



UNIVERSIDADE DE PERNAMBUCO
ESCOLA POLITÉCNICA DE PERNAMBUCO
Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil

MARCOS ANTONIO BARBOSA DA SILVA JUNIOR

**ALTERNATIVAS COMPENSATÓRIAS PARA CONTROLE DE
ALAGAMENTOS EM LOCALIDADE DO RECIFE-PE**

Recife, PE
2015



UNIVERSIDADE DE PERNAMBUCO
ESCOLA POLITÉCNICA DE PERNAMBUCO
Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil

MARCOS ANTONIO BARBOSA DA SILVA JUNIOR

**ALTERNATIVAS COMPENSATÓRIAS PARA CONTROLE DE
ALAGAMENTOS EM LOCALIDADE DO RECIFE-PE**

Dissertação apresentada ao Curso de Pós-graduação em Engenharia Civil, da Escola Politécnica de Pernambuco da Universidade de Pernambuco para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil.

Área de Concentração: Construção Civil

Orientadora: Profa. Dra. Simone Rosa da Silva

Coorientador: Prof. Dr. Jaime Joaquim da S. P. Cabral

Recife, PE
2015

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)
Universidade de Pernambuco – Recife

S586a

Silva Junior, Marcos Antonio Barbosa da
Alternativas compensatórias para controle de
alagamentos em localidade do Recife-PE/ Marcos Antonio
Barbosa da Silva Junior. – Recife: UPE, Escola Politécnica,
2015.

153 f.

Orientadora: Dra. Simone Rosa da Silva

Co-Orientador: Dr. Jaime Joaquim da S. Pereira Cabral

Dissertação (Mestrado - Construção Civil) Universidade
de Pernambuco, Escola Politécnica, Programa de Pós-
Graduação em Engenharia Civil, 2015.

1. Urbanização e águas pluviais 2. Modelo hidrológico
(SWMM) 3. Controle de alagamentos 4. Alternativas
compensatórias. 5. Construção Civil - Dissertação I. Silva,
Simone Rosa da (orient.) II. Cabral, Jaime Joaquim da Silva
Pereira (co-orient.) III. Universidade de Pernambuco, Escola
Politécnica, Mestrado em Construção Civil. IV. Título.

CDD: 624.01

MARCOS ANTÔNIO BARBOSA SILVA JR.

ALTERNATIVAS COMPENSATÓRIAS PARA CONTROLE DE
ALAGAMENTOS EM LOCALIDADE DO RECIFE-PE

BANCA EXAMINADORA:

Orientadora:



Prof. Dra. Simone Rosa da Silva
Universidade de Pernambuco – UPE

Co-orientador:

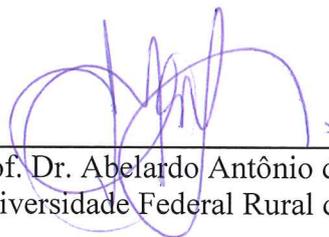


Prof. Dr. Jaime Joaquim da Silva Pereira Cabral
Universidade Federal de Pernambuco - UFPE

Examinadores:



Prof. Dra. Kalinny Patrícia Vaz Lafayette
Universidade Pernambuco – UPE



Prof. Dr. Abelardo Antônio de Assunção Montenegro
Universidade Federal Rural de Pernambuco – UFRPE

Recife, PE
2015

AGRADECIMENTOS

E mais uma grande etapa da minha vida é concluída! É chegada a hora de agradecer àqueles que tornaram tudo isso possível.

Primeiramente a Deus, meu grande amigo, que me deu saúde e força para driblar as dificuldades e superar os desafios, sempre me aperfeiçoando durante minha jornada.

A toda minha família. Em especial, aos meus pais, Cristina Maria e Marcos, que acompanharam de perto todo o meu trajeto até a conquista deste objetivo, sempre me apoiando e incentivando nas horas difíceis de desânimo e cansaço. Às minhas avós, Maria José e Auriclélia Barbosa, que através de suas orações me fizeram forte e confiante. Ao meu irmão Müller, sempre solícito a ajudar nos trabalhos de campo.

À minha orientadora Simone Rosa da Silva e ao meu coorientador Jaime Joaquim da Silva Pereira Cabral, pela orientação, confiança e grande apoio fornecido durante o desenvolvimento desta dissertação.

Aos professores e funcionários do Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil da Universidade de Pernambuco.

À Empresa de Manutenção e Limpeza Urbana (Emlurb), na pessoa do Antônio Valdo Alencar, pelo grande apoio fornecido durante o desenvolvimento da dissertação, cedendo os dados e informações necessárias.

Ao engenheiro da Emlurb, Pedro Oliveira da Silva, que teve uma importante participação nesta dissertação, ajudando-me bastante a desvendar os mistérios do SWMM, além de compartilhar comigo toda a sua vivência com a drenagem urbana da cidade do Recife.

Ao Prof^o Willames de Albuquerque Soares, pela disponibilização do equipamento para a realização dos ensaios de infiltração, orientando-me também no desenvolvimento do referido ensaio e na análise dos resultados obtidos.

Às minhas amigas e parceiras Thaísa Macedo, Ana Karla Batista e Camilla Pires, que me acompanham desde a faculdade e sempre me incentivaram a alcançar este feito.

À Empresa PROJETEC, pela experiência adquirida como profissional e toda a confiança depositada, tornando possível a realização deste mestrado. Também aos profissionais desta empresa, em especial à engenheira Roberta de Melo Guedes Alcoforado, pela troca de ideias, opiniões e conhecimentos compartilhados.

Às verdadeiras amigas que construí na PROJETEC com Cristina Neves, Juliana Ferrão e Nise Souto, que tiveram papel importante, seja durante a elaboração e desenvolvimento da dissertação, seja através de conselhos e conversas motivadoras que me ajudaram a seguir sempre em frente.

E, por fim, a todos que direta ou indiretamente contribuíram para que esta dissertação se tornasse possível.

SILVA JÚNIOR, Marcos Antonio Barbosa da. **Alternativas compensatórias para controle de alagamentos em localidade do Recife-PE**. Recife: UPE, 2015. 153 p. Dissertação (Mestrado). Escola Politécnica da Universidade de Pernambuco. Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil. Recife.

RESUMO

Nas últimas décadas, os municípios brasileiros apresentaram uma urbanização acelerada e não planejada. O desenvolvimento deste processo produziu grandes alterações no ambiente urbano, que se projetaram em impactos significativos sobre a drenagem urbana. Essa situação se agrava principalmente nas planícies costeiras, como é o caso da cidade do Recife, que teve seu processo de ocupação urbana de forma desordenada e possui um sistema de drenagem altamente vulnerável às oscilações de maré, podendo provocar sérios problemas de alagamentos em épocas chuvosas combinados com eventos de maré de sizígia. Com esta realidade, atualmente o Recife apresenta 159 pontos de alagamentos catalogados pela Empresa de Manutenção e Limpeza Urbana (Emlurb), órgão gestor da drenagem urbana na cidade, como os mais críticos. Neste sentido, o presente trabalho visa identificar alternativas compensatórias em drenagem urbana com base no modelo hidrológico SWMM (*Storm Water Management Model*) desenvolvido pela U. S. EPA (*United States Environmental Protection Agency*), buscando propor soluções para um ponto crítico de drenagem, localizado no cruzamento da Avenida João de Barros com a Rua Joaquim Felipe, no bairro da Soledade em Recife/PE. Para isto, foi obtido junto à Emlurb o cadastro técnico do sistema de microdrenagem da área estudada. Além disso, foram definidos parâmetros e variáveis necessários para a modelagem hidráulico-hidrológica, tais como: subáreas de contribuição ao sistema de drenagem, indicando o percentual de impermeabilização do solo, largura equivalente, declividade e taxa de infiltração; chuva de projeto; e curva de maré. Durante a modelagem, verificou-se que o local apresenta condição desfavorável de escoamento pelos condutos subterrâneos, apresentando trechos onde o desnível a ser vencido é de aproximadamente 35 cm, representando assim uma declividade negativa de 0,46%. A calibração simplificada do modelo, feita a partir da situação atual, apresentou coeficientes de correlação de 0,97 e 0,96 para os períodos de recorrência de dois e cinco anos, respectivamente. A partir disso foram simuladas duas alternativas para mitigação do problema em questão. A primeira, que trata de uma adequação da rede de drenagem, apresentou reduções máximas no volume de alagamento de 37% para os eventos com período de retorno de dois anos e de 58% para cinco anos de recorrência. A concepção de um reservatório de detenção na rede existente representa a segunda alternativa, cuja simulação apresentou um resultado satisfatório para um evento de dois anos e quando simulado para um período de cinco anos reduziu cerca de 38% o volume atual. Diante dos resultados, conclui-se que houve uma redução dos picos de cheia e conseqüentemente diminuição da área de alagamentos nas condições simuladas. No entanto, a adequação da rede de drenagem não resolveria os problemas de alagamentos locais, apenas atenuaria e aumentaria a sobrecarga dos condutos à jusante do sistema modificado, enquanto o reservatório de detenção poderia resolver o problema dos alagamentos, simulados para um evento de dois anos.

Palavras-chave: Urbanização e águas pluviais. Modelo hidrológico (SWMM). Controle de alagamentos. Alternativas compensatórias. Construção civil.

SILVA JUNIOR, Marcos Antonio Barbosa da. **Compensatory Alternatives to control flooding in the locality of the Recife-PE**. Recife: UPE, 2015. 153 p. Dissertation (Master). Polytechnic School of the University of Pernambuco. Graduate Program in Civil Engineering. Recife.

ABSTRACT

In recent decades, the Brazilian municipalities presented an accelerated and unplanned urbanization. The development of this process produced major changes in the urban environment, which were projected in significant impacts on urban drainage. This situation is aggravated in the coastal plains, as is the case of the city of Recife, which had its urban occupation process in a disorderly way and has a drainage system that is highly vulnerable to fluctuations in the tide, which may cause serious flooding problems in rainy seasons combined with spring tide events. With this reality, currently Recife presents 159 flooding points catalogued by the Company for Urban Maintenance and Cleaning (Emlurb), the body responsible for managing urban drainage in the city, as the most critical. In this sense, this study aims to identify compensatory alternatives in urban drainage based on the SWMM (*Storm Water Management Model*) hydrological model developed by U. S. EPA (*United States Environmental Protection Agency*), seeking to propose solutions for a critical drainage point, located at the intersection of Joao de Barros Avenue with Joaquim Felipe Street, in the Soledade neighborhood in Recife/PE. For such, the technical register of the micro drainage system of the studied area was obtained from the Emlurb. In addition, the necessary parameters and variables for hydraulic-hydrologic modeling were defined, such as: sub areas of contribution to the drainage system, indicating the percentage of soil sealing, equivalent width, slope and infiltration rate; design rainfall; and tide curve. During modeling, it was found that the site presented unfavorable conditions for runoff through underground channels, presenting sections where the unevenness to be overcome was of approximately 35 cm, thus representing a negative declivity of 0.46 %. The simplified calibration of the model, made from the current situation, showed correlation coefficients of 0.97 and 0.96 for the events with recurrence intervals calculated at two and five years, respectively. From this, were simulated two alternatives to mitigate the problem in issue. The first, the adaptation of the drainage network presented reductions in the volume of flooding of 37% for events with a return period of two years and 58% for five years of recurrence. The conception of a detention reservoir in the network of local drainage, the second alternative, proved satisfactory when the event for two years was simulated, and for five years the volume of flooding observed in current conditions during periods of rain was reduced by approximately 38% of the current volume. Considering the results, it is concluded that was a reduction of full peaks, and consequently of the flood areas in the conditions simulated. However, the adaptation of the drainage network does not solve the problems of flooding sites, it only mitigates them and increases the overload of downstream channels of the modified system, while the detention reservoir would resolve the question of flooding, simulated for one event for two years.

Keywords: Urbanization and rainwater. Hydrological model (SWMM). Flooding control. Compensatory alternatives. Construction.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 -	Processos urbanos e seus impactos no ciclo hidrológico.	25
Figura 2 -	Efeito cumulativo do hidrograma relacionado aos impactos do processo de urbanização.....	26
Figura 3 -	Municípios brasileiros que apresentaram problemas de inundações e/ou alagamentos na área urbana e pontos de estrangulamento no sistema de drenagem no período de 2003 a 2007	27
Figura 4 -	Evolução do processo de urbanização no bairro de Boa Viagem.	29
Figura 5 -	Localização dos pontos críticos de alagamentos da cidade do Recife.	32
Figura 6 -	Túnel alagado no bairro do Pina em 17/05/2013.	33
Figura 7 -	Av. Mascarenhas de Moraes em 17/05/2013.....	33
Figura 8 -	Estação do Metrô Joana Bezerra em 17/05/2013.	33
Figura 9 -	Municípios com dispositivo coletivo de retenção ou amortecimento de vazão de águas pluviais urbanas por Região Geográfica – 2008.	52
Figura 10 -	Localização do ponto crítico de alagamento e a delimitação dos bairros inseridos na área de abrangência do estudo.	56
Figura 11 -	Área de contribuição ao ponto de alagamento e área de abrangência do estudo.....	56
Figura 12 -	Mapa de zoneamento da área de estudo.	57
Figura 13 -	Processo de urbanização na área de montante ao ponto crítico de alagamento em estudo.....	58
Figura 14 -	Sequência de imagens de alagamentos na área em estudo.....	59
Figura 15 -	Cruzamento da Avenida João de Barros com a Rua Joaquim Felipe.....	60
Figura 16 -	Aumento do nível do piso em relação calçada.....	60
Figura 17 -	Boca de lobo obstruída.	61
Figura 18 -	Resíduos na boca de lobo.	61
Figura 19 -	Presença de folhas secas em bocas de lobo.....	62
Figura 20 -	Árvores próximas a bocas de lobo.	62
Figura 21 -	Ligação direta de drenagem de prédio ao elemento de drenagem da via.....	63
Figura 22 -	Presença de esgoto na rede de drenagem.	63
Figura 23 -	Mapeamento dos principais elementos de drenagem da área em estudo.	64
Figura 24 -	Esquema analítico do modelo SWMM.	69

Figura 25 - Recorte do cadastro do sistema de drenagem em ambiente CAD.....	70
Figura 26 - Subáreas de contribuição para os poços de visitas.....	71
Figura 27 - Cadastramento das áreas permeáveis.....	72
Figura 28 - Gráfico da precipitação utilizada na modelagem (Evento: 25-26/06/2014).	77
Figura 29 - Gráfico de precipitação utilizada na modelagem (Evento: 17/05/2013).....	77
Figura 30 - Gráficos de precipitação inseridas no modelo.....	78
Figura 31 - Disposição dos pontos ensaiados.....	80
Figura 32 - Infiltrômetro a simples anel.....	81
Figura 33 - Recursos utilizados para o ensaio.....	81
Figura 34 - Curvas de infiltração nos cinco pontos ensaiados e índices de correlação.....	82
Figura 35 - Curva ajustada da taxa de infiltração no Ponto 1 e equação da curva.....	82
Figura 36 - Parâmetros de infiltração inseridos no modelo.....	83
Figura 37 - Curva de maré obtida para o dia 25-26 de junho de 2014.....	84
Figura 38 - Curva de maré obtida para o dia 17 de maio de 2013.....	85
Figura 39 - Rede de drenagem implantada no modelo SWMM.....	87
Figura 40 - Modelo digital do terreno na área de entorno ao ponto crítico de alagamento estudado.....	89
Figura 41 - Gráfico com a relação precipitação x maré entre os dias 25 e 26 de junho de 2014.....	90
Figura 42 - Rua Joaquim Felipe no período seco (a) e no período chuvoso (b).....	91
Figura 43 - Altura da lâmina d'água do alagamento provocado pelo evento extremo de precipitação entre os dias 25 e 26 de junho de 2014.....	91
Figura 44 - Área de alagamento resultante do evento extremo de precipitação entre os dias 25 e 26 de junho de 2014.....	92
Figura 45 - Perfil da galeria da Avenida João de Barros com a Rua do Príncipe.....	93
Figura 46 - Localização do Nó (Junção) 2.....	96
Figura 47 - Relação entre lâmina d'água de alagamento observada e simulada no ponto de controle, para o evento de 25-26 de junho de 2014.....	97
Figura 48 - Relação entre o volume inundado estimado e a lâmina d'água de alagamento no ponto de controle.....	98
Figura 49 - Síntese de inundação no Nó 2 para o evento de 25 e 26 de junho de 2014.....	99
Figura 50 - Síntese de inundação no Nó 2 para o evento de 17 de maio de 2013.....	99
Figura 51 - Volume de alagamento no Nó 2, resultante da calibração simplificada do modelo para o evento de 25 e 26 de junho de 2014.....	101

Figura 52 -	Volume de alagamento no Nó 2, resultante da calibração simplificada do modelo para o evento de 17 de maio de 2013.	102
Figura 53 -	Hidrograma afluente ao Nó 2, resultante da calibração do modelo para o evento de 17 de maio de 2013.	103
Figura 54 -	Hidrograma afluente ao Nó 2, resultante da calibração do modelo para o evento de 17 de maio de 2013.	103
Figura 55 -	Rede de drenagem da Av. João de Barros.	109
Figura 56 -	Perfis longitudinais esquemáticos da rede de drenagem da Av. João de Barros para cada verificação da condição alternativa.	110
Figura 57 -	Volume de alagamento no Nó 2 com base nas condições atual e alternativa, para o evento de 25-26 de junho de 2014.	112
Figura 58 -	Volume de alagamento no Nó 2 com base nas condições atual e alternativa, para o evento de 17 de maio de 2013.	112
Figura 59 -	Lâmina d'água de alagamento no Nó 2 com base nas condições atual e alternativa, para o evento de 25-26 de junho de 2014.	113
Figura 60 -	Lâmina d'água de alagamento no Nó 2 com base nas condições atual e alternativa, para o evento de 17 de maio de 2013.	113
Figura 61 -	Hidrogramas na rede de drenagem a jusante do sistema modificado, com base no conduto localizado entre os Nós 12 e 13.	116
Figura 62 -	Relatório de simulação (Vazão máxima no conduto entre os Nós 12 e 13).	117
Figura 63 -	Locação e dimensões do reservatório de retenção proposto.	122
Figura 64 -	Esquema representativo da concepção atual e proposta (alternativa).	124
Figura 65 -	Representação do reservatório de retenção no ambiente do SWMM.	125
Figura 66 -	Perfil esquemático com a integração entre a Verificação 2 e a implantação do reservatório de retenção proposto.	128
Figura 67 -	Cortes esquemáticos do reservatório de retenção proposto.	129
Figura 68 -	Hidrograma comparativo entre as condições com e sem controle.	131
Figura 69 -	Hidrograma comparativo entre as vazões de entrada e de saída do reservatório (25-26/06/2014).	132
Figura 70 -	Gráfico do volume de acumulação no reservatório (25-26/06/2014).	132
Figura 71 -	Relação entre a altura d'água e volume no reservatório (25-26/06/2014). ...	133
Figura 72 -	Hidrograma comparativo entre as vazões de entrada e de saída do reservatório (17/05/2013).	133
Figura 73 -	Gráfico do volume de acumulação no reservatório (17/05/2013).	134

Figura 74 - Relação entre a altura d'água e volume no reservatório (25-26/06/2014). 134

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 -	Percentual de municípios com áreas que ocorreram inundações ou alagamentos no estado de Pernambuco em 2008.	28
Tabela 2 -	Municípios com manejo de águas pluviais, por existência de instrumentos reguladores, segundo as grandes regiões, em 2000.	37
Tabela 3 -	Percentual de municípios brasileiros que sofreram inundações, segundo os fatores agravantes.	38
Tabela 4 -	Percentual de municípios com ruas pavimentadas na área urbana, por tipo de sistema de drenagem, em 2000 e 2008.	39
Tabela 5 -	Municípios de Pernambuco com instrumento legal regulador do serviço de manejo de águas pluviais em 2008.	40
Tabela 6 -	Área e evolução populacional dos bairros de Santo Amaro, Boa Vista e Soledade entre os anos de 1991, 2000 e 2010.	55
Tabela 7 -	Síntese dos dados de entrada das subáreas de contribuição.	75
Tabela 8 -	Resultado da intensidade da chuva de Recife em mm/h a partir da nova equação de chuva intensa do Recife.	79
Tabela 9 -	Resultado do total pluviométrico de chuva do Recife em mm a partir da nova equação de chuva intensa do Recife.	79
Tabela 10 -	Dados cadastrais do trecho com problemas de declividade.	94
Tabela 11 -	Alturas e volumes de alagamento observado e simulado no ponto de controle, para o evento de 25-26 de junho de 2014.	97
Tabela 12 -	Principais resultados obtidos na simulação do evento de 25 e 26 de junho de 2014.	100
Tabela 13 -	Principais resultados obtidos na simulação do evento de 17 de maio de 2013.	100
Tabela 14 -	Cálculo do tempo de concentração da área de montante ao ponto crítico.	104
Tabela 15 -	Vazões calculadas pelo método racional para as recorrências de 2 e 5 anos.	105
Tabela 16 -	Síntese das cotas de fundo dos poços de visita para as condições atual e alternativa, consideradas no modelo.	111

Tabela 17 - Síntese das declividades dos condutos e diâmetros correspondentes para as condições atual e alternativa, consideradas no modelo.....	111
Tabela 18 - Síntese dos resultados das simulações para as diferentes verificações da condição alternativa, com base nos eventos considerados.	114
Tabela 19 - Aplicação do método das chuvas, considerando a vazão de saída da área de montante pelo método racional (Baptista <i>et al.</i> , 2005).	120
Tabela 20 - Aplicação do método das chuvas, considerando a vazão de saída da área de montante através do conduto de $\varnothing=0,40\text{m}$, com base na equação da continuidade (Baptista <i>et al.</i> , 2005).....	120
Tabela 21 - Determinação da seção do orifício – Equação de Manning.	126
Tabela 22 - Resultados da simulação em dois cenários.	130
Tabela 23 - Resultados da simulação em dois cenários para os eventos considerados....	135

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Cronologia da legislação sobre drenagem urbana do Brasil.	35
Quadro 2 - Atores municipais e estaduais relacionados com a gestão da drenagem urbana da cidade do Recife.....	45
Quadro 3 - Alguns modelos usados no gerenciamento de águas pluviais.....	48
Quadro 4 - Modelos hidrológicos aplicados à drenagem urbana.	49
Quadro 5 - Lista de medidas de controle na fonte.....	50
Quadro 6 - Principais intervenções estruturais realizadas no sistema de drenagem urbana do Recife.....	53

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

Acqua-Plan – Empresa de Estudos, Projetos e Consultoria

Apac – Agência Pernambucana de Águas e Climas

BMP – Best Management Practices

Compesa – Companhia Pernambucana de Saneamento

CTTU – Companhia de Trânsito e Transporte Urbano

DHN – Diretoria de Hidrografia e Navegação

Dircon – Diretoria de Controle Urbano

DNIT – Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes

DNPVN – Departamento Nacional de Portos e Viação Náutica

Emlurb – Empresa de Manutenção e Limpeza Urbana

Encibra – Empresa de Estudos e Projetos de Engenharia

Fidem – Fundação de Desenvolvimento da Região Metropolitana do Recife

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

IDF – Intensidade-Duração-Frequência

Inmet – Instituto Nacional de Meteorologia

Jica – Agência de Cooperação Internacional do Japão

LID – Low Impact Development

Luos – Lei de Uso e Ocupação do Solo

PDCR – Plano Diretor da Cidade do Recife

PDF – Precipitação-Duração-Frequência

PDU – Plano Diretor Urbano

PNSB – Pesquisa Nacional de Saneamento Básico

PQA – Projeto de Qualidade das Águas e Controle da Poluição Hídrica das Bacias dos Rios Beberibe, Capibaribe e Jaboatão

Procel-Sanear – Programa de Eficiência Energética em Saneamento Ambiental

RMR – Região Metropolitana do Recife

RPA – Região Político-Administrativo

SCS – Soil Conservation Service

Sisnama – Sistema Nacional do Meio Ambiente

SuDS – Sustainable Drainage Systems

SWMM – Storm Water Management Model

Telpe – Telecomunicações de Pernambuco

TSN – Taxa de Solo Natural

U.S EPA – United States Environmental Protection Agency

URB – Empresa de Urbanização do Recife

WSUD – Water Sensitive Urban Design

ZDE – Zonas de Diretrizes Específicas

ZUM – Zona de Urbanização de Morros

ZUP – Zona de Urbanização Preferencial

ZUR – Zona de Urbanização Restrita

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	19
1.1	JUSTIFICATIVA DA PESQUISA	21
1.2	OBJETIVOS	22
1.2.1	Objetivo geral	22
1.2.2	Objetivos específicos	22
1.3	ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO.....	23
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	24
2.1	ASPECTOS DA DRENAGEM URBANA: A URBANIZAÇÃO E AS ÁGUAS URBANAS	24
2.1.1	A urbanização e seus impactos sobre a drenagem urbana	24
2.1.2	A urbanização do Recife e a problemática da drenagem urbana	28
2.2	GESTÃO DA DRENAGEM URBANA: ASPECTOS LEGISLATIVOS, PLANOS E PROGRAMAS, E FERRAMENTAS DE AUXÍLIO.	34
2.2.1	Gestão da drenagem urbana no Brasil.....	34
2.2.2	Gestão da drenagem urbana na cidade do Recife.....	40
2.2.3	Modelagem matemática como ferramenta de suporte à gestão da drenagem urbana.....	47
2.3	SOLUÇÕES ALTERNATIVAS OU COMPENSATÓRIAS PARA CONTROLE DA DRENAGEM URBANA	49
3	CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	54
3.1	PROCESSO DE URBANIZAÇÃO.....	54
3.2	DIAGNÓSTICO DA REDE DE DRENAGEM EXISTENTE	60
4	MATERIAIS E MÉTODOS	65
4.1	ARTICULAÇÃO COM O ÓRGÃO GESTOR DA DRENAGEM URBANA DO RECIFE.....	65
4.2	SELEÇÃO DO MODELO HIDRÁULICO-HIDROLÓGICO A SER UTILIZADO... ..	66
4.2.1	O Modelo SWMM (<i>Storm Water Management Model</i>)	67
4.3	PARÂMETROS E VARIÁVEIS DE ENTRADA PARA O MODELO	69

4.3.1	Cadastro da microdrenagem da área	69
4.3.2	Delimitação e caracterização das subáreas.....	70
4.3.3	Definição da chuva de projeto.....	76
4.3.4	Determinação dos parâmetros de infiltração.....	79
4.3.5	Obtenção da curva de maré	83
4.4	DEFINIÇÃO DAS CONDIÇÕES DE CONTORNO PARA A SIMULAÇÃO	85
4.5	MONTAGEM DA REDE.....	85
5	ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	88
5.1	PRIMEIRAS CONSTATAÇÕES	88
5.2	ANÁLISE DO EVENTO DE PRECIPITAÇÃO DO DIA 25-26/06/2014 E OS REFLEXOS NO PONTO CRÍTICO ESTUDADO	90
5.3	CONSTATAÇÕES VERIFICADAS DURANTE AS SIMULAÇÕES COM O SWMM.....	92
5.4	SIMULAÇÕES COM O SWMM.....	95
5.4.1	Cenário 01 (Condição Atual)	95
5.4.2	Cenário 02 (Condição Alternativa)	106
5.4.2.1	<i>Adequação da rede de drenagem na área de influência do ponto crítico.....</i>	<i>106</i>
5.4.2.2	<i>Concepção para a implantação de reservatório de retenção na rede de drenagem da área de influência ao ponto crítico.....</i>	<i>117</i>
6	CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	136
6.1	AÇÕES NECESSÁRIAS PARA A DRENAGEM URBANA DO RECIFE.....	136
6.2	AÇÕES NECESSÁRIAS PARA O PONTO CRÍTICO DE ALAGAMENTO ESTUDADO.....	137
6.3	SUGESTÕES PARA PESQUISAS FUTURAS	140
	REFERÊNCIAS	142
	APÊNDICE A - PLANTA CADASTRAL DA REDE DE DRENAGEM NA ÁREA DE ESTUDO	152

1 INTRODUÇÃO

O desenvolvimento acelerado das cidades tem apresentado grandes mudanças no meio ambiente, acarretando sérios problemas para a infraestrutura urbana, sobretudo no que se refere aos impactos ambientais causados pela ocupação desordenada dessas áreas.

Além de acelerado, o processo de urbanização tem acontecido, via de regra, de forma desordenada, sem o planejamento e implantação de ações que conduzam de forma adequada a ocupação do solo. Quase sempre, as consequências são negativas, com impactos muitas vezes irreversíveis sobre o próprio homem e sobre os recursos naturais.

Um dos impactos decorrentes do processo de urbanização, mas que muitas vezes ainda tem sido tratado de forma secundária, está relacionado à drenagem de águas pluviais em meio urbano. Talvez o problema mais evidente associado à drenagem de águas pluviais seja os alagamentos nos centros urbanos. Entretanto, outros problemas, como poluição de mananciais e erosão, também estão relacionados diretamente com a urbanização e a drenagem pluvial (SILVA, 2006).

Com o desenvolvimento urbano, a superfície original, possivelmente com solo permeável e recoberto por vegetação, é transformada em pequenos canais retilíneos de pavimentos praticamente impermeáveis e telhados, modificando os espaços que, naturalmente, seriam ocupados pelas águas pluviais. Essas modificações alteram o ciclo da água, modificando a magnitude dos processos hidrológicos. De acordo com Mays (2001) e Wright & Heaney (2001), os resultados dessas mudanças são:

- diminuição da capacidade de infiltração de solos da bacia e perda da sua capacidade de armazenamento natural;
- o aumento no volume de escoamento superficial;
- aumento das vazões de pico;
- diminuição do tempo de concentração; e
- reduções na recarga dos aquíferos e na vazão de base.

Segundo Roesner, Bledsoe e Brashear (2001), as vazões de pico após o processo de ocupação aumentam de duas a mais de dez vezes com relação à vazão para a situação não urbanizada, sendo que grande parte dos autores consideram este aumento em seis vezes. Além disso, a frequência de ocorrência de maiores vazões para a situação urbanizada passa a ser maior após a urbanização, e a diferença é mais significativa para períodos de recorrência menores. Assim, a rede pluvial acelera os escoamentos, favorecendo o acúmulo em pontos de saturação, provocando dessa forma os alagamentos.

A solução até então adotada busca remover da forma mais eficiente a água dos centros urbanos com obras hidráulicas, como construção de rede de drenagem, canalizações, construção de galerias, dentre outras medidas estruturais que sem sucesso acabam gerando alagamento constante. As limitações dessas soluções estão nas dificuldades que as grandes cidades enfrentam em drenar o grande volume de água que chega aos condutos em curto intervalo de tempo.

À medida que o centro urbano desenvolve-se, faz necessário um reajustamento do sistema de drenagem para adaptá-lo a uma situação com hidrograma de cheias mais rápido e mais intenso. Práticas como estas não são sustentáveis, pois resolvem o problema da cheia em uma área e o transferem para outra (jusante). Passa a exigir, assim, o constante redimensionamento da rede de drenagem de jusante com custos elevados e cada vez mais dispendiosos para os cofres públicos.

Atualmente, a partir da inserção do conceito ambiental na temática da drenagem urbana, têm aparecido alternativas compensatórias ou ambientais, agindo em conjunto com as estruturas convencionais que procuram compensar sistematicamente os efeitos da urbanização em termos quantitativos e qualitativos (SILVA, 2007). Diante disso, a solução viável para se proteger contra as cheias urbanas é interceptar a água da chuva antes de atingir a rede de drenagem.

Para isto, medidas compensatórias de drenagem, como trincheiras de infiltração, pavimento permeável e microrreservatório de detenção no lote, dentre outros, se apresentam como bons instrumentos de controle do escoamento superficial. O seu uso se torna possível com o planejamento da drenagem urbana que passa a obrigar as novas construções a adotarem medidas alternativas de controle de enchentes urbanas (SOUZA e GOLDENFUM, 2001).

Dentro deste contexto, o presente trabalho consta de um estudo de alternativas compensatórias em drenagem urbana, numa área fortemente urbanizada e com problemas de alagamentos nos períodos chuvosos, situada no bairro da Soledade, no município do Recife. O problema do alagamento interfere seriamente na mobilidade da cidade, especialmente quando afeta os principais eixos de deslocamento e interligação entre bairros.

Diante disso, o ponto crítico de alagamento estudado, encontra-se localizado no cruzamento da Avenida João de Barros com a Rua Joaquim Felipe e foi definido juntamente com a Secretaria de Infraestrutura e Serviços Urbanos, através da Empresa de Manutenção e Limpeza Urbana (Emlurb), da Prefeitura do Recife, a fim de contribuir com possíveis soluções visando a intervenções na drenagem local.

Para isso, o estudo de alternativas se baseou nos resultados apontados pela utilização do método racional para os cálculos mais simples e do modelo SWMM (*Storm Water Management Model*) desenvolvido pela “*United States Environmental Protection Agency*” (U.S EPA).

1.1 JUSTIFICATIVA DA PESQUISA

Nas últimas décadas, os municípios brasileiros apresentaram um processo acelerado e não planejado de urbanização. O desenvolvimento deste processo produziu grandes alterações no ambiente urbano, que se projetaram em impactos significativos sobre a água.

Essa situação se agrava principalmente nas planícies costeiras, como é o caso da cidade do Recife, que teve seu processo de ocupação urbana de forma desordenada e possui um sistema de drenagem altamente vulnerável às oscilações de maré, podendo provocar sérios problemas de alagamentos em períodos de chuvas intensas combinados com eventos de maré de sizígia.

As baixas cotas de seu território em relação ao nível do mar, áreas planas, lençol freático próximo à superfície, canalização de riachos urbanos e ocupações irregulares de suas margens, alto percentual de impermeabilização do solo e a ineficiência na coleta de esgotos, são características peculiares que dificultam a drenagem local.

Diante destas peculiaridades geográficas e urbanísticas, na qual foi concebida a cidade, atualmente o Recife possui 159 pontos de alagamentos, catalogados como os mais críticos (Emlurb, 2013).

Com base nisso, a importância do presente trabalho será, junto ao órgão gestor da drenagem urbana na cidade, apontar soluções integradas com vistas a resolver o problema recorrente de alagamento no bairro da Soledade, em Recife, mais especificamente num ponto crítico de drenagem localizado no cruzamento da Avenida João de Barros com a Rua Joaquim Felipe.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo geral

O presente trabalho visa identificar alternativas compensatórias em drenagem urbana, buscando propor soluções para o ponto crítico de alagamento localizado no cruzamento da Avenida João de Barros com a Rua Joaquim Felipe, no Bairro da Soledade, em Recife.

1.2.2 Objetivos específicos

Para atender o objetivo proposto, serão desenvolvidos os seguintes objetivos específicos:

- Analisar o estado da arte da drenagem urbana no Brasil, focando o município do Recife, com base na legislação vigente, estudos e planos existentes;
- Apresentar os entraves da drenagem urbana do Recife, identificando junto aos órgãos competentes os principais pontos críticos de alagamento da cidade;
- Diagnosticar o ponto crítico estudado, com base na evolução do processo de urbanização, situação da rede de drenagem existente e alagamentos ocorridos;
- Realizar modelagem hidráulico-hidrológica na área estudada, com base nos dados físicos locais e nos eventos chuvosos predefinidos; e
- Propor alternativas compensatórias visando à mitigação dos impactos da urbanização sobre o sistema de drenagem da área em estudo.

1.3 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

Esta dissertação foi estruturada em seis capítulos, sendo o primeiro referente à **INTRODUÇÃO**, com a contextualização da pesquisa; os objetivos gerais e específicos utilizados para a condução da pesquisa; a justificativa para desenvolvimento do presente tema; e a estruturação do documento.

O capítulo 2, que aborda a **REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**, retrata o estado da arte da drenagem urbana no cenário brasileiro e recifense, apresentando um panorama da gestão da drenagem associado ao planejamento urbano. Focando no Recife, este capítulo também apresenta os pontos críticos de alagamentos da cidade e discute as peculiaridades geográficas e urbanísticas que dificultam a drenagem local. Ainda neste capítulo é feita uma breve apreciação acerca do emprego de modelos computacionais para o manejo das águas pluviais.

O capítulo 3 aborda a descrição da área de estudo, apresentando a caracterização física local, com base na evolução do processo de ocupação, situação da rede de drenagem existente e os problemas de alagamentos enfrentados nos períodos de chuva.

O capítulo 4 discute a **METODOLOGIA** empregada para o desenvolvimento da pesquisa, detalhando as condições de contorno para a modelagem computacional, através do SWMM, e definindo os parâmetros e variáveis de entrada do modelo.

No capítulo 5 são apresentadas as **ANÁLISES E DISCUSSÕES DOS RESULTADOS** da modelagem hidráulico-hidrológica para os eventos com recorrência de 2 e 5 anos, considerando 2 condições: a “atual”, baseada na calibração simplificada do modelo; e a “alternativa”, que simulou 2 possibilidades (adequação da rede de drenagem e implantação do reservatório de detenção).

Por fim, no capítulo 6 são feitas as **CONCLUSÕES** do estudo, destacando as ações necessárias para a eficiência da drenagem urbana na cidade do Recife e no ponto crítico estudado. Também são comentadas as dificuldades encontradas durante o desenvolvimento desta dissertação, indicando as possibilidades para estudos futuros que visem à solução de outros pontos de alagamentos da cidade.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 ASPECTOS DA DRENAGEM URBANA: A URBANIZAÇÃO E AS ÁGUAS URBANAS

2.1.1. A urbanização e seus impactos sobre a drenagem urbana

A urbanização é um processo de desenvolvimento econômico e social resultado da transformação de uma economia rural para uma economia de serviços concentrada em áreas urbanas. Este processo foi marcante no século XX. Em 1900, 13 % da população global eram urbanas. Em 2007, a população urbana era 49,4 %, ocupando apenas 2,8 % do território global. Em 2050, estima-se em 69,6 % a população urbana mundial, sendo que todo o acréscimo de 6 para 9 bilhões de pessoas será para as áreas urbanas, acrescido de parte da população rural que deve se mover para as áreas urbanas (UN, 2009).

Na América do Sul, em particular, verificou-se uma alta taxa de urbanização com 75% da população morando em áreas urbanas no ano de 2000, um dos maiores índices do mundo. Para o ano de 2030, o valor estimado é de 84% (URBAN, 2003).

No Brasil, a tendência não é diferente. Entre os anos de 1940 e 1980, a taxa de urbanização brasileira cresce de 26,35% para 68,86%. Na década de 1990, a população urbana brasileira ultrapassa os 77%, apresentando um índice quase igual ao da população total de 1980 (MONDARDO, 2007). Em 2012, aproximadamente 84,4% da população brasileira se concentrava no meio urbano, segundo o IBGE, tornando-o 26º país com maior taxa de urbanização num conjunto de 192 países.

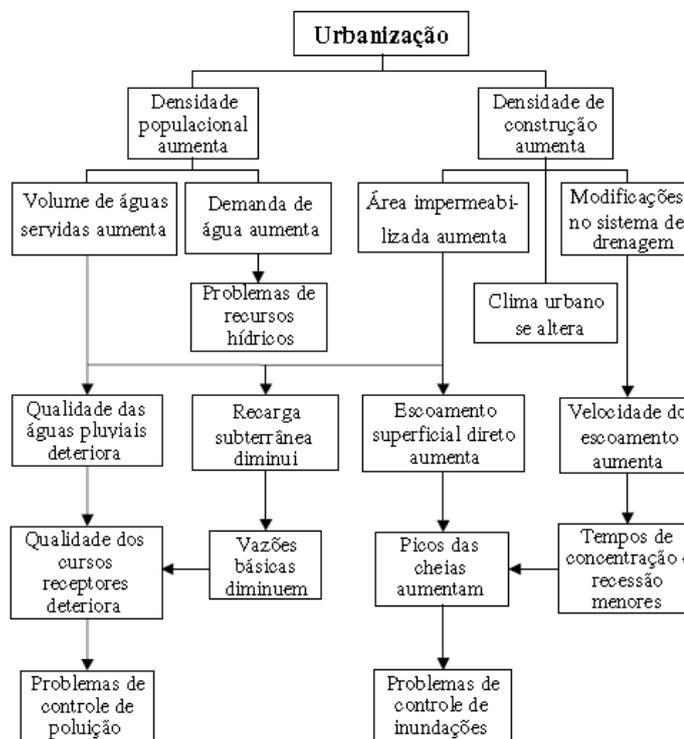
Como consequência disto, de acordo com o Fundo de Recursos Hídricos de Desenvolvimento Tecnológico (MCT/CGE, 2001), o Brasil perde anualmente somas superiores a um bilhão de dólares com as enchentes urbanas, devido, principalmente, à elevada concentração da população no meio urbano.

O desenvolvimento urbano brasileiro tem produzido significativo impacto na infraestrutura de recursos hídricos. Um dos principais ocorre na drenagem urbana, sobretudo no aumento da

magnitude e frequência das inundações. A urbanização caótica associada ao uso inadequado do solo modifica a ocorrência natural do ciclo hidrológico, pois, com o ambiente impermeabilizado, parte da água que infiltrava, evaporava ou era retida pela cobertura vegetal passa a compor o escoamento superficial (BERGAMO, 2006).

A Figura 1 apresenta os efeitos da urbanização por meio do adensamento populacional e da ocupação do solo, relacionados com as águas urbanas.

Figura 1 - Processos urbanos e seus impactos no ciclo hidrológico.



Fonte: Hall (1984) apud Tucci (2004).

