	8.49	0.43	8.92	0.10	76.72	0.315
46	25.43	0.00	0.00	17.68	7.64	0.09	7.72	0.09	72.99	0.304
45	25.43	0.00	0.00	17.68	7.64	0.09	7.72	0.09	73.99	0.304
44	26.89	0.00	0.00	18.57	8.07	0.22	8.29	0.10	80.50	0.308
43	26.89	0.00	0.00	18.57	8.07	0.22	8.29	0.09	78.49	0.308
42	25.43	0.00	0.00	17.68	7.64	0.09	7.72	0.09	79.53	0.304
41	32.10	0.00	0.00	22.32	9.63	0.12	9.75	0.11	74.05	0.304
40	30.88	0.00	0.00	20.82	9.27	0.76	10.03	0.01	5.54	0.325
39	39.40	0.00	0.00	26.71	11.82	0.83	12.66	0.05	18.23	0.321
38	34.39	0.00	0.00	23.55	10.32	0.49	10.81	0.12	59.23	0.314
37	28.28	0.00	0.00	19.33	8.49	0.43	8.92	0.06	38.10	0.315
36	38.47	0.00	0.00	26.30	11.54	0.59	12.14	0.07	28.99	0.315
35	36.51	0.00	0.00	24.68	10.96	0.84	11.80	0.29	132.03	0.323
34	26.89	0.00	0.00	18.57	8.07	0.22	8.29	0.10	79.57	0.308
33	25.43	0.00	0.00	17.68	7.64	0.09	7.72	0.09	75.39	0.304
32	25.43	0.00	0.00	17.68	7.64	0.09	7.72	0.09	79.24	0.304
31	22.29	0.00	0.00	14.77	6.70	0.79	7.49	0.09	84.39	0.336
30	23.90	0.00	0.00	16.72	7.18	0.01	7.19	0.08	78.42	0.301
29	28.28	0.00	0.00	19.33	8.49	0.43	8.92	0.10	73.95	0.315
28	28.28	0.00	0.00	19.33	8.49	0.43	8.92	0.11	75.90	0.315
27	22.29	0.00	0.00	14.77	6.70	0.79	7.49	0.04	41.28	0.336
26	22.29	0.00	0.00	14.77	6.70	0.79	7.49	0.05	49.99	0.336
25	22.29	0.00	0.00	14.77	6.70	0.79	7.49	0.08	78.14	0.336
24	22.29	0.00	0.00	14.77	6.70	0.79	7.49	0.09	83.90	0.336
23	22.29	0.00	0.00	14.77	6.69	0.79	7.49	0.09	80.60	0.336
22	23.90	0.00	0.00	16.72	7.18	0.01	7.19	0.08	81.24	0.301
21	22.29	0.00	0.00	14.77	6.70	0.79	7.49	0.09	91.37	0.336
20	22.29	0.00	0.00	14.77	6.70	0.79	7.49	0.08	79.14	0.336
19	28.28	0.00	0.00	19.33	8.49	0.43	8.92	0.10	77.54	0.315
18	29.61	0.00	0.00	20.13	8.89	0.56	9.45	0.11	73.31	0.319
17	29.61	0.00	0.00	20.13	8.89	0.56	9.45	0.11	76.01	0.319
16	30.88	0.00	0.00	20.82	9.27	0.76	10.03	0.04	28.82	0.325
15	22.29	0.00	0.00	14.77	6.70	0.79	7.49	0.03	41.07	0.336
14	22.29	0.00	0.00	14.77	6.70	0.79	7.49	0.05	53.07	0.336
13	22.29	0.00	0.00	14.77	6.70	0.79	7.49	0.05	50.47	0.336
12	22.29	0.00	0.00	14.77	6.70	0.79	7.49	0.05	56.07	0.336
11	22.29	0.00	0.00	14.77	6.70	0.79	7.49	0.05	55.49	0.336
10	22.29	0.00	0.00	14.77	6.70	0.79	7.49	0.05	52.43	0.336
9	28.28	0.00	0.00	19.33	8.49	0.43	8.92	0.06	46.77	0.315
8	28.28	0.00	0.00	19.33	8.49	0.43	8.92	0.06	45.11	0.315
7	22.29	0.00	0.00	14.77	6.70	0.79	7.49	0.05	53.24	0.336
6	34.39	0.00	0.00	23.55	10.32	0.49	10.81	0.21	110.36	0.314
5	33.27	0.00	0.00	22.89	9.98	0.37	10.35	0.20	112.21	0.311
4	44.34	0.00	0.00	30.51	13.30	0.49	13.80	0.13	45.52	0.311
3	23.90	0.00	0.00	16.72	7.18	0.01	7.19	0.08	80.67	0.301
2	22.29	0.00	0.00	14.77	6.70	0.79	7.49	0.05	61.32	0.336

FONTE: Os autores (2023).