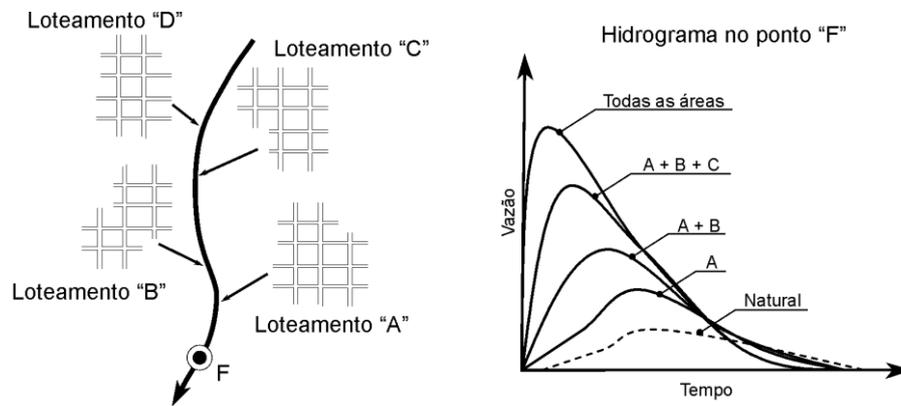
De uma maneira geral, este processo provoca o aumento do volume de água escoada superficialmente, podendo superar a capacidade de escoamento de rios, córregos, canais e da própria rede de microdrenagem.

Yannopoulos *et al.* (2013); Maus, Righes & Buriol (2013) enfatizam que a urbanização faz a superfície da área urbana menos permeável, causando alterações significativas nas características do hidrograma de enchente, podendo ainda ser intensificadas por ações de intervenções urbanas, como retificações e canalizações do curso d'água.

Tucci (2009) afirma que as intervenções citadas aliadas ao processo desordenado da ocupação urbana provocam o aumento da velocidade de escoamento das águas pluviais, redução do tempo de concentração na bacia, aumento e antecipação na vazão de pico, a qual pode ter seu valor aumentado em até seis vezes (Figura 2).

O estudo realizado por Mascarenhas *et al.* (2005), em que foram simulados os efeitos da urbanização de uma área com 360 m² (contemplando desde as condições de cobertura vegetal natural até a total impermeabilização), demonstrou um aumento no pico de vazão de cerca de 3,4 vezes para um evento hidrológico com tempo de recorrência de 5 anos.

Figura 2 - Efeito cumulativo do hidrograma relacionado aos impactos do processo de urbanização.



Fonte: Tucci (2013).

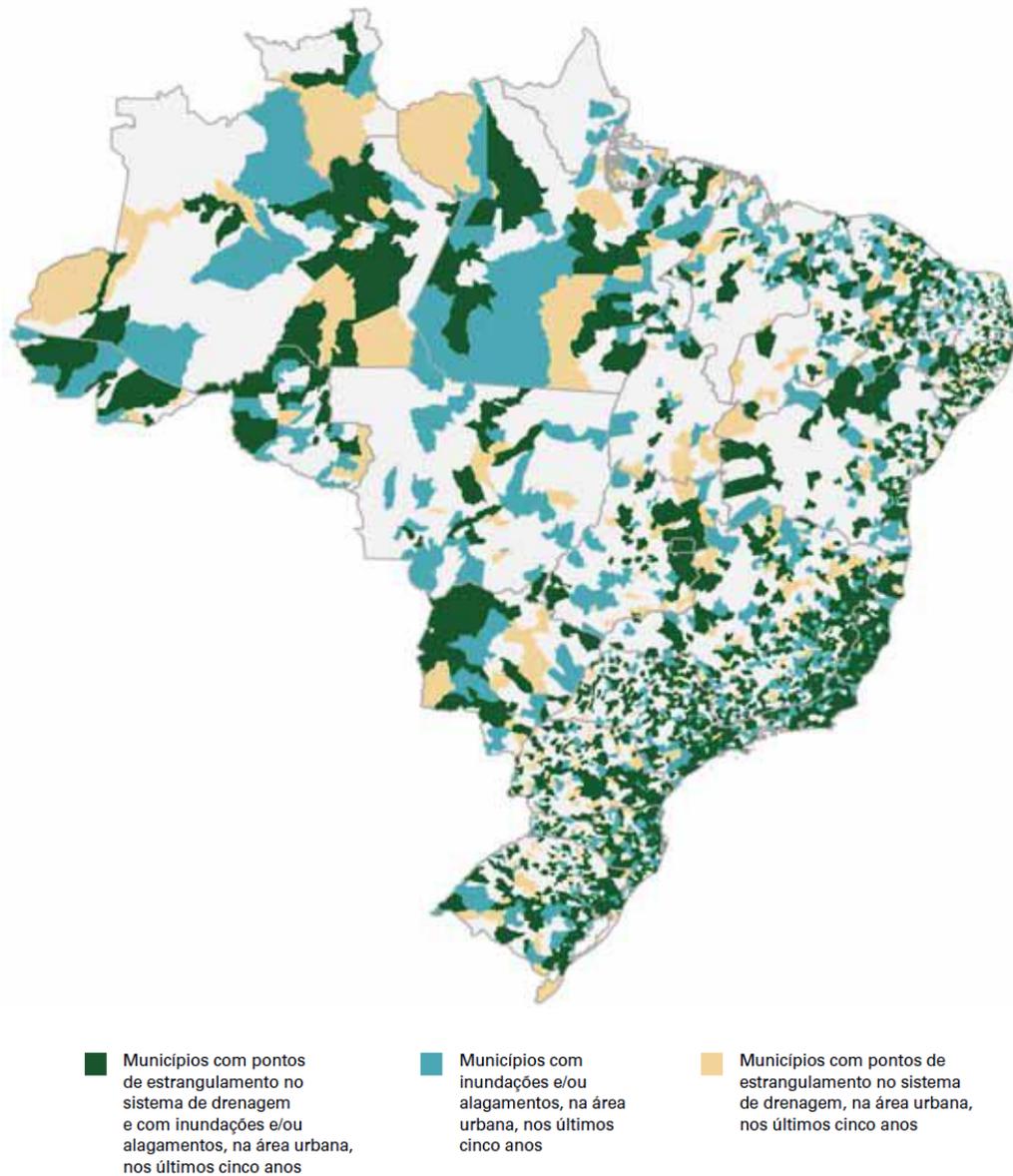
Toronto and Region Conservation (2006) categoriza os impactos da urbanização de acordo com seus efeitos no balanço hidrológico: mudanças no fluxo dos corpos d'água, alteração na geometria dos canais, degradação do habitat aquático e prejuízo à qualidade da água.

Combinada a esses fatores, a ocorrência de eventos chuvosos extremos, ou seja, de chuvas intensas ou precipitação máxima por uma determinada duração com distribuição temporal e espacial crítica em determinada área, juntamente com sistema de drenagem ineficiente, vem aumentar significativamente o volume de água pluvial escoada, formando pontos de alagamentos e/ou por muitas vezes as inundações urbanas (FRAGA, 2013).

Segundo a Pesquisa Nacional de Saneamento Básico de 2008 (IBGE, 2010), 40,87% dos municípios brasileiros declararam sofrer inundações e/ou alagamentos em áreas urbanas nos últimos 5 anos (2003-2007), e, destes, 60,7% informaram haver ocupação urbana em áreas

inundáveis naturalmente por cursos d'água. As regiões mais afetadas por estes desastres foram o Sudeste e Sul. A Figura 3 mostra os municípios que tiveram problemas de inundações e/ou alagamentos de acordo com a citada pesquisa.

Figura 3 - Municípios brasileiros que apresentaram problemas de inundações e/ou alagamentos na área urbana e pontos de estrangulamento no sistema de drenagem no período de 2003 a 2007.



Fonte: PNSB – 2008 (IBGE, 2010).

Dados da Secretária Nacional de Defesa Civil do ano de 2012 informam a ocorrência de 376 desastres no Brasil, sendo 17 decorrentes de alagamentos, afetando 24.581 pessoas, desalojando 954 e desabrigando outras 1.048. Desse total, 52,94% dos desastres por alagamentos se concentram na região Sudeste, afetando 7.238 pessoas (BRASIL, 2013).

No Estado de Pernambuco, ainda segundo os dados da Pesquisa Nacional de Saneamento Básico de 2008, 49 % dos municípios declararam sofrer inundações e/ou alagamentos em sua área urbana nos últimos cinco anos, conforme pode ser observado na Tabela 1.

Tabela 1 - Percentual de municípios com áreas em que ocorreram inundações ou alagamentos no estado de Pernambuco em 2008.

Áreas que ocorreram inundações ou alagamentos	Percentual de municípios (%)
Áreas urbanas ocupadas, inundáveis naturalmente pelo curso d'água.	31,35
Áreas de baixios naturalmente inundáveis, ocupadas irregularmente e/ou inadequadamente.	27,03
Áreas não usualmente inundáveis	14,59
Outras	3,24
Total	49,19

Fonte: PNSB – 2008 (IBGE, 2010).

Embora os condicionantes das cheias e inundações tenham a sua origem em fatores naturais, as intervenções antrópicas têm se mostrado determinantes no agravamento das consequências desses fenômenos. O uso e ocupação das planícies naturais de inundação, a obstrução dos cursos d'água por obras hidráulicas inadequadas e pelo lançamento de lixo, a impermeabilização dos solos urbanos dentre outras, são ações que contribuem para agravar o impacto socioeconômico dos eventos de cheias. Como consequência, o problema das inundações em cidades brasileiras tem se tornado cada vez mais frequente e intenso, acarretando vultosos prejuízos de ordem social e econômica (MEDEIROS, 2011).

2.1.2. A urbanização do Recife e a problemática da drenagem urbana

O início da urbanização na cidade do Recife é datada do século XVI, quando sua atual área ainda pertencia à Vila de Olinda. Diversos engenhos foram instalados na planície estuarina do rio Capibaribe, dando início aos centros de povoações. Este processo urbanístico se intensificou no início do século XX, com a modificação do espaço horizontal e vertical, acarretando transformações nos ecossistemas naturais.

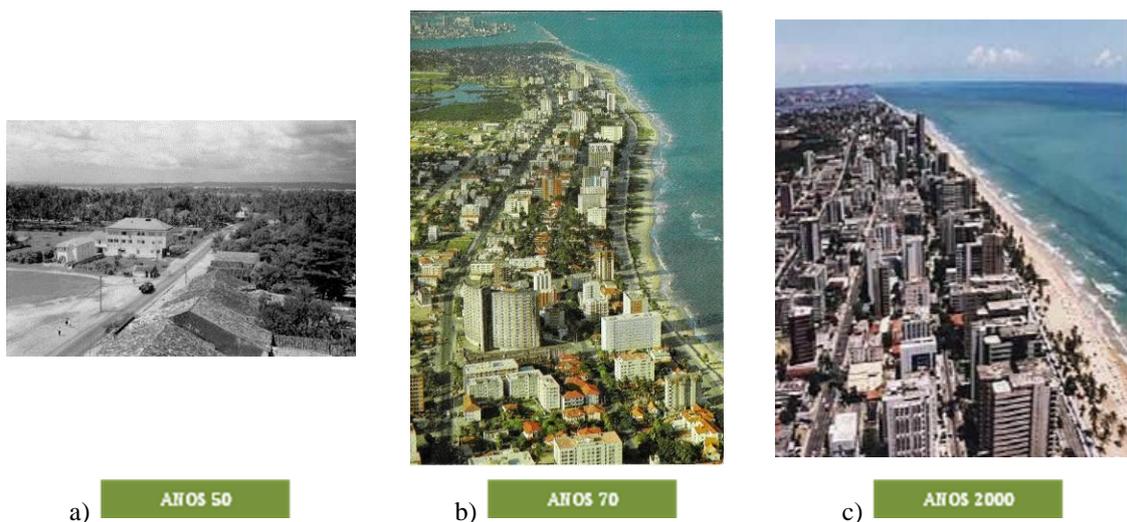
A partir da década de 1970, acelerou no Recife o processo de adensamento construtivo e populacional na faixa diretamente litorânea, estendendo tal condição de crescimento para os municípios vizinhos também litorâneos – Jaboatão dos Guararapes, Olinda e Paulista,

provocando transformações na distribuição da população dentro dos territórios municipais (PREUSS *et al.*, 2011).

Assim, o pequeno espaço territorial do Recife, diante desse processo desordenado de ocupação, impôs cada vez mais um crescimento vertical, principalmente nas áreas próximas ao mar. Em 1996 as unidades habitacionais em imóveis com mais de 10 pavimentos representava um percentual de 43%, e em 2003 este percentual subiu para 57%. Desse total, 4,2% são edificações com mais de 20 pavimentos.

A Figura 4 mostra como ocorreu o processo de urbanização no bairro de Boa Viagem na cidade do Recife, através de uma projeção histórica datada desde os anos 50 até os anos 2000.

Figura 4 - Evolução do processo de urbanização no bairro de Boa Viagem.



Fonte: Skyscrapercity (2013).

Com seu processo de ocupação urbana de forma desordenada, a cidade foi estabelecida numa região estuarina formada pelos principais rios: Capibaribe, Beberibe e Tejió. Sua localização torna o sistema de drenagem altamente vulnerável às oscilações de maré, podendo provocar sérios problemas de alagamentos em épocas chuvosas combinados com eventos de maré de sizígia.

As características físicas do município, como as baixas cotas de seu território em relação ao nível do mar, áreas planas, lençol freático próximo à superfície e aflorante na estação chuvosa, são fatores naturais que dificultam a drenagem. Além disso, o sistema de drenagem

do Recife também é prejudicado devido à canalização de riachos urbanos e ocupação de suas margens por construções regulares e irregulares, alta taxa de impermeabilização do solo, destino inadequado dos resíduos sólidos e deficiência na coleta de esgotos.

A variabilidade temporal da precipitação se constitui em uma das características principais do regime de chuvas na cidade do Recife. Tratando-se de uma região de clima tropical seco e úmido, Recife possui uma pluviosidade bastante elevada, com média anual de precipitação de 2.303 mm e sua intensidade variando bastante ao longo dos anos (SOUSA *et al.*, 2013).

Por se tratar de uma área costeira, o comportamento do nível do mar em relação aos sistemas de drenagem é fator determinante para o eficiente desempenho durante os eventos extremos de chuva. Nesses locais, durante as preamares, haverá uma diminuição na diferença de altitude entre a área a ser drenada e o local para onde a água irá fluir, deixando o sistema mais lento, sobretudo, nos locais com drenagem for feita por gravidade (SILVA JÚNIOR; SILVA, 2014).

De acordo com a Tábua de Marés, as marés de sizígia no Porto do Recife podem alcançar na preamar 2,70 m e na baixa-mar -0,20 m, resultando em uma amplitude máxima da ordem de 2,90 m (DHN-MB, 1995, 2007).

Além das linhas de drenagem natural, a macrodrenagem geral da cidade é constituída por uma rede com mais de 90 canais, totalizando cerca de 110 km de extensão, o que significa uma média de 0,50 km de canal por km². A microdrenagem da cidade possui uma extensão de aproximadamente 1.000 km (Emlurb, 2013).

A rede de canais está distribuída nas bacias da seguinte maneira: Bacia do Capibaribe com 32 canais abrange parte da área central da cidade; Bacia do Beberibe com 19 canais abrange a área norte da cidade; Bacia do Tejipió com um total de 30 canais é subdividida em 4 sub-bacias, a do Tejipió propriamente dita com 9 canais drena parte do centro-sul da cidade; Sub-bacia do Jiquiá com 16 canais drenam o restante da parte central do Recife; Sub-bacia do Jordão com 3 canais que drenam a zona sul da cidade e a Sub-bacia do Moxotó com 2 canais; Bacia do Jaboatão, com 6 canais que drenam parte da zona sul da cidade (Emlurb, 2013).

Com o aumento das áreas impermeabilizadas em decorrência do processo de urbanização, há uma diminuição do escoamento subterrâneo e subsuperficial, e um conseqüente aumento do escoamento superficial. No início da formação do Recife, o coeficiente de escoamento superficial (*runoff*) era da ordem de 0,15, ou seja, 15% da água precipitada escoava superficialmente. Atualmente, com a cidade fortemente urbanizada, o *runoff* em algumas áreas pode superar 0,80 (Emlurb, 2013).

O reflexo negativo deste aumento é o sobrecarregamento da antiga infraestrutura de drenagem existente, principalmente nos pontos mais frágeis do sistema, resultando em pontos críticos de alagamento na cidade durante os períodos chuvosos.

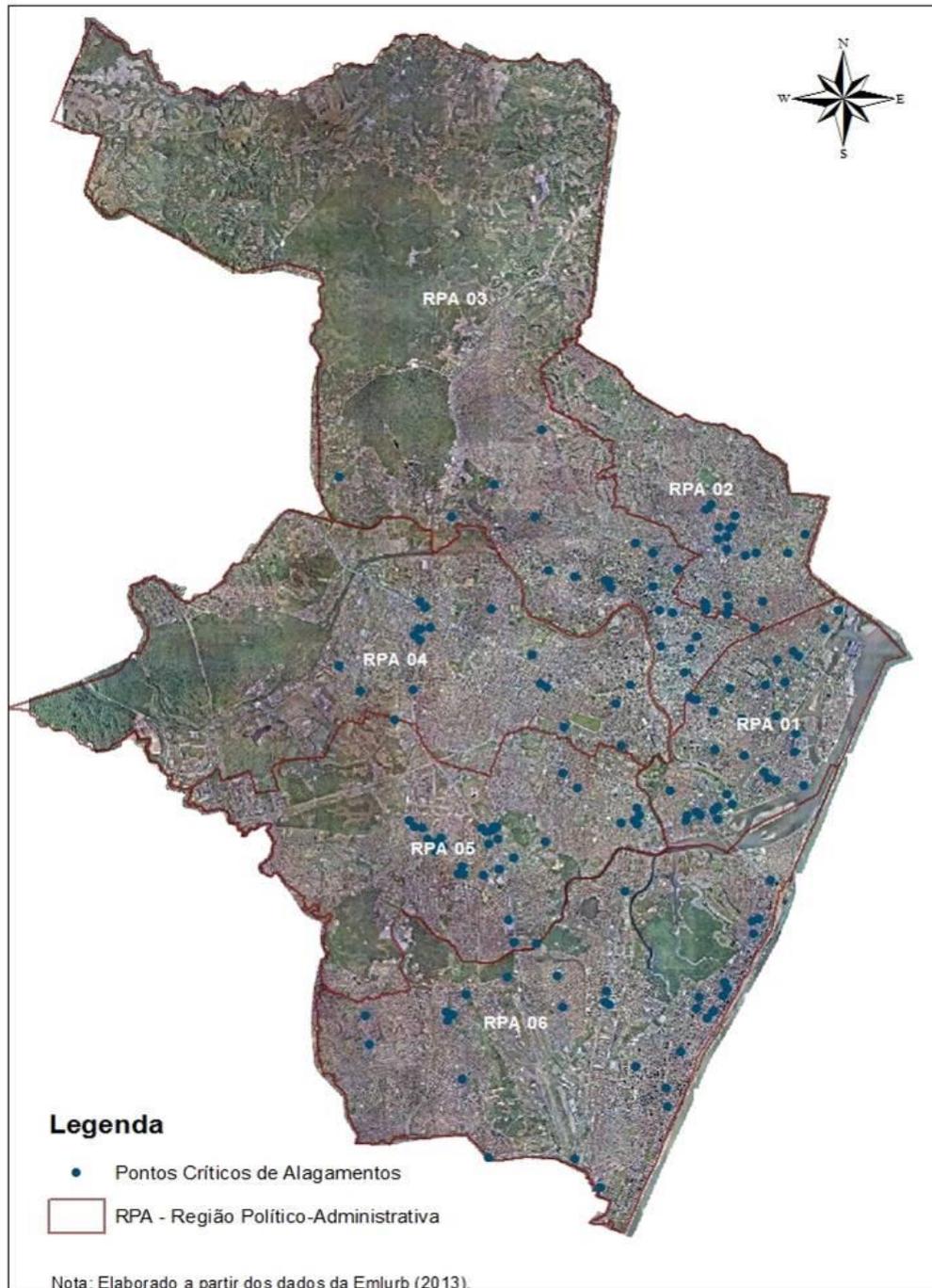
Segundo a Emlurb (2013), o município do Recife apresenta atualmente, 159 pontos críticos de alagamento, sendo que 29 vias têm problemas de alagamento em toda sua extensão, principalmente nos bairros de Jardim São Paulo e Arruda onde está a maior quantidade de ruas integralmente alagadas. Em termos de regionalização do município, que é dividido em seis RPA's (Região Político-Administrativa)¹, temos o seguinte cenário:

- **RPA 1** - Com um total de 32 ruas com registro de alagamentos, o maior número de ruas com problemas de alagamentos encontram-se nos bairros de Santo Amaro e São José, totalizando 10 ruas em cada bairro;
- **RPA 2 e 3** - O bairro do Arruda, com 7 pontos de alagamento, se destaca entre os bairros com maior número de problemas de drenagem das RPA's em questão, que apresenta um total de 42 ruas com ocorrência de alagamentos;
- **RPA 4** - Apresentando um total de 18 ruas com problemas de alagamentos, o bairro da Cidade Universitária se destaca com 6 vias;
- **RPA 5** - Os bairros Jardim São Paulo (11 ruas) e Estância (10 ruas) são os bairros mais afetados do total de 37 ruas com problemas de drenagem da RPA em questão;
- **RPA 6** - O bairro de Boa Viagem se destaca, na RPA considerada, com 17 ruas apresentando problemas de drenagem, seguido pelo Ibura (6 ruas) e Imbiribeira (5 ruas), de um total de 35 ruas com ocorrência de alagamento.

Para melhor espacializar os pontos críticos de alagamento da cidade do Recife, foi desenvolvida a Figura 5 a partir dos dados cedidos pela Emlurb.

¹ De acordo com o Plano Diretor de Desenvolvimento da Cidade do Recife (PDCR), o espaço urbano do Recife é constituído por seis Regiões Político-Administrativas (RPA): RPA 1 – Centro, 2 – Norte, 3 – Noroeste, 4 – Oeste, 5 - Sudoeste e 6 – Sul. As RPA foram definidas para formulação, execução e avaliação permanente das políticas e do planejamento governamentais.

Figura 5 - Localização dos pontos críticos de alagamentos da cidade do Recife.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Diante deste cenário, a cidade do Recife é bastante prejudicada nos períodos de chuva, não só pelo processo desordenado de urbanização pela qual foi concebida, mas também por apresentar peculiaridades geográficas de uma cidade litorânea, que dificulta ainda mais a eficiência do sistema de drenagem da cidade (precipitações intensas e oscilações de maré).

No evento chuvoso ocorrido em 17 de maio de 2013, a cidade entrou em estado de alerta. Segundo Silva Junior e Silva (2014), a precipitação deste dia foi de 119,8 mm (Posto Recife-Várzea) e correspondeu a 40% do total precipitado no mês de maio. A maior parte do total precipitado (100 mm) ocorreu entre 5h e 8h, com a maré de 1,8 m às 8h57. Estes dois fatos concomitantes acarretaram em sérios problemas para a cidade, como foi amplamente divulgado pela mídia.

Ainda de acordo com os autores, o tempo de retorno da precipitação foi calculado em 5 anos, não representando um evento raro. Os impactos decorrentes desse evento se refletiram principalmente na mobilidade urbana, com alagamentos em vários pontos estratégicos da cidade, incluindo as principais vias de acesso da zona sul aos demais bairros do Recife. As Figuras 6 a 8 mostram os alagamentos ocorridos na cidade durante o citado evento de precipitação.

Figura 6 - Túnel alagado no bairro do Pina.



Fonte: JC online (2013).

Figura 7 - Alagamento na Av. Mascarenhas de Moraes.



Fonte: JC online (2013).

Figura 8 - Alagamento na Estação do Metrô Joana Bezerra.



Fonte: JC online (2013).

Recentemente, entre os dias 25 e 26 de junho de 2014, o Recife vivenciou mais um caos provocado pela ineficiência do seu sistema de drenagem. Com um total pluviométrico de 120,2 mm, registrados nas 48 horas, os reflexos deste evento se concentraram, principalmente, nos alagamentos das principais vias da cidade, que na oportunidade sediava uma das partidas de futebol da Copa do Mundo. A análise deste evento será detalhada mais adiante.

2.2 GESTÃO DA DRENAGEM URBANA: ASPECTOS LEGISLATIVOS, PLANOS E PROGRAMAS, E FERRAMENTAS DE AUXÍLIO.

2.2.1 Gestão da drenagem urbana no Brasil

A universalização do acesso aos serviços de saneamento é hoje uma questão central para as regiões metropolitanas do país. Apesar do déficit de acesso aos serviços de saneamento básico, que ainda persiste sobretudo em municípios das periferias metropolitanas, os últimos anos indicam aspectos positivos na busca pela universalização do setor (MELLO; BRITTO, 2013).

Segundo Carmo e Marchi (2013), com o advento da Constituição Federal de 1988, ocorreram mudanças importantes, notadamente através da constitucionalização do planejamento urbano como princípio constitucional, com objetivo de ordenar o desenvolvimento das funções sociais das cidades e garantir o bem-estar de seus habitantes, e posteriormente a regra constitucional foi regulamentada com a edição do Estatuto das Cidades e da Lei de Saneamento nº 11.445/2007.

Diante disso, o marco da evolução da política de planejamento urbano no Brasil foi a edição da Constituição Federal de 1988, embora já vigorasse a Lei Federal n.º 6.938/81 que criou o Sisnama (Sistema Nacional de Meio Ambiente). Entretanto, quando o assunto é planejamento de drenagem ou plano diretor de drenagem, conforme Cruz, Souza e Tucci (2007), normas são apresentadas, como embrionárias da política de drenagem vigente, a saber (Quadro 1):

Quadro 1 – Cronologia da legislação sobre drenagem urbana do Brasil.

Cidade	Ano	Assunto
Belo Horizonte	1996	Plano de Desenvolvimento Urbano previa a possibilidade de impermeabilização total de áreas desde que compensada com a implantação de reservatórios na proporção de 30 litros por metro quadrado de área impermeabilizada.
Niterói – RJ	1997	A Lei nº 1620/1997, regulamentava a aprovação de edificações residenciais unifamiliares e no seu Artigo 19 definia o limite para a taxa de impermeabilização em 90% para a Zona Urbana, dispensando as edificações que apresentarem soluções de aproveitamento de águas pluviais.
Federação	1997	Lei n.º 9.433. Política Nacional de Recursos Hídricos
Santo André - SP	1997	A instituição de mecanismos do tipo “poluidor-pagador” e a Lei Municipal 7.606/97 fixaram a cobrança de taxa sobre o volume lançado no sistema de coleta de pluviais.
Porto Alegre - RS	1999	Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano e Ambiental (PDDUA) previa a obrigatoriedade do controle das vazões geradas excedentes à condição de pré-ocupação da área.
Guarulhos –SP	2000	O Código de Obras de Guarulhos (Lei nº 5.617/1997) prevê, desde o ano 2000, a obrigatoriedade do uso de reservatórios de detenção das águas pluviais para imóveis com área superior a 1 hectare, com a possibilidade de reutilização destas águas para rega de jardins, lavagens de passeio e para fins industriais adequados.
São Paulo	2001	Conselho Municipal de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável (CADES) através da Comissão Especial para a Elaboração de Estudos de Políticas Públicas para o Aumento da Permeabilidade do Solo Urbano alterou a Lei n.º 11.228/92, para reservação de águas pluviais.
Curitiba	2003	Programa de Conservação e Uso Racional de Água nas Edificações (PURA)
Federação	2007	Lei n.º 11.445/2007. Dispõe sobre a Política e Plano de Saneamento Básico (água, esgoto, resíduos e drenagem).

Fonte: Adaptado de Carmo e Marchi (2013).

Perpassadas as experiências e medidas legislativas, o Governo Federal lançou em 2006 um programa denominado Drenagem Urbana Sustentável, sob a gerência do Ministério das Cidades. O programa busca promover políticas de desenvolvimento urbano, uso e ocupação do solo e gestão das bacias hidrográficas, através da proposição de ações estruturais e não estruturais, focando a prevenção, controle e minimização dos impactos decorrentes de inundações em áreas ribeirinhas e no meio urbano (BRASIL, 2006).

Este programa apresenta como medidas prioritárias o desenvolvimento de ações na gestão da drenagem urbana dos municípios, segundo as diretrizes de seu Plano Diretor de Drenagem Urbana ou de Manejo das Águas Pluviais. Caso estes não existam, as ações acerca da

drenagem urbana do município deverão seguir os princípios do manejo sustentável das águas pluviais urbanas (BRASIL, 2006).

Com a aprovação da Lei nº 11.445/2007, que institui a Política e o Plano de Saneamento Básico, novas exigências foram impostas aos municípios com relação ao diagnóstico e o planejamento do saneamento básico, que engloba a drenagem urbana, contribuindo definitivamente para a criação ou aperfeiçoamento dos sistemas de drenagem urbana.

A gestão da drenagem urbana em grande parte do Brasil ainda se concentra numa fase higienista, com métodos corretivos de controle quantitativo da drenagem. Embora o desenvolvimento urbano esteja acompanhado de desequilíbrio e desorganização, com reflexo negativo no controle das águas, a gestão da drenagem urbana na maioria dos municípios brasileiros ainda não recebe a importância devida, dada a ausência de um planejamento específico para o setor (CARMO; MARCHI, 2013).

De uma forma geral, o gerenciamento da drenagem urbana no Brasil é realizado pelas secretarias de obras municipais e se apresenta desvinculado das ações planejadas para os demais setores relacionados, como água, esgoto e resíduos sólidos.

De acordo com a Pesquisa Nacional de Saneamento Básico (PNSB) de 2008 (IBGE, 2010), em 98,64% dos municípios, o serviço de drenagem urbana é prestado pelas próprias prefeituras municipais, normalmente sob a incumbência das secretarias municipais de obras e serviços públicos.

Apesar disso, ainda segundo a sobredita pesquisa, apenas 18% dos municípios brasileiros apresentam instrumentos reguladores do serviço de manejo de águas pluviais, com destaque para a Região Nordeste, que apresentou o menor percentual de municípios detentores de tais instrumentos, 9,6% (Tabela 2).

Tabela 2 - Municípios com manejo de águas pluviais, por existência de instrumentos reguladores, segundo as grandes regiões, em 2008.

Grandes Regiões	Municípios						
	Total	Com instrumentos legais reguladores do serviço de manejo de águas pluviais					
		Total	Tipo de instrumento				
		Plano Diretor de Manejo de Águas Pluviais	Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano	Plano Diretor de Recursos Hídricos	Plano Diretor Integrado de Saneamento Básico		
Brasil	5564	1001	141	551	72	58	327
Norte	449	65	8	36	1	6	18
Nordeste	1793	173	21	110	9	5	47
Sul	1668	322	54	183	39	30	95
Sudeste	1188	365	53	195	19	16	127
Centro-Oeste	466	76	5	27	4	1	40

Fonte: PNSB – 2008 (IBGE, 2010).

O gerenciamento da drenagem urbana está intrínseco à gestão do espaço urbano, e esta se realiza por meio dos chamados Planos Diretores de Urbanização (PDU) ou de Uso e Ocupação do Solo Urbano.

Conforme observado na tabela anterior (Tabela 2), dos 18% dos municípios brasileiros que possuem instrumentos legais para os serviços de manejo de águas pluviais, 55% deste total possuem PDU e apenas 14% possuem Plano Diretor de Águas Pluviais.

Ainda assim, boa parte dos planos existentes concentra sua abordagem em aspectos arquitetônicos e urbanísticos, sem um maior aprofundamento nas questões ambientais e principalmente de drenagem. Isto mostra a carência de instrumentos legais adequados aos cenários de planejamento urbano integrado a infraestrutura de drenagem.

A ausência destes instrumentos de gestão acarreta numa série de problemas de infraestrutura das cidades, refletindo-se negativamente na eficiência dos sistemas de drenagem implantados. A Tabela 3 mostra o percentual de municípios brasileiros que sofreram inundações e/ou alagamentos por fatores agravantes.

Tabela 3 - Percentual de municípios brasileiros que sofreram inundações, segundo os fatores agravantes.

Fatores Agravantes	Percentual de municípios que sofreram inundações (%)
Dimensionamento inadequado de projeto	30,70
Obstrução de bueiros, bocas de lobo, etc.	45,10
Obras inadequadas	31,70
Ocupação intensa e desordenada do solo	43,10
Lençol freático alto	15,80
Interferência física no sistema de drenagem	18,60
Desmatamento	21,30
Lançamento inadequado dos resíduos sólidos	30,70
Outros	19,30

Nota: Um mesmo município pode apresentar mais de um fator agravante das inundações.

Fonte: PNSB – 2008 (IBGE, 2010).

Contata-se na Tabela 3 que boa parte dos problemas inerentes à drenagem de áreas urbanas são ocasionados pela obstrução de bueiros e bocas de lobo (45,10%) e pela ocupação desordenada do solo (43,10%). A ocorrência deste último fator, como principal causador de inundações dos municípios brasileiros, é consequência da insuficiência de instrumentos legais e norteadores do processo de urbanização das cidades brasileiras, além da falta de fiscalização do controle urbano, como discutido anteriormente.

Diante disso, de uma forma geral, observa-se que os principais impactos provocados pelas águas urbanas decorrem de: falta de planejamento urbano, ausência no controle do uso do solo, ocupação de áreas de risco e sistemas de drenagem inadequados.

No contexto do planejamento urbano, também se cita a influência das obras de pavimentação como transformadoras de grandes espaços urbanos em áreas impermeabilizadas. Segundo os dados da Pesquisa Nacional de Saneamento Básico de 2000 e 2008, durante este período, o contingente de municípios brasileiros que informaram possuir ruas pavimentadas foi de 78,3% para 94,4% do total, representando um crescimento de 20,6%, com maior incremento verificado na Região Norte.

A ocorrência deste fato pode indicar uma possível fragilidade nos sistemas de drenagem já existentes, uma vez que este incremento resultará no aumento do volume de água escoado e diminuição do tempo de escoamento.

Outro aspecto de interesse refere-se ao tipo de sistema de drenagem de águas pluviais implantado nas ruas pavimentadas. A Tabela 4, elaborada a partir dos dados da Pesquisa Nacional de Saneamento Básico de 2000 e 2008, mostra os percentuais de ruas pavimentadas por tipo de sistema de drenagem (redes superficial ou subterrânea), nas grandes regiões brasileiras.

Tabela 4 - Percentual de municípios com ruas pavimentadas na área urbana, por tipo de sistema de drenagem, em 2000 e 2008.

Grandes Regiões	Percentual de municípios com ruas pavimentadas na área urbana, por tipo de sistema de drenagem (%).			
	Drenagem Superficial		Drenagem Subterrânea	
	2000	2008	2000	2008
Brasil	80,4	94,0	85,3	76,5
Norte	95,9	99,5	61,5	46,9
Nordeste	85,9	97,5	65,0	53,3
Sudeste	83,1	94,9	96	92,8
Sul	67,2	86,6	99,4	95,1
Centro-Oeste	81,6	92,0	82,2	78,0

Fonte: PNSB – 2000/2008 (IBGE, 2010).

De acordo com a Tabela 4, verifica-se que houve um aumento de ruas pavimentadas com sistema de drenagem superficial entre o ano 2000 e 2008 em todas as grandes regiões brasileiras. Tal acréscimo tende a provocar um aumento na velocidade de escoamento das águas devido à baixa ou quase inexistente permeabilidade do solo resultante da impermeabilização, provocada pela pavimentação de ruas e avenidas.

Em contrapartida, ainda na Tabela 4 observou-se uma redução percentual dos sistemas de drenagem subterrânea, podendo resultar em danos à saúde, à segurança e ao bem-estar da sociedade.

O quadro geral do setor de saneamento no Brasil demonstra uma séria deterioração na qualidade dos serviços. Falta uma política adequada ao setor e a necessidade de altos investimentos. Verifica-se a necessidade de mudança na concepção de projeto e de planejamento atualmente adotada pela maioria dos técnicos e dos tomadores de decisão que atuam na drenagem urbana (RIGHETTO; MOREIRA; SALES, 2009).

Os investimentos públicos em drenagem urbana, de um modo geral, têm valorizado intervenções estruturais, ou seja, predomina a obra em detrimento de ações de planejamento e prevenção. No entanto, obras de canalização, apesar do alto custo, demonstram baixa eficácia na capacidade de controle de cheia. Atualmente, o Governo Federal, através do Ministério das Cidades com recursos do Orçamento Geral da União, tem empreendido esforços no sentido de viabilizar o financiamento de projetos de drenagem urbana sustentável no Brasil (RIGHETTO; MOREIRA; SALES, 2009).

2.2.2 Gestão da drenagem urbana na cidade do Recife

O modelo de gestão da drenagem urbana eficiente prevê um sistema de drenagem articulado e integrado aos diversos sistemas atuantes no município, objetivado inicialmente pelo disciplinamento e uso do solo urbano, a fim de garantir a segurança e o bem-estar da população, e permitir a qualidade, segurança e funcionalidade do patrimônio natural e construído da cidade.

No Estado de Pernambuco, segundo a Pesquisa Nacional de Saneamento Básico de 2008 (IBGE, 2010) dos 185 municípios do Estado, apenas 14 deles declararam possuir o PDU até o término da pesquisa, sendo eles: Amaraji, Cabo de Santo Agostinho, Caruaru, Custódia, Gravatá, Jaboatão dos Guararapes, Moreno, Paudalho, Petrolândia, Quipapá, Recife, Santa Cruz do Capibaribe, São José do Egito, São Lourenço da Mata (Tabela 5). Atualmente outros municípios de Pernambuco já possuem PDU, como por exemplo: Paulista, Olinda, Ipojuca, Abreu e Lima, Carpina, Camaragibe e outros (FRAGA, 2013).

Tabela 5 - Municípios de Pernambuco com instrumento legal regulador do serviço de manejo de águas pluviais em 2008.

Instrumento regulador do serviço de manejo de águas pluviais	Municípios	
	Unidades	%
Plano Diretor de Manejo de Águas Pluviais	4	2
Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano	14	8
Plano Diretor de Recursos Hídricos	1	1
Plano Diretor Integrado de Saneamento Básico	3	2
Outros	8	4
Total	27	15

Nota: O município pode ter mais de um tipo de instrumento legal regulador.

Fonte: PNSB – 2008 (IBGE, 2010).

Segundo a Lei Orgânica do Município do Recife, no Art. 124, os serviços de saneamento básico relativos ao abastecimento de água, coleta e disposições de esgotos e de resíduos sólidos, limpeza pública, drenagem e controle de vetores serão planejados, organizados, coordenados, executados e controlados de modo integrado ou unificado com o sistema de saneamento básico de âmbito metropolitano, observadas as legislações federal e estadual.

A prioridade nos serviços de manutenção e limpeza dos sistemas de micro e macrodrenagem nas seis RPA's do município do Recife são baseadas no Diagrama de Pareto, priorizando os termos e estabelecendo as metas numéricas viáveis de serem alcançadas, devendo seguir princípios para a otimização das condições da rede, tais como: disponibilização de equipes de vistorias, orçamento e programação, de execução e fiscalização; adoção de técnicas de manutenção corretiva; limpeza de canais, canaletas e galerias de forma integrada (ALENCAR, 2011 apud PREUSS *et al.*, 2011).

A Lei de Uso e Ocupação do Solo da Cidade do Recife (Luos), instituída pela Lei nº 16.176/96, no Art. 7 define o zoneamento da cidade do Recife, em: Zonas de Urbanização Preferencial – ZUP; Zonas de Urbanização de Morros – ZUM; Zona de Urbanização Restrita – ZUR e Zonas de Diretrizes Específicas – ZDE. A citada lei, no Art. 65, também estabelece o percentual mínimo da área do terreno a ser mantida em suas condições naturais, tratada com vegetação e variável por zona, definido como Taxa de Solo Natural – TSN.

Apesar de ser previsto em legislação, a taxa de solo natural diante da realidade urbanística da cidade acaba não tendo efeito desejado devido à dificuldade de fiscalização. Monteiro (2010) constata que, mesmo cumprindo o disposto na legislação em vigor, a maioria dos proprietários dos imóveis da cidade realizam obras de reforma posteriormente, reduzindo significativamente o solo natural anteriormente preservado. A pavimentação visando o estacionamento de veículos se destaca entre as reformas mais realizadas, o que aponta para a necessidade de um monitoramento contínuo do controle urbano municipal, com possibilidade de imputação de multa para aqueles que transgredirem o disposto na lei em vigor, no período de aprovação da edificação, como Monteiro recomenda.

No mesmo sentido, para Carvalho (2011), o armazenamento temporário das águas nos lotes, através de pequenos reservatórios, é desafiador na medida em que precisa da contribuição

direta da sociedade na percepção da relação entre a impermeabilização do quintal e a presença de enchentes.

Diante da importância de envolver a população no controle de enchentes, alguns municípios têm se utilizado do conceito de vazão de restrição. Assim, cada lote, de acordo com seu tamanho e da realidade da bacia hidrográfica, tem definida a vazão máxima de água pluvial que pode direcionar para o sistema público de drenagem. Para não ultrapassar este limite, visto que essa medida tem sido usada para a permissão de novas construções, os empreendedores devem adequar seus projetos do ponto de vista da infiltração e/ou da existência de reservatórios, que podem permitir o uso da água de chuva de diversas maneiras (BRASIL, 2005).

No caso da Prefeitura do Recife, através do substitutivo ao Projeto de Lei nº 06/2006, o qual promove a revisão do Plano Diretor da Cidade do Recife (PDCR), estabelece em sua lei, em sua Subseção III, as seguintes exigências aos empreendimentos quanto ao manejo das águas pluviais:

- Nos empreendimentos que possuam áreas superiores a 5.000 m² (cinco mil metros quadrados), o empreendedor deverá apresentar projeto específico de absorção e retenção de águas pluviais de modo a garantir o equilíbrio do sistema;
- O empreendimento que apresentar área de impermeabilização do lote superior a 50% (cinquenta por cento) da área total, deverá compensar a área impermeabilizada mediante implantação de sistema que garanta a drenagem de 30 l/h.m² (trinta litros por hora para cada metro quadrado) de área impermeabilizada.

Assim, todo empreendimento a ser construído na cidade do Recife, que seja enquadrado no Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano como gerador de impacto, é submetido à análise da CTTU (Companhia de Trânsito e Transporte Urbano), Secretaria de Meio Ambiente, Secretaria de Cultura e Emlurb. Para análise da drenagem, a Emlurb exige o controle das águas pluviais geradas no respectivo lote, devendo o empreendedor apresentar o projeto de drenagem que atenda a esse requisito (ALENCAR, 2013).

Recentemente, na cidade do Recife, está em vigência desde 12 de janeiro de 2015, a Lei Municipal Nº 18.112, que dispõe sobre a obrigatoriedade de instalação do “telhado verde”, e

construção de reservatórios de acúmulo ou de retardo do escoamento das águas pluviais para a rede de drenagem.

Segundo a referida lei, os projetos de edificações habitacionais multifamiliares com mais de quatro pavimentos e não habitacionais com mais de 400m² de área de coberta deverão prever a implantação de telhado verde para a aprovação do órgão gestor da drenagem na cidade. Para lotes com área superior a 500 m² (quinhentos metros quadrados), edificados ou não, com área impermeabilizada superior a 25% (vinte e cinco por cento) da área total do lote deverão ser executados reservatórios de águas pluviais como condição para aprovação de projetos iniciais.

Em Porto Alegre, Tassi (2002) apresentou uma solução para utilização de reservatórios em lotes de 300 m² e 600 m². O resultado apresentado por ela foi de 4,2 m³ para lotes de 300 m² e 8 m³ para lotes de 600 m². No caso do Recife, com a vigência da sobredita lei, e considerando as áreas dos lotes já mencionados (300m² e 600m²), observa-se que a capacidade total calculada para os reservatórios de acumulação será de 2,7m³ e 5,4m³, respectivamente, enquanto que para os reservatórios de retardo o volume calculado foi de 4,5m³ e 9m³.

O Código do Meio Ambiente, no Art. 26, define que o serviço urbano de drenagem pluvial deve obedecer ao Plano Diretor de Drenagem do Município do Recife, conforme diretrizes estabelecidas no PDCR, devendo ser asseguradas à população condições necessárias a uma melhor qualidade de vida, através de ações voltadas à saúde do indivíduo e da coletividade. Também define como prioritárias, para as ações de implantação e manutenção do sistema de drenagem, as áreas que indiquem a existência de problemas de segurança.

Ainda sobre o Código do Meio Ambiente, o Art. 27 expressa que na elaboração do Plano Diretor de Drenagem deverão ser observados: o percentual de Taxa de Solo Natural (TSN), mantido no interior dos lotes por zona, conforme definido na Luos; as áreas de recarga dos aquíferos; as Unidades de Conservação Municipais. O Art. 28 determina que a manutenção do sistema de drenagem inclua a limpeza e desobstrução da malha de macro e microdrenagem e as obras civis de recuperação dos elementos físicos construídos, visando à melhoria das condições ambientais, para os fins previstos no PDCR.

No PDCR, o Art. 61 determina que o serviço público de drenagem urbana deva objetivar o gerenciamento da rede hídrica no território municipal, visando o equilíbrio sistêmico de absorção, retenção e escoamento das águas pluviais.

O citado Art. 61 também define que o Plano Setorial de Macrodrenagem é um instrumento de planejamento e deverá indicar intervenções estruturais, medidas de controle e monitoramento, definindo critérios para o uso do solo compatível com os serviços de drenagem, considerando as bacias hidrográficas do Recife e de seus municípios limítrofes. O Plano Setorial de Macrodrenagem também deverá considerar como prioritárias as intervenções que visem minimizar os efeitos do fenômeno de aquecimento global na elevação do nível dos oceanos.

No Art. 62 do PDCR, ficam estabelecidas como ações prioritárias no manejo das águas pluviais: definir mecanismos de fomento para usos do solo compatíveis com áreas de interesse para drenagem, como parques lineares, área de recreação e lazer, hortas comunitárias e manutenção da vegetação nativa; implantar medidas de prevenção de inundações, incluindo controle de erosão, especialmente em movimentos de terra, controle de transporte e deposição de entulho e lixo, combate ao desmatamento, assentamentos clandestinos e outros tipos de ocupações nas áreas com interesse para drenagem; e investir na renaturalização e melhoria das calhas fluviais e na recuperação dos sistemas de macro e microdrenagem.

Para cumprir com os objetivos de assegurar o fluxo e escoamento das águas de forma segura para a população e suas atividades, além de toda a legislação em vigência que trata da drenagem urbana na cidade do Recife, também é importante que haja a articulação entre os principais sistemas atuantes no município, permitindo uma visão integrada da drenagem urbana no contexto dos sistemas de disciplinamento e controle do uso do solo; mobilidade urbana; meio ambiente; coleta, tratamento e disposição dos esgotos; limpeza urbana; monitoramento climático e defesa civil.

Diante disso, analisando o ambiente do sistema de gestão da drenagem urbana na perspectiva dos atores dos sistemas anteriormente indicados, verifica-se que há um grande número de atores públicos da municipalidade recifense e do governo estadual. Neste sentido, foi elaborado o Quadro 2 que apresenta os atores municipais e estaduais, atualmente operadores dos sistemas de interesse da drenagem urbana na cidade do Recife, e suas atribuições.

Quadro 2 – Atores municipais e estaduais relacionados com a gestão da drenagem urbana da cidade do Recife.

Atores Municipais	Secretaria Municipal do Meio Ambiente	Estrutura gestora do sistema de meio ambiente que estabelece normas e padrões a serem observadas na regulação das atividades e seus impactos ambientais.		
	Secretaria de Infraestrutura e Serviços Urbanos	Atua no planejamento e execução das obras e intervenções de infraestrutura da cidade, especialmente as relacionadas com o sistema viário, equipamentos urbanos de maior porte e as de estabilização e contenção das encostas. É ainda a Secretaria à qual se vinculam a Emlurb e a URB, às quais competem, a operação e manutenção da drenagem urbana, além da elaboração de projeto e construção dos componentes da drenagem urbana.	Emlurb – Empresa de Manutenção e Limpeza Urbana	Estrutura operacional que concentra na Diretoria de Limpeza Urbana os recursos e ações para a coleta do lixo, capinação, poda e destinação final; na Diretoria de Manutenção Urbana as ações e recursos relacionados com a operação e manutenção do pavimento, iluminação pública, drenagem urbana, parques e praças; e na Assessoria Sócio Ambiental os recursos para educação ambiental. Constitui, portanto, a atual unidade gestora do sistema de drenagem urbana da cidade.
			URB – Empresa de Urbanização	Responsável pelo desenvolvimento de projetos e condução das obras dos sistemas e infraestruturas urbanas, incluindo as de drenagem urbana.
	Secretaria de Saneamento	Responsável pela coordenação e desenvolvimento das políticas públicas municipais de saneamento ambiental, o que inclui a drenagem urbana e o acompanhamento e regulação das concessões para a prestação dos serviços de águas e esgotos.		
	Secretaria de Mobilidade e Controle Urbano	Responsável pelo planejamento do sistema viário e coordenação das ações de mobilidade urbana e de controle urbano, vinculando com esses propósitos as estruturas da CTTU e Dircon.	CTTU – Companhia de Trânsito e Transporte Urbano	Responsável pelo disciplinamento e regulação do trânsito e do transporte urbano, visando garantir a mobilidade urbana.
			Dircon – Diretoria de Controle Urbano	Responsável pelo licenciamento e controle das atividades e uso do solo, competindo-lhe assegurar a observância das posturas municipais e as intervenções que impeçam usos e ocupações ilegais, incluindo as ações de remoção e correção se necessário.
	Secretaria de Planejamento	Responsável pelo planejamento do desenvolvimento urbano, tanto físico-territorial quanto econômico e social, estabelecendo as visões de futuro e as normatizações legais que permitam induzir o crescimento e o desenvolvimento da cidade no sentido desejado pela sociedade.		
	Secretaria de Habitação	Atua na formulação das políticas públicas habitacionais e na coordenação das ações que promovam o acesso à moradia pelas populações de baixa renda, incluindo a regularização fundiária e as realocações em caso das ocupações por moradias de áreas impróprias e inseguras.		
Comissão de Defesa Civil do Recife – CODECIR	Estrutura integrante do sistema de defesa civil, responsável pela coordenação das ações de defesa civil, incluindo as decorrentes de eventos relacionados com os problemas de drenagem urbana.			
Atores Estaduais	Secretaria de Meio Ambiente e Sustentabilidade – SEMAS	Responsável pela articulação e coordenação dos planos e ações relacionados à área ambiental.	CPRH – Agência Estadual de Meio Ambiente	Responsável pelo licenciamento e fiscalização ambiental, além de promover ações de educação ambiental, normatização, controle, regularização, proteção, conservação e recuperação dos recursos naturais.
	Secretaria de Desenvolvimento Econômico – SDEC (Secretaria Executiva de Recursos Hídricos)	Criada recentemente, dentre suas atribuições, é responsável pela política estadual de desenvolvimento e conservação dos recursos hídricos e a coordenação das ações de saneamento ambiental, incluindo o apoio e suporte aos municípios em termos de drenagem urbana, tendo vinculada à sua estrutura a Apac – Agência Pernambucana de Águas e Clima e a Compesa – Companhia Pernambucana de Saneamento.	Apac – Agência Pernambucana de Águas e Climas	Planejar e disciplinar os usos múltiplos da água em âmbito estadual, realizar monitoramento hidrometeorológico e previsões de tempo e clima no Estado. Constitui, portanto, a unidade gestora do sistema de monitoramento climático e hidrológico, devendo fornecer as informações quanto às ocorrências de eventos climáticos adversos, permitindo antecipar as operações especiais de drenagem.
			Compesa – Companhia Pernambucana de Saneamento	Concessionária dos serviços de água e esgotos do Recife, através de delegação da municipalidade estabelecida por convênio. A Compesa realizou recentemente uma concessão administrativa à FOZ, sob a forma de PPP, para gestão dos serviços de esgotos na RMR e município de Goiana por 35 anos.
	Defesa Civil – CODECIPE	Órgão estadual integrante do sistema de defesa civil, cuja atuação se dá em conjunto e articuladamente com a CODECIR.		

	Secretarias, Órgãos e Entidades
	Atribuições/Responsabilidades

Fonte: Elaborado pelo autor.

Além dos instrumentos acima referenciados, o município conta com outros dispositivos importantes visando à implementação de diretrizes para o manejo das águas pluviais e drenagem urbana. Os estudos mais relevantes são comentados a seguir.

O Plano Diretor de Macrodrenagem da Região Metropolitana do Recife, apresentado em junho de 1980, realizado por iniciativa da Secretaria de Planejamento de Pernambuco, sob supervisão direta da Fundação de Desenvolvimento da Região Metropolitana do Recife (Fidem), aborda a definição da chuva de projeto analisando a estimativa do escoamento na macrodrenagem da Região Metropolitana do Recife (RMR). Nele é definida a equação de chuva intensa para a RMR com base nas estações de Olinda (1926 – 1955) e do Curado (1960 – 1976), os quais, após serem descontados os anos com falhas de observações, foram resumidos respectivamente a 15 e 10 anos de registros consecutivos (Acqua-Plan/Fidem, 1980).

O Projeto de Qualidade das Águas e Controle da Poluição Hídrica das Bacias dos Rios Beberibe, Capibaribe e Jaboatão (PQA) elaborado em 1997, identifica na Cidade do Recife 24 áreas afetadas por fenômenos de alagamento. O estudo faz uma recomendação para utilização de tempos de retorno de 10 anos para a microdrenagem e de 20 anos para canais e cursos d'água (PQA/PE, 1997).

No estudo sobre o Plano de Gerenciamento da Drenagem de Águas Pluviais e do Esgotamento Sanitário para a Região Metropolitana do Recife, elaborado pela Agência de Cooperação Internacional do Japão (Jica, 2001), com horizonte de execução até 2020, é diagnosticado que as áreas que apresentam problemas frequentes de inundação e drenagem da RMR estão localizadas principalmente nos municípios de Olinda, Recife e Jaboatão. Contudo, estes são, na sua maioria, problemas de drenagem urbana de pequena escala. O plano ainda prevê o melhoramento da drenagem da cidade do Recife, priorizando 15 áreas críticas de inundação, propondo intervenções estruturais na rede de macro e microdrenagem dessas áreas.

Os planos de gestão existentes são muito importantes, pois possibilitam uma gestão eficiente da drenagem urbana municipal. Contudo, é indispensável implementá-los, o que necessita de vontade política para o desentrave no desenvolvimento do setor.

Apesar disto, o plano diretor de drenagem urbana existente na cidade do Recife, elaborado pela Encibra em 1978, é muito antigo e, atualmente, encontra-se ultrapassado, pois foi fundamentado no paradigma higienista baseado na transferência rápida das águas de chuva para um ponto a jusante através de canalizações.

Atualmente, encontra-se em elaboração o Plano Diretor de Drenagem Urbana do Recife, que apontará soluções integradas para a cidade. Este plano foi selecionado como uma das ações a serem financiadas pelo Ministério das Cidades / Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental, no âmbito do PAC 2 (OGU – Orçamento Geral da União).

2.2.3 Modelagem matemática como ferramenta de suporte à gestão da drenagem urbana

Diante da crescente preocupação com os recursos hídricos e o aumento da complexidade dos sistemas de drenagem urbana, têm-se incrementado o uso de modelos matemáticos, sobretudo, pelas entidades gestoras de sistemas de saneamento, para as quais a sua utilização se revela uma ferramenta útil em nível de operação, planejamento e validação de projeto do sistema (CÂNDIDO, 2013).

O modelo hidrológico é uma das ferramentas desenvolvidas para entender e representar o comportamento da bacia hidrográfica e prever condições diferentes das observadas (TUCCI, 1998). O mesmo autor ressalta que a simulação hidrológica é limitada pela heterogeneidade física da bacia e dos processos envolvidos e o modelo por si só não é um objetivo, mas uma ferramenta para atingir um objetivo. Ainda segundo o autor, o modelo deve ser usado para se antecipar aos eventos, verificando os impactos da urbanização de uma bacia, antes que ela ocorra, possibilitando a adoção de medidas preventivas.

O Quadro 3 apresenta uma relação da natureza dos modelos, sua classificação com as características e usos, para o campo da hidrologia.

Quadro 3 – Alguns modelos usados no gerenciamento de águas pluviais.

Nome	Tipo	Características	Usos
Precipitação-Vazão	Determinístico, empírico, conceitual ou físico.	Calcula a vazão de uma bacia, a partir da precipitação.	Extensão de série de vazão; hidrograma de dimensionamento; previsão em tempo atual, avaliação do uso da terra.
Vazão-Vazão	Determinísticos, empírico, conceitual ou físico.	Calcula a vazão de uma seção, no tempo, a partir de um ponto a montante.	Extensão de séries de vazão para dimensionamento de reservatórios hidrograma de dimensionamento; avaliação das modificações no rio; previsão em tempo real.

Fonte: Adaptado de Tucci (1998).

Alguns dos principais modelos matemáticos de suporte à gestão da drenagem urbana, são apresentados no Quadro 4. Destaca-se, dentre os modelos apresentados, o modelo MOUSE (*Modelling Of Urban Sewer* - Dinamarca 1985), por ser o mais utilizado entre os pesquisadores, e o modelo SWMM (*Storm Water Management Model*), desenvolvido pela *Environmental Protection Agency* – EPA-USA em 1971, o qual vem sendo aprimorado ao longo dos anos por diversos pesquisadores.

Atualmente, o SWMM é o pacote computacional mais utilizado para simulação da drenagem urbana, principalmente por tratar-se de um software livre, dispondo de seu código fonte aberto, colaborando assim para sua utilização em nível mundial nos vários centros de pesquisas.

Como exemplo de utilização do software aplicado no Recife, Cabral *et al.* (2009) utilizou o modelo SWMM para avaliar o sistema de drenagem existente e simular a implantação de um reservatório de detenção, a fim de reduzir os alagamentos no bairro do Espinheiro. Já Silva e Cabral (2014) fizeram uso do modelo para a avaliação de possíveis técnicas compensatórias em drenagem, a fim de evitar o transbordamento do canal do Sanbra, localizado na zona oeste cidade, durante ocorrência de chuvas intensas.

No Brasil, muitos pesquisadores utilizam o modelo ABC (desenvolvido na Universidade de São Paulo – USP) ou o modelo IPH (desenvolvido no Instituto de Pesquisas Hidráulicas da Universidade Federal do Rio Grande do Sul – IPH-UFRGS) para transformação da chuva em vazão (CABRAL *et al.*, 2009).

Quadro 4 – Modelos hidrológicos aplicados à drenagem urbana.

Código	Nome	Agência criadora	Ano
Mouse	Modelling of Urban Sewer	DHI	1985
Hec-Has 4.1	The Hydrologic Engineering Center-River Analysis System	Corps of Engineers – USA	2008
MODCEL	Modelo de Célula	COPPE-UFRJ	2001
SWMM	Storm Water Management Model	EPA-USA	1971
STORM	Storage, Treatment, Overflow Runoff Model	Corps of Engineers-USA	1974
TR-55	SCS Technical Realease 55	SCS	1975
DR3M	Distributed Routing Rainfall-Runoff Model	USGS	1978
IPH-2	Instituto de Pesquisas Hidráulicas	IPH-UFRG	1981
ABC	Análise de Bacias Complexas	Universidade de São Paulo	1985

Fonte: Viessman e Lewis (2002) apud Collodel (2009).

2.3 SOLUÇÕES ALTERNATIVAS OU COMPENSATÓRIAS PARA CONTROLE DA DRENAGEM URBANA

O planejamento da rede de drenagem integrado com o planejamento urbano é o primeiro passo para a adoção de soluções que realmente possam minimizar os problemas relativos às enchentes urbanas. Como na maioria das cidades brasileiras não há esse tipo de planejamento, o que ocorre muitas vezes é a adoção de medidas estruturais para contornar essa falha (TASSI, 2002).

A tendência moderna na área de drenagem urbana é a utilização de dispositivos ou medidas de controle dos escoamentos na fonte. Essas medidas, conhecidas como técnicas alternativas de drenagem, buscam controlar os escoamentos através da recuperação da capacidade de infiltração ou da detenção do escoamento adicional gerada pela superfície urbana.

Baptista *et al.* (2005) denomina essas técnicas como dispositivos que buscam neutralizar os efeitos da urbanização sobre os processos hidrológicos, com benefícios para a qualidade de vida e a preservação ambiental.

Para Cordeiro Netto (2004), a política que se baseia na canalização dos escoamentos, apenas transferindo para jusante as inundações, faz com que a população tenha duas despesas: custo de sistema clássico de drenagem mais alto e maiores inundações. Portanto, esse autor apresenta os seguintes princípios modernos de controle da drenagem:

- Os novos desenvolvimentos não podem aumentar ou acelerar a vazão de pico das condições naturais (ou prévias aos novos loteamentos);
- Considerar o conjunto da bacia hidrográfica para controle da drenagem urbana;
- Evitar a transferência dos impactos para jusante;
- Valorizar as medidas não estruturais (educação tem papel fundamental);
- Implementar medidas de regulamentação e instrumentos econômicos.

Souza (2013) ressalta que o meio acadêmico brasileiro muito avançou no desenvolvimento de técnicas e abordagens inovadoras para a drenagem urbana. As técnicas compensatórias (BAPTISTA *et al.*, 2005) inseridas no conceito de Boas Práticas de Manejo (do termo inglês, *Best Management Practices* – BMP), as abordagens LID – *Low Impact Development* (Desenvolvimento Urbano de Baixo Impacto), descritos em Souza, Cruz e Tucci (2012) e WSUD – *Water Sensitive Urban Design* (2013) ou SuDS – *Sustainable Drainage Systems* (2013), mais recentemente sendo trabalhados, passaram também a ser cobrados no meio técnico.

O Quadro 5 apresenta uma lista das medidas de controle na fonte, se apresentando como principais técnicas compensatórias em drenagem urbana comumente adotadas, identificando sua principal característica, função e efeito.

Quadro 5 - Lista de medidas de controle na fonte.

Obra	Característica Principal	Função	Efeito
Pavimento Poroso	Pavimento com camada de base porosa como reservatório.	Armazenamento temporário da chuva no local do próprio pavimento. Áreas externas ao pavimento podem também contribuir.	Retardo e/ou redução do escoamento pluvial gerado pelo pavimento e por eventuais áreas externas.
Trincheira de infiltração	Reservatório linear escavado no solo preenchido com material poroso.	Infiltração no solo ou retenção, de forma concentrada e linear, da água da chuva caída em superfície limítrofe.	Retardo e/ou redução do escoamento pluvial gerado em áreas adjacentes.
Vala de infiltração	Depressões lineares em terreno permeável	Infiltração no solo ou retenção, no leito da vala, da chuva caída em áreas marginais.	Retardo e/ou redução do escoamento pluvial gerado em áreas vizinhas.
Poço de infiltração	Reservatório vertical e pontual escavado no solo	Infiltração pontual, na camada não saturada e/ou saturada do solo, da chuva caída em áreas limítrofe.	Retardo e/ou redução do escoamento gerado em áreas contribuintes ao poço.
Micro-reservatório	Reservatório de pequenas dimensões tipo “caixa-d’água” residencial	Armazenamento temporário do esgotamento pluvial de áreas impermeabilizadas próximas.	Retardo e/ou redução do escoamento pluvial de áreas impermeabilizadas.
Telhado reservatório	Telhado com função de reservatório	Armazenamento temporário da chuva no telhado da edificação.	Retardo do escoamento pluvial da própria edificação.
Bacia de Detenção	Reservatório vazio (seco)	Armazenamento temporário e/ou infiltração no solo do escoamento superficial da área contribuinte.	Retardo e/ou redução do escoamento da área contribuinte.
Bacia de Retenção	Reservatório com água permanente	Armazenamento temporário e/ou infiltração no solo do escoamento superficial da área contribuinte.	Retardo e/ou redução do escoamento da área contribuinte.

Obra	Característica Principal	Função	Efeito
Bacia Subterrânea	Reservatório coberto, abaixo do nível do solo	Armazenamento temporário do escoamento superficial da área contribuinte.	Retardo e/ou redução do escoamento da área contribuinte.
Conduitos de Armazenamentos	Conduitos e dispositivos com função de armazenamento	Armazenamento temporário do escoamento no próprio sistema pluvial	Amortecimento do escoamento afluente a macrodrenagem.
Faixas gramadas	Faixas de terrenos marginais a corpos de água	Área de escape para enchentes	Amortecimento de cheias e infiltração de contribuições laterais.

Fonte: Silveira (2002).

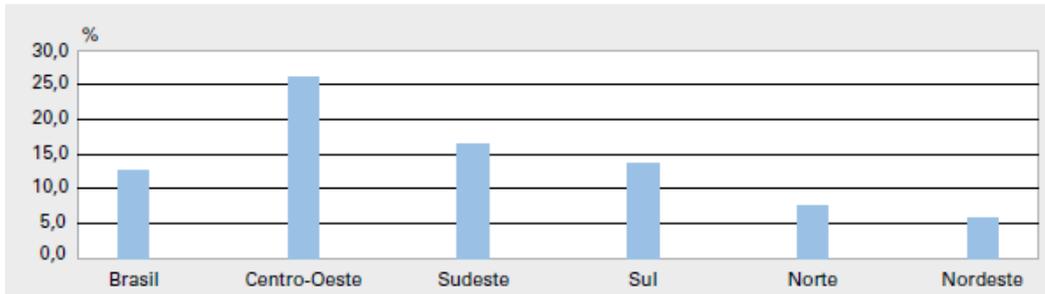
Seguindo as recomendações de Schueler (1987) e Azzout *et al.* (1994) citado por Silveira (2002), há vários fatores que condicionam a escolha da obra de controle de escoamento: área controlada, capacidade de infiltração do solo, freático alto, aquífero em risco, declividade alta, ausência de exutório, consumo de espaço, fundações e redes próximas, restrição de urbanização, afluência poluída, afluência com alta taxa de sedimentos, riscos sanitários e sedimentológicos por má operação, esforços e tráfegos intensos, flexibilidade de projeto, limites dimensionais da medida de controle.

No Brasil, o Ministério das Cidades tem estimulado a utilização de LID para implantação e ampliação de sistemas de drenagem urbana sustentáveis, mas ainda há grande resistência por parte dos projetistas, pois existe pouca divulgação e obras executadas, além da oposição natural a inovações.

Algumas experiências de adoção das medidas de controle na fonte através de instrumentos legais têm sido verificadas em cidades brasileiras, tais como Porto Alegre, Belo Horizonte, São Paulo, Guarulhos e Caxias do Sul, que hoje se apresentam em diferentes estágios de abordagem (CRUZ; SOUZA; TUCCI, 2007).

No entanto, segundo dados da Pesquisa Nacional de Saneamento Básico de 2008 (IBGE, 2010), dos 5.256 municípios brasileiros que declararam possuir manejo de águas pluviais, 12,7% possuíam dispositivos coletivos de detenção e amortecimento de vazão das águas pluviais urbanas (Figura 9).

Figura 9 - Municípios com dispositivo coletivo de detenção ou amortecimento de vazão de águas pluviais urbanas por Região Geográfica – 2008.



Fonte: PNSB – 2008 (IBGE, 2010).

Ainda segundo a Pesquisa, as três Unidades da Federação que apresentaram as maiores proporções de municípios com dispositivos coletivos de detenção e amortecimento de vazão das águas pluviais urbanas foram: Mato Grosso do Sul (53,8%); Paraná (31,8%); e Mato Grosso (28,6%). No outro extremo, destacaram-se os Estados do Piauí (0,9%), Tocantins (2,9%) e Santa Catarina (3,1%). Chama a atenção o Estado do Amapá: dos três municípios que declararam possuir manejo de águas pluviais, nenhum apresentou tal equipamento.

No caso de Pernambuco, dos 185 municípios do Estado, 13 deles declararam na citada pesquisa possuir dispositivos coletivos de detenção ou amortecimento de vazão de águas pluviais urbanas, o que demonstra que, apesar de 49,19% dos municípios sofrerem com problemas de inundações, apenas 7% dos municípios apresentam estruturas para controle de enchentes (IBGE, 2010).

Fraga (2013) afirma que, ainda há uma grande inércia para a implementação de tais abordagens, diante não apenas da falta de capacitação técnica, mas também pelo alto grau de degradação das bacias urbanas brasileiras, estabelecido pela intensa impermeabilização do solo, não dispondo de áreas necessárias para a implantação destas técnicas.

No âmbito do cenário recifense, algumas importantes intervenções (Quadro 6) visando à eficiência da drenagem na cidade foram realizadas pela Prefeitura do Recife, através da Empresa de Manutenção e Limpeza Urbana (Emlurb): o sistema de comportas do canal Derby-Tacaruna; a drenagem forçada na Avenida Recife; e o microrreservatório, localizado entre as Ruas Santo Elias e Conselheiro Portela, no bairro do Espinheiro.

Também será implantado um sistema de drenagem forçada no canal Derby-Tacaruna, composta por seis bombas próximas às comportas localizadas na altura do Shopping Tacaruna e do Hospital Português.

Quadro 6 – Principais intervenções estruturais realizadas no sistema de drenagem urbana do Recife.

Intervenção	Custo da Obra	Financiamento	Funcionamento / Resultados
Sistema de comportas do canal Derby-Tacaruna.	R\$ 850.000,00	Prefeitura do Recife e Ministério do Meio Ambiente.	As portas de ferro têm três metros de altura e descem ao nível do canal, encontrando-se com uma prancha de madeira de mesma espessura, que desce seis metros de profundidade no canal. Quando a maré for atingir 2,20m, as comportas serão fechadas eletronicamente, evitando que as águas avancem pelo canal.
Sistema de bombeamento na Avenida Recife.	R\$ 1.800.000,00	Ministério da Integração Nacional e Prefeitura do Recife.	Sistema de drenagem forçada composta por três bombas com capacidade total de vazão de 3 m ³ /s, as quais efetuam o recalque das águas pluviais, auxiliando na drenagem de uma área com mais de 50ha, em eventos de chuva e maré alta.
Microrreservatório no bairro do Espinheiro.	R\$ 336.446,54.	Prefeitura do Recife.	Antes da construção do reservatório, os alagamentos chegavam a cerca de 50 centímetros nos eventos chuvosos mais intensos. Após a construção do microrreservatório ocorreram alguns alagamentos, porém com níveis bem inferiores.

Fonte: Adaptado de Silva Junior e Silva (2014).

Melo *et al.* (2013) propõem soluções de drenagem não convencional para áreas específicas de Recife, buscando aliar o planejamento urbano com a concepção da drenagem urbana da cidade, baseada na divisão territorial apresentada pelo Plano Diretor Urbanístico do município.

Para isto é importante que, com a implementação do Plano Diretor de Drenagem Urbana da cidade, atualmente em elaboração, sejam estabelecidas as diretrizes necessárias para a adoção de técnicas compensatórias estruturais e não estruturais mais indicadas para cada zona do município, considerando as peculiaridades locais e, principalmente a legislação vigente.

Além disso, também é necessário vontade política dos governantes para a tomada de decisões eficientes, ou seja, a escolha de um determinado projeto que priorize a solução definitiva do problema, considerando toda a área de influência com mínimos investimentos e impactos ambientais.

3 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

3.1 PROCESSO DE URBANIZAÇÃO

Para realização desta dissertação, conforme já dito, optou-se em estudar um ponto crítico de alagamentos, localizado no bairro da Soledade, mais especificamente no cruzamento da Avenida João de Barros com a Rua Joaquim Felipe. Sua localização geográfica apresenta as seguintes coordenadas: $-8,053^{\circ}$ (latitude) e $-34,888^{\circ}$ (longitude).

A área em estudo encontra-se situada na RPA 01, que abrange 11 bairros: Bairro do Recife; Santo Amaro; Boa Vista; Cabanga; Ilha do Leite; Paissandu; Santo Antônio; São José; Coelhos; Soledade; Ilha Joana Bezerra.

Para a consolidação do estudo, foi necessário analisar o incremento do volume de escoamento provocado pela urbanização, a montante do ponto crítico em questão. Diante disso, outros bairros vizinhos ao bairro da Soledade (Boa Vista e Santo Amaro) foram considerados na análise.

Desde a sua origem, as cidades vão passando por transformações, e no Recife não tem sido diferente. A partir do novo desenho dos bairros, em 1988 surgiu o bairro da Soledade, cuja área pertencia ao bairro da Boa Vista. Segundo o Plano Diretor da Cidade do Recife, em 1996, o bairro da Boa Vista possuía a segunda maior área construída do Recife (832.808 m^2), e o bairro de Santo Amaro, a quarta maior área construída (535.696 m^2).

No entanto, levando em consideração o ano 2003, o bairro de Santo Amaro apresentou um crescimento de 49% de área construída, e o bairro da Boa Vista, um crescimento inferior a 20%. Já o bairro da Soledade, de acordo com o Censo do IBGE (2000) e dados da Prefeitura do Recife, é predominantemente residencial, com 1.257 imóveis, seguido por 477 imóveis não residenciais e 352 terrenos.

A Tabela 6 mostra a área e a variação populacional dos bairros de Santo Amaro, Boa Vista e Soledade, para os anos de 1991, 2000 e 2010.

Tabela 6 - Área e evolução populacional dos bairros de Santo Amaro, Boa Vista e Soledade entre os anos de 1991, 2000 e 2010.

Bairros	Área (ha)	População (hab.)		
		1991	2000	2010
Santo Amaro	380	30.095	29.140	27.939
Boa Vista	176	17.059	14.033	14.778
Soledade	32	2.882	2.201	2.495

Fonte: Censos do IBGE 1991, 2000 e 2010.

Diante do crescimento acelerado da área de montante ao ponto de alagamento, grande parte das áreas permeáveis foi se tornando impermeável, tendo como consequência a diminuição da capacidade de infiltração e o aumento do escoamento superficial pelas ruas e avenidas.

Além disso, a infraestrutura de drenagem não acompanhou o processo de urbanização dessas áreas, tornado-a ineficiente diante da sobrecarga das tubulações existentes com vistas na realidade atual. Por causa disto, em períodos chuvosos ocorrem alagamentos que se concentram em trechos da Avenida João de Barros, mais especificamente próximo à Rua Joaquim Felipe.

A Figura 10 mostra, a partir de uma ortofotografia de 2007 da cidade do Recife, a localização do ponto crítico de alagamento e a delimitação dos bairros inseridos na área de abrangência do estudo; e a Figura 11 mostra a área de contribuição ao ponto de alagamento e a área de abrangência definida para o estudo e simulação de alternativas compensatórias, visando à solução para os problemas de alagamentos nos períodos de chuva no local.

É importante ressaltar que a área de abrangência do estudo foi definida a partir do sistema de drenagem integrante ao sistema principal da área estudada, até o seu exutório na foz do rio Capibaribe.

A área de contribuição ao ponto de alagamento apresenta aproximadamente 4,68 ha com perímetro de quase 1.086 m, e a área de abrangência do estudo possui 38,36 ha com perímetro de 4.893 metros e um índice de compacidade (K_c) de 2,23.

Figura 10 - Localização do ponto crítico de alagamento e a delimitação dos bairros inseridos na área de abrangência do estudo.



Fonte: Elaborado pelo autor.

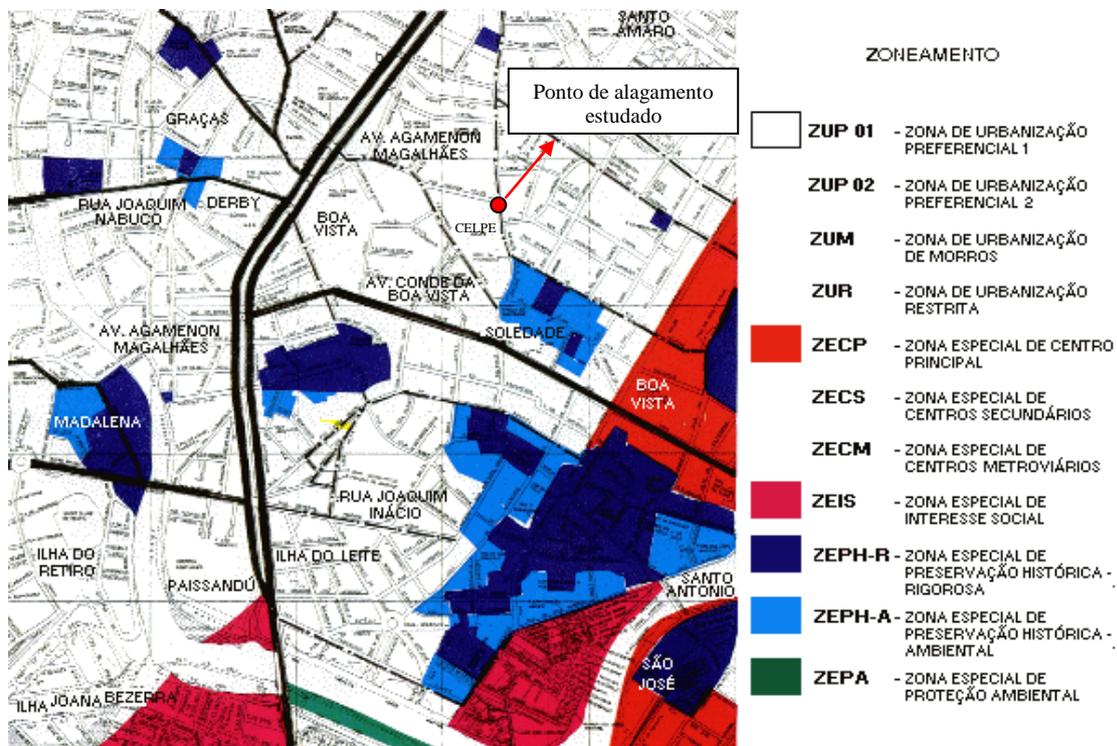
Figura 11 - Área de contribuição ao ponto de alagamento e área de abrangência do estudo.



Fonte: Elaborado pelo autor.

De acordo com a Lei de Uso e Ocupação do Solo da Cidade do Recife (Lei nº 16.176/96), a área de contribuição ao ponto de alagamento encontra-se situada na ZUP 01 (Zonas de Urbanização Preferencial), que, segundo a sobredita lei, no seu artigo 10º, possibilita alto poder construtivo (Figura 12). No Art. 66 da referida lei, a Taxa de Solo Natural (TSN) para a ZUP 01 deverá ser de 25% (vinte e cinco por cento), admitindo-se uma parte tratada com revestimento permeável, desde que sejam preservadas as árvores existentes, na proporção de 10 m² (dez metros quadrados) por árvore, não podendo o somatório dos valores correspondentes às árvores exceder a 5% (cinco por cento) da área total do terreno.

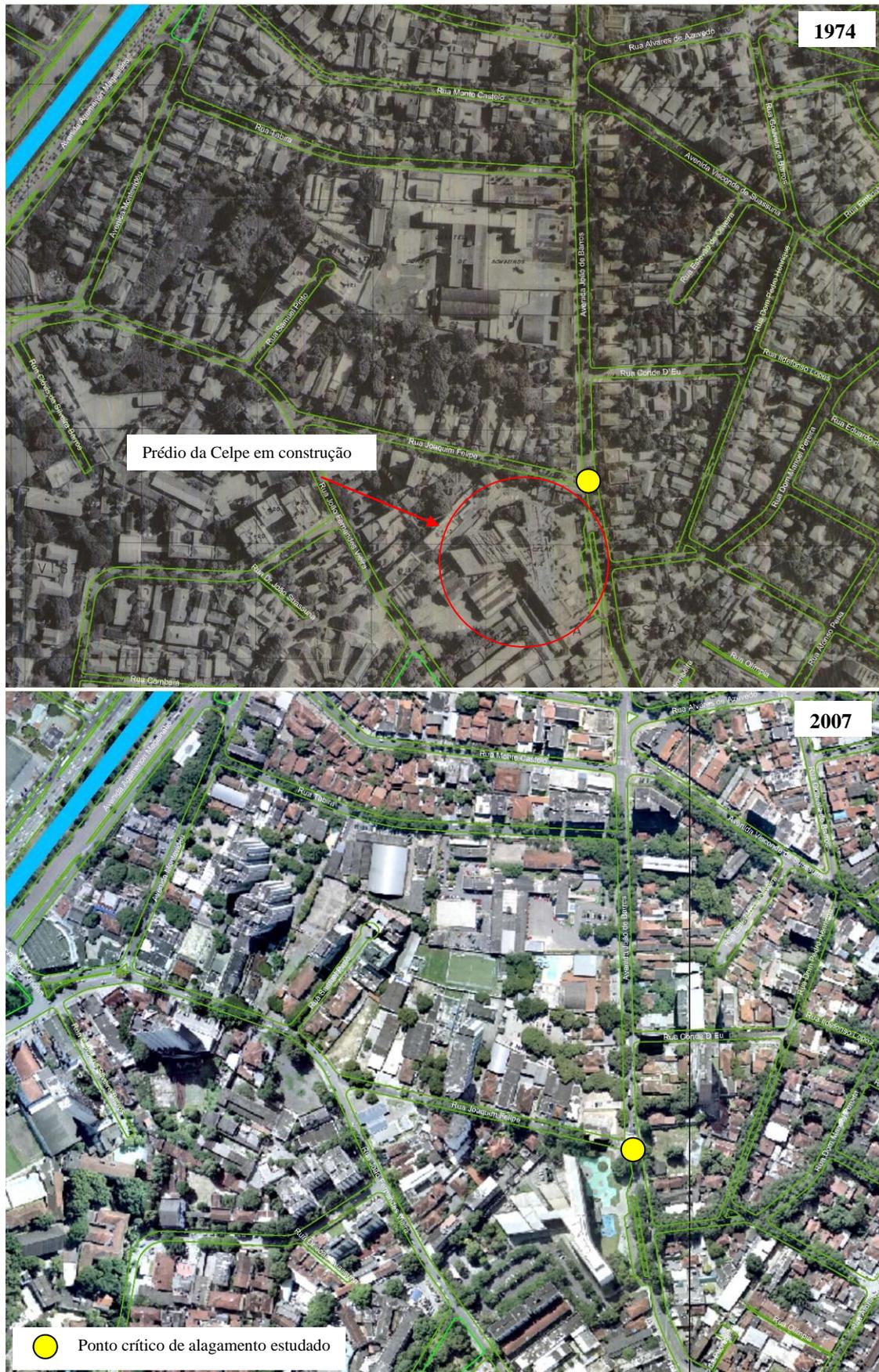
Figura 12 - Mapa de zoneamento da área de estudo.



Fonte: Luos/PE (2014).

O processo de urbanização na área, assim como para todo o Recife, ocorreu principalmente a partir de 1970, como reflexo do aumento populacional registrado entre o período de 1940 a 1970. A Figura 13 mostra imagens históricas aéreas da área de estudo, datadas dos anos de 1974 e 2007. A partir delas é possível observar que não houve avanços significativos no processo de ocupação, uma vez que sua consolidação se deu antes deste período, quando o bairro da Soledade pertencia ao bairro da Boa Vista. Apesar disso, é possível observar algumas mudanças na área através do processo de verticalização, resultando na construção de mais edifícios, como o prédio da Celpe, em destaque na Figura 13.

Figura 13 - Processo de urbanização na área de montante ao ponto crítico de alagamento em estudo.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Com o intenso processo de ocupação da área sem o devido planejamento urbanístico, aliado à falta de infraestrutura de drenagem, é inevitável que ocorram problemas de alagamentos durante eventos chuvosos. Através de um rápido levantamento nos sites de pesquisa da internet pode-se encontrar diversos artigos e reportagens refletindo os problemas que a população da área vem enfrentando nos períodos de chuvas. São apresentados a seguir alguns exemplos fotográficos dos meses de julho, junho e abril de 2013, na área em estudo (Figura 14).

Figura 14 - Sequência de imagens de alagamentos na área em estudo.