FIGURA 14 – ÍNDICES DE ESCOAMENTO DO CENÁRIO 3

Subcatchment	Total Precip mm	Total Runon mm	Total Evap mm	Total Infil mm	Imperv Runoff mm	Perv Runoff mm	Total Runoff mm	Total Runoff 10 ⁶ ltr	Peak Runoff LPS	Runoff Coeff
59	40.29	0.00	0.00	19.59	20.15	0.53	20.68	0.36	107.29	0.513
58	28.28	0.00	0.00	13.91	14.15	0.20	14.35	0.17	85.57	0.507
57	25.43	0.00	0.00	12.24	12.72	0.45	13.17	0.23	141.65	0.518
56	36.51	0.00	0.00	17.71	18.26	0.52	18.78	0.86	330.42	0.514
55	33.27	0.00	0.00	16.17	16.64	0.44	17.08	0.23	101.62	0.514
54	30.88	0.00	0.00	14.85	15.45	0.57	16.01	0.20	104.11	0.519
53	22.29	0.00	0.00	11.00	11.15	0.12	11.27	0.14	105.84	0.506
52	28.28	0.00	0.00	13.91	14.15	0.20	14.35	0.16	88.50	0.507
51	23.90	0.00	0.00	11.67	11.96	0.25	12.21	0.10	53.26	0.511
49	22.29	0.00	0.00	11.00	11.15	0.12	11.27	0.07	48.45	0.506
48	28.28	0.00	0.00	13.91	14.15	0.20	14.35	0.15	89.15	0.507
47	28.28	0.00	0.00	13.91	14.15	0.20	14.35	0.17	97.54	0.507
46	25.43	0.00	0.00	12.24	12.72	0.45	13.17	0.15	91.00	0.518
45	25.43	0.00	0.00	12.24	12.72	0.45	13.17	0.15	92.52	0.518
44	26.89	0.00	0.00	12.84	13.45	0.58	14.03	0.17	101.13	0.522
43	26.89	0.00	0.00	12.84	13.45	0.58	14.03	0.16	99.27	0.522
42	25.43	0.00	0.00	12.24	12.72	0.45	13.17	0.16	100.01	0.518
41	32.10	0.00	0.00	15.83	16.06	0.19	16.25	0.19	95.03	0.506
40	30.88	0.00	0.00	14.85	15.44	0.57	16.01	0.02	6.86	0.519
39	39.40	0.00	0.00	19.26	19.70	0.41	20.11	0.07	22.95	0.510
38	34.39	0.00	0.00	16.60	17.20	0.57	17.77	0.19	73.59	0.517
37	28.28	0.00	0.00	13.91	14.15	0.20	14.35	0.09	47.42	0.507
36	38.47	0.00	0.00	18.70	19.24	0.51	19.75	0.11	36.12	0.513
35	36.51	0.00	0.00	17.71	18.26	0.52	18.78	0.45	165.56	0.514
34	26.89	0.00	0.00	12.84	13.45	0.58	14.04	0.16	100.85	0.522
33	25.43	0.00	0.00	12.24	12.72	0.45	13.17	0.15	94.05	0.518
32	25.43	0.00	0.00	12.24	12.72	0.45	13.17	0.15	100.32	0.518
31	22.29	0.00	0.00	11.00	11.15	0.12	11.27	0.13	106.38	0.506
30	23.90	0.00	0.00	11.67	11.96	0.25	12.21	0.14	97.89	0.511
29	28.28	0.00	0.00	13.91	14.15	0.20	14.35	0.16	93.87	0.507
28	28.28	0.00	0.00	13.91	14.15	0.20	14.35	0.17	95.89	0.507
27	22.29	0.00	0.00	11.00	11.15	0.12	11.27	0.06	52.26	0.506
26	22.29	0.00	0.00	11.00	11.16	0.12	11.28	0.07	66.77	0.506
25	22.29	0.00	0.00	11.00	11.15	0.12	11.27	0.12	99.14	0.506
24	22.29	0.00	0.00	11.00	11.15	0.12	11.27	0.13	105.68	0.506
23	22.29	0.00	0.00	11.00	11.15	0.12	11.27	0.13	99.95	0.506
22	23.90	0.00	0.00	11.67	11.96	0.25	12.21	0.14	101.03	0.511
21	22.29	0.00	0.00	11.00	11.15	0.12	11.27	0.14	115.90	0.506
20	22.29	0.00	0.00	11.00	11.15	0.12	11.27	0.13	99.24	0.506
19	28.28	0.00	0.00	13.91	14.15	0.20	14.35	0.16	99.89	0.507
18	29.61	0.00	0.00	14.44	14.81	0.34	15.15	0.17	92.55	0.512
17	29.61	0.00	0.00	14.44	14.81	0.34	15.15	0.18	96.35	0.512
16	30.88	0.00	0.00	14.85	15.45	0.57	16.01	0.07	37.54	0.519
15	22.29	0.00	0.00	11.00	11.16	0.12	11.28	0.05	57.47	0.506
14	22.29	0.00	0.00	11.00	11.16	0.12	11.28	0.08	69.17	0.506
13	22.29	0.00	0.00	11.00	11.16	0.12	11.27	0.08	64.80	0.506
12	22.29	0.00	0.00	11.00	11.16	0.12	11.28	0.08	75.72	0.506
11	22.29	0.00	0.00	11.00	11.16	0.12	11.28	0.08	73.09	0.506
10	22.29	0.00	0.00	11.00	11.16	0.12	11.28	0.08	68.03	0.506
9	28.28	0.00	0.00	13.91	14.15	0.20	14.35	0.10	60.44	0.507
8	28.28	0.00	0.00	13.91	14.15	0.20	14.35	0.09	58.78	0.507
7	22.29	0.00	0.00	11.00	11.16	0.12	11.27	0.08	68.58	0.506
6	34.39	0.00	0.00	16.60	17.20	0.57	17.77	0.34	138.62	0.517
5	33.27	0.00	0.00	16.17	16.64	0.44	17.08	0.34	140.99	0.513
4	44.34	0.00	0.00	21.50	22.17	0.65	22.82	0.22	57.44	0.515
3	23.90	0.00	0.00	11.67	11.96	0.25	12.21	0.13	102.25	0.511
2	22.29	0.00	0.00	11.00	11.16	0.12	11.28	0.08	85.16	0.506

FONTE: Os autores (2023).