“Rua Joaquim Felipe, no bairro de Santo Amaro”. Alagamento provocado pela chuva do dia 15/07/2013.



“Na João de Barros, alagamento causa transtorno para quem passa no local”. Alagamento provocado pela chuva do dia 05/06/2013.



“Situação do cruzamento da Rua Joaquim Felipe com a Avenida João de Barros visto do prédio da Celpe”. Alagamento provocado pela chuva do dia 24/04/2013.

Fonte: FolhaPE (2013); LeiaJá (2013); JConline (2013).

3.2 DIAGNÓSTICO DA REDE DE DRENAGEM EXISTENTE

Algumas visitas de campo foram realizadas no intuito de reconhecer a área em estudo e verificar as causas dos alagamentos que ocorrem atualmente. No dia 24 de maio de 2014, foram percorridos toda a Rua Joaquim Felipe e um trecho da Avenida João de Barros até a Rua do Príncipe, para identificar os elementos de drenagem e suas atuais condições (Figura 15).

Na ocasião da visita, também foi possível a conversa com alguns moradores e comerciantes da área, que informaram, com detalhes, os transtornos causados em dias de chuvas na área em questão. Segundo eles, nos períodos de chuva a altura de alagamento chega próxima dos 30 cm, fazendo com que alguns comerciantes aumentassem o nível do piso de seu comércio em relação à calçada (Figura 16).

Além disso, com o alagamento da via, que ultrapassa o nível da calçada, é vetada a possibilidades dos pedestres transitarem na área, tendo que utilizar o jardim do prédio da Celpe para se deslocar.

Figura 15 - Cruzamento da Avenida João de Barros com a Rua Joaquim Felipe.



Figura 16 - Aumento do nível do piso em relação à calçada.



Fonte: Elaborado pelo autor.

A Rua Joaquim Felipe é um importante eixo viário e possui um tráfego intenso, pois liga outras vias importantes, como a Avenida Agamenon Magalhães e Avenida João de Barros. Durante os eventos de chuva, com a ocorrência de alagamentos, os veículos passam com dificuldades, causando congestionamento no local.

Segundo o cadastro da rede de drenagem da Prefeitura do Recife, cedido pela Emlurb, a rua em questão, com extensão de 250 metros, possui apenas 55 metros de galerias com diâmetro de 300 mm, que se ligam à rede de drenagem da Avenida João de Barros, com diâmetro de 400 mm, e o trecho restante da via possui drenagem superficial através das sarjetas.

Isso se deve ao fato de que, segundo técnicos da Emlurb, a citada rua possui uma câmara subterrânea de telefonia da antiga Telpe, que abrange toda a largura da rua, impossibilitando a implantação de um sistema de drenagem por galerias em toda a extensão da Joaquim Felipe.

Observou-se, a partir de limites topográficos locais, que nem toda a Rua Joaquim Felipe drena para Avenida João de Barros, pois parte das águas pluviais são drenadas pelas sarjetas até a Rua João Fernandes Vieira, sendo conduzidas por meio de seu sistema de drenagem até o canal Derby-Tacaruna.

Durante a visita à Rua Joaquim Felipe, verificou-se que, apesar de as condições topográficas e a rede de drenagem existente serem desfavoráveis, as causas dos alagamentos não podem ser atribuídas somente à falta de capacidade de captação de água das bocas de lobo ou da condução de água pelos condutos.

Percebeu-se uma significativa quantidade de lixo e sedimentos depositados nestas estruturas de drenagem, obstruindo assim a passagem das águas pluviais para os condutos. Isso porque, na rua em questão, existem faculdades e cursos preparatórios, além de comerciantes, que contribuem para o acúmulo de resíduos nestes elementos de drenagem (Figuras 17 e 18).

Figura 17 - Boca de lobo obstruída.



Figura 18 - Resíduos na boca de lobo.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Além disso, trata-se de uma área bastante arborizada, o que exige uma maior atenção quanto aos serviços públicos de limpeza urbana, uma vez que se observou uma grande quantidade de folhas caídas e depositadas nos elementos de drenagem da via. Outro fator importante é que muitas árvores da área estão localizadas próximas às bocas de lobo, favorecendo a invasão das raízes dessas árvores, podendo provocar obstruções, comprometendo assim o desempenho eficiente do sistema de drenagem (Figuras 19 e 20).

Figura 19 - Presença de folhas secas em bocas de lobo.



Figura 20 - Árvores próximas a bocas de lobo.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Também se verificou que vários prédios residenciais e empresariais no local possuem drenagem direta para a rua, sem que haja uma detenção de parte do volume da água de chuva contribuinte à via, gerando, dessa forma, um incremento significativo de volume escoado pela rede de drenagem já deficiente (Figura 21).

Na oportunidade, também foi verificada a presença de esgoto a céu aberto, percorrendo pelas sarjetas e desaguando nas bocas de lobo, comprometendo ainda mais a eficiência do sistema de drenagem local (Figura 22).

Figura 21 - Ligação direta de drenagem de prédio ao elemento de drenagem da via.



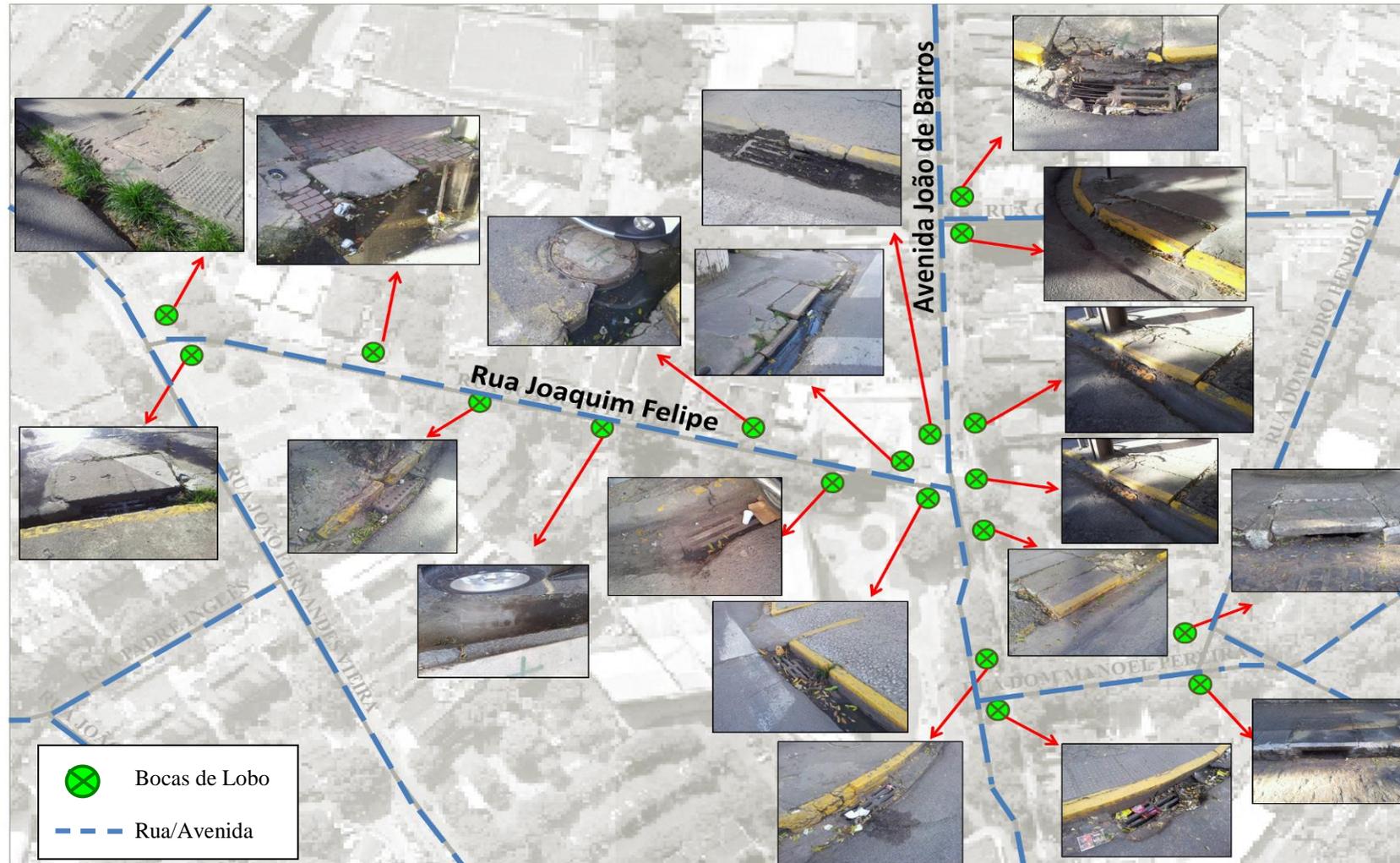
Figura 22 - Presença de esgoto na rede de drenagem.



Fonte: Elaborado pelo autor.

A Figura 23 mostra um mapeamento realizado durante as inspeções de campo, a partir dos registros fotográficos dos elementos de drenagem identificados na área de estudo.

Figura 23 - Mapeamento dos principais elementos de drenagem da área em estudo.



Fonte: Elaborado pelo autor.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

A metodologia empregada para a pesquisa concerne na verificação de medidas atenuantes em drenagem urbana, com vistas à diminuição dos impactos provocados por alagamentos ocorridos em períodos chuvosos, em uma área fortemente urbanizada no município do Recife.

Para a consecução do objetivo principal do presente trabalho, foram consideradas, em linhas gerais, as seguintes etapas: revisão bibliográfica e conceitual, que subsidiaram teoricamente a construção desta pesquisa; etapa de campo para coleta de dados, fotografias aéreas, cadastro da rede de microdrenagem da área; tratamento dos dados levantados; escolha do modelo hidráulico-hidrológico; simulações para a definição da dinâmica do escoamento superficial das águas pluviais na área em estudo; e avaliação das medidas compensatórias em drenagem urbana, visando à diminuição dos problemas de alagamentos enfrentados durante os períodos de chuva intensa.

De uma forma mais específica, apresenta-se a seguir a descrição das principais atividades desenvolvidas durante a dissertação e que serão discutidas mais adiante:

- Articulação com o órgão gestor da drenagem urbana do Recife;
- Seleção do modelo hidráulico-hidrológico a ser utilizado;
- Parâmetros e variáveis de entrada para o modelo;
- Definição das condições de contorno para a simulação; e
- Montagem da rede.

4.1 ARTICULAÇÃO COM O ÓRGÃO GESTOR DA DRENAGEM URBANA DO RECIFE

Inicialmente foram estabelecidos contatos com técnicos e representantes do órgão gestor da drenagem urbana da cidade do Recife, representado pela Empresa de Manutenção e Limpeza Urbana (Emlurb) da Secretaria de Infraestrutura e Serviços Urbanos.

Em seguida foi definido, através de reuniões técnicas, o ponto crítico de alagamento a ser estudado. Os dados necessários para o desenvolvimento da dissertação foram disponibilizados

pela Emlurb, a fim de que os resultados possam servir como uma ferramenta de auxílio ao órgão no que diz respeito à medida compensatória a ser adotada.

Diante dos 159 pontos de alagamentos mapeados pela Emlurb, 32 pontos foram classificados como prioritários e necessitam de ações emergenciais. Entretanto, grande parte destes pontos já passou por intervenções realizadas pela prefeitura, que tem atuado fortemente na eliminação ou atenuação dos problemas de alagamento ocorridos recentemente.

Para a outra parte, composta em sua maioria por problemas de alagamento complexos, é necessário um estudo mais aprofundado para definir as intervenções que deverão ser adotadas, visando à erradicação do problema no local em questão, como é o caso do ponto crítico localizado no cruzamento da Avenida João de Barros com a Rua Joaquim Felipe, no bairro da Soledade, objeto de estudo do presente trabalho.

Com a escolha do ponto crítico a ser estudado, na oportunidade foi cedido o cadastro do sistema de drenagem de águas pluviais existente no bairro da Soledade e bairros vizinhos. Por apresentar um ponto crítico de alagamento que requer solução imediata por parte da prefeitura, o cadastro passou por uma atualização recentemente, melhorando a qualidade da informação cedida.

4.2 SELEÇÃO DO MODELO HIDRÁULICO-HIDROLÓGICO A SER UTILIZADO

Para o atendimento dos objetivos propostos, foi necessária a utilização de um software para a modelação das possíveis alternativas que poderiam ser empregadas para a mitigação do ponto crítico de alagamento estudado.

A aplicação de um modelo hidrológico numa área torna-se necessária para a compreensão dos processos hidráulicos que acontecem na região nos períodos chuvosos e os impactos da urbanização sobre os recursos hídricos.

Para simular as respostas hidrológicas da área em estudo, foi utilizado o modelo hidrológico dinâmico SWMM (*Storm Water Management Model*), com o auxílio do manual do usuário traduzido pelo Laboratório de Eficiência Energética e Hidráulica em Saneamento, da Universidade Federal da Paraíba.

A escolha do SWMM se deu principalmente por atender aos requisitos necessários para a consecução do objetivo proposto a partir dos dados disponíveis, permitindo assim o nível de detalhamento desejado, além de ser um software livre que dispõe de seu código fonte aberto, sendo amplamente utilizado por pesquisadores do mundo todo.

4.2.1 O Modelo SWMM (*Storm Water Management Model*)

O SWMM é um sistema modular, originado em 1971 pela U.S. EPA (*United States Environmental Protection Agency*) e possui um módulo de propagação hidrodinâmica em redes e canais abertos. O pacote deste modelo é bastante completo, pois ele se propõe a resolver problemas qualitativos e quantitativos do escoamento superficial, principalmente em áreas urbanas (Procel-Saneam, 2012).

Trata-se de um modelo hidrológico dinâmico, que, a partir de dados de entrada, simula hidrogramas resultantes. Pode-se determinar a quantidade de escoamento gerado em cada subárea considerada, bem como a vazão, a profundidade do fluxo, a qualidade da água em cada tubulação ou canal, dentre outros aspectos (COLLODEL, 2009).

O modelo é dividido em vários blocos diferentes que podem ser simulados separadamente (COLLODEL, 2009). O bloco “*Runnof*” refere-se à transformação de chuva em vazão; o bloco “*Transport*”, ao transporte na rede de drenagem segundo o conceito da onda cinemática; o bloco “*Extran*”, à modelação hidrodinâmica em condutos e canais; o bloco “*Storage/Treatment*”, à qualidade das águas (GARCIA; PAIVA, 2006); e o bloco “*Statistics*” separa o registro em hidrograma e polutogramas para eventos de chuva independentes, além de fazer cálculos estatísticos e realizar análises de frequência (SMITH, 1992).

O módulo *Runoff* permite a simulação quali-quantitativa do escoamento gerado em áreas urbanas e sua propagação na superfície ou através de canais de forma simplificada. O módulo processa suas rotinas com base em dados de precipitação ou neve, simulando degelo, infiltração em áreas permeáveis (modelos de Horton, Green Ampt ou modelo de infiltração baseado na Curva Número – CN do método SCS), detenção na superfície, escoamento na superfície e em canais, podendo ser utilizado para simulações de eventos isolados ou contínuos.

O escoamento superficial, segundo Bastos (2007), é obtido através de um reservatório não-linear para cada área ou subárea, representado pela combinação das equações de Manning e da continuidade. O usuário do SWMM pode selecionar o nível de sofisticação que deseja para resolver estas equações.

Existem três modelos hidráulicos de transporte de água: fluxo em regime uniforme, onda cinemática e onda dinâmica (ROSSMAN, 2010). Para a análise das sub-bacias, elas são subdivididas em três subáreas; duas subáreas são impermeáveis, com armazenamento por detenção e sem armazenamento por detenção, e a terceira subárea é permeável, com armazenamento na depressão do solo.

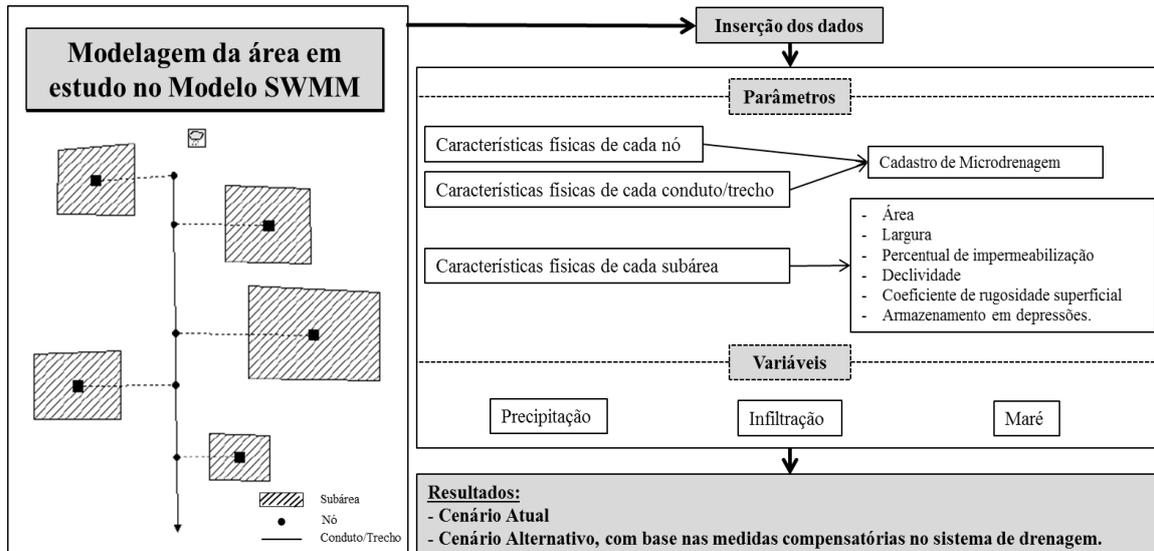
O modelo hidrodinâmico *Extran* propaga o escoamento utilizando as equações completas de Saint Venant, tendo a vazão e a cota piezométrica como variáveis. A solução se dá através de um esquema explícito adiantado no tempo, segundo o método de Euler modificado. Nas simulações são utilizados intervalos de tempo pequenos, menores que 60 segundos, fazendo com que o tempo de simulação seja uma variável importante no uso do modelo (ROESNER; ALDRICH; DICKINSON, 1988).

O módulo simula efeitos de jusante, fluxo reverso, fluxo à superfície livre e ou sob pressão. O sistema de drenagem é concebido a partir dos condutos e junções/nós. Os condutos transmitem o fluxo entre as junções/nós, tendo a vazão como variável dependente. As junções/nós têm características de armazenamento, sendo aplicada às mesmas a equação da continuidade, e ao longo dos condutos a equação da quantidade de movimento.

Este módulo permite a simulação de efeitos de remanso, condutos sob pressão e estruturas especiais, como vertedores, orifícios, bombas e reservatórios. O modelo hidrodinâmico *Extran* utiliza um sistema de nós interligados para a discretização física do sistema de drenagem e a solução matemática por diferenças finitas para as equações completas de Saint Venant para fluxo não permanente gradualmente variado.

Em linhas gerais, e com base no exposto anteriormente, a Figura 24 mostra as principais etapas relacionadas ao emprego do Modelo SWMM na área em estudo, que serão discutidas nos próximos itens desta dissertação.

Figura 24 - Esquema analítico do modelo SWMM.



Fonte: Elaborado pelo autor.

É válido registrar que a versão mais recente, utilizada no presente estudo, é a 5.0.022, que corre em ambiente Windows. Acrescenta-se ainda que o SWMM é um modelo conceitual, determinístico, agregado (módulo hidrológico), distribuído (módulo hidráulico) e permite a simulação de eventos singulares ou contínuos.

4.3 PARÂMETROS E VARIÁVEIS DE ENTRADA PARA O MODELO

Os parâmetros necessários para a simulação hidrológica chuva-vazão da área em estudo são, além das informações de cadastro da infraestrutura de drenagem existente, as características físicas de cada subárea contribuinte a este sistema de drenagem (área, percentual de área permeável e impermeável, largura representativa, declividade, coeficiente de rugosidade de Manning e altura do armazenamento em depressões).

Além disso, variáveis como precipitação, infiltração e maré também foram consideradas neste processo, os quais serão detalhados a seguir.

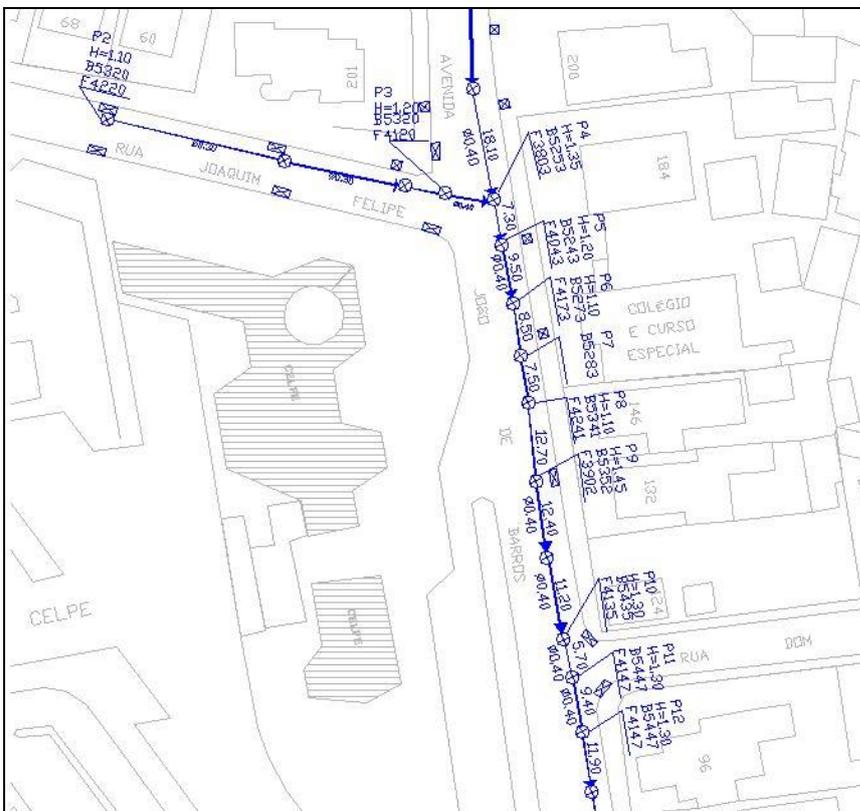
4.3.1 Cadastro da microdrenagem da área

O cadastro do sistema de drenagem de águas pluviais da área em estudo foi cedido em meio digital, no ambiente CAD, pela Secretaria de Infraestrutura e Serviços Urbanos – Empresa de Manutenção e Limpeza Urbana (Emlurb), da Prefeitura do Recife. Este cadastro não estava

completo, sendo complementado com as informações da planta cadastral do sistema de microdrenagem do Recife, realizado pela Compesa na década de 80, também cedidas pelo órgão em meio impresso na escala de 1:1.000.

Além disso, foram realizados pela Emlurb levantamentos topográficos complementares de alguns poços de visita, objetivando a melhoria do dado cedido. A Figura 25 mostra um recorte do cadastro do sistema de águas pluviais existente e utilizado na modelagem.

Figura 25 - Recorte do cadastro do sistema de drenagem em ambiente CAD.



Fonte: Elaborado pelo autor.

4.3.2 Delimitação e caracterização das subáreas

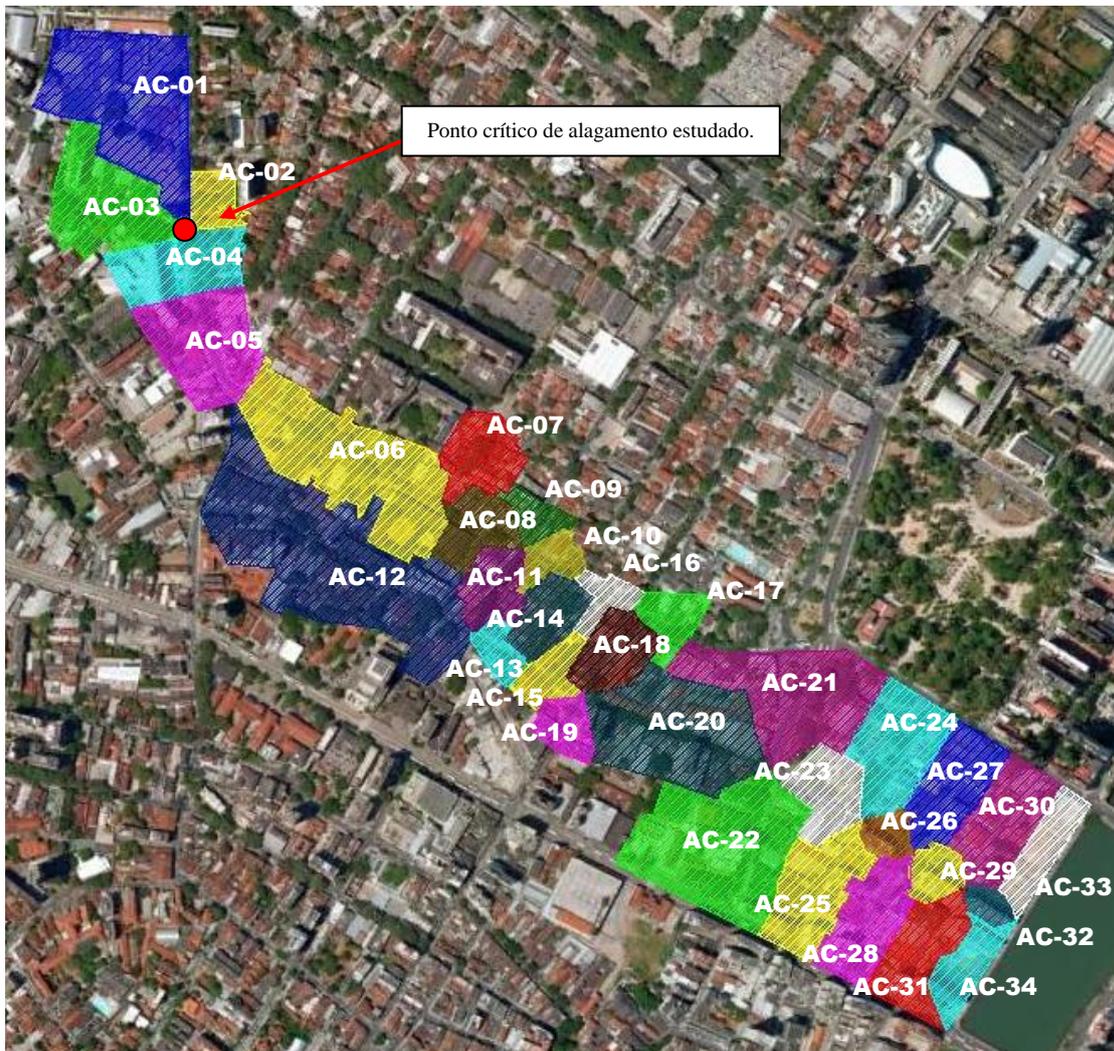
Diante da definição da área da abrangência do estudo e da área de contribuição ao ponto de alagamento, apresentadas no item 3.1, foram realizadas as subdivisões de cada área de contribuição a cada poço de visita considerado no modelo.

Estas áreas foram obtidas no ambiente CAD a partir das unibases do local estudado, tendo como base a delimitação dos lotes e quadras, bem como a topografia da área e os subsistemas de microdrenagem existentes, a partir do cadastro de drenagem disponibilizado pela Emlurb.

Em alguns casos, com a ausência do cadastro da rede de drenagem, utilizaram-se apenas a topografia e a configuração das quadras e lotes, além de inspeções em campo, para a delimitação das subáreas.

A Figura 26 mostra as subáreas de contribuição determinadas para os poços de visita considerados no estudo.

Figura 26 - Subáreas de contribuição para os poços de visitas.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Uma vez definidas as áreas de contribuição, outras características de cada subárea foram obtidas para inserção no modelo, a saber:

- Taxa de impermeabilização

Para determinação deste parâmetro, foram utilizadas as imagens de ortofotos do Recife referente ao ano de 2007, e a partir do AutoCAD foi possível trabalhá-las com o objetivo de cadastrar as áreas verdes ou de solo exposto dos lotes e praças. Este processo foi validado a partir das imagens mais atuais do Google Earth. A Figura 27 mostra um exemplo do cadastramento dessas áreas realizado em ambiente CAD.

Durante o cadastramento dessas áreas, observou-se um percentual muito pequeno de áreas permeáveis na área de estudo, uma vez que a mesma possui um processo de ocupação já bastante consolidado, fortemente urbanizado.

Diante disso, para áreas de contribuição nesta condição, tendo em vista que a área de abrangência do estudo é basicamente residencial e comercial, adotou-se um percentual de impermeabilização de 80% do total de cada subárea considerada, valor este também utilizado por Constate e Cabral (2010), como taxa de impermeabilização em localidades urbanas do Recife.

Figura 27 - Cadastramento das áreas permeáveis.



Fonte: Elaborado pelo autor.

- Largura média de subáreas

Para obtenção deste parâmetro, foi utilizada a fórmula da largura (le) do retângulo equivalente de cada subárea, apresentada pela Equação 1, que é função do coeficiente de compacidade (K_c), apresentado pela Equação 2.

$$\text{Largura equivalente: } L_e = \frac{K_c x \sqrt{A}}{1,12} x \left[1 - \sqrt{1 - \left(\frac{1,128}{K_c} \right)^2} \right] \quad (1)$$

$$\text{Coeficiente de compacidade: } K_c = 0,282 x \frac{P}{\sqrt{A}} \quad (2)$$

Onde: A – área da subárea considerada, em km².

P – perímetro da subárea considerada, em km.

K_c – Coeficiente de compacidade.

- Declividade das subáreas

As declividades superficiais das subáreas foram obtidas dos nivelamentos topográficos dos topos dos poços de visita existentes (tampões) a partir do cadastro da microdrenagem da área estudada.

Nas subáreas que não possuíam cadastro de microdrenagem, foram utilizados os pontos cotados da topografia a laser da cidade do Recife, realizada pela prefeitura em 2007, obtendo dessa forma as cotas altimétricas dos pontos mais alto e mais baixo da rua principal de cada subárea.

- Coeficiente de rugosidade de Manning para as áreas permeáveis e impermeáveis

Este parâmetro foi estimado com base nas características do recobrimento do solo da área em estudo. Diante disso, nas áreas impermeáveis, composta em sua maioria por pavimentos asfálticos e em paralelepípedo e telhados das áreas edificadas, considerou-se a rugosidade de 0,024, valor este sugerido por Canholi (2005) e Silva (2010). Para as áreas permeáveis, adotou-se o valor de 0,15, conforme também sugere Canholi (2005) e Silva (2010).

- Altura de armazenamento em depressões de áreas permeáveis e impermeáveis

Para a definição deste parâmetro, que consiste nas condições de retenção da água da chuva na superfície, o SWMM sugere valores em função da natureza da superfície do solo. Nesse caso, nas áreas impermeáveis, por sugestão do modelo, consideraram-se depressões de 0,10 polegadas (equivalente a 2,54 mm), de uma maneira geral. Já nas áreas permeáveis, adotaram-se depressões no valor de 0,20 polegadas (equivalente a 5 mm), referente à superfície com grama ou pastagem (valor sugerido pelo modelo).

A Tabela 7 a seguir apresenta uma síntese dos dados obtidos em cada subárea considerada, que foram contempladas no modelo.

Tabela 7 - Síntese dos dados de entrada das subáreas de contribuição.

AC - Área de Contribuição	Área (ha)	Le - Largura equivalente (m)	Comp. do talvegue principal (m)	Cotas de Superfície		Is - Declividade Superficial (%)	Área Impermeável (%)	N impermeável	N permeável	Armazenamento em depressões (mm)	
				Cota montante (m)	Cota jusante (m)					Impermeável	Permeável
1	0,39	26,58	93,74	5,44	5,25	0,20	0,85	0,024	0,15	2,54	5
2	2,70	87,99	239,11	5,67	5,25	0,18	0,65	0,024	0,15	2,54	5
3	1,59	62,52	122,56	5,65	5,25	0,33	0,70	0,024	0,15	2,54	5
4	1,14	64,20	74,80	5,25	5,45	0,27	0,60	0,024	0,15	2,54	5
5	1,51	96,65	136,86	5,45	5,46	0,01	0,70	0,024	0,15	2,54	5
6	2,80	66,48	277,62	5,46	4,47	0,36	0,65	0,024	0,15	2,54	5
7	0,80	56,60	136,20	5,03	4,47	0,41	0,80	0,024	0,15	2,54	5
8	0,69	54,04	112,25	4,47	4,34	0,12	0,80	0,024	0,15	2,54	5
9	0,34	30,41	61,30	3,92	4,34	0,69	0,80	0,024	0,15	2,54	5
10	0,39	34,38	74,63	4,41	4,34	0,09	0,80	0,024	0,15	2,54	5
11	0,63	49,48	120,80	4,34	4,35	0,01	0,80	0,024	0,15	2,54	5
12	4,51	78,06	503,42	4,12	2,52	0,32	0,80	0,024	0,15	2,54	5
13	0,32	36,02	82,90	4,35	4,36	0,01	0,80	0,024	0,15	2,54	5
14	0,68	59,11	74,93	4,41	4,36	0,07	0,80	0,024	0,15	2,54	5
15	0,44	35,68	39,63	4,36	4,23	0,33	0,80	0,024	0,15	2,54	5
16	0,33	24,86	82,33	4,41	4,3	0,13	0,80	0,024	0,15	2,54	5
17	0,49	41,53	75,35	2,68	2,62	0,08	0,80	0,024	0,15	2,54	5
18	0,75	64,11	116,56	4,3	4,23	0,06	0,80	0,024	0,15	2,54	5
19	0,43	37,43	80,00	2,8	2,66	0,18	0,80	0,024	0,15	2,54	5
20	2,41	113,55	245,85	4,23	3,48	0,31	0,80	0,024	0,15	2,54	5
21	2,18	76,43	263,36	2,68	2,05	0,24	0,80	0,024	0,15	2,54	5
22	2,80	117,09	330,92	2,90	2,05	0,26	0,80	0,024	0,15	2,54	5
23	0,89	62,86	129,96	3,48	3,5	0,02	0,80	0,024	0,15	2,54	5
24	1,34	78,74	168,41	1,88	1,63	0,15	0,80	0,024	0,15	2,54	5
25	1,21	55,69	182,53	1,98	1,63	0,19	0,80	0,024	0,15	2,54	5
26	0,30	48,03	76,00	3,5	3,42	0,11	0,80	0,024	0,15	2,54	5
27	1,08	62,84	168,31	2,14	1,56	0,34	0,80	0,024	0,15	2,54	5
28	1,11	58,04	140,00	1,8	1,56	0,17	0,80	0,024	0,15	2,54	5
29	0,39	52,89	73,90	3,42	3,62	0,27	0,80	0,024	0,15	2,54	5
30	1,19	71,22	168,64	2,24	1,93	0,18	0,80	0,024	0,15	2,54	5
31	1,08	52,52	213,94	3,08	2,02	0,50	0,80	0,024	0,15	2,54	5
32	0,24	35,03	68,10	3,62	3,57	0,07	0,80	0,024	0,15	2,54	5
33	0,63	37,83	171,24	3,65	1,89	1,03	0,80	0,024	0,15	2,54	5
34	0,58	35,35	158,60	3,54	1,89	1,04	0,80	0,024	0,15	2,54	5

Fonte: Elaborado pelo autor.

4.3.3 Definição da chuva de projeto

O modelo SWMM oferece 3 opções de formatação desta variável, podendo ser: pela intensidade, em que cada valor de precipitação é uma taxa média, em (pol/h) ou (mm/hora) durante o intervalo de gravação; e pelo volume de precipitação para o intervalo de gravação (em polegadas ou milímetros) ou pelo valor acumulado, ou seja, representa a precipitação acumulada que tem ocorrido desde o início da última série de valores de zero (em polegadas ou milímetros).

Dentre estes, optou-se pelo lançamento do volume precipitado no intervalo de gravação, coincidente com a apresentação dos dados da estação automática do Inmet, considerada no presente estudo.

- Precipitação em área próxima à área estudada

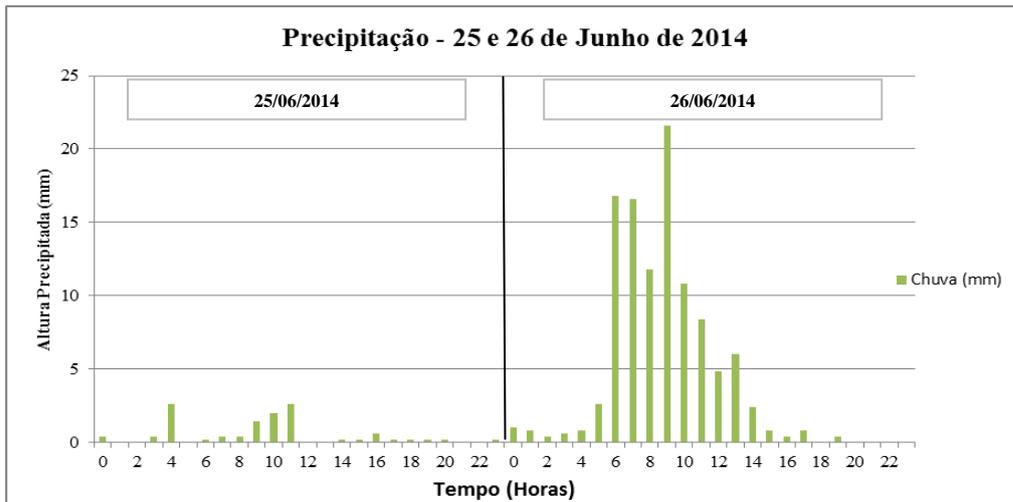
Para alimentação do modelo hidrológico, como dado de entrada, foi utilizado o evento chuvoso ocorrido entre os dias 25 e 26 de junho de 2014, com duração de 20 horas e um total precipitado de 107,60 mm. A recorrência calculada para este evento foi de 2 anos, com base na nova equação IDF do Recife, desenvolvida no âmbito do Plano Diretor de Drenagem Urbana do Recife, atualmente em elaboração.

Diante disto, foram utilizados os dados medidos de precipitação da estação automática RECIFE-A301 operada pelo Inmet, tendo como referência de localização as coordenadas de latitude (-8,05°) e longitude (-34,95°).

A utilização da citada estação se deu principalmente pela facilidade na obtenção da série de dados horários para o evento estudado, sendo estes disponibilizados via internet no site do próprio órgão, e pela proximidade da área em estudo, num raio aproximado de 6 km de distância.

A Figura 28 apresenta o comportamento do evento extremo de precipitação considerado com intervalos de uma hora nos registros de dados.

Figura 28 - Gráfico da precipitação utilizada na modelagem (Evento: 25-26/06/2014).

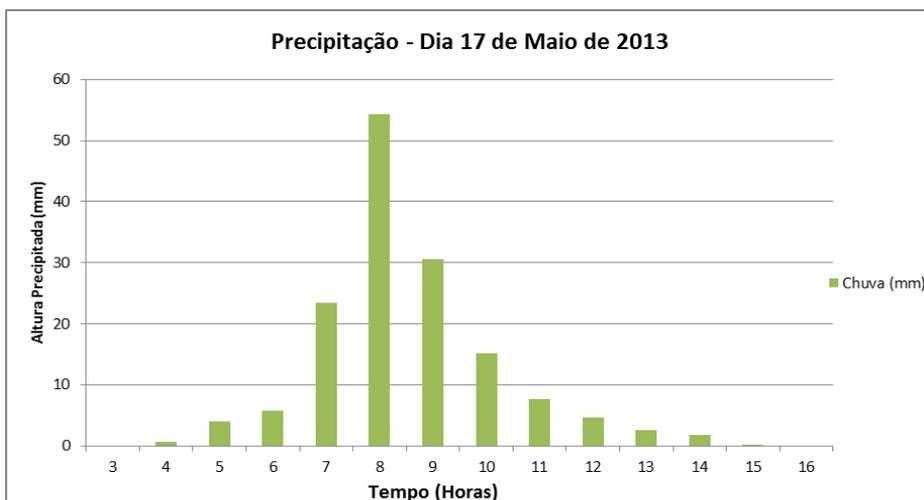


Fonte: Elaborado pelo autor.

Além disso, também foi utilizado o evento chuvoso que ocorreu em 17 de maio de 2013, com duração de 13 horas e um total precipitado de 150,80 mm, apresentando um tempo de recorrência calculado em 5 anos, a partir da mesma equação de chuva do Recife. O objetivo da inserção deste evento consiste no ajuste da modelagem para o local estudado, fornecendo subsídios para a calibração do modelo hidráulico-hidrológico utilizado.

A Figura 29 apresenta o comportamento do evento extremo de precipitação considerado com intervalos de uma hora nos registros de dados.

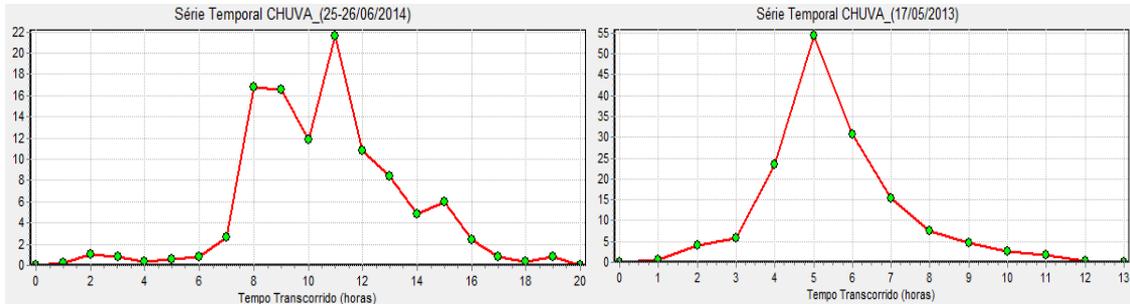
Figura 29 - Gráfico de precipitação utilizada na modelagem (Evento: 17/05/2013).



Fonte: Elaborado pelo autor.

A Figura 30 mostra a representação dos eventos de precipitação considerados no estudo e citados anteriormente, no ambiente do modelo SWMM.

Figura 30 - Gráficos de precipitação inseridas no modelo.



Fonte: Elaborado pelo autor.

- Dados obtidos pela Equação de Chuva Intensa do Recife

No Plano Diretor de Drenagem Urbana do Recife, atualmente em elaboração conforme já dito, foi gerada uma nova equação de chuva intensa para a cidade, em substituição à equação IDF desenvolvida em 1978 pela Encibra, no âmbito do antigo plano de drenagem do município.

A nova equação IDF do Recife, disponibilizada pela Emlurb, foi desenvolvida com base nas precipitações de máximas anuais obtidas de três postos pluviométricos – Recife/Caxangá, Recife/Curado e Recife/Várzea (Emlurb, 2014). Diante disso, segue abaixo a representação da nova equação de chuva intensa do Recife, sendo esta utilizada no presente estudo.

$$i = \frac{611,3425 \times T_r^{0,1671}}{(t + 7,3069)^{0,6348}} \quad (3)$$

Onde: i - Intensidade de chuva (mm/h)

T - Período de retorno (ano)

t - Duração da chuva (minutos)

Com base na Equação 3, apresenta-se nas Tabelas 8 e 9, a seguir, os resultados de intensidade de chuva e total pluviométrico de chuva, considerando as recorrências de 2, 5, 10 e 25 anos.

Tabela 8 - Resultado da intensidade da chuva de Recife em mm/h a partir da nova equação de chuva intensa do Recife.

T (min)	t (h)	Resultado da intensidade (mm/h) de chuva em Recife			
		T=2 anos	T=5 anos	T=10anos	T=25anos
5	0,08	139,50	162,58	182,54	212,74
10	0,17	112,35	130,94	147,02	171,34
15	0,25	95,63	111,45	125,14	145,84
20	0,33	84,11	98,02	110,06	128,27
30	0,50	68,99	80,41	90,28	105,22
60	1,00	47,44	55,29	62,08	72,35
120	2,00	31,65	36,89	41,42	48,27
180	3,00	24,77	28,87	32,42	37,78
240	4,00	20,77	24,20	27,17	31,67
360	6,00	16,15	18,83	21,14	24,64
720	12,00	10,47	12,20	13,70	15,97
840	14,00	9,50	11,08	12,44	14,49
1140	19,00	7,84	9,14	10,26	11,96
1440	24,00	6,76	7,88	8,85	10,32
2880	48,00	4,36	5,09	5,71	6,66

Fonte: Elaborado pelo autor.

Tabela 9 - Resultado do total pluviométrico de chuva do Recife em mm a partir da nova equação de chuva intensa do Recife.

t (min)	t (h)	Resultado do total pluviométrico (mm) de chuva em Recife			
		T=2 anos	T=5 anos	T=10anos	T=25anos
5	0,08	11,62	13,55	15,21	17,73
10	0,17	18,72	21,82	24,50	28,56
15	0,25	23,91	27,86	31,28	36,46
20	0,33	28,04	32,67	36,69	42,76
30	0,50	34,50	40,21	45,14	52,61
60	1,00	47,44	55,29	62,08	72,35
120	2,00	63,31	73,78	82,84	96,55
180	3,00	74,32	86,61	97,25	113,34
240	4,00	83,07	96,81	108,70	126,68
360	6,00	96,93	112,97	126,84	147,83
720	12,00	125,65	146,44	164,42	191,62
840	14,00	133,04	155,06	174,10	202,90
1140	19,00	148,96	173,60	194,92	227,17
1440	24,00	162,36	189,22	212,46	247,61
2880	48,00	209,46	244,12	274,10	319,45

Fonte: Elaborado pelo autor.

4.3.4 Determinação dos parâmetros de infiltração

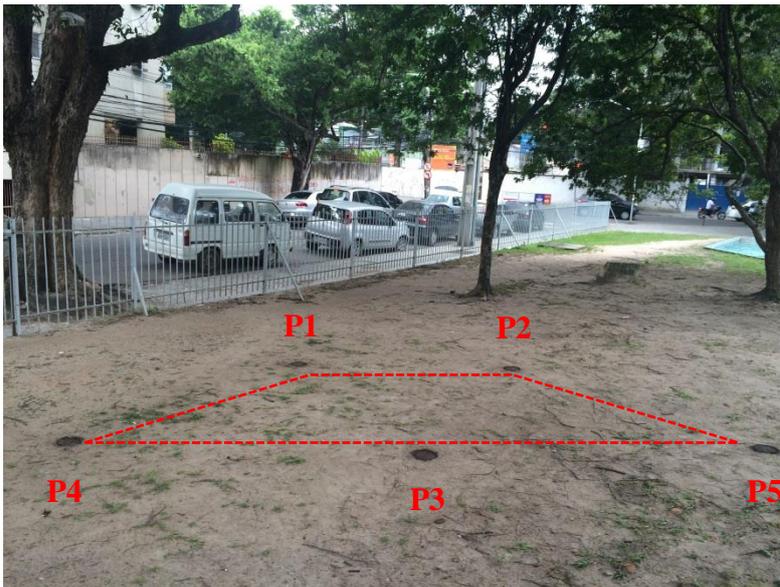
A infiltração é definida como o processo inicial da entrada de água no solo, resultante da aplicação na superfície do solo, quer por chuvas ou por irrigação, onde a capilaridade é dominante nessa fase. A capacidade de infiltração varia para cada tipo de solo. Muitos

métodos baseados na infiltração da água no solo foram desenvolvidos para determinar os principais parâmetros que se deseja conhecer num determinado solo estudado.

O SWMM considera três modelos diferentes para a determinação da variável infiltração da chuva em zona não saturada do solo nas áreas permeáveis, conforme mencionado no item 4.2.1 (Modelo de infiltração de Horton, Green-Ampt e Curva Número do SCS).

Dentre estes, optou-se pelo modelo de Horton, diante da facilidade na definição dos parâmetros necessários para a modelagem, sendo obtidos a partir dos ensaios de infiltração realizados na área em estudo. Os ensaios foram concebidos numa parcela com solo sem vegetação em área próxima ao ponto de alagamento estudado, a partir de cinco pontos dispostos na forma de um trapézio (Figura 31).

Figura 31 - Disposição dos pontos ensaiados.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Dentre os vários tipos de infiltrômetros disponíveis, optou-se pela utilização do modelo a simples anel, devido à sua simplicidade e fácil manuseio, tornando-o bastante utilizado por diversos autores (ANTONINO *et al.*, 2001; BARRETO *et al.*, 2004; BAGARELLO *et al.*, 2004; SOARES, 2010).

O infiltrômetro a simples anel permite realizações de ensaios de infiltrabilidade no campo em função do tempo. Consiste de um cilindro metálico de quinze centímetros de diâmetro e aproximadamente oito centímetros de altura (Figura 32).

Para a realização do ensaio, o infiltrômetro foi cravado no solo a um centímetro de profundidade, com o objetivo de minimizar a perturbação estrutural e assegurar um fluxo vertical na superfície do solo. Em seu interior, foi adicionado uniformemente um pequeno volume de água, suficiente apenas para formar uma lâmina d'água na superfície do solo interior ao infiltrômetro (Figura 33). Sempre que o solo dentro do infiltrômetro começava a ficar exposto, este mesmo volume de água era adicionado novamente. Os tempos decorridos entre as adições de água eram cronometrados e a repetição deste procedimento continuou até que a relação entre o volume de água infiltrado e o tempo se tornasse constante.

Figura 32 - Infiltrômetro a simples anel.



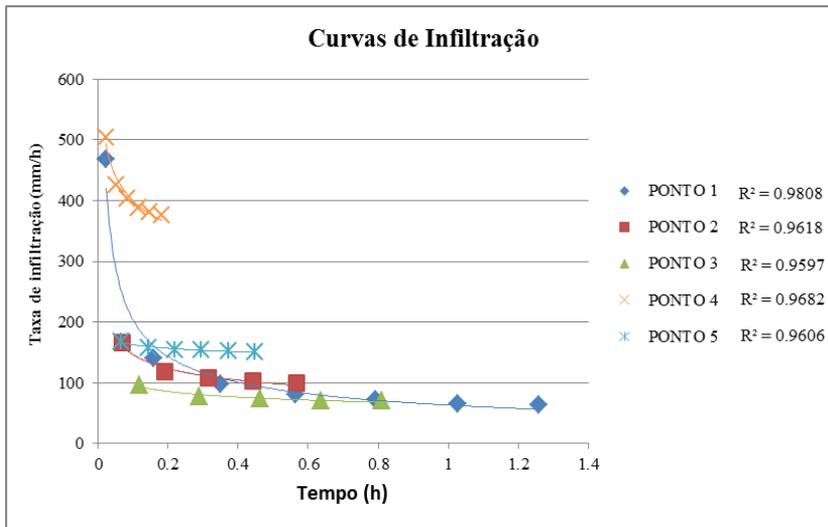
Figura 33 - Recursos utilizados para o ensaio.



Fonte: Elaborado pelo autor.

A Figura 34 apresenta o gráfico com as curvas de infiltração resultantes dos cinco pontos ensaiados, definindo o comportamento da taxa de infiltração em função do tempo de realização do ensaio, e os índices de correlação (R^2) de cada curva.

Figura 34 - Curvas de infiltração nos cinco pontos ensaiados e índices de correlação.

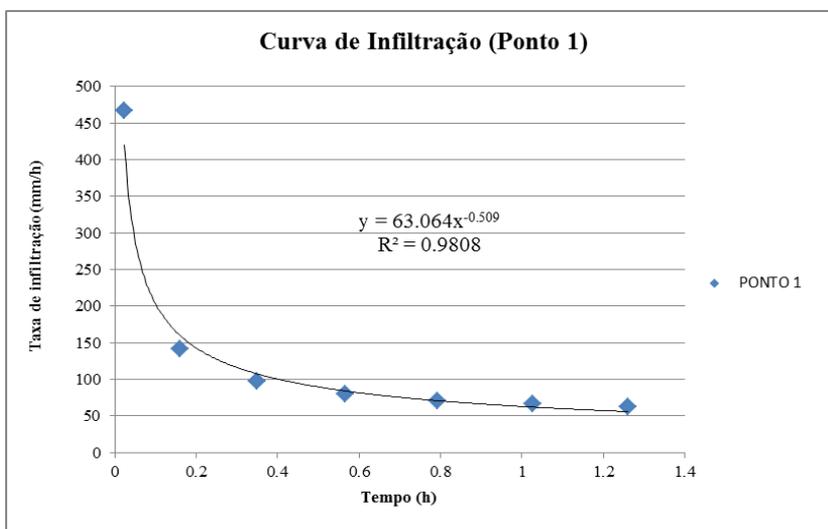


Fonte: Elaborado pelo autor.

Apesar da proximidade entre os cinco pontos ensaiados, as curvas resultantes dos ensaios de infiltração apresentaram comportamentos heterogêneos, no que se refere à taxa de infiltração em função do tempo. Diante de tal constatação, resolveu-se utilizar a curva de infiltração que apresentou melhor ajuste, com base no índice de correlação.

Assim, seguindo este critério, verificou-se que a curva de infiltração do Ponto 1 apresentou o índice de correlação mais próximo de 1 ($R^2=0.9808$), com sua equação resultante mostrada na Figura 35.

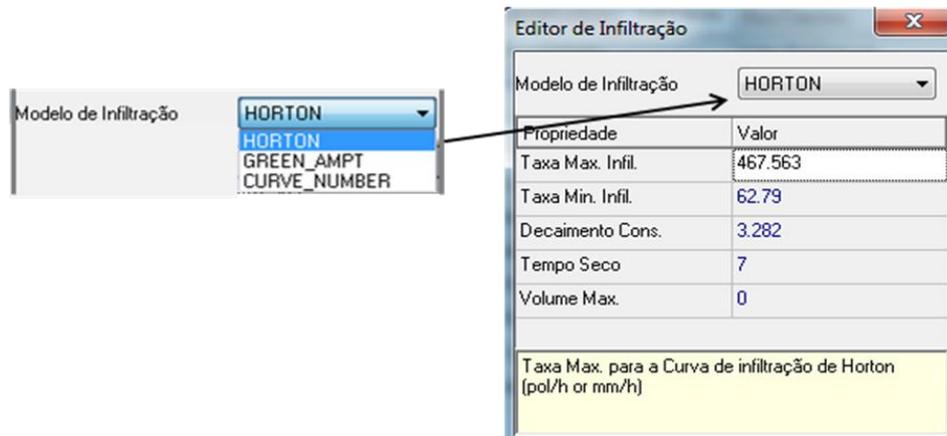
Figura 35 - Curva ajustada da taxa de infiltração no Ponto 1 e equação da curva.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Com base na equação da curva de infiltração apresentada, ajustada à equação de Horton², foi possível a obtenção dos parâmetros necessários para a alimentação do modelo: as taxas máxima e mínima de infiltração (467,56 mm/h e 62,79 mm/h, respectivamente), e o coeficiente de decaimento³ (3,282) (Figura 36).

Figura 36 - Parâmetros de infiltração inseridos no modelo.



Fonte: Elaborado pelo autor.

4.3.5 Obtenção da curva de maré

O objeto “Curvas” é definido pelo SWMM para estabelecer a relação entre duas variáveis. Dentre os diferentes tipos do objeto “Curvas” disponíveis no SWMM, tem-se a variável Maré. Este objeto descreve como a altura da maré varia em um nó Exutório (nesse caso a região da foz do rio Capibaribe, corpo receptor do sistema de drenagem estudado) a cada hora do dia.

Assim, tomando por base o evento de chuva considerado na simulação, que compreendeu os dias 25 e 26 de junho de 2014, foram obtidos os oito registros de alturas de maré (4 preamar e 4 baixa-mar) na tábua de maré do Porto do Recife, disponibilizado no site da Diretoria de Hidrografia e Navegação (DHN). Neste período, a maré apresentou amplitude de 1,90 m,

² **Equação de Horton:** $I_t = I_b + (I_o - I_b) \exp(-k \cdot t)$

Onde: I_t – taxa de infiltração no tempo (mm/h)
 I_b – taxa de infiltração final (mm/h)
 I_o – taxa de infiltração inicial (mm/h)
 t – tempo (h)
 k – coeficiente de decaimento (S^{-1})

³ **Coefficiente de Decaimento:** $k = (I_o - I_b)/F_c$

Onde: F_c é dado como a área sob a curva da taxa de infiltração, obtida a partir da integração da equação da curva ajustada (Figura 35), variando no intervalo de tempo de realização do ensaio.

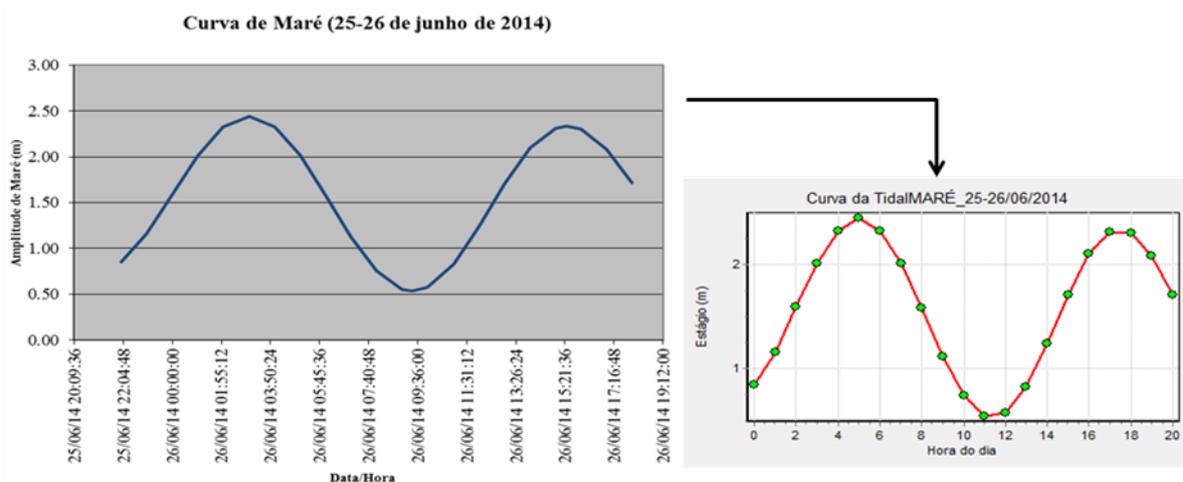
caracterizando-a como maré de sizígia. Diante dos dados, foi realizada a curva de maré a partir da interpolação das alturas de marés para o intervalo de tempo de 1 hora, considerando às 20 horas do evento simulado.

O mesmo procedimento foi feito para a obtenção da curva de maré no dia 17 de maio de 2013, outro evento escolhido para o ajuste do modelo. Nesta data, a maré apresentou amplitude de 0,90 m, caracterizando-a como maré de quadratura. A maré foi interpolada para o período de 13 horas, equivalente ao evento extremo de precipitação ocorrido neste dia.

Os valores obtidos foram convertidos para o Sistema de Referência de Nível da Cidade do Recife, que está nivelado ao zero Hidrográfico do Porto do Recife, de acordo com o Departamento Nacional de Portos e Viação Náutica – DNPVN (PREFEITURA DA CIDADE DO RECIFE, 2000). As cotas de marés alta e baixa e as cotas de maior enchente são geralmente referenciadas ao zero Hidrográfico da Marinha (Diretoria de Hidrografia e Navegação da Marinha-DHN), apresentando uma diferença de 23,6 cm, em relação ao zero Hidrográfico do Porto do Recife.

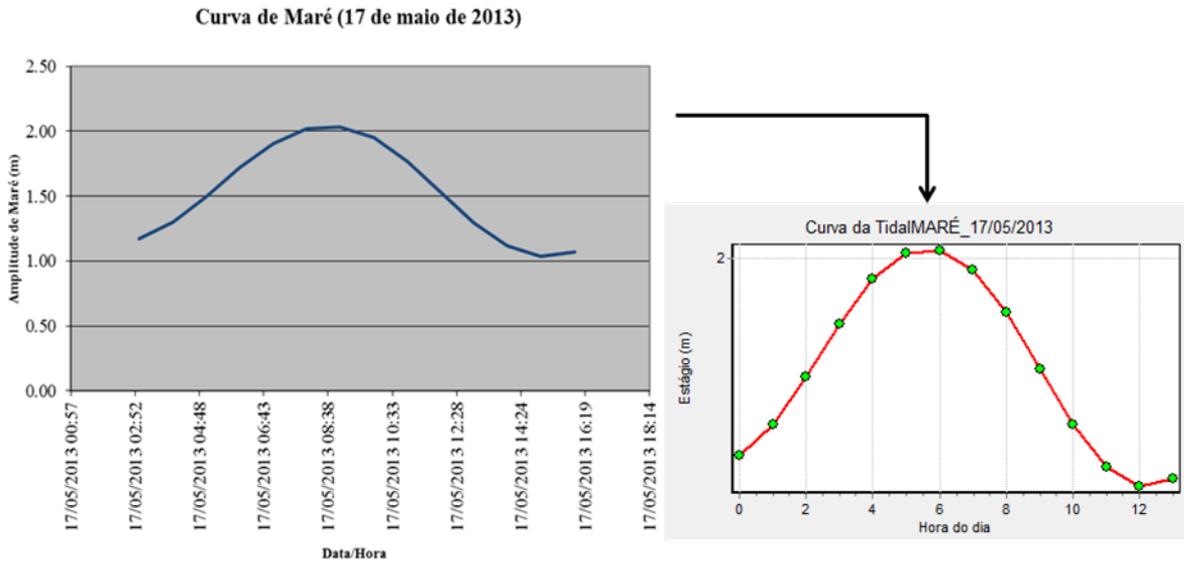
Assim sendo, a Figura 37 e 38 mostram as curvas de maré obtidas e consideradas na modelagem, para os dias 25-26 de junho de 2014 e 13 de maio de 2013, respectivamente.

Figura 37 - Curva de maré obtida para o dia 25-26 de junho de 2014.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 38 - Curva de maré obtida para o dia 17 de maio de 2013.



Fonte: Elaborado pelo autor.

4.4 DEFINIÇÃO DAS CONDIÇÕES DE CONTORNO PARA A SIMULAÇÃO

As modelagens hidráulico-hidrológicas consideraram como premissas e/ou condições de contorno os seguintes aspectos:

- (a) Todo volume de água gerado pelas subáreas de contribuição atinge a rede através das bocas de lobo (BL), ou seja, foi considerado que todas as ruas contempladas na área em estudo possuem redes em perfeitas condições de funcionamento, o que de fato não acontece devido à deficiência na manutenção periódica das mesmas e à constante presença de lixo nas bocas de lobo, como visto no item 3.2.
- (b) Não há interferências no escoamento das águas pluviais dentro dos condutos, sem que haja qualquer tipo de obstrução da rede. Nesse caso, as simulações avaliam a capacidade hidráulica da rede instalada. Sabe-se, apesar disso, que a manutenção da rede de drenagem não é satisfatória e a população não colabora o suficiente para o desempenho eficiente da rede instalada.

4.5 MONTAGEM DA REDE

Com a obtenção do cadastro do sistema de águas pluviais, a rede de drenagem foi inserida no SWMM a partir da identificação dos objetos: Junções/Nós e Condutos, atribuindo-lhes cotas

topográficas e extensões dos elementos de drenagem existentes. Também foram adicionados ao modelo todos os parâmetros e variáveis predefinidos anteriormente, nos itens 4.3.2, 4.3.3, 4.3.4 e 4.3.5.

Durante a inserção dos dados cadastrais de drenagem no modelo, foram considerados os seguintes aspectos:

- Cotas das junções: Este objeto (junções ou nós) foi adequado aos poços de visita e pontos de mudança de eixo ou do tipo do elemento de microdrenagem existente. Com base nisso, foram adicionadas as cotas topográficas de fundo dos pontos (poços de visitas, caixas coletoras, fundo de canaletas) onde foram lançadas as respectivas junções.
- Profundidade máxima da junção: Distância da borda até o fundo do elemento de drenagem, que pode ser dada também pela diferença de cotas topográficas entre o topo e o fundo da junção ou nó (poço de visita).
- Tipo do elemento condutor: Deve-se determinar que tipo de elemento condutor, se tubo de concreto, canaleta, calha ou canal natural, com as respectivas dimensões cadastradas bem como a rugosidade do elemento que o constitui. Dentre as seções transversais disponíveis de condutos no SWMM, para os trechos de microdrenagem constituídos por tubos de concreto, foi utilizada a seção transversal circular preenchimento, pois é comum verificar a presença de sedimentos nos condutos de drenagem, adotando assim como altura de sedimento de 5 cm. Já nos trechos constituídos por canaleta, considerou-se a seção transversal retangular fechado.
- Comprimento de elementos condutores: É dada pela distância entre as junções de montante e jusante do elemento condutor, sendo este dado obtido diretamente nos levantamentos cadastrais, adequando a localização dos poços de visitas aos lançamentos das junções no SWMM.

Na Figura 39 é apresentado o layout do modelo, com base nas informações descritas anteriormente, mostrando a rede de águas pluviais implantada no programa SWMM a partir do cadastro da Emlurb.

Figura 39 - Rede de drenagem implantada no modelo SWMM.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Após a inserção dos parâmetros (características das subáreas, dados cadastrais – junções e condutores) e variáveis (séries temporais de precipitação e curva de maré e dados de infiltração) de entrada no modelo, foi realizada uma calibração simplificada do modelo com base nos eventos extremos de precipitação ocorridos em 25 e 26 de junho de 2014 e 17 de maio de 2013, compondo assim o Cenário 01 (Condição Atual) discutido no item 5.4.1.

Uma vez calibrado o modelo, procurou-se estudar as possibilidades para o controle do alagamento no local estudado, a partir da proposição de possíveis intervenções na rede de drenagem existente, além da indicação na adoção de medidas compensatórias a fim de mitigar os impactos provocados nos períodos chuvosos (Cenário 02 – Condição Alternativa).

5 ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

A seguir, serão mostradas as primeiras constatações e os resultados obtidos durante o desenvolvimento da dissertação. Para a apresentação dos mesmos, estabeleceram-se os seguintes aspectos:

- Inicialmente serão discutidas as primeiras constatações fundamentadas na caracterização física da área estudada, na análise do evento extremo de precipitação ocorrido nos dias 25-26 de junho de 2014 e na avaliação dos dados utilizados no processo de simulação a partir do modelo SWMM.
- Em seguida serão apresentados os resultados das modelagens, com base nos eventos de 25-26 de junho de 2014 e 17 de maio de 2013, a partir dos critérios estabelecidos por 02 cenários:
 - **Cenário 01 - Condição Atual**: Baseado na calibração simplificada do modelo, que buscou representar as condições de alagamento no ponto crítico estudado, durante a ocorrência dos eventos considerados, em concordância com as observações locais.
 - **Cenário 02 - Condição Alternativa**: Fundamentado pelas propostas de intervenção na rede de drenagem, a fim de mitigar e controlar os efeitos do alagamento no ponto crítico. Assim, a partir do modelo calibrado, foram analisadas 02 possibilidades:
 - Adequação das cotas de fundo dos poços de visita na rede de drenagem integrante ao ponto crítico, reajustando assim as declividades dos condutos; e
 - Implantação de um reservatório de retenção subterrâneo, inserido na rede de drenagem integrante ao ponto crítico, situado na área de ocorrência do alagamento.

5.1 PRIMEIRAS CONSTATAÇÕES

Para conhecer a dinâmica do escoamento superficial de uma determinada área, é fundamental ter o conhecimento da topografia da área estudada. Como é sabido, a cidade do Recife possui uma topografia relativamente plana, ou seja, é uma área de planície, que, no geral, apresenta cotas que variam de 0 a 5 m, podendo atingir valores um pouco superiores.

Diante disso, para uma análise do local em estudo, a topografia da área foi obtida a partir do site de informações geográficas da cidade do Recife (Prefeitura do Recife – ESIG). A partir do dado disponibilizado, as curvas de topografia a cada 1 metro foram vetorizadas em ambiente CAD, e foi gerado um Modelo Digital do Terreno (MDT) no Civil 3D.

A Figura 40 mostra o resultado deste procedimento, indicando o ponto de alagamento estudado.

Figura 40 - Modelo digital do terreno na área de entorno ao ponto crítico de alagamento estudado.



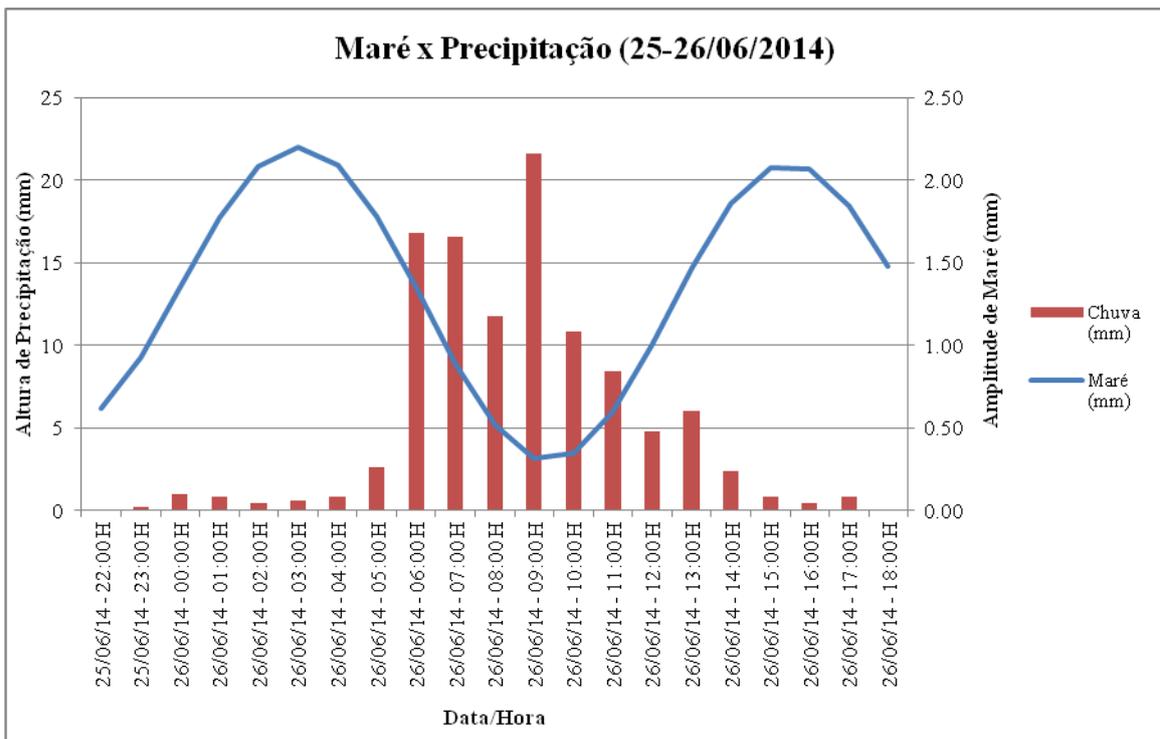
Fonte: Elaborado pelo autor.

Na Figura 40, o azul mais escuro indica as áreas mais altas. Verifica-se que a área estudada encontra-se numa situação de “confinamento” entre as áreas mais altas. Essa situação possibilita o direcionamento do escoamento superficial das águas pluviais para a área em questão, deixando-a numa situação de retenção, quando o sistema de drenagem no local não funciona adequadamente. E isso de fato ocorre, onde neste trecho apresenta uma condição desfavorável de escoamento pelos condutos subterrâneos, dificultando o deslocamento do fluxo das águas pluviais pelas galerias.

5.2 ANÁLISE DO EVENTO DE PRECIPITAÇÃO DO DIA 25-26/06/2014 E OS REFLEXOS NO PONTO CRÍTICO ESTUDADO

Entre os dias 25 e 26 de junho de 2014, a Região Metropolitana do Recife sofreu com um evento extremo de precipitação, que causou vários transtornos à população. Segundo dados do Instituto Nacional de Meteorologia (Inmet), o total precipitado na estação automática Recife-303A entre 22h do dia 25 e 18h do dia 26 foi de 107,6 mm, correspondente a 35% do total da média do mês de junho. A maior parte do total precipitado neste dia concentrou-se num curto período, tendo precipitado 66,80 mm entre 6h e 10h do dia 26. Na oportunidade a maré estava baixa, atingindo a baixa-mar de 0,30 m às 9h45 (Figura 41).

Figura 41 - Gráfico com a relação precipitação x maré entre os dias 25 e 26 de junho de 2014.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Os impactos decorrentes desse evento refletiram-se principalmente na mobilidade urbana, com alagamentos em vários pontos estratégicos da cidade, incluindo a área em estudo objeto desta dissertação.

As Figuras 42 e 43 mostram os efeitos deste evento no ponto crítico de alagamento estudado. No momento da fotografia, registrada às 9h54, já havia precipitado 73,20 mm (68% do total precipitado neste evento) e a maré estava baixa.

Essa situação provocou uma altura aproximada de alagamento de 14 cm acima do nível da calçada, dificultando não só o acesso dos veículos pela Rua Joaquim Felipe a Avenida João de Barros, como também o deslocamento dos pedestres pelo local.

Figura 42 - Rua Joaquim Felipe no período seco (a) e no período chuvoso (b).



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 43 - Altura da lâmina d'água do alagamento provocado pelo evento extremo de precipitação entre os dias 25 e 26 de junho de 2014.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Na oportunidade, foi delimitada uma área de alagamento com base nas observações “in loco” durante o evento de precipitação intensa considerado. A Figura 44 mostra o resultado dessa

delimitação. Diante disso, verificou-se que a área de alagamento apresentou uma extensão média estimada em 1.300 m².

Figura 44 - Área de alagamento resultante do evento extremo de precipitação entre os dias 25 e 26 de junho de 2014.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Com base na área da figura anterior e na altura máxima da lâmina d'água observada no ponto crítico estudado, estima-se que o volume d'água do alagamento provocado pelo evento de precipitação foi da ordem de 182 m³.

5.3 CONSTATAÇÕES VERIFICADAS DURANTE AS SIMULAÇÕES COM O SWMM

As simulações no SWMM foram realizadas para analisar a rede de drenagem existente no bairro da Soledade e se verificou que alguns trechos estavam estrangulando o fluxo das águas pluviais, causando problemas de alagamentos em algumas áreas do bairro.

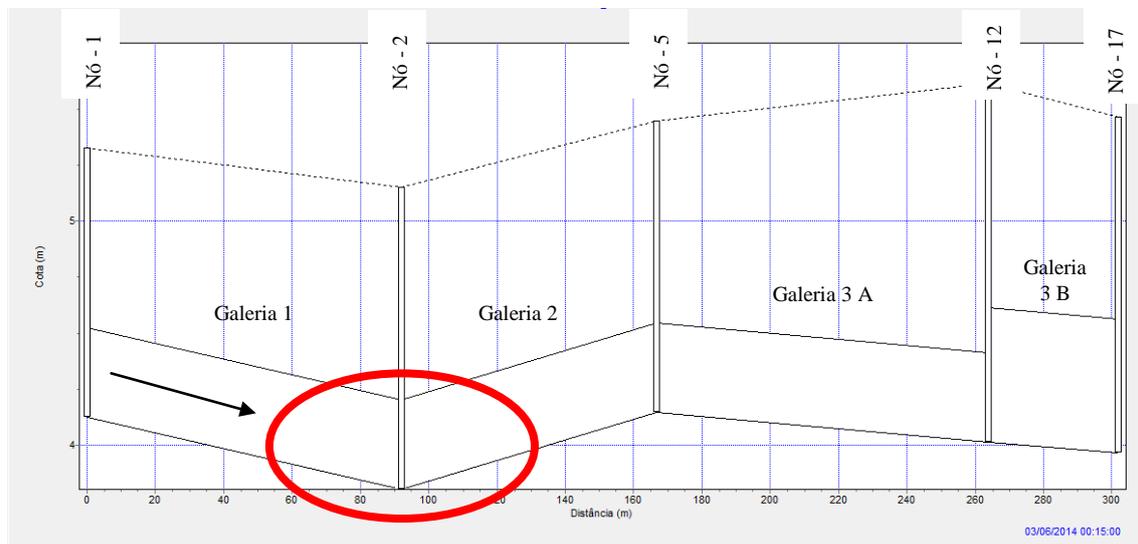
- Galeria da Avenida João de Barros com a Rua do Príncipe

Um dos resultados da modelagem no SWMM é o perfil longitudinal da rede de drenagem estudada, no qual é simulado o desempenho do sistema de drenagem analisado para um

evento predefinido. A partir deste resultado, foi possível observar os trechos mais críticos, facilitando a definição de medidas que melhorem o escoamento ao longo da rede, através da definição de dimensões adequadas para os trechos da rede estudada, de modo a evitar o extravasamento nas junções/nós ou poços de visita.

A Figura 45 mostra o perfil longitudinal da galeria de drenagem, situada na Avenida João de Barros até a Rua do Príncipe, destacando o trecho com problema de declividade e que interfere no deslocamento do fluxo do escoamento.

Figura 45 - Perfil da galeria da Avenida João de Barros com a Rua do Príncipe.



Fonte: Elaborado pelo autor.

A Figura 45 mostra um trecho da galeria tronco localizado na Avenida João de Barros e Rua do Príncipe, sendo as galerias 1, 2 e 3A com diâmetros de 400 mm e a galeria 3B com diâmetro de 600 mm. Ainda na Figura 45, observa-se que há uma diferença de declividade no sentido inverso ao deslocamento do fluxo das águas. Isso causará uma acumulação das águas pluviais neste trecho, provocada pela retenção do fluxo do escoamento, podendo haver o extravasamento da água, vindo a causar os alagamentos na área estudada.

Além disso, com essa configuração, é provável que haja uma deposição de sedimentos neste ponto, causando uma diminuição na seção da galeria, dificultando ainda mais o fluxo do escoamento das águas neste trecho. É importante ressaltar esta junção “Nó 2” recebe a galeria com diâmetro de 300 mm da Rua Joaquim Felipe, que, apesar de obstruída, aumenta um

pouco mais a contribuição para este ponto. Esta irregularidade da rede existente pode ser uma das causas dos alagamentos recorrentes na área em estudo.

Analisando as causas que provocaram o rebaixamento deste poço de visita, possivelmente neste trecho houve um recalque da estrutura, fazendo com que a cota de fundo deste poço de visita ficasse mais baixa em relação ao poço de visita de jusante, provocando, então, esta interferência no sentido do fluxo de escoamento das águas pluviais.

Segundo Alheiros, Menezes e Ferreira (1990) esse fato é bastante comum na planície do Recife, que possui origem flúvio-marinha, apresentando depósitos de argila orgânica mole e média em cerca de 50% da área da planície, e muitas vezes em subsuperfície com espessuras superiores a 15 m.

Visando uma solução para este trecho, é necessário, primeiramente, que sejam readequadas as cotas de fundo das galerias, permitindo que as águas pluviais possam escoar por gravidade, garantindo assim a eficiência do sistema de drenagem. A Tabela 10 apresenta os dados cadastrais do sistema de drenagem deste trecho. Nela também é indicado o desnível a ser vencido entre os poços de visita “Nó-2” e “Nó-5”.

Tabela 10 - Dados cadastrais do trecho com problemas de declividade.

GALERIA SWMM	POÇOS SWMM	COTA FUNDO POÇO (m)	DESNÍVEL (m)	EXTENSÃO DA GALERIA (m)	DECLIVIDADE (%)
Galeria 1	Nó-1	4,125	0,322	91,94	0,35
	Nó-2	3,803			
Galeria 2	Nó-2	3,803	-0,344	74,80	-0,46
	Nó-5	4,147			

Fonte: Elaborado pelo autor.

Diante da Tabela 10 e conforme verificado na Figura 45, o desnível a ser vencido é de aproximadamente 35 cm, num trecho de galeria com extensão de 74,80 m, representando assim uma declividade negativa de 0,46%.

5.4 SIMULAÇÕES COM O SWMM

5.4.1 Cenário 01 (Condição Atual)

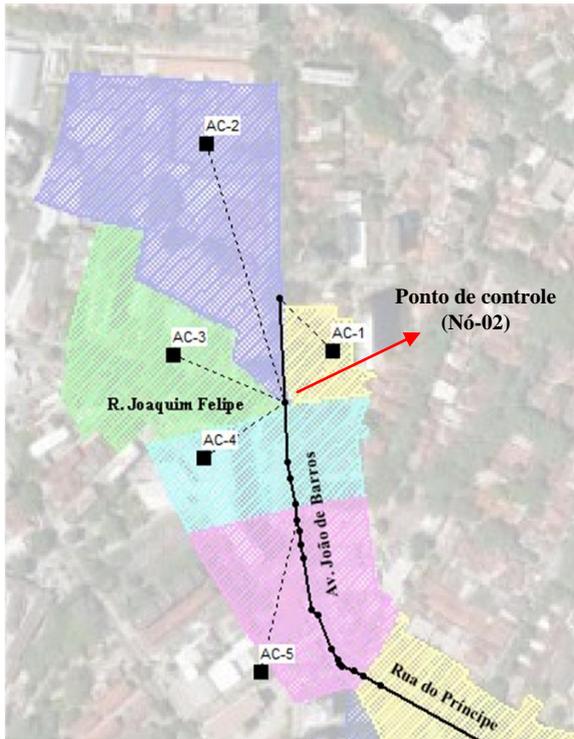
Após a inserção dos parâmetros e variáveis de entrada no modelo, discutido em itens anteriores, foi realizada a calibração do modelo com base nos eventos extremos de precipitação ocorridos em 25-26 de junho de 2014 e 17 de maio de 2013.

Na ausência de sensores de nível ou medidores de vazão na área estudada, necessários para se processar um estudo de sensibilidade, calibração e validação dos parâmetros, optou-se por realizar uma calibração simplificada do modelo, baseado somente no ajuste do volume de inundação simulado ao observado durante a ocorrência dos eventos considerados, apenas no ponto de controle.

Procedendo desta forma, a calibração obtida pode ser definida como um processo expedito, uma vez que a mesma foi realizada de forma manual, através da manipulação de dois parâmetros: coeficiente de rugosidade de Manning para os condutos e altura da camada de sedimento depositado nos condutos.

De uma maneira geral, o objetivo deste processo foi representar o atual funcionamento do sistema, considerando a inundação da junção “Nó 2” (Figura 46) definida como ponto de controle, manipulou-se os parâmetros citados anteriormente, a fim de que o volume máximo de alagamento simulado na sobredita junção estivesse compatível com as vistorias procedidas no local durante os eventos de chuva considerados. Este mesmo procedimento também já foi adotado por outros autores, como Silva (2010).

Figura 46 - Localização do Nó (Junção) 2.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Para este ajuste, foram utilizadas as alturas observadas de lâmina d'água nos respectivos eventos e a determinação inicial da área de alagamento utilizando o AutoCAD 2012 como ferramenta de apoio (Tabela 11 e Figura 47), em que se procurou traçar os limites da referida área a partir da topografia local e da observação em campo durante o evento chuvoso considerado, conforme discutido no item 5.2.

Com base nisso, foi elaborada a relação entre a lâmina d'água do alagamento e o volume inundado, caracterizando em termo estimativo o volume de alagamento extrapolado para outras alturas de lâmina d'água no ponto de controle, a partir do evento de 25 e 26 de junho de 2014 (Figura 48).

Para esta relação, considerou-se a equivalência entre a área de alagamento delimitada (1300m^2) e a máxima altura da lâmina d'água observada (14 cm), interpolando as áreas de inundação para outras alturas de lâminas d'água, cujo produto entre estes fatores resulta, em termos estimativos, nos volumes inundados.

Essa relação serviu para definir o volume de alagamento do evento de 17 de maio de 2013, uma vez que as informações sobre a área de inundação e altura máxima do alagamento foram obtidas junto aos comerciantes e moradores residentes no local.

Tabela 11 - Alturas e volumes de alagamento observado e simulado no ponto de controle, para o evento de 25-26 de junho de 2014.

Data	Horário <i>in loco</i>	Horário (SWMM)*	Altura de Lâmina d'água (m)		Volume Inundado Termos Médios (m ³)**	Volume Simulado SWMM (m ³)***
			<i>in loco</i>	SWMM		
26/06/2014	08:00	10:00	0,09	0,09	117,0	105,7
26/06/2014	09:00	11:00	0,08	0,07	104,0	91,6
26/06/2014	10:00	12:00	0,14	0,12	182,0	155,1
26/06/2014	11:00	13:00	0,08	0,06	104,0	81,9

Nota:

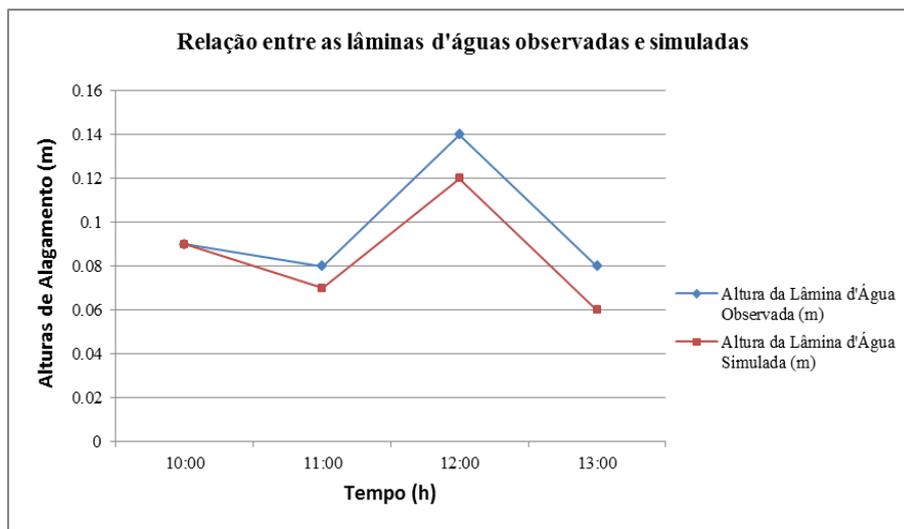
*O horário no modelo está em tempo decorrido do evento, considerando, nesse caso, as 20 horas compreendidas entre os dois dias de precipitação (25 e 26).

**Volume resultante do produto entre a área média de alagamento delimitada para este evento (1.300 m²) e a altura de alagamento correspondente.

***Volumes de inundação simulados para o evento em questão, com base na altura de alagamento correspondente.

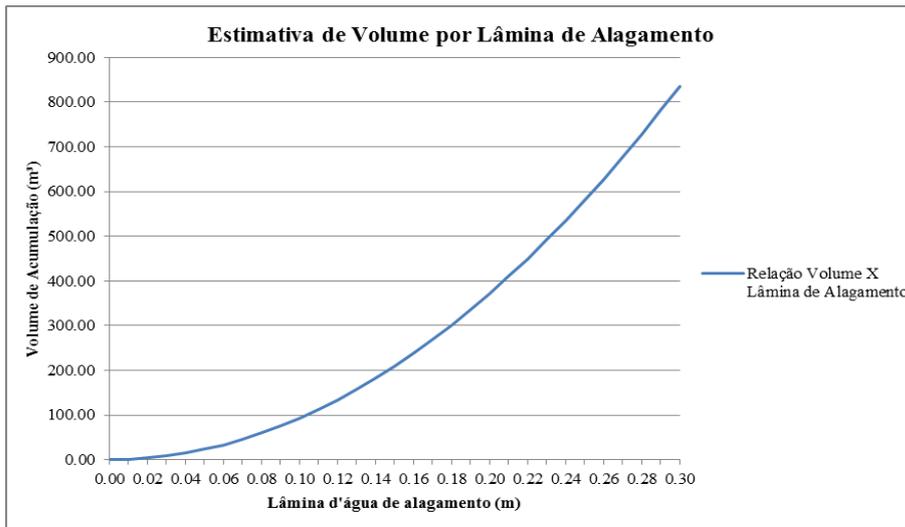
Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 47 - Relação entre lâmina d'água de alagamento observada e simulada no ponto de controle, para o evento de 25-26 de junho de 2014.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 48 - Relação entre o volume inundado estimado e a lâmina d'água de alagamento no ponto de controle.



Fonte: Elaborado pelo autor.

As Figuras 49 e 50 apresentam o relatório síntese de inundações durante a simulação dos eventos de 25-26 de junho de 2014 e 17 de maio de 2013, destacando os volumes máximos simulados de inundação, no ponto de controle “Nó 2”. Também podem ser observados o tempo de inundação e as alturas máximas simuladas de alagamento no referido ponto, com lâminas d'água de 12 e 27 cm para os respectivos eventos⁴.

⁴ Ressalta-se que as lâminas d'água citadas foram obtidas pela diferença entre a profundidade máxima do alagamento simulado no nó correspondente e a profundidade do poço de visita representado pelo respectivo nó: 1,45 m (Figuras 49 e 50).

Figura 49 - Síntese de inundação no Nó 2 para o evento de 25 e 26 de junho de 2014.

Nó	Horas Inundação	Vazão Maxima CMS	Instante Max Ocorrência		Volume Total Inundado 10 ⁶ L	Prof. Máximo Alagado Metros
			dia	h:min		
NÓ1	3.04	0.100	0	12:00	0.527	1.20
NÓ2	5.16	0.049	0	12:00	0.175	1.57
NÓ17	0.01	3.359	0	02:38	0.003	1.50
NÓ28	0.01	0.025	0	02:39	0.000	1.10
NÓ46	0.01	2.214	0	02:38	0.010	2.31
NÓ12	0.02	0.548	0	02:38	0.004	1.60
NÓ3	0.40	0.030	0	12:00	0.026	1.10
NÓ4	0.01	0.131	0	02:38	0.000	1.45
NÓ8	0.02	1.029	0	02:38	0.035	1.35
NÓ9	0.01	0.253	0	02:38	0.000	1.45
NÓ10	0.01	0.004	0	02:38	0.000	1.75
NÓ11	0.03	1.007	0	02:38	0.098	1.60
NÓ14	0.03	3.252	0	02:37	0.390	1.50
NÓ19	0.01	0.069	0	02:38	0.000	1.60
NÓ20	0.01	0.402	0	02:38	0.000	1.45
NÓ22	0.02	1.342	0	02:38	0.061	1.60
NÓ24	0.01	0.333	0	02:38	0.000	1.50
NÓ25	0.02	1.258	0	02:38	0.068	1.50
NÓ29	0.01	0.066	0	02:39	0.000	1.27

Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 50 - Síntese de inundação no Nó 2 para o evento de 17 de maio de 2013.

Nó	Horas Inundação	Vazão Maxima CMS	Instante Max Ocorrência		Volume Total Inundado 10 ⁶ L	Prof. Máximo Alagado Metros
			dia	h:min		
NÓ1	3.67	0.215	0	06:00	1.759	1.20
NÓ2	5.18	0.159	0	05:15	0.681	1.72
NÓ17	0.02	3.007	0	01:51	0.175	1.50
NÓ23	0.02	6.672	0	01:51	0.422	1.63
NÓ28	2.41	0.149	0	05:59	1.073	1.10
NÓ41	0.01	0.062	0	05:06	0.000	1.98
NÓ45	1.16	0.495	0	05:59	1.341	2.15
NÓ46	0.01	1.494	0	01:18	0.033	2.31
NÓ49	0.02	0.000	0	01:17	0.000	2.44
NÓ3	2.74	0.382	0	06:00	2.104	1.10
NÓ21	2.14	1.997	0	01:51	1.455	1.45
NÓ22	0.01	0.672	0	01:51	0.000	1.60
NÓ29	1.90	0.053	0	06:00	0.268	1.27
NÓ31	1.15	0.097	0	06:00	0.312	1.60
NÓ34	0.88	0.182	0	06:00	0.348	1.50

Fonte: Elaborado pelo autor.

Com os ajustes realizados através da calibração simplificada do modelo, verificou-se que o evento de 25-26 de junho de 2014 apresentou coeficiente de correlação média entre os volumes estimados e simulados no ponto de controle de 0,97, com erros médios de continuidade para o escoamento superficial de -0,03% e propagação de vazão -8,57% (Tabela 12).

Para o evento de 17 de maio de 2013, o coeficiente de correlação médio foi de 0,96, com erros médios de continuidade para o escoamento superficial de -0,04% e propagação de vazão -2,18% (Tabela 13).

Tabela 12 - Principais resultados obtidos na simulação do evento de 25 e 26 de junho de 2014.

ASPECTOS		OBSERVADO	SIMULADO	ERRO RELATIVO (%)
Lâmina máxima de inundação (m)		0,14	0,12	16,67%
Cota máxima da inundação (m)		5,24	5,22	0,38%
Volume máximo de inundação (m ³)		182,0	175,0	4,00%
Erros de continuidade	Escoamento superficial			-0,03%
	Propagação de vazão			-8,57%
Coeficiente de correlação médio				0,97

Fonte: Elaborado pelo autor.

Tabela 13 - Principais resultados obtidos na simulação do evento de 17 de maio de 2013.

ASPECTOS		OBSERVADO	SIMULADO	ERRO RELATIVO (%)
Lâmina máxima de inundação (m)		0,27	0,27	0,00%
Cota máxima da inundação (m)		5,37	5,37	0,00%
Volume máximo de inundação (m ³)		679,9	681,0	0,16%
Erros de continuidade	Escoamento superficial			-0,04%
	Propagação de vazão			-2,18%
Coeficiente de correlação médio				0,96

Fonte: Elaborado pelo autor.

No que se refere aos erros de continuidade encontrados durante o processo de simulação (definido pela diferença, em porcentagem, entre a quantidade armazenada inicialmente mais o fluxo que entra e a quantidade armazenada no final mais o fluxo que sai), os mesmos se encontram dentro do limite da aceitabilidade, apresentando valores menores que 10%.

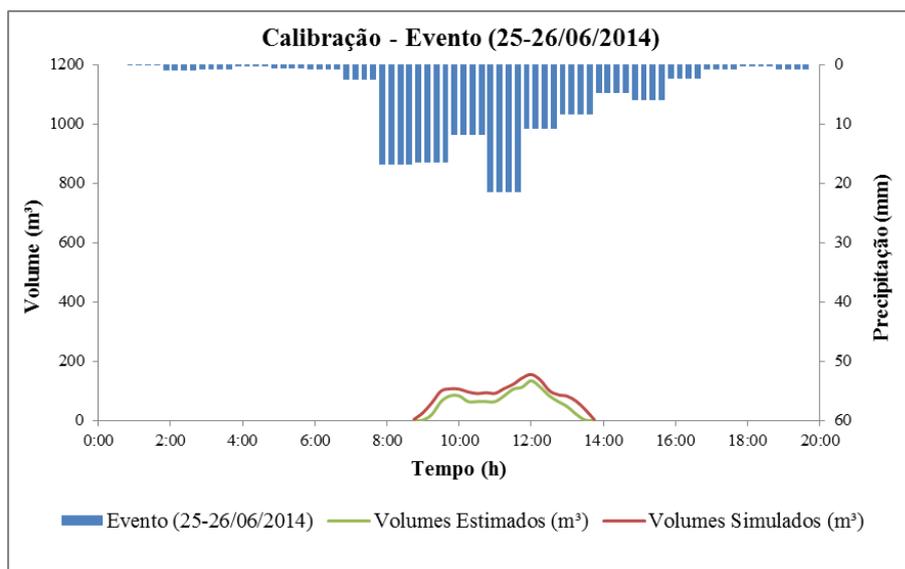
Diante disso, pode-se constatar que a qualidade da simulação foi razoável, com erros pequenos na equação do balanço de massa (continuidade) para o escoamento superficial e

para a propagação de vazão, considerando que os dados de entrada foram informados corretamente.

Isso mostra que, apesar de a calibração obtida ser definida como um processo expedito, uma vez que, conforme já comentado, procurou-se ajustar os volumes simulados aos observados apenas no ponto de controle, a correlação média entre as condições simuladas e observadas se mostrou satisfatória, com índices bem próximos a 1.

Neste sentido, as Figuras 51 e 52 mostram os resultados da calibração simplificada do modelo, representando os volumes simulados e os volumes estimados⁵ para o ponto de controle (Nó 2) na ocorrência dos eventos de 25-26 de junho de 2014 (20 horas de duração) e de 17 de maio de 2013 (13 horas de duração), respectivamente.

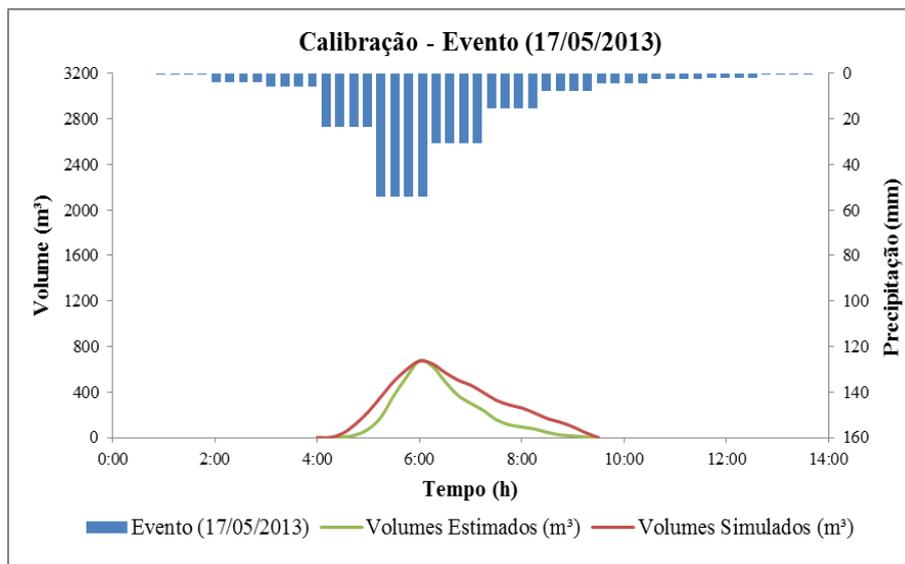
Figura 51 - Volume de alagamento no Nó 2, resultante da calibração simplificada do modelo para o evento de 25 e 26 de junho de 2014.



Fonte: Elaborado pelo autor.

⁵ É válido registrar que os volumes estimados referenciados, foram extraídos da relação estabelecida entre a lâmina d'água e volume de alagamento para o ponto de controle (Figura 48), fazendo equivalência às alturas de alagamento simuladas pelo SWMM.

Figura 52 - Volume de alagamento no Nó 2, resultante da calibração simplificada do modelo para o evento de 17 de maio de 2013.

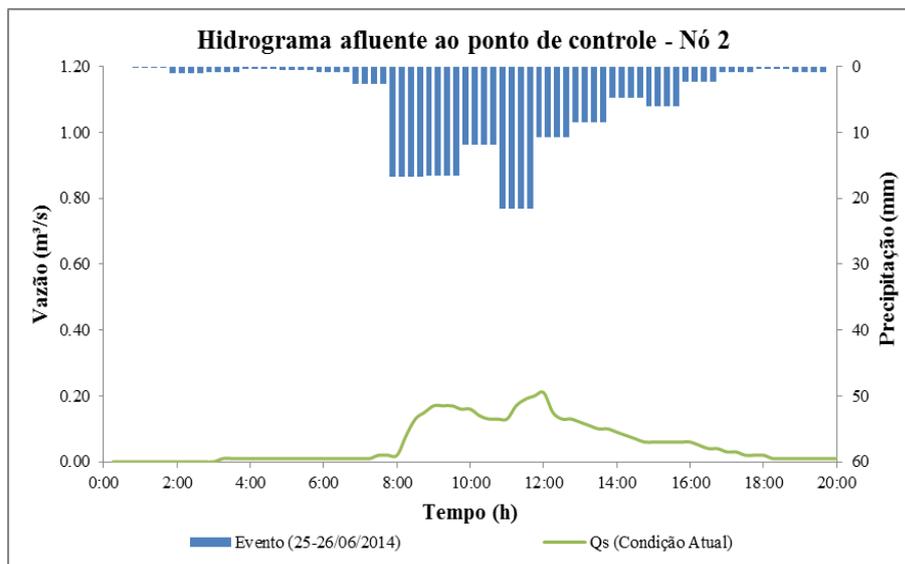


Fonte: Elaborado pelo autor.

Com relação ao balanço hídrico do sistema simulado, aproximadamente 24% do volume gerado pelos eventos se infiltram, sendo o restante convertido em escoamento superficial (coeficiente de escoamento médio de 76%), resultado este muito próximo da realidade local, no qual se define, com base nas literaturas, um *runnof* médio para o Recife na ordem de 0,80, ou seja, 80% do que precipita, esco.

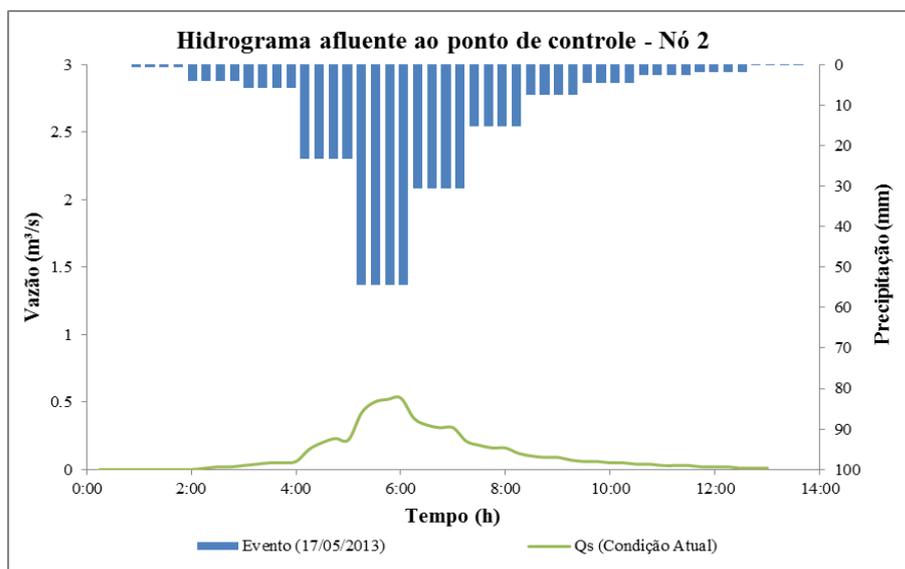
Nestas condições, as Figuras 53 e 54 apresentam as hidrógrafas afluentes ao ponto de controle (Nó 2), na ocorrência dos eventos de precipitação simulados.

Figura 53 - Hidrograma afluente ao Nó 2, resultante da calibração do modelo para o evento de 17 de maio de 2013.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 54 - Hidrograma afluente ao Nó 2, resultante da calibração do modelo para o evento de 17 de maio de 2013.



Fonte: Elaborado pelo autor.

A partir das Figuras 53 e 54 apresentadas, pode-se observar que o evento de 25-26 de junho de 2014 (107,6 mm e $Tr = 2$ anos) apresenta uma vazão de pico afluente ao Nó 2 de 0,21 m³/s, enquanto que para o evento do dia 17 de maio de 2013 (150,8 mm e $Tr = 5$ anos) a vazão máxima simulada foi de 0,53 m³/s.

Também nota-se que o tempo de pico do hidrograma formado pelo primeiro evento ocorre às 12h, enquanto que a máxima precipitação foi registrada às 11h45, mostrando que o tempo de resposta da área de montante ao Nó 2 durante este evento, possui uma defasagem de 15 min (Figura 53).

Este fato se confirma para o segundo evento ($T_{p \text{ precip.}} = 05:45$ horas e $T_{p \text{ hidrog.}} = 06:00$ horas), definindo-se então, este valor como a defasagem média entre a ocorrência máxima da precipitação e o pico do hidrograma refletido no ponto de controle, para um determinado evento (Figura 54).

Numa outra verificação, constatou-se que essa defasagem média é equivalente ao tempo de concentração médio das subáreas que compõem a área de montante ao ponto do alagamento (Nó 2), conforme pode ser visto na Tabela 14.

Tabela 14 - Cálculo do tempo de concentração da área de montante ao ponto crítico.

Subáreas de contribuição ao Nó 2	Área (ha)	Talvegue (m)	Cotas da Superfície (m)		Tc (min)	Tc+5 (min)
			Montante	Jusante		
AC-01	0,39	93,74	5,44	5,25	7,02	12,02
AC-02	2,70	239,11	5,67	5,25	15,25	20,25
AC-03	1,59	122,56	5,65	5,25	7,18	12,18
Tempo de concentração médio (min)						14,81

Equação de Kirpich: $t_c = 57,0(L^3/H)^{0,385}$

Onde: t_c = tempo de concentração, em min;
 L = comprimento do talvegue principal, em km; e
 H = desnível entre a parte mais elevada e a seção de controle, em m.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Visando verificar a consistência das vazões simuladas pelo SWMM, com suas hidrógrafas apresentadas nas figuras anteriores, foi aplicado o método racional (Equação 4) que é bastante utilizado nos projetos de drenagem e recomendado para a determinação de vazões de áreas pequenas, como é o caso da área de contribuição ao ponto de controle.

$$Q=0,00278.C.i.A \quad (\text{m}^3/\text{s}) \quad (4)$$

Sendo: C – Coef. de escoamento $\Rightarrow 0,80$ (Adotado: Área comercial/Edificação muito densa);
 i – Chuva de projeto (mm/h), a partir da equação de chuva intensa do Recife (item 4.3.3);
 A – Área da bacia contribuinte (ha) $\Rightarrow AC-01 + AC-02 + AC-03 = 4,68$.

A Tabela 15 mostra os cálculos realizados com base na aplicação do método racional, considerando os seguintes aspectos:

- Para o evento de 25-26 de junho de 2014 ($Tr = 2$ anos), no qual foram registrados vários picos de precipitação distribuídos e concentrados num intervalo de 4 horas (240 min), a intensidade de precipitação foi calculada com base nesta duração.
- No caso do evento de 17 de maio de 2013 ($Tr = 5$ anos), a intensidade de precipitação foi calculada para a duração de chuva de 1 hora (60 min).

Tabela 15 - Vazões calculadas pelo método racional para as recorrências de 2 e 5 anos.

t (min)	Tr = 2 anos		Tr = 5 anos		Q _{2 anos}	Q _{5 anos}
	i (mm/h)	P(D,T)(mm)	i (mm/h)	P(D,T)(mm)	(m ³ /s)	(m ³ /s)
5	139,50	11,62	162,58	13,55	1,4169	1,6514
15	95,63	23,91	111,45	27,86	0,9714	1,1321
30	68,99	34,50	80,41	40,21	0,7008	0,8168
60	47,44	47,44	55,29	55,29	0,4819	0,5616
120	31,65	63,31	36,89	73,78	0,3215	0,3747
240	20,77	83,07	24,20	96,81	0,2109	0,2458

Equação de Chuva do Recife (2014) =
$$i = \frac{611,3425 \times Tr^{0,1671}}{(t + 7,3069)^{0,6348}}$$

Onde: *i* - Intensidade de chuva (mm/h)
T - Período de retorno (ano)
t - Duração da chuva (minutos)

 Tr: 2 anos (4 h de duração)
 Tr: 5 anos (1 h de duração)

Fonte: Elaborado pelo autor.

Quando comparadas as vazões obtidas pelo método racional com as vazões geradas nas simulações dos eventos considerados, verifica-se uma concordância dos resultados obtidos.

Para o evento de 25-26 de junho de 2014, a vazão máxima obtida nas simulações foi de 0,21 m³/s, enquanto que com a aplicação do método racional chegou-se a uma vazão de 0,2109 m³/s. Já no evento de 17 de maio de 2013, a vazão obtida nas simulações foi de 0,53 m³/s, enquanto que pelo método racional obteve-se a vazão de 0,5616 m³/s. Constata-se, como era de se esperar, que o método racional possui a tendência de majorar as vazões.

A partir desta relação, pode-se concluir que os critérios adotados na calibração do modelo, realizada de forma simplificada, representam bem as condições verificadas em campo na ocorrência dos eventos considerados, além de possuir significativa concordância entre as

respostas geradas no ambiente do modelo e as respostas obtidas com a aplicação de métodos clássicos já bem difundidos na área de Drenagem Urbana.

Diante disso, uma vez calibrado o modelo, estudou-se as possibilidades para o controle do alagamento no local estudado, a partir da proposição de possíveis intervenções na rede de drenagem existente, além da indicação na adoção de medidas compensatórias a fim de mitigar os impactos provocados nos períodos chuvosos.

5.4.2 Cenário 02 (Condição Alternativa)

5.4.2.1 Adequação da rede de drenagem na área de influência do ponto crítico

Conforme já visto no item 5.3, o sistema de drenagem da área de influência do ponto crítico estudado (galeria de drenagem situada na Av. João de Barros até a Rua do Príncipe) possui irregularidades na sua rede, apresentando trechos com problemas de declividade, que interfere no deslocamento do fluxo do escoamento.

O sistema de drenagem da Av. João de Barros tem início no poço de visita representado no modelo SWMM pelo Nó 1 e é composto por uma rede de galeria com diâmetro de $\varnothing=0,40\text{m}$ em toda a sua extensão, apresentando aumento de diâmetro ($\varnothing=0,60\text{m}$) nas imediações da Rua do Príncipe.

No primeiro momento, buscou-se readequar as cotas de fundo dos poços de visita, ajustando consequentemente as declividades dos condutos. Nessa fase foram mantidos os diâmetros das tubulações existentes e os critérios adotados na calibração do modelo.

Um dos grandes problemas na concepção do sistema de drenagem da cidade do Recife são as poucas variações de cotas topográficas superficiais, limitando assim as declividades necessárias para a implantação dos condutos subterrâneos de drenagem, de modo a garantir a eficiência do sistema nos eventos de chuva. Além disso, outro fator que deve ser considerado é a oscilação de maré, com grande influência na maior parte dos exutórios dos sistemas de drenagem da cidade, nos períodos de combinados de maré alta e chuva intensa.

Diante disso, a definição das profundidades e recobrimentos mínimos que deverão ser utilizadas para a implantação da rede é um fator importante não só para garantir a vida útil da tubulação implantada, mas também para viabilizar o funcionamento adequado do sistema. Assim, tendo em vista a readequação das declividades dos condutos de drenagem permitindo recobrimentos menores, optou-se pela utilização de tubos de concreto armado de classes PA2 ou PA3.

Segundo o relatório de Instruções Técnicas para Elaboração de Estudos Hidrológicos e Dimensionamento Hidráulico de Sistemas de Drenagem Urbana (RIO-ÁGUAS, 2010), para o cálculo do recobrimento mínimo, definido a partir da geratriz superior interna do tubo até o pavimento acabado, de tubos circulares para as classes citadas, pode-se utilizar a equação: $REC_{\text{mín}} = D/5 + 0,32\text{m}$, onde D é o diâmetro interno da tubulação.

O manual elaborado pela Prefeitura do Recife em 2004, através da Emlurb, que apresenta as “Diretrizes Executivas de Serviços para Obras de Galerias de Águas Pluviais – Tubulações”, estabelece uma camada compactada de 0,50 m acima da geratriz superior do tubo até o nível original do terreno. Com base nisso, considerou-se como recobrimento mínimo a profundidade de 0,50 m, para a implantação de tubos de concreto armado de classes PA2 ou PA3.

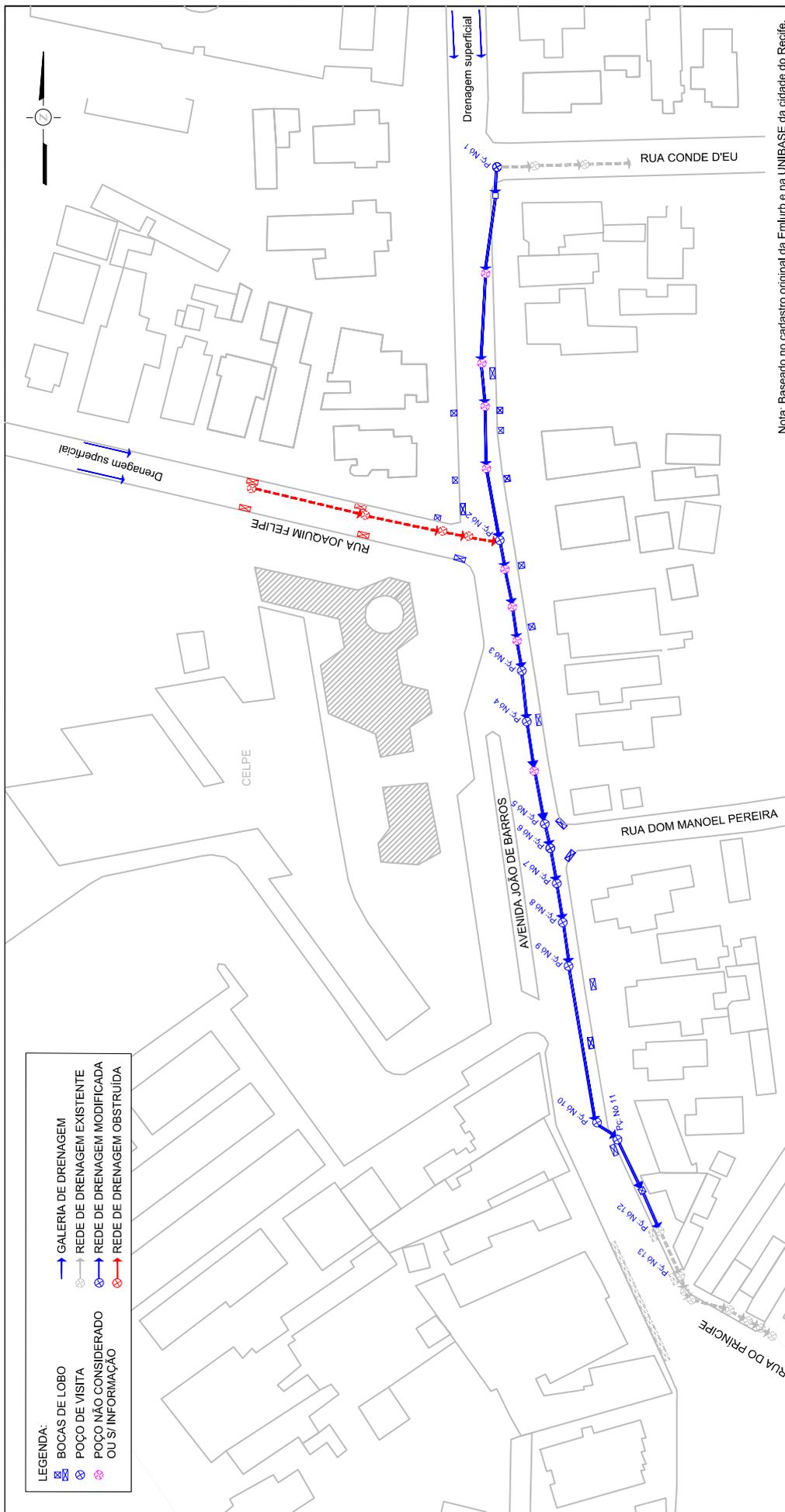
A Figura 55 apresenta em planta o trecho de drenagem readequado. Na Figura 56 são mostrados os perfis longitudinais esquemáticos, destacando os trechos onde foram procedidas as adequações das declividades dos condutos e mudanças de diâmetro.

Para a condição alternativa da rede de drenagem situada na Av. João de Barros, foram realizadas 4 verificações, a saber:

- Verificação 1 – Consistiu apenas na readequação das declividades dos condutos de drenagem, mais especificamente no trecho concentrado entre os poços de visita representados pelo Nó 1 ao Nó 6;
- Verificação 2 – Baseou-se na readequação das declividades dos condutos proposta na Verificação 1, com aumento do diâmetro da galeria ($\varnothing=0,60\text{m}$) a partir do poço de visita representado pelo Nó 4;

- Verificação 3 – Definida pelo rearranjo das declividades dos condutos entre os Nós 1 e 6, além do aumento do diâmetro da tubulação ($\varnothing=0,60\text{m}$) de jusante ao poço de visita, representado pelo Nó 2 (ponto de controle); e
- Verificação 4 – Foi modificada as declividades dos condutos entre os Nós 1 e 6, e procedido o aumento do diâmetro da tubulação para $\varnothing=0,60\text{m}$, em substituição à rede de galeria com diâmetro de $\varnothing=0,40\text{m}$ existente na Av. João de Barros.

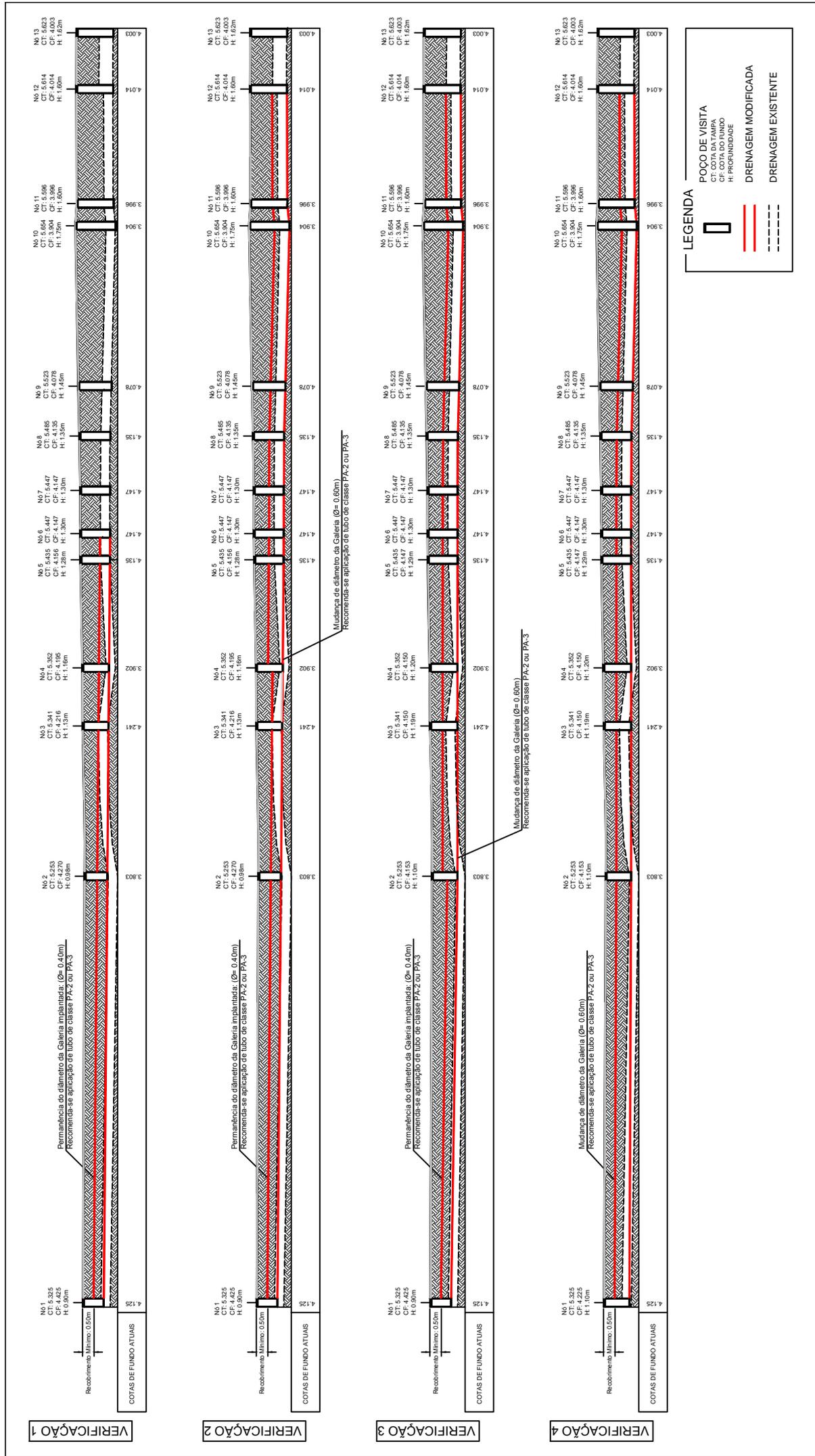
Figura 55 - Rede de drenagem da Av. João de Barros.



Nota: Baseado no cadastro original da Emiurb e na UNIBASE da cidade do Recife.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 56 - Perfis longitudinais esquemáticos da rede de drenagem para cada verificação da condição alternativa.



Fonte: Elaborado pelo autor.

A Tabela 16 apresenta as cotas de fundo dos poços de visita no trecho concentrado entre os Nós 1 e 6 para a condição atual, baseado no cadastro original da Emlurb, e a para a condição alternativa, com base nas verificações citadas anteriormente.

Tabela 16 - Síntese das cotas de fundo dos poços de visita para as condições atual e alternativa, consideradas no modelo.

Condição	Adequação das cotas de fundo dos poços de visita					
	Nó 1	Nó 2	Nó 3	Nó 4	Nó 5	Nó 6
Atual	4,125	3,803	4,241	3,902	4,135	4,147
Alternativa (Verificação 1)	4,425	4,270	4,216	4,195	4,156	4,147
Alternativa (Verificação 2)	4,425	4,270	4,216	4,195	4,156	4,147
Alternativa (Verificação 3)	4,425	4,153	4,150	4,150	4,147	4,147
Alternativa (Verificação 4)	4,225	4,153	4,150	4,150	4,147	4,147

Fonte: Elaborado pelo autor.

A Tabela 17 mostra as novas declividades dos condutos resultantes da adequação das cotas de fundo, apresentadas na Tabela 16, consideradas nas simulações das sobreditas verificações. Ainda na Tabela 17, são apresentados os diâmetros considerados e os trechos correspondentes para cada verificação simulada.

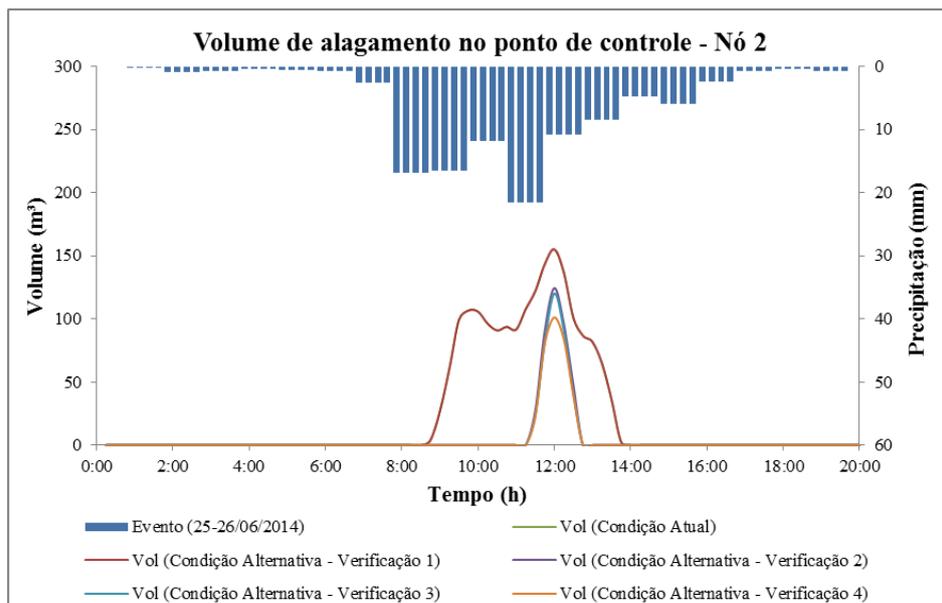
Tabela 17 - Síntese das declividades dos condutos e diâmetros correspondentes para as condições atual e alternativa, consideradas no modelo.

Condição	Readequação das declividades das galerias				
	Tramo (Nó 1 - Nó 2)	Tramo (Nó 2 - Nó 3)	Tramo (Nó 3 - Nó 4)	Tramo (Nó 4 - Nó 5)	Tramo (Nó 5 - Nó 6)
Atual	0,35%	-1,47%	2,67%	-0,99%	-0,21%
Alternativa (Verificação 1)	0,17%	0,18%	0,17%	0,17%	0,16%
	Permanência do diâmetro da tubulação implantada ($\varnothing=0,40\text{m}$)				
Alternativa (Verificação 2)	0,17%	0,18%	0,17%	0,17%	0,16%
	Permanência do diâmetro da tubulação implantada ($\varnothing=0,40\text{m}$)			Aumento do diâmetro da tubulação ($\varnothing=0,60\text{m}$)	
Alternativa (Verificação 3)	0,29%	0,01%	0,00%	0,01%	0,00%
	Permanência do diâmetro da tubulação implantada ($\varnothing=0,40\text{m}$)		Aumento do diâmetro da tubulação ($\varnothing=0,60\text{m}$)		
Alternativa (Verificação 4)	0,08%	0,01%	0,00%	0,01%	0,00%
	Aumento do diâmetro da tubulação ($\varnothing=0,60\text{m}$)				

Fonte: Elaborado pelo autor.

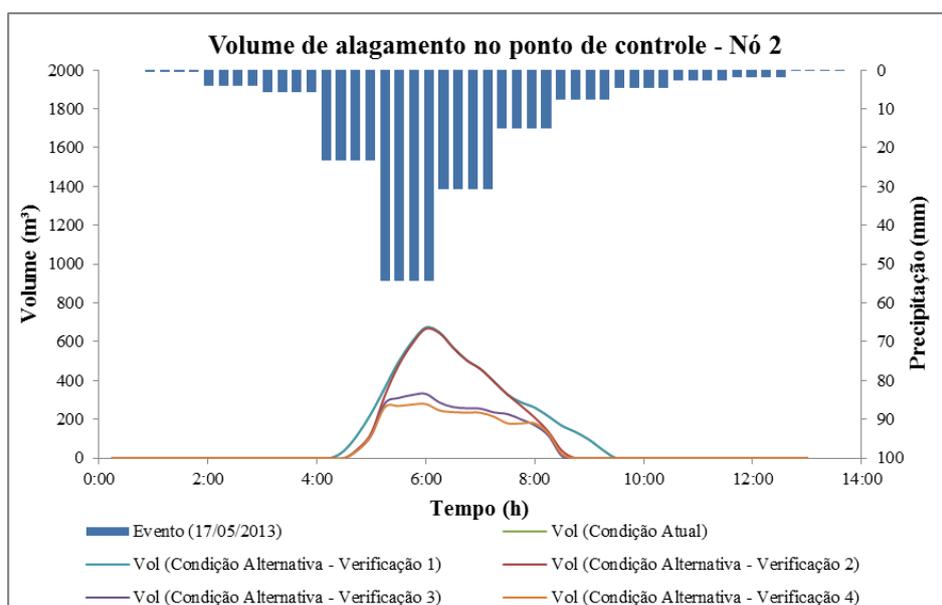
Os resultados das simulações das 4 verificações consideradas são mostradas nas Figuras 57 a 60, nas quais se apresentam os hidrogramas de afluência, os volumes de inundação e as alturas das lâminas d'água no Nó 2 (ponto de controle), para os eventos de 25-26 de junho de 2014 e 17 de maio de 2013.

Figura 57 - Volume de alagamento no Nó 2 com base nas condições atual e alternativa, para o evento de 25-26 de junho de 2014.



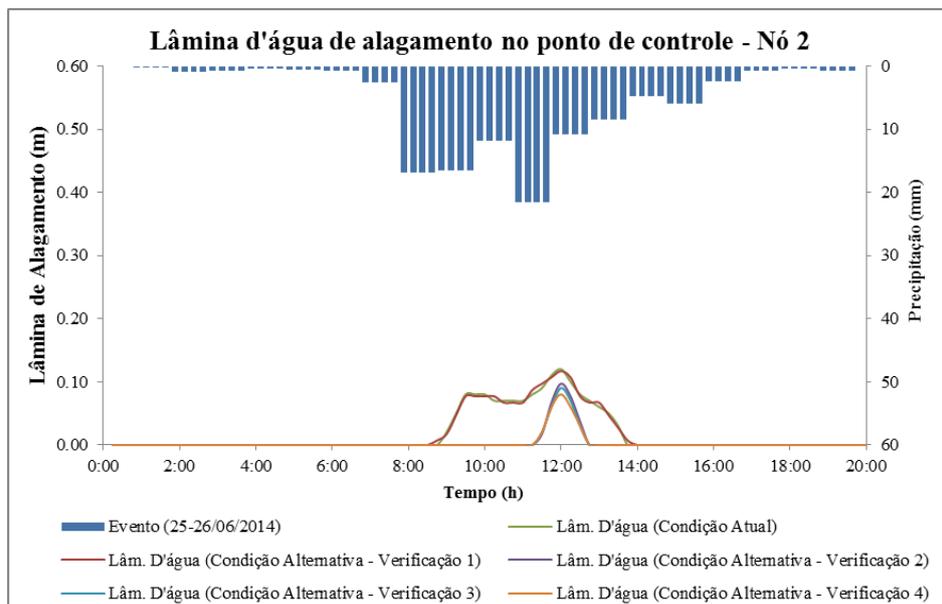
Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 58 - Volume de alagamento no Nó 2 com base nas condições atual e alternativa, para o evento de 17 de maio de 2013.



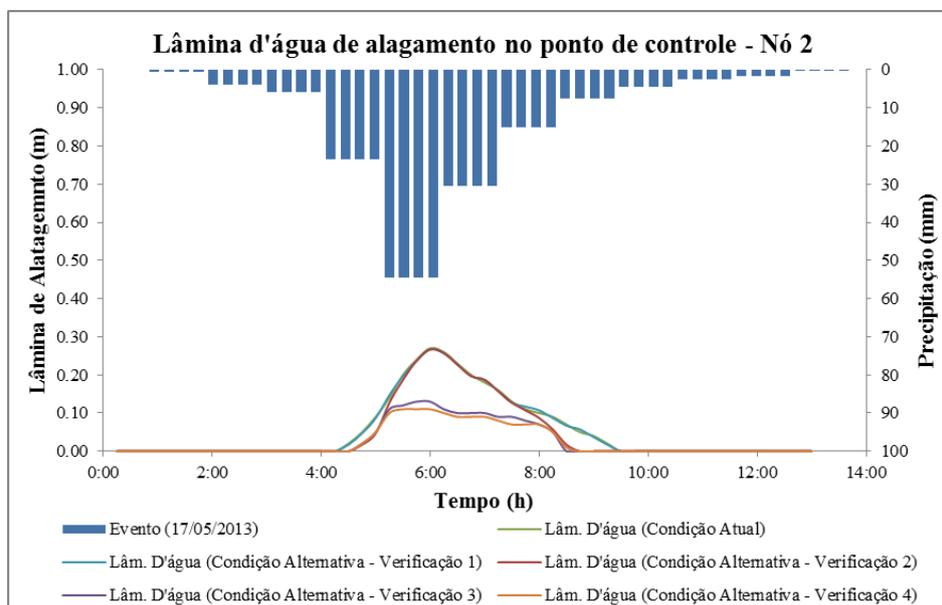
Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 59 - Lâmina d'água de alagamento no Nó 2 com base nas condições atual e alternativa, para o evento de 25-26 de junho de 2014.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 60 - Lâmina d'água de alagamento no Nó 2 com base nas condições atual e alternativa, para o evento de 17 de maio de 2013.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Também é apresentada uma tabela-síntese dos resultados das simulações, contemplando as alturas máximas das lâminas d'água do alagamento, os volumes máximos e os tempos de inundação, além dos erros de continuidade encontrados durante o processo de simulação das verificações propostas, para eventos de precipitação predefinidos (Tabela 18).

Tabela 18 - Síntese dos resultados das simulações para as diferentes verificações da condição alternativa, com base nos eventos considerados.

Condição	Aspectos		Eventos de Precipitação			
			25-26 de junho de 2014		17 de maio de 2013	
			Valor simulado	% de redução	Valor simulado	% de redução
Verificação 1	Altura máxima de inundação (m)		0,12	0%	0,27	0%
	Volume máximo de inundação (m ³)		175,00	0%	681,00	0%
	Tempo de inundação (horas)		5,16	0%	5,19	0%
	Erros de continuidade	Escoamento superficial	-0,03%		-0,04%	
Propagação de vazão		-2,32%		-1,25%		
Verificação 2	Altura máxima de inundação (m)		0,10	17%	0,27	0%
	Volume máximo de inundação (m ³)		125,00	28,57%	675,00	1%
	Tempo de inundação (horas)		1,38	73,25%	4,07	21,58%
	Erros de continuidade	Escoamento superficial	-0,03		-0,04%	
Propagação de vazão		-5,12%		-2,18%		
Verificação 3	Altura máxima de inundação (m)		0,09	25%	0,13	52%
	Volume máximo de inundação (m ³)		120,00	31%	332,00	51%
	Tempo de inundação (horas)		1,36	74%	4,00	23%
	Erros de continuidade	Escoamento superficial	-0,03		-0,04%	
Propagação de vazão		-5,13%		-2,17%		
Verificação 4	Altura máxima de inundação (m)		0,08	33%	0,11	59%
	Volume máximo de inundação (m ³)		110,00	37%	289,00	58%
	Tempo de inundação (horas)		1,31	75%	4,00	23%
	Erros de continuidade	Escoamento superficial	-0,03		-0,04%	
Propagação de vazão		-5,20%		-2,17%		

Fonte: Elaborado pelo autor.

A simulação da Verificação 1, mostrou que nos aspectos analisados (altura máxima, volume máximo e tempo de inundação) não houve variação com relação ao cenário atual, para os eventos de precipitação simulados. Apenas a readequação das cotas, proposta por esta primeira verificação, garantiu somente condições favoráveis para escoamento das águas pluviais através dos condutos, antes dificultado pelas irregularidades presentes da rede. O efeito desta mudança foi observado nos erros de continuidade gerados nos relatórios de simulação dos eventos, mais especificamente na propagação de vazão entre os condutos. Na condição atual, o erro de propagação de vazão era de -8,57% e passou a ser -2,32%, para o evento de 25-26 de junho de 2014. Já para o evento de 17 de maio de 2013, o erro, que na condição atual era de -2,18%, passou a ser de -1,25%.

Com a simulação da Verificação 2, além de melhorar as condições de escoamento pelos condutos, notou-se também uma discreta redução nos níveis de inundação no ponto de controle (Nó 2). Para o evento de 25-26 de junho de 2014, houve uma redução de 28,57% do volume de inundação com relação à condição atual. O maior percentual de redução foi observado no tempo de inundação, com 73,25% a menos do que foi registrado nas condições atuais. O erro de propagação de vazão nos condutos no cenário atual era de -8,57% e passou a ser -5,12%. Já no evento de 17 de maio de 2013, quase não houve alteração em relação aos aspectos encontrados nas condições atuais. A redução do volume de inundação foi de 1%, e o tempo de inundação reduziu em 21,58%. A propagação de vazão nos condutos permaneceu estável, com erro de -2,18%.

Na Verificação 3, a simulação do evento de 17 de maio de 2013 apresentou um melhor desempenho nos níveis de inundação com relação às verificações anteriores. Neste evento, a redução do volume de inundação foi de 51%, com tempo de inundação 23% menor do que as condições atuais. A propagação de vazão apresentou erro próximo ao cenário atual, com -2,17%. Na simulação do evento de 25-26 de junho de 2014 a redução observada se aproximou das verificações anteriores, com volume de inundação apresentando 31% a menos em relação à condição atual e tempo de inundação com diminuição de 74%.

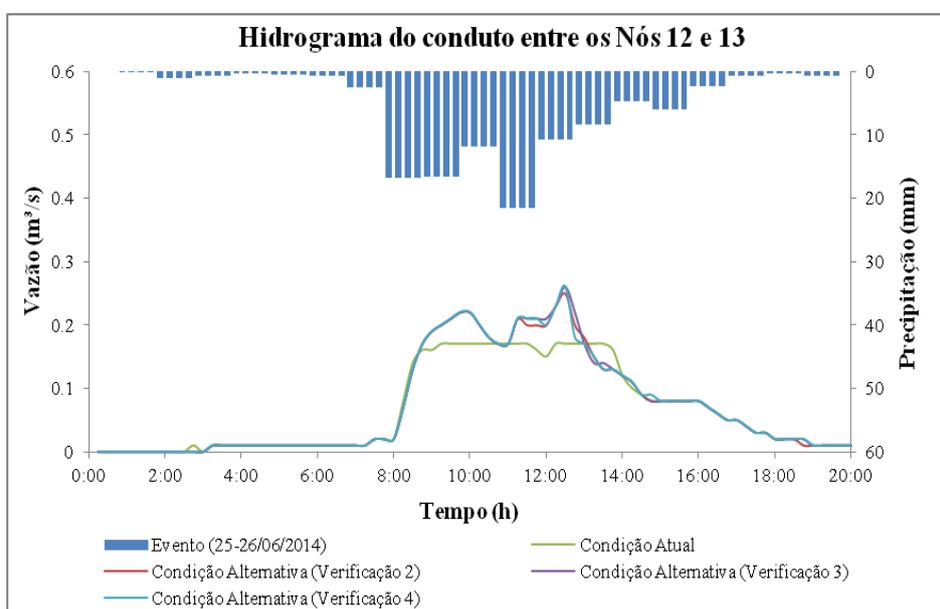
Na última verificação, observou-se uma discreta melhoria no desempenho do sistema em relação à verificação anterior. Para o evento de 25-26 de junho de 2014, houve uma redução de 37% do volume de inundação e 75% do tempo de inundação com relação à condição atual. O erro de propagação de vazão nos condutos, que antes era -8,57%, passou a ser -5,20%. Já no evento de 17 de maio de 2013, a redução do volume de inundação foi de 58%, e o tempo de inundação reduziu em 23%. A propagação de vazão nos condutos apresentou erro próximo ao cenário atual, com -2,17%.

De maneira geral, a adequação das declividades dos condutos a partir do ajuste nas cotas de fundos dos poços de visita garantiu um melhor escoamento das águas pluviais pela rede de galerias que compõe o sistema da área estudada. Em alguns casos, com a adoção das verificações citadas, constatou-se uma significativa redução dos níveis de inundação registrados pelos dois eventos considerados. Isso mostra que a adoção de tais medidas não garante a solução definitiva para os problemas de alagamentos ocorridos na área estudada, apenas atenuam.

Além disso, nos casos para os quais se propôs a mudança no diâmetro da seção da tubulação existente, verificou-se um aumento na sobrecarga dos condutos na região de jusante ao sistema modificado, com incrementos na vazão simulada para o cenário atual de 23% para o evento de 25-26 de junho de 2014 e 35% para o evento de 17 de maio de 2013. Com a ocorrência deste fato, as áreas localizadas à jusante deste sistema, que já apresentavam alagamentos, podem sofrer um aumento nos volumes inundados durante os períodos de chuva.

A Figura 61 mostra a comparação entre os hidrogramas da rede de drenagem imediatamente à jusante do trecho onde foram propostas as intervenções (representado pelo conduto localizado entre os Nós 12 e 13), considerando o evento de 25-26 de junho de 2014. Na Figura 62 são apresentados os resultados indicados no relatório de simulação, nas diferentes condições simuladas, para o mesmo evento de precipitação.

Figura 61 - Hidrogramas na rede de drenagem a jusante do sistema modificado, com base no conduto localizado entre os Nós 12 e 13.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 62 - Relatório de simulação (Vazão máxima no conduto entre os Nós 12 e 13).

	Tipo	Fluxo Maximo CMS	Inst. da Max Ocorrência dia h:min	Veloc Máxima m/seg	Fluxo Max/ Cheio	Prof. Max/ Prof.
CONDIÇÃO ATUAL	CONDUIT	0.173	0 12:16	0.69	1.00	1.00
VERIFICAÇÃO 2	CONDUIT	0.254	0 12:40	0.92	1.47	1.00
VERIFICAÇÃO 3	CONDUIT	0.261	0 12:38	0.94	1.51	1.00
VERIFICAÇÃO 4	CONDUIT	0.261	0 12:38	0.94	1.51	1.00

Fonte: Elaborado pelo autor.

5.4.2.2 Concepção para a implantação de reservatório de retenção na rede de drenagem da área de influência ao ponto crítico.

Com a persistência na ocorrência de inundações durante os eventos de chuva considerados, a partir do rearranjo da rede de drenagem proposto no item anterior, foi simulada outra técnica para reduzir os riscos de alagamentos no ponto crítico estudado.

Trata-se da implantação de um reservatório de retenção (on-line)⁶ ao longo da rede de drenagem principal, mais especificamente na área de influência ao ponto de alagamento. Tal solução para controle de alagamentos já foi adotada na cidade do Recife, mais especificamente no bairro do Espinheiro, e vem apresentando resultados satisfatórios.

O critério normalmente utilizado para o dimensionamento dos reservatórios é não permitir que a vazão máxima da área, que passou pelo processo de desenvolvimento, supere a vazão máxima nas condições preexistentes, para um tempo de retorno escolhido.

Existem diferentes métodos para a estimativa do volume de retenção, muito dos quais são denominados de simplificados. A experiência tem mostrado que os métodos baseados na utilização de modelos hidrodinâmicos (SWMM, HECRAS, etc.), compensam o esforço adicional na etapa de dimensionamento, visto que permitem uma economia dos custos e a detecção de falhas de dimensionamento hidráulico no projeto, impossíveis de serem visadas com as metodologias mais simplificadas (NEVES *et al.*, 2005).

⁶ Os tipos principais de obras de reserva são os reservatórios *on-line* e *off-line*. Os reservatórios *on-line* encontram-se na linha principal do sistema e restituem os escoamentos de forma atenuada e retardada ao sistema de drenagem, de maneira contínua, normalmente por gravidade. Reservatórios *off-line* retêm volumes de água desviados da rede de drenagem principal quando ocorre a cheia e os devolve para o sistema, geralmente por bombeamento ou por válvulas controladas, após obtido o alívio nos picos de vazão (CANHOLI, 2005).

Com a utilização do SWMM, visando simular a eficiência da solução proposta para o dimensionamento preliminar do reservatório de detenção, foram aplicados métodos que definem o volume de armazenamento e também a vazão pelo método racional e equação da continuidade.

Dentre os métodos existentes para obtenção do volume de armazenamento, optou-se pela aplicação do método das chuvas, definido por Baptista *et al.* (2005), devido reduzida quantidade de parâmetros de entrada para a adoção de tal método, necessitando basicamente, das curvas IDF/PDF relativas a longos períodos.

Este método é baseado num conjunto de número “N” de intensidades máximas anuais transformadas em alturas de chuvas, obtidas a partir do produto de cada intensidade pela respectiva duração. Compara-se a altura da precipitação máxima com o produto da vazão específica “ q_s ” pela duração, cuja diferença fornece a altura máxima a armazenar ($DH_{m\acute{a}x}(q_s, T) \Rightarrow$ Equação 5). Sendo “ q_s ” determinada pela Equação 6.

$$DH_{m\acute{a}x} = M\acute{a}x.[P(D, T) - q_s \cdot D] \quad (5)$$

Onde: $DH_{m\acute{a}x}$ = altura máxima a armazenar (m)

$P(D, T)$ = precipitação máxima (mm)

q_s = vazão específica (mm/min)

D = duração da precipitação (min ou h)

$$q_s = Q_s / A_a \quad (6)$$

Onde: q_s - Vazão específica (mm/min)

Q_s - Vazão de saída (restrição) (m^3/s)

A_a - Área de drenagem efetiva (m^2)

$A_a = A$ (área da bacia em m^2) * C (coeficiente de escoamento pós-urbanização)

Logo o volume máximo de armazenamento será dado pela Equação 7 :

$$V_{m\acute{a}x} = DH_{m\acute{a}x} \cdot A_a \quad (7)$$

Onde: $V_{m\acute{a}x}$ = Volume máximo (m^3)

Quanto aos parâmetros de entrada, para a obtenção da vazão afluyente (Q_s) pelo método racional, no que se refere à intensidade da chuva de projeto, adotou-se o tempo de recorrência de 2 e 5 anos (coincidentes com os períodos de retorno dos eventos de precipitação simulados), geralmente utilizado para concepção dos projetos de microdrenagem, e a duração da chuva igual ao tempo de concentração médio da área de montante ao ponto crítico estudado (15 min).

A intensidade de chuva foi obtida pela nova equação de chuva intensa do Recife, elaborada no âmbito do Plano Diretor de Drenagem Urbana do Recife, apresentada no item 4.3.3. Foi adotado o coeficiente de escoamento (C) de 0,86, característico de uma área com urbanização consolidada, como é o caso do Recife, onde segundo a Emlurb (2013) apresenta *runnof* na ordem de 0,80.

Com base nos critérios adotados, a Tabela 19 mostra a aplicação do método das chuvas para a obtenção do volume de armazenamento do reservatório, para as recorrências de 2 e 5 anos.

Na Tabela 20 também é apresentada a aplicação do método das chuvas, só que dessa vez considerando a vazão de saída (Q_s) da área de contribuição ao ponto de alagamento equivalente à vazão máxima obtida para a galeria situada na referida área, fazendo uso da equação da continuidade. Nesse caso, considerou-se a seção plena (preenchida) da galeria de $\varnothing=0,40\text{m}$, adotando a velocidade máxima admissível para condutos de concreto de 4,5 m/s segundo o DNIT (Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes).

Tabela 19 - Aplicação do método das chuvas, considerando a vazão de saída da área de montante pelo método racional (Baptista *et al*, 2005).

t (min)	Tr = 2 anos		Tr = 5 anos		Área de Montante (ha)	Coef. de escoamento (C)	Q _S (2 anos) (m ³ /s)	Q _S (5 anos) (m ³ /s)	qs=Qs/Aa				Altura de água evacuada qs.t (mm)		Altura a Armaz. P-qst (mm)		Volume a armazen. (m ³)	
	i (mm/h)	P(D,T) (mm)	i (mm/h)	P(D,T) (mm)					Tr = 2 anos		Tr = 5 anos		Tr = 2 anos	Tr = 5 anos	f(t) Tr = 2 anos	f(t) Tr = 5 anos	Tr = 2 anos	Tr = 5 anos
									(m/s)	(mm/min)	(m/s)	(mm/min)						
15	95,63	23,91	111,45	27,86	4,68	0,86	1,07	1,24	2,66E-05	1,60	3,10E-05	1,86	11,87	13,83	12,04	14,03	483,08	563,00

Fonte: Elaborado pelo autor.

Tabela 20 - Aplicação do método das chuvas, considerando a vazão de saída da área de montante através do conduto de Ø=0,40m, com base na equação da continuidade (Baptista *et al*, 2005).

t (min)	Tr = 2 anos		Tr = 5 anos		Área do conduto Ø=0,40m (m ²)	Vazão Máxima Admissível no conduto (m/s)	Q (m ³ /s)	qs=Qs/Aa		Altura de água evacuada qs.t (mm)	Altura a Armaz. P-qst (mm)		Volume a armazen. (m ³)	
	i (mm/h)	P(D,T) (mm)	i (mm/h)	P(D,T) (mm)				(m/s)	(mm/min)		f(t) Tr = 2 anos	f(t) Tr = 5 anos	Tr = 2 anos	Tr = 5 anos
15	95,63	23,91	111,45	27,86	0,13	4,50	0,5338	1,29E-05	0,78	11,64	12,27	16,23	506,60	669,91

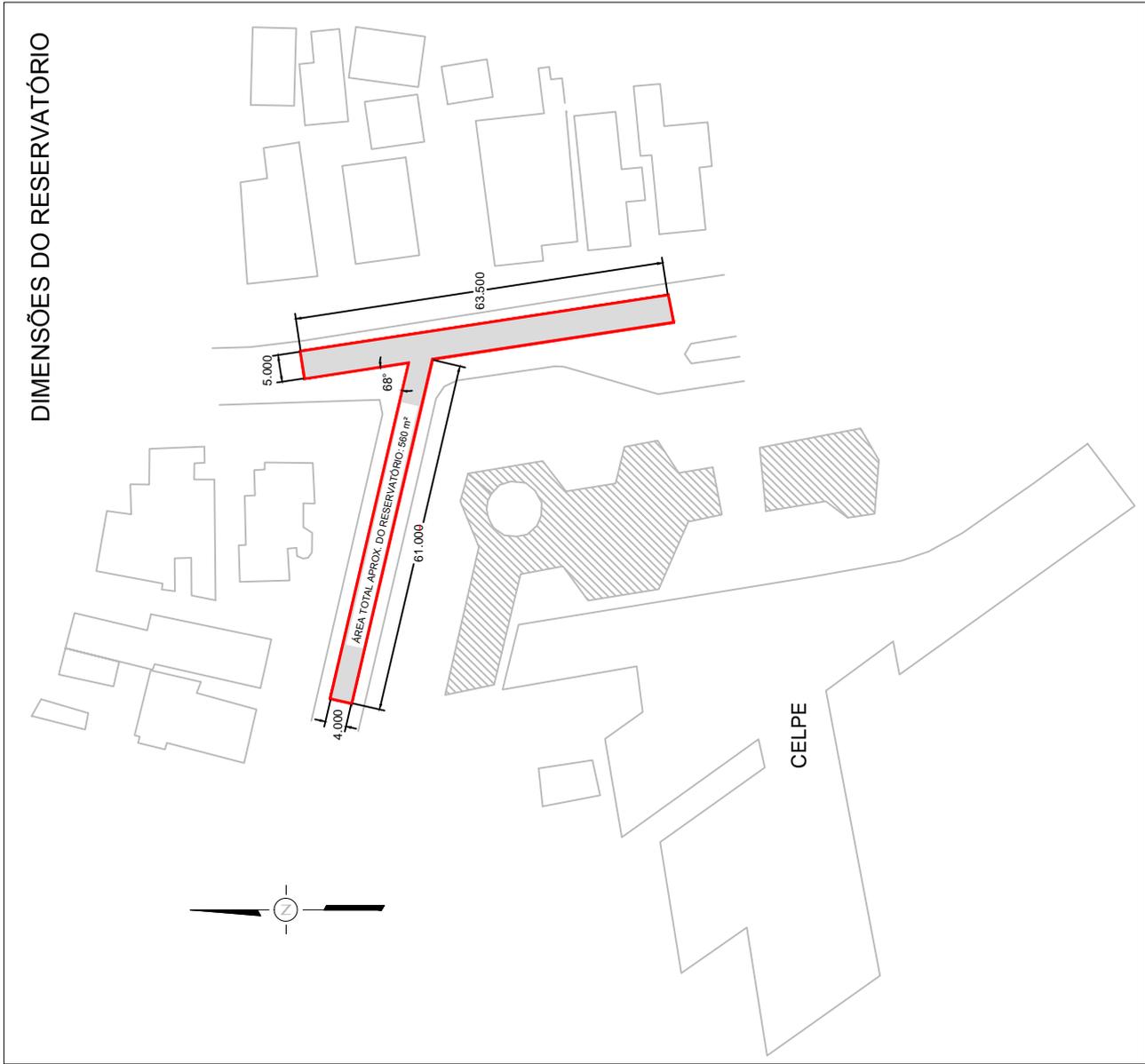
Fonte: Elaborado pelo autor.

Além dos métodos aplicados para a obtenção do volume de reservação, é fundamental compatibilizar as dimensões necessárias para o armazenamento com as condições locais, tendo como base a largura dos logradouros e profundidade dos poços de visita existentes.

Devido às limitações de espaço (pequenas variações de cota), se chegou a um volume de 560 m³, valor este bastante próximo dos volumes obtidos pelo método das chuvas para as recorrências de 2 e 5 anos. A partir deste volume, obteve-se o dimensionamento do reservatório de detenção (Figura 63), cujas paredes e lajes têm espessura de 0,20m, com área de 560 m² e altura útil interna de 1,00 m.

É importante ressaltar que, para a implantação do reservatório de detenção proposto, deve-se analisar e verificar a compatibilidade de sua locação e dimensões com outros elementos da infraestrutura urbana local, como: rede de água e esgoto; cabeamento subterrâneo de eletricidade, telefonia e internet; raízes de árvores; entre outros aspectos.

Figura 63 - Localização e dimensões do reservatório de detenção proposto.

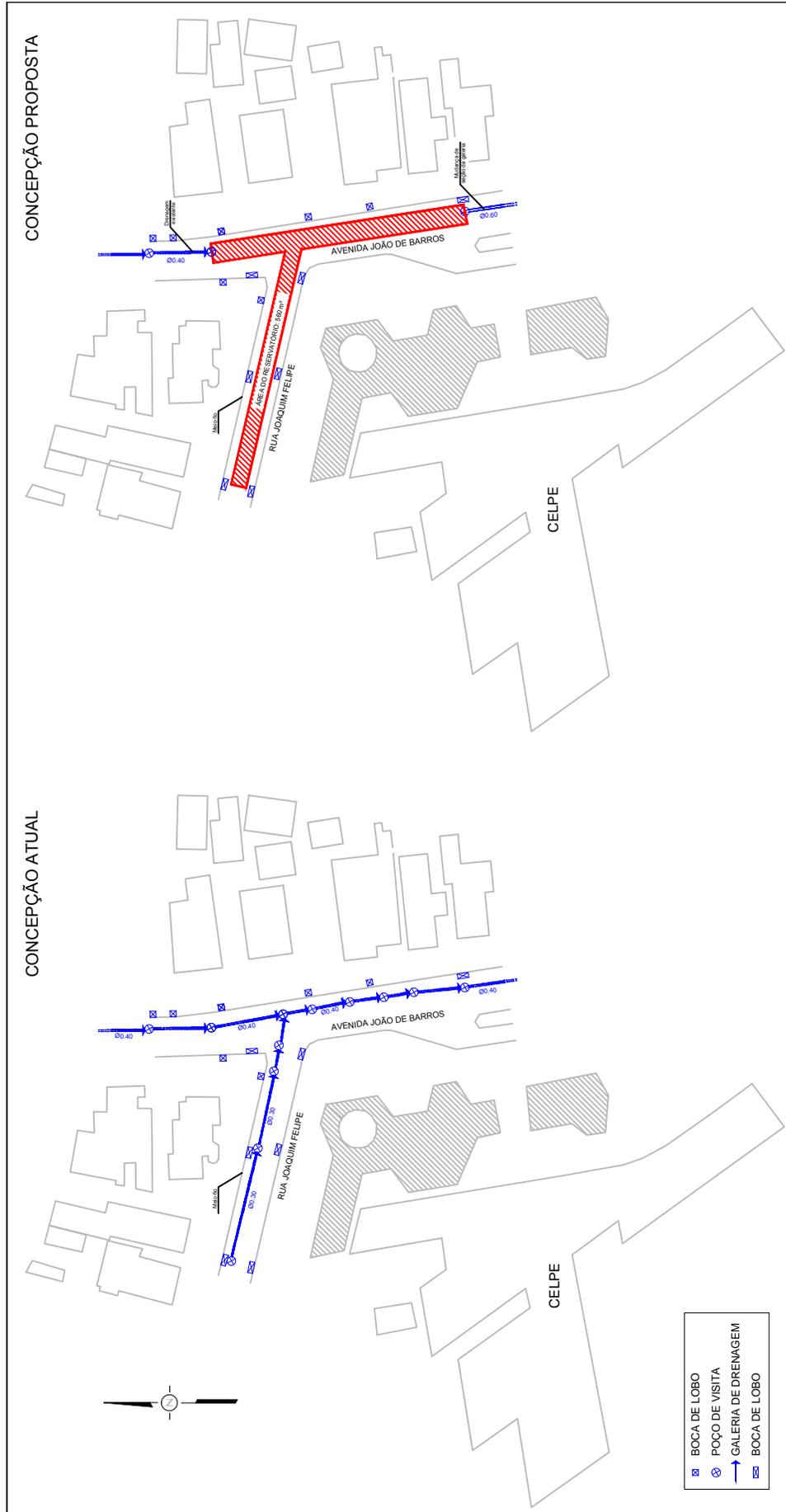


Fonte: Elaborado pelo autor.

Como pôde ser observada na Figura 63, a locação do reservatório buscou abranger a planície de alagamento do ponto crítico estudado, contemplando a Avenida João de Barros e a Rua Joaquim Felipe.

Para a concepção desta solução, adotou-se a readequação da rede de drenagem proposta pela Verificação 2, com a rede de drenagem de chegada ao reservatório com diâmetro de $\varnothing=0,40\text{m}$ e a galeria de saída com diâmetro de $\varnothing=0,60\text{m}$ (a partir do poço de visita representado pelo Nó 4) (Figura 64).

Figura 64 - Esquema representativo da concepção atual e proposta (alternativa).

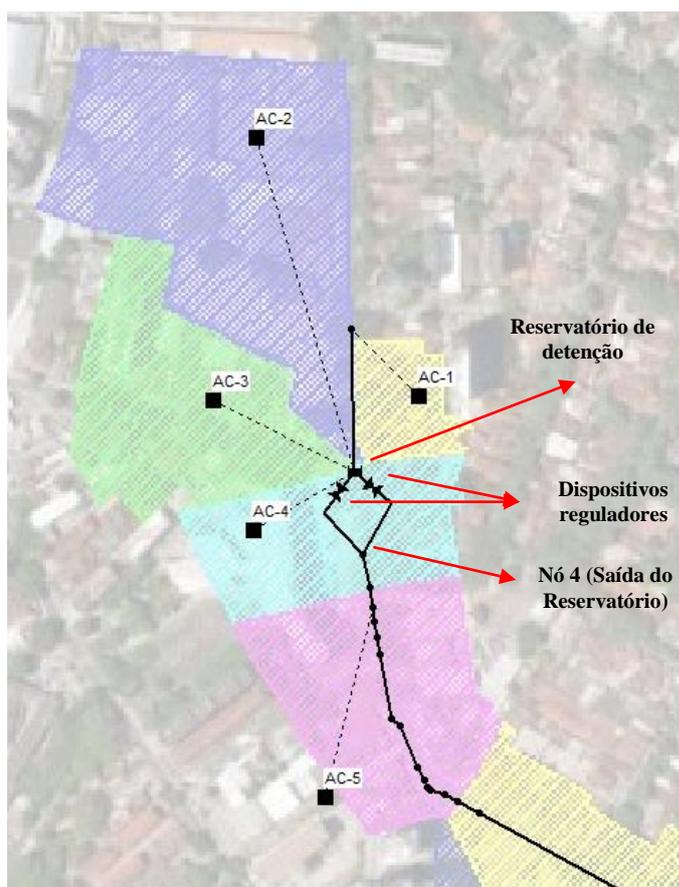


Fonte: Elaborado pelo autor.

Com a proposta de implantação do reservatório ao longo da rede de microdrenagem existente, o mesmo deve dispor de dispositivos de controle, tais como orifícios e vertedores, que terão a função de devolver ao sistema vazões controladas, no caso do orifício, ou vazões excedentes de chuvas cuja carga ultrapasse a altura da soleira do reservatório projetado, no caso dos vertedores.

Estes dispositivos garantem a função de armazenamento do reservatório, favorecendo o acúmulo de volume excedente na rede, o que provocaria o alagamento, além de reduzir a sobrecarga do sistema de drenagem à jusante do reservatório. A Figura 65 mostra a implantação do reservatório de detenção e os dispositivos reguladores no ambiente do modelo SWMM.

Figura 65 - Representação do reservatório de detenção no ambiente do SWMM.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Para a obtenção da seção dos dispositivos reguladores (orifício e vertedores) foram realizadas várias simulações com o objetivo de verificar uma seção ótima do orifício e uma altura

compatível da soleira do vertedor, suficiente para cumprir com a função de armazenamento do reservatório, reduzindo as condições de alagamento da área estudada, e regular a vazão de saída do reservatório sem comprometer o sistema de drenagem de jusante.

Junto a isso, foi feito o dimensionamento do orifício que se baseou na equivalência entre a vazão máxima admissível da galeria de drenagem de $\varnothing=0,60\text{m}$ imediatamente à jusante do reservatório (obtida pela equação de Manning) e a vazão de saída do reservatório (Tabela 21), onde no software Excel permitiu-se a realização do teste de hipótese, tendo como elemento variável a área da seção do orifício.

Tabela 21 - Determinação da seção do orifício – Equação de Manning.

Vazão máxima na galeria $\varnothing=0,60\text{m}$ (m^3/s)		$Q_{\text{orifício}} = m \cdot S \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot h}$ $m = 0,60$ (adotado) $S =$ Área da seção do orifício (m^2) $g = 9,81 \text{ m/s}^2$ $h =$ carga hidráulica (m)			
$Q_{\varnothing=0,60}$	$90\% * Q_{\varnothing=0,60}$	M	S (m^2)	h (m)	$Q_{\text{orifício}}$ (m^3/s)
0,31	0,28	0,60	0,15	0,50	0,28
Equação de Manning	$Q = \frac{R^{2/3} \cdot J^{1/2} \cdot A}{n}$	<ul style="list-style-type: none"> • Condições para o conduto funcionar como orifício: $h \geq 1,20 * 0,4 \Rightarrow h \geq 0,48$ • Orifício de seção quadrada (0,40 x 0,40 m) • Quanto às dimensões relativas: $d > h/3$ ($0,4 > 0,49/3$) \Rightarrow Grande • Altura do vertedor em parede delgada ($0,49 + 0,40/2 = 0,70 \text{ m}$) • Espessura da parede delgada ($e < 0,5d$) $\Rightarrow e < 0,5 * 0,4 \Rightarrow 0,20\text{m}$ 			
$n = 0,012$ $R =$ raio hidráulico (m) $J =$ declividade (m/m) $A =$ Área da seção (m^2)					

Fonte: Elaborado pelo autor.

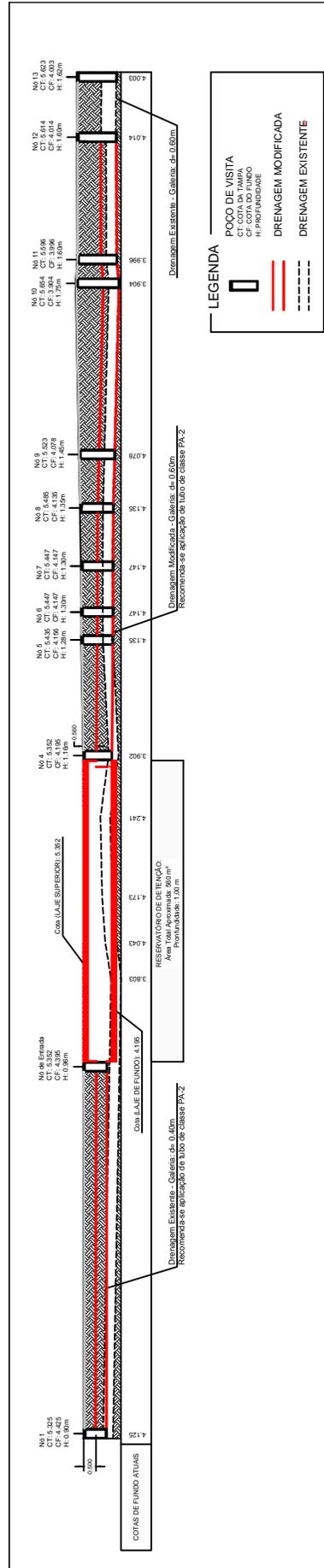
Com base nos cálculos e nas simulações para definir a seção necessária, a saída é através de um orifício de 40 x 40 cm, e este orifício está ligado a um poço de visita representado pelo Nó 4, de onde sai uma nova rede de drenagem, a partir da concepção da Verificação 2, que propôs o aumento do diâmetro da tubulação para $\varnothing=0,60\text{m}$ a partir deste nó.

A determinação da altura do vertedor (0,70 m), concebido em parede delgada sem contrações laterais como mostrada na tabela anterior, foi definida de tal forma que o conduto quadrado (40 x 40 cm) funcionasse como orifício. Além disso, a definição da altura do vertedor também esteve limitada à cota da tampa do poço de visita situado à montante do reservatório (Nó 1 = 5,325), garantindo o vertimento das águas, quando o nível d'água dentro do reservatório

atingir a cota da soleira do vertedor, sem ocorrer o remanso, o que causaria alagamento nesse poço.

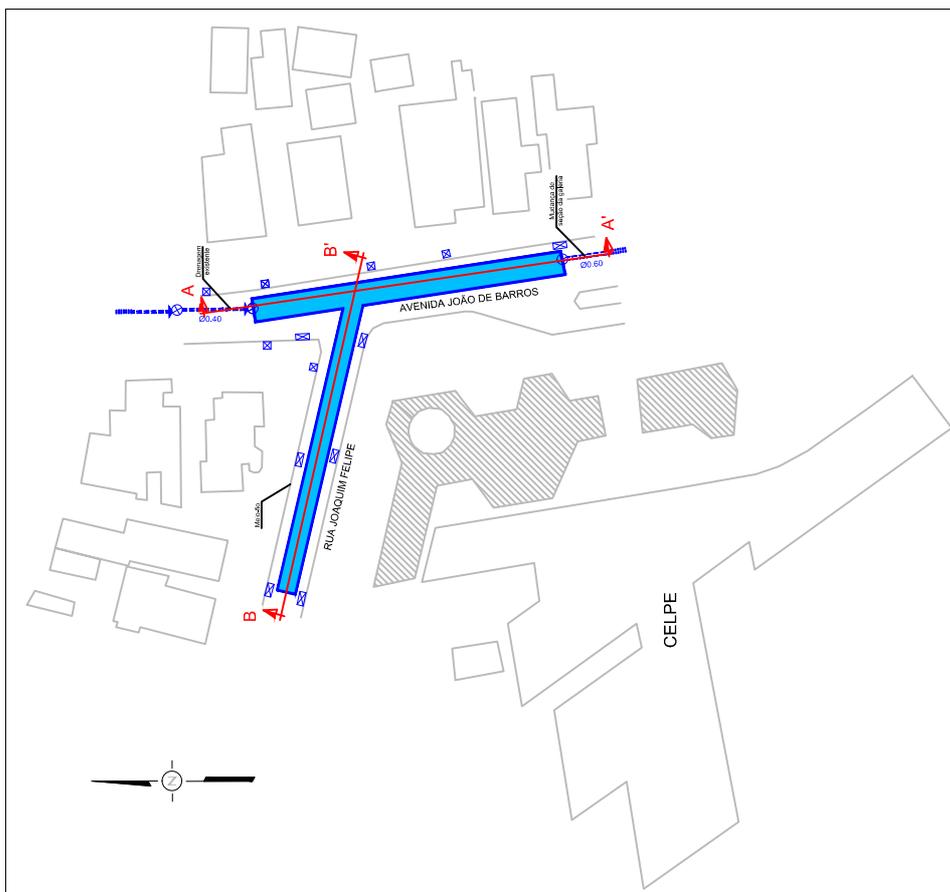
A Figura 66 mostra o perfil esquemático do reservatório proposto, com a concepção da rede de drenagem de entrada e saída do reservatório, baseado no rearranjo da Verificação 2. Já a Figura 67 apresenta os cortes esquemáticos do reservatório de detenção proposto.

Figura 66 - Perfil esquemático com a integração entre a Verificação 2 e a implantação do reservatório de detenção proposto.

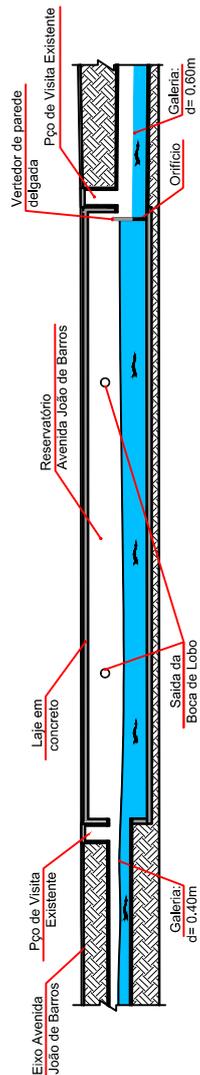


Fonte: Elaborado pelo autor.

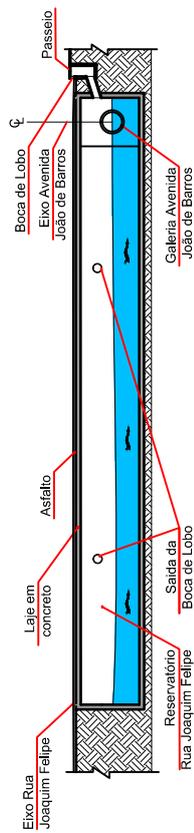
Figura 67 - Cortes esquemáticos do reservatório de detenção proposto.



CORTE ESQUEMÁTICO AA'



CORTE ESQUEMÁTICO BB'



Fonte: Elaborado pelo autor.

Para avaliar a função reguladora dos dispositivos citados, além de analisar a capacidade de armazenamento do reservatório de detenção proposto, é necessário realizar um comparativo entre esta concepção de solução e a condição sem controle de vazão. Para a condição sem controle de vazão, ficou definido o cenário estabelecido pela Verificação 2, uma vez que a concepção para a implantação do reservatório utilizou como premissa a readequação da rede de drenagem sugerida pela sobredita verificação.

Na simulação desta proposta, utilizando o modelo SWMM, verificou-se uma redução nos valores de pico de vazão na rede de drenagem de jusante ao reservatório, cujos valores são apresentados na Tabela 22. Esta simulação considerou apenas o evento de 25-26 de junho de 2014, devido à existência de vários picos de precipitação distribuídos e concentrados num intervalo de 4 horas, apresentando assim um tempo decorrido maior de evento simulado.

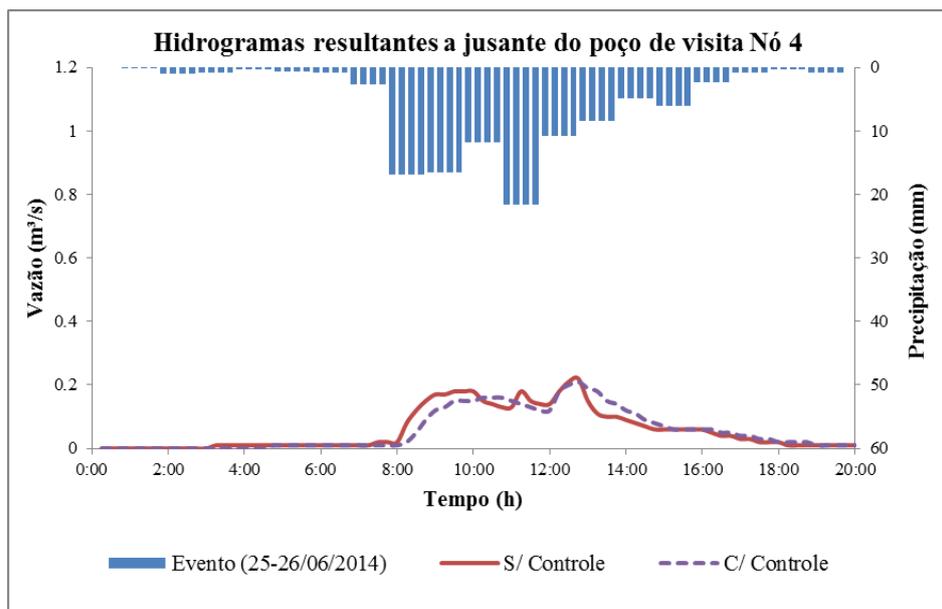
A Figura 68 mostra o comparativo entre os hidrogramas simulados na rede de drenagem à jusante do poço de visita “Nó 4”, para os cenários sem controle e utilizando o reservatório.

Tabela 22 - Resultados da simulação em dois cenários.

Tempo (h:min)	Chuva (mm)	Q (S/ Controle) m³/s	Q (C/ Controle) m³/s	Percentual de redução (%)
08:00:00	16,8	0,02	0,01	50%
08:15:00	16,8	0,08	0,02	75%
08:30:00	16,8	0,12	0,05	58%
08:45:00	16,8	0,15	0,09	40%
09:00:00	16,6	0,17	0,12	29%
09:15:00	16,6	0,17	0,13	24%
09:30:00	16,6	0,18	0,15	17%
09:45:00	16,6	0,18	0,15	17%
10:00:00	11,8	0,18	0,15	17%
10:15:00	11,8	0,15	0,16	-7%
10:30:00	11,8	0,14	0,16	-14%
10:45:00	11,8	0,13	0,16	-23%
11:00:00	21,6	0,13	0,15	-15%
11:15:00	21,6	0,18	0,14	22%
11:30:00	21,6	0,15	0,13	13%
11:45:00	21,6	0,14	0,12	14%
12:00:00	10,8	0,14	0,12	14%
12:15:00	10,8	0,18	0,18	0%
12:30:00	10,8	0,21	0,2	5%
12:45:00	10,8	0,22	0,21	5%
Percentual médio de redução				27%

Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 68 - Hidrograma comparativo entre as condições com e sem controle.



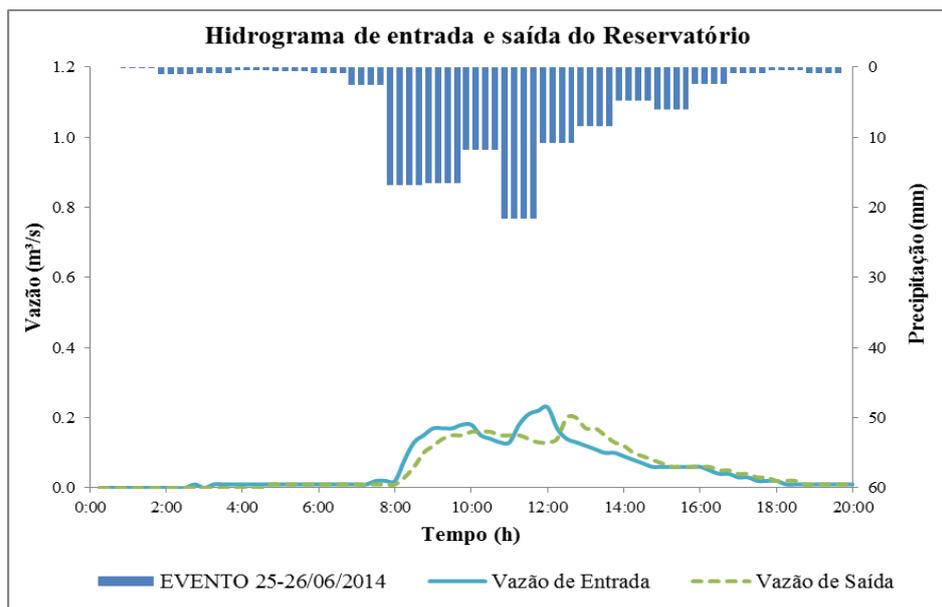
Fonte: Elaborado pelo autor.

Na análise dos dados simulados constata-se uma redução média de 27 % na vazão de pico efluente do poço de visita “Nó 4” propiciando amortecimento das vazões no sistema de drenagem a jusante do reservatório e favorecendo as condições de armazenamento do mesmo.

Quando analisado a capacidade percentual de armazenamento do reservatório, com vistas na relação entre a vazão afluente e efluente ao mesmo, verifica-se que para o evento de 25-26 de junho de 2014 (com T_r calculado em 2 anos) 54% do volume afluente ao reservatório é armazenado. Para o evento de 17 de maio de 2013 (com T_r calculado em 5 anos) observa-se que 41% do volume afluente ao reservatório é armazenado no mesmo. Em termos médios, pode-se concluir que o reservatório possui uma capacidade percentual de acumulação de 48%.

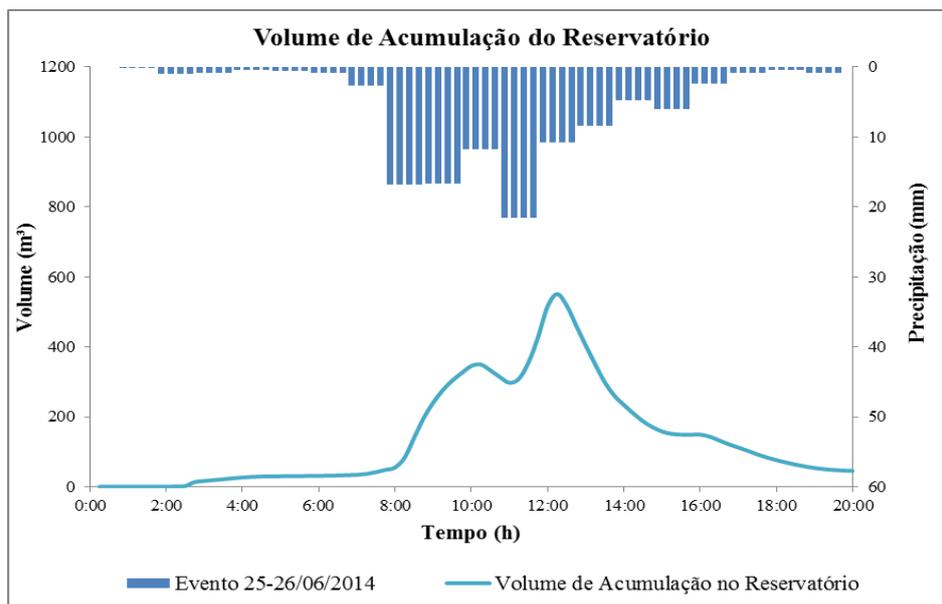
Com base nisso, as Figuras 69 e 72 mostram os hidrogramas de entrada e de saída do reservatório, evidenciando a redução das vazões de pico afluentes ao mesmo. Já as Figuras 70, 71, 73 e 74 mostram os volumes armazenados e as alturas d’água ao longo do tempo decorrido de cada evento considerado.

Figura 69 - Hidrograma comparativo entre as vazões de entrada e de saída do reservatório (25-26/06/2014).



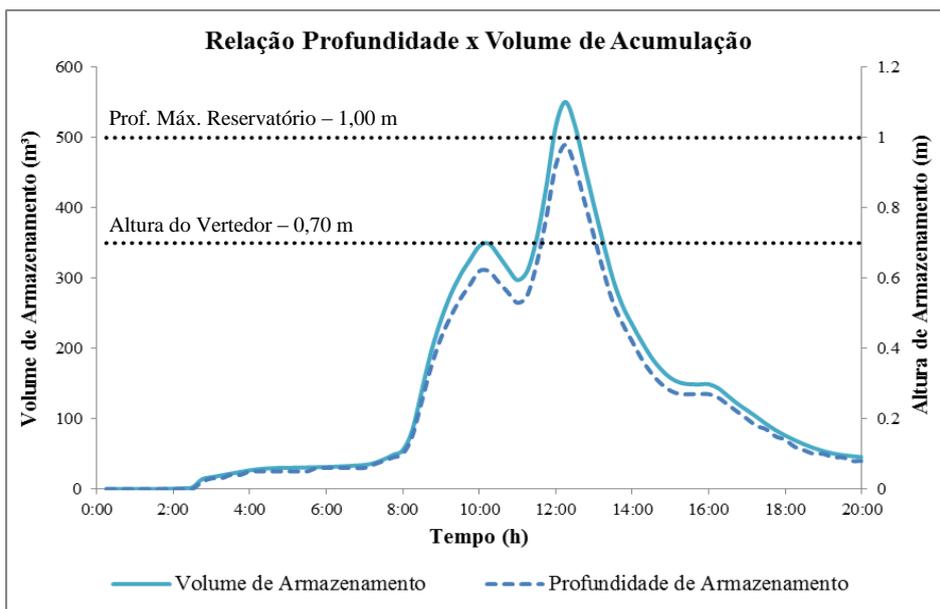
Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 70 - Gráfico do volume de acumulação no reservatório (25-26/06/2014).



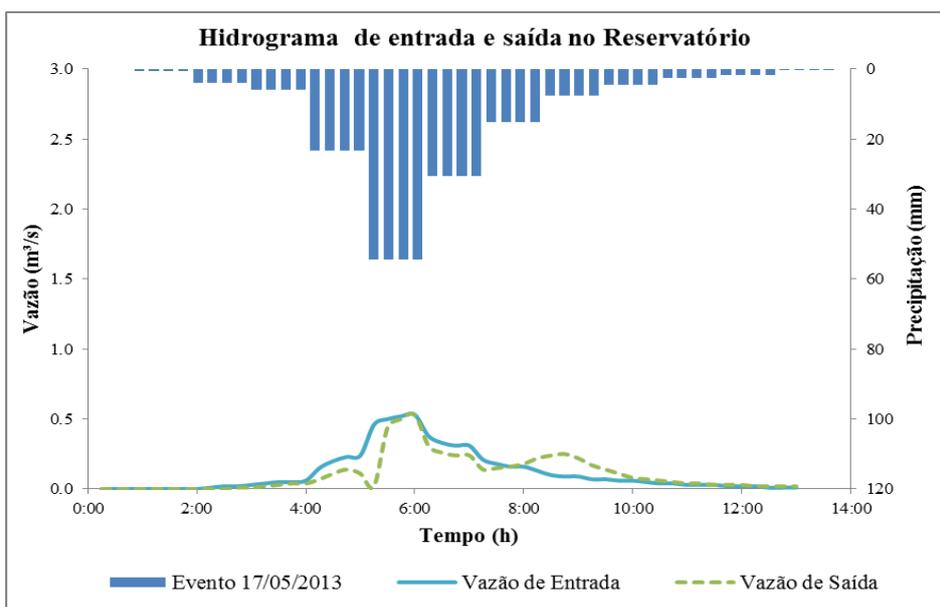
Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 71 - Relação entre a altura d'água e volume no reservatório (25-26/06/2014).



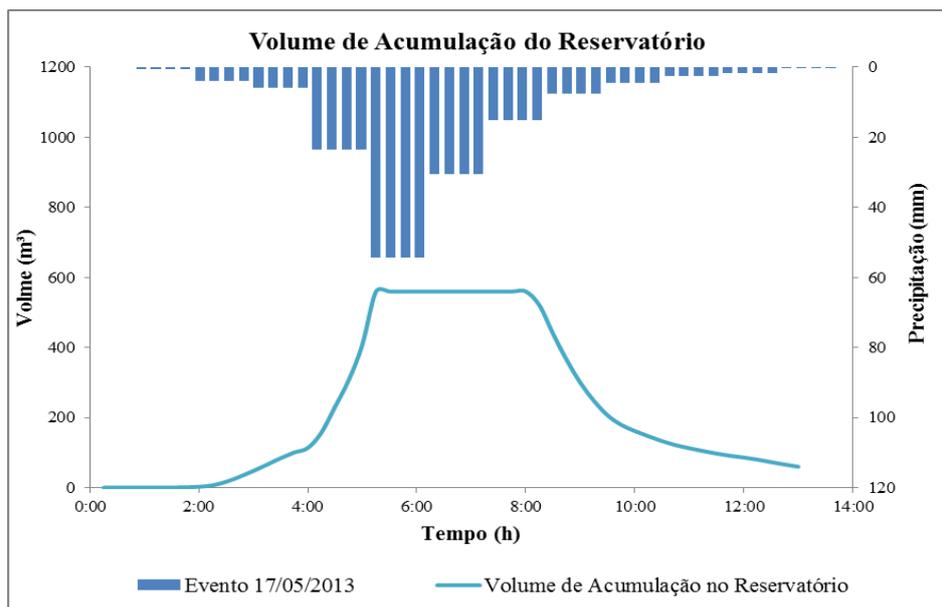
Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 72 - Hidrograma comparativo entre as vazões de entrada e de saída do reservatório (17/05/2013).



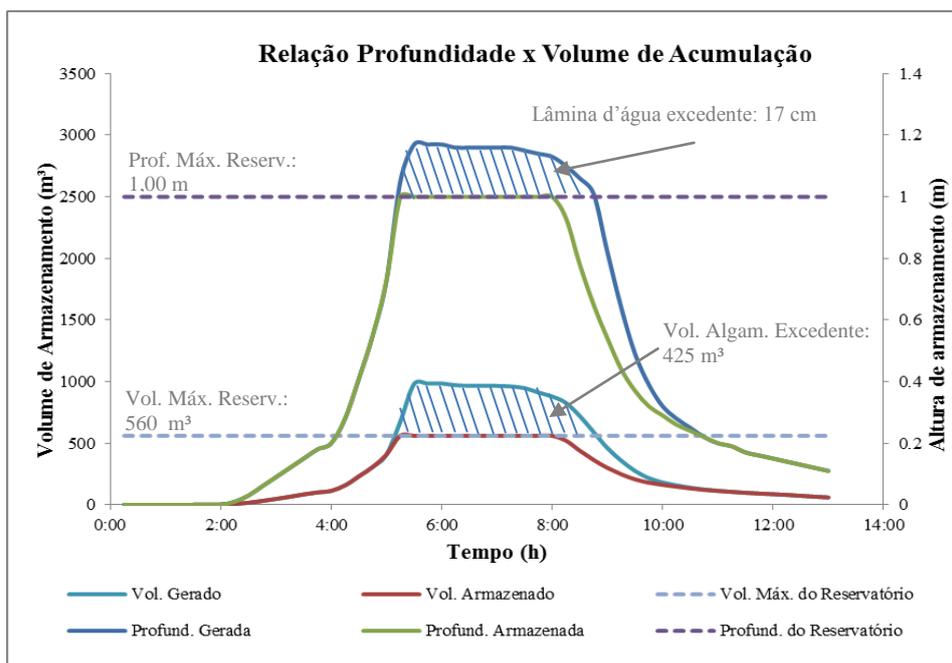
Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 73 - Gráfico do volume de acumulação no reservatório (17/05/2013).



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 74 - Relação entre a altura d'água e volume no reservatório (25-26/06/2014).



Fonte: Elaborado pelo autor.

Com base nas Figuras 69 a 71, pôde-se observar que para o evento com T_r de 2 anos, o reservatório dimensionado torna-se satisfatório, uma vez que o volume produzido pelo evento encontra-se dentro da capacidade total de armazenamento do mesmo, com as alturas d'água dentro da profundidade estabelecida para o reservatório. Ainda de acordo com as citadas

figuras, observa-se que houve o extravasamento do excedente de água dentro do reservatório através do vertedor, considerando-o com uma altura de 0,70 m. O tempo de vertimento foi de 1 hora e 15 minutos.

Já as Figuras 72 a 74 obtidas para o evento com Tr calculado em 5 anos, verifica-se um achatamento no gráfico de volumes armazenados entre 5h15 e 8h, durante 2 horas e 45 minutos, propiciando nessas condições alagamentos de menor magnitude ao efetivamente ocorrido durante o evento de 17 de maio de 2013. As alturas d'água excedentes chegam ao máximo de 17 cm, com volume de alagamento na ordem de 425 m³.

De forma resumida, a Tabela 23 apresenta uma síntese dos resultados obtidos através da simulação do reservatório e a condição atual para os eventos considerados, mostrando os percentuais de redução provocados pelo efeito desta solução. Os resultados mostrados são alguns dados do relatório de simulação referente ao ponto de alagamento estudado (Nó 2), no que diz respeito ao tempo inundado e respectivo volume de inundação.

Nota-se que, no cenário com controle, há uma redução do tempo de inundação (30,25%), o volume de inundação é menor, com um decréscimo de aproximadamente 38%, o que vem a corroborar com a redução da vazão de pico para eventos com recorrência de 5 anos. Para eventos com recorrência de 2 anos, o reservatório de detenção proposto é satisfatório.

Tabela 23 - Resultados da simulação em dois cenários para os eventos considerados.

Evento	Cenário	Tempo de inundação (h)	Altura da lâmina d'água (m)	Volume de alagamento (m³)
25-26/06/2014	S/ Controle	5,16	0,12	175
	C/ Controle	-	-	-
Redução (%)		-	-	-
17/05/2013	S/ Controle	5,19	0,27	681
	C/ Controle	3,62	0,17	425
Redução (%)		30,25	37,03	37,59

Fonte: Elaborado pelo autor.

6 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

6.1 AÇÕES NECESSÁRIAS PARA A DRENAGEM URBANA DO RECIFE

A solução eficiente para a drenagem urbana passa por um conjunto de fatores, que incluem não só intervenções clássicas na área de contribuição ao ponto de alagamento, como também medidas que integrem a drenagem com o planejamento urbano, e medidas não estruturais, que incluem a educação ambiental da população e normas para que cada usuário não amplie a sua contribuição para a rede de drenagem.

No contexto da gestão da drenagem urbana, a sua eficácia está diretamente relacionada à gestão eficiente do espaço urbano. Para isto, a gestão urbana deve ser focada na implementação de planos com visão integrada de bacia e de saneamento, de forma a equilibrar os efeitos hídricos provocados pela urbanização e impermeabilização do solo.

O modelo de gestão implantado é deficiente, tendo em vista a dispersão dos serviços de saneamento, inclusive prestados por esferas distintas de governo, dificultando a sua integração.

Quanto à concepção atual do sistema de drenagem da cidade do Recife, faz-se necessário que o mesmo seja revisto, diante da sobrecarga das tubulações existentes, provocado pelo aumento excessivo da urbanização. Além disso, devem ser avaliadas medidas mitigadoras necessárias, na tentativa de reparar a defasagem já existente e reduzir as consequências dos efeitos que as mudanças climáticas poderão ter sobre as bacias urbanas que cortam o município.

Para isto é necessário um cadastro técnico do sistema de microdrenagem com informações atualizadas regularmente pelo órgão gestor da drenagem urbana na cidade. A partir do cadastro, é possível a utilização de instrumentos de simulação numérica, a fim de verificar a capacidade de escoamento da rede implantada e sua atual situação operacional. Esta prática também possibilitaria a avaliação das descargas dos canais para períodos de retorno adequados, permitindo definir a seção de escoamento necessária.

Aliado a isto, a implantação de um sistema de monitoramento hidrológico, a partir de uma rede de instrumentos de medição das precipitações, é fundamental e se faz indispensável para uma caracterização detalhada da distribuição das precipitações de elevada intensidade.

Uma abordagem integrada dos problemas de drenagem urbana poderia ocorrer, acarretando também soluções integradas de controle, a partir da qual se buscaria mitigar os impactos impostos pela excessiva urbanização, criando soluções alternativas de controle, como a inserção das técnicas compensatórias no projeto urbanístico, visando não só ao lazer e ao bem estar, como também, à diminuição dos custos finais da infraestrutura da cidade.

Técnicas compensatórias não estruturais de controle da drenagem poderiam ser aderidas ao Plano Diretor de Drenagem Urbana, ligadas a princípios de prevenção e educação ambiental, de forma a conscientizar a população da necessidade de manter as áreas de infiltração em todos os pontos da cidade, aumentando assim a recarga do lençol freático, que por sua vez contribuirá para a preservação e intensificação da vegetação.

Os planos de gestão e as legislações existentes são muito importantes, pois possibilitam uma gestão eficiente da drenagem urbana municipal. Contudo, é indispensável implementá-los, o que necessita de vontade política para o desentrelaçamento no desenvolvimento do setor. A Lei Municipal Nº 18.112 e o Plano Diretor de Drenagem Urbana do Recife, em elaboração, são ações recentes na cidade, cuja finalidade é estabelecer medidas que apontem soluções integradas para o manejo das águas urbanas.

6.2 AÇÕES NECESSÁRIAS PARA O PONTO CRÍTICO DE ALAGAMENTO ESTUDADO

De acordo com a pesquisa realizada, foi possível estabelecer medidas atenuantes aos problemas de alagamentos no ponto crítico estudado, com base nos resultados das simulações do modelo SWMM, a saber:

- Durante a modelagem, verificou-se que o local apresenta condição desfavorável de escoamento pelos condutos subterrâneos, apresentando trechos onde o desnível a ser vencido é de aproximadamente 35 cm, representando assim uma declividade negativa

de 0,46%. Isso mostra que, além da defasagem do sistema de drenagem, concebido para o padrão urbanístico quando implantado, esta irregularidade da rede pode ser uma das causas dos alagamentos recorrentes na área estudada.

- Para a condição atual, que se baseou na calibração simplificada do modelo, verificou-se que o evento de 25-26 de junho de 2014 apresentou coeficiente de correlação média entre os volumes estimados e simulados no ponto de controle de 0,97, com erros médios de continuidade para o escoamento superficial de -0,03% e propagação de vazão -8,57%. Para o evento de 17 de maio de 2013, o coeficiente de correlação médio foi de 0,96, com erros médios de continuidade para o escoamento superficial de -0,04% e propagação de vazão -2,18%. Os erros de continuidade inerentes ao processo de simulação encontram-se dentro dos limites da aceitabilidade, apresentando valores menores que 10%. Além disso, a calibração simplificada do modelo foi satisfatória, uma vez que os coeficientes de correlação apresentaram valores bem próximos a 1.
- Na condição alternativa, a partir da adequação da rede de drenagem na área de influência ao ponto de alagamento, foram realizadas simulações para 4 verificações. A verificação 1 não reduziu o volume de alagamento, apenas melhorou as condições de escoamento das águas pluviais pelos condutos. Nas verificações 2, 3 e 4 para o evento de 25-26 de junho de 2014, os volumes de alagamento foram reduzidos em 28,57%, 31% e 37%, respectivamente. Para o evento de 17 de maio de 2013, as reduções foram de 1%, 51% e 58%, respectivamente. A adoção de tais medidas não garante a solução definitiva para os problemas de alagamentos ocorridos na área estudada, apenas atenuam. Além disso, nos casos em que se propôs a mudança no diâmetro da seção da tubulação existente, verificou-se um aumento na sobrecarga dos condutos na região de jusante ao sistema modificado, com incrementos médios na vazão simulada em relação ao cenário atual de 23% para o evento de 25-26 de junho de 2014 e 35% para o evento de 17 de maio de 2013.
- Ainda na condição alternativa, nesse caso prevendo a implantação de um reservatório de retenção com capacidade de 560m³, na ocorrência do evento de 25-26 de junho de 2014, o mesmo se mostrou satisfatório. Já para o evento de 17 de maio de 2013, o

volume de alagamento foi reduzido em aproximadamente 38%, apresentando tempo de inundação também menor, quando comparados à condição atual (30,25% menor).

De uma maneira geral, observa-se que, para a área em questão, as soluções estudadas e comumente adotadas pela prefeitura para o controle de alagamentos em outras localidades da cidade apenas reduzem o impacto produzido pelos eventos de precipitação.

Além das medidas indicadas, outras também são necessárias, como o controle efetivo da urbanização, evitando a impermeabilização excessiva das poucas áreas de solo exposto ou com vegetação, existentes na área de contribuição ao ponto de alagamento.

Para isto é importante a implementação da Lei Municipal Nº 18.112, já discutida anteriormente, no caso das novas edificações que possam ter relação direta com o ponto de alagamento, de forma que se estabeleça dentro do lote: a implantação de reservatório de armazenamento e/ou amortecimento de vazões (critérios para o dimensionamento do reservatório apresentados na lei); ou o aumento de áreas que permitam a infiltração das águas pluviais, como o telhado verde.

Para as edificações existentes, o uso de reservatórios de retenção em nível de lote apresenta-se, então, como uma das possibilidades para a redução dos picos de cheia e conseqüentemente alagamentos, mostrando também que pode servir como um acumulador de águas pluviais para posterior uso.

Segundo a citada lei municipal, os reservatórios para acumulação ou retardo das águas pluviais poderão ser construídos na área de solo natural, correspondente em até 10% desta área. Com a adoção desta técnica, evita-se o bombeamento imediato da água de drenagem dos prédios situados na Rua Joaquim Felipe, no momento em que está chovendo.

Juntamente com as intervenções apresentadas, também se faz necessária à manutenção periódica das galerias e condutos de drenagem na área estudada, priorizando os serviços de limpeza urbana e incentivando o uso de grelhas com manutenção sistemática (em substituição às bocas de lobo convencionais). A adoção desta medida possibilita a redução da entrada de

resíduos sólidos na rede, diminuindo a incidência de obstruções e poluição dos corpos receptores do sistema.

6.3 SUGESTÕES PARA PESQUISAS FUTURAS

Os modelos hidrológicos procuram representar os fenômenos físicos em uma bacia hidrográfica com o objetivo de melhor entender o ciclo hidrológico e simular efeitos como os causados pelas inundações, mudança na cobertura do solo, desmatamento, poluição, erosão do meio natural, entre outros.

Contudo, muitos tópicos permanecem em aberto para discussão, tais como a melhora nas fontes de dados, calibração, validação, parametrização e escalas de alimentação e operação desses modelos.

Com base nisso, as maiores dificuldades encontradas durante o desenvolvimento da dissertação se referem à obtenção dos dados de entrada necessários para a aplicação do modelo hidrológico (SWMM) na área estudada.

Como é sabido, a maior parte da cidade do Recife não apresenta cadastro técnico digital do sistema de microdrenagem com informações atualizadas regularmente pelo órgão gestor da drenagem urbana na cidade, dificultando a utilização de instrumentos de simulação numérica, a fim de verificar a capacidade de escoamento da rede implantada e sua atual situação operacional.

Nas áreas que possuem informações cadastrais dos elementos de drenagem, como é o caso da área estudada, boa parte destes cadastros são antigos, datados da década de 80, e a parte restante baseada em levantamentos recentes realizados pela prefeitura através da Emlurb.

Além disso, as bacias dos rios que cortam a cidade do Recife, não dispõem de estações de monitoramento hidrológico, no que se refere principalmente às vazões observadas. Este fato impede a comparação entre esta variável com a vazão simulada, cujo objetivo seria a calibração de parâmetros para ajustamento do modelo SWMM, tendo que recorrer a outros

métodos que permitiram uma calibração simplificada do modelo a partir de dados disponíveis e levantados *in loco*.

Apesar disso, os parâmetros e variáveis de entrada permitiram o ajuste do modelo para a área estudada, apresentando simulações com qualidade razoável e erros de continuidade dentro do limite da aceitabilidade. Com a definição do ambiente do modelo para a área estudada, além das possibilidades já estudadas nesta dissertação, outras simulações poderão ser realizadas, como considerar a integração entre a intervenção clássica no ponto de alagamento e o controle na fonte dos lotes situados na área de montante ao mesmo.

Com o Plano Diretor de Drenagem Urbana do Recife, atualmente em elaboração, está sendo realizado o levantamento topográfico cadastral de todos os elementos de microdrenagem e macrodrenagem da cidade. A partir desta informação atualizada e disponibilizada pela prefeitura, outros estudos ou trabalhos acadêmicos visando à obtenção de soluções para os problemas de drenagem da cidade podem ser desenvolvidos, buscando dessa forma reduzir os pontos críticos de alagamento.

Também podem ser avaliadas as medidas mitigadoras necessárias, na tentativa de reparar a defasagem já existente e reduzir as consequências dos efeitos que as mudanças climáticas poderão ter sobre as bacias urbanas da região.

REFERÊNCIAS

- ACQUA-PLAN; FIDEM (Fundação de Desenvolvimento da Região Metropolitana do Recife). **Plano Diretor de Macrodrenagem da Região Metropolitana do Recife**, disponível na Emlurb. Recife – PE, 1980.
- ALHEIROS, M. M.; MENEZES, M. F.; FERREIRA, M.G. (1990). **Carta Geotécnica da Cidade do Recife**, Sub-Área Geologia / Geologia de Engenharia, Relatório Final de Atividades. FINEP / UFPE, 81 p.
- ALENCAR, A. V. (2013). **Reunião técnica realizada em 19/11/2013 com Antonio Valdo de Alencar**.
- ANTONINO, A. C. D.; ANGULO-JARAMILLO; R. DE SOUZA, E.; NETTO A. M.; CARNEIRO, C. J. G.; MONTENEGRO, A. A. A. Determinação da condutividade hidráulica e da sorvidade de um solo com infiltrômetro a disco. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.5, n.2, (2001) p.247-253.
- BAGARELLO, V.; IOVINO, M. ; ELRICK, D. **A Simplified Falling-Head Technique for Rapid Determination of Field-Saturated Hydraulic Conductivity**. Soil Science Society of America Journal. Madison, v. 68, 2004, p. 66–73.
- BAPTISTA, M., NASCIMENTO, N., BARRAUD, S. **Técnicas compensatórias em drenagem urbana**. ABRH, Porto Alegre, 2005.
- BARRETO, A. N.; OLIVEIRA, G. R.; NOGUEIRA L. C; IVO, W. M. P. DE M. Condutividade hidráulica saturada em um solo aluvial do perímetro irrigado de São Gonçalo, PB. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.5, n.1, 2001, p.152-155.
- BASTOS, G. A. P. **Análise dos parâmetros do modelo SWMM para avaliação do escoamento em duas bacias periurbanas em Santa Maria/RS**. Dissertação (Mestrado), Centro de Tecnologia, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria. 2007. 170 p.
- BERGAMO, E. P. Legislação Ambiental e Urbana: a necessidade do planejamento ambiental em bacias hidrográficas urbanizadas na escala Municipal. **Geonordeste**. Núcleo de Pós-Graduação em Geografia – NPGeo. Universidade Federal de Sergipe – UFS, ano XV. Nº 1 (p. 2-40), 2006.

BEZERRA FILHO, G. B. (1996). **Controle das enchentes na RMR: É possível?** Recife. Brasil.

BRASIL. **Constituição da República Federativa do Brasil de 1988**. Presidência da República: Casa Civil. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/constituicao.htm. Acesso em: 01 dez. 2013.

_____. **Lei de Saneamento nº 11.445, de 5 de janeiro de 2007**: Estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2007/lei/11445.htm. Acesso em: 02 fev. 2014.

_____. **Lei Federal n.º 6.938, de 31 de agosto de 1981**: Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/16938.htm. Acesso em: 05 fev. 2014.

_____. **Plano Diretor Participativo**: guia para a elaboração pelos municípios e cidadãos. Brasília: Ministério das Cidades, 2005. 160 p.

_____. Ministério da Integração Nacional. **Anuário Brasileiro de Desastres Naturais: 2012**. Brasília: CENAD, 2013. 84p.

_____. Ministério das Cidades. **Programa Drenagem Urbana Sustentável**. Manual para apresentação de propostas, p. 23. 2006.

CABRAL, J. J. S. P.; MASCARENHAS, F. B.; CASTRO, M. A. H.; MIGUEZ, M. G.; PEPLAU, G. R.; BEZERRA, A. A. (2009). **Modelos Computacionais para Drenagem Urbana**. In: Manejo de águas pluviais urbanas. Coordenador: Antonio Marozzi Righetto, Rio de Janeiro. Projeto PROSAB. ABES. 396 p.

CÂNDIDO, João Ricardo Souteiro. **Modelação Dinâmica de Sistemas de Drenagem em Meio Urbano**. Dissertação (Mestrado). Faculdade de Ciências e Tecnologia – Universidade Nova de Lisboa. Lisboa, dezembro de 2013.

CANHOLI, A. P. **Drenagem Urbana e Controle de Enchentes**. Editora: Oficina de Textos, São Paulo-SP, 2005. 302 p.

CARMO, W. J. E.; MARCHI, L. F. de. (2013). **Uma visão holística do plano diretor de drenagem urbana**. Disponível em: <http://jus.com.br/artigos/25944/uma-visao-holistica-do-plano-diretor-de-drenagem-urbana/2#ixzz32HzDs4NI>. Acesso em: 10 de fevereiro de 2014.

CARVALHO, L. E. P. (2011). **A sacionatureza dos rios urbanos: novas representações e novos conceitos sobre os caminhos das águas na cidade**. In: XII Simpósio Nacional de Geografia Urbana. Belo Horizonte, novembro de 2011.

COLLODEL, M. G. **Aplicação do Modelo Hidrológico SWMM na Avaliação de Diferentes Níveis de Detalhamento da Bacia Hidrográfica Submetida ao Processo de transformação Chuva-Vazão**, Dissertação de Mestrado – São Carlos – SP, 2009. 225.p.

CONSTANTE, A. C.; CABRAL, J. J. S. P. **Simulação computacional de inundações urbanas levando em consideração a variabilidade espacial das chuvas**. In: XVIII Conic e II Coniti – UFPE/CTG. Recife, 24 a 26 de novembro de 2010.

CORDEIRO NETTO, Oscar de M. **Técnicas de Minimização da Drenagem de Águas Pluviais**. In: Gerenciamento do saneamento em comunidades organizadas. Apresentação em PowerPoint. São Paulo, 4 e 5 de maio de 2004.

CRUZ, M. A. S; SOUZA, C. F.; TUCCI, C. E. M. (2007). **Controle da drenagem urbana no Brasil: Avanços e mecanismos para a sua sustentabilidade**. In: XVII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. São Paulo, 2007.

DHN-MB. Diretoria de Hidrologia e Navegação. Ministério da Marinha. **Tábuas de Marés para 1995 e 2007**. Rio de Janeiro. 1994 e 2008.

EMLURB. **Relatório de Andamento do RAP - Caracterização da Área de Influência Direta – AID**. In: Estudo elaboração dos estudos de concepção para gestão e manejo de águas pluviais e drenagem urbana do Recife. (Versão concedida em visita técnica). Recife, out. 2013.

_____. **Manual de drenagem urbana da cidade do Recife**. In: Estudo elaboração dos estudos de concepção para gestão e manejo de águas pluviais e drenagem urbana do Recife. (Versão concedida em visita técnica). Recife, Mai. 2014.

_____. **Diretrizes Executivas de Serviços para Obras de Galerias de Águas Pluviais – Tubulações**. In: Diretrizes executivas de serviços de drenagem. Vol 4. Recife, 2003.

ENCIBRA S.A. ENGENHARIA DE CONSULTORIA, **Plano Diretor de Drenagem Urbana para a Cidade do Recife**, disponível na Emlurb. Recife – PE, 1978.

FRAGA, A. T. F. C. **Interrelação entre o planejamento urbano, ocupação do solo e problemas de drenagem de águas pluviais na Bacia do Rio Arrombados (Cabo-PE)**. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Pernambuco – UFPE. Recife, 2013.

FOLHAPE. **Chuvas provocam retenções e alagamentos em vários pontos do Grande Recife**. Disponível em: <http://www.folhape.com.br/cms/opencms/folhape/pt/cotidiano/noticias/arqs/2013/07/0015.html>. Acesso em: 10 dez. 2013.

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

IBGE. **Pesquisa Nacional de Saneamento Básico (PNSB) – 2008**. IBGE: Rio de Janeiro, 2010. 219p.

_____. **Pesquisa Nacional de Saneamento Básico (PNSB) – 2000**. IBGE: Rio de Janeiro, 2002. 397p.

_____. **Censo Demográfico de 1991**. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br>>. Acesso em: 20 fev. 2014.

_____. **Censo Demográfico de 2000**. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br>>. Acesso em: 20 fev. 2014.

_____. **Censo Demográfico de 2010**. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br>>. Acesso em: 20 fev. 2014.

JC ONLINE. Disponível em: <http://ne10.uol.com.br/canal/cotidiano/jc-transito/noticia/2013/05/17/ruas-e-avenidas-do-grande-recife-ficam-alagadas-com-a-chuva-348642.php>. Acesso em 01 nov. 2013.

_____. Disponível em: <http://ne10.uol.com.br/canal/cotidiano/jc-transito/noticia/2013/04/24/chuvas-provocam-alagamentos-no-grande-recife-414514.php>. Acesso em: 10 dez. 2013.

JICA (2001) - Agência de Cooperação Internacional do Japão (Jica). **Estudo sobre o Plano de Gerenciamento da Drenagem de Águas Pluviais e do Esgotamento Sanitário para a Região Metropolitana do Recife**. Recife - PE.

LEIAJÁ. **Ruas do Recife sofrem com alagamentos após chuva**. Disponível em: <http://www.leiaja.com/noticias/2013/ruas-do-recife-sofrem-com-alagamentos-apos-chuva/>. Acesso em: 10 dez. 2013.

LUOS/RECIFE. Disponível em: <http://www.recife.pe.gov.br/pr/leis/luos/>. Acesso em: 15 mar. 2014.

MASCARENHAS, F.C.B.; MIGUEZ, M.G.; MAGALHÃES, L.P.C. de; PRODANOFF, J.H.A., 2005, **On-site stormwater detention as an alternative flood control measure in 92 ultra-urban environments in developing countries**. IAHS-AISH Publication, v. 293, p. 196-202.

MAYS, L. W. (2001). Historical Perspectives of Storm Drainage. In: Mays, L. W. **Storm Collection Systems Design Handbook**, McGraw-Hill, EUA.

MAUS, Victor W.; RIGHES, Afranio A. & BURIOL, Galileo A. **Pavimentos permeáveis e escoamento superficial da água em áreas urbanas**. Disponível em: www.academia.edu/.../PAVIMENTOS_PERMEAVEIS_E_ESCOAMEN... . Acesso em: 19 de dezembro de 2013. 8p.

MCT/CGE (2001). Ministério de Ciência e Tecnologia / Centro de Estudos e Gestão Estratégica. **Diretrizes estratégicas para o Fundo de Recursos Hídricos de Desenvolvimento Científico e Tecnológico**, Brasília.

MEDEIROS, M. M. (2011). **Diagnóstico da ocorrência de inundações no Brasil como ferramenta de planejamento: o atlas de vulnerabilidade a inundações**. In: XIX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. Maceió, novembro de 2011.

MELLO, Y. R.; BRITTO, A. L. N. P. (2013). **O planejamento do saneamento básico nos municípios metropolitanos: uma análise através dos dados da pesquisa MUNIC 2011**. In: XX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. Bento Gonçalves - RS, Novembro de 2013.

MELO, T. A. T., COUTINHO, A. P., CABRAL, J. J. S. P., CIRILO, J. A., ANTONINO, A. C. D. (2013). **Desafios para o manejo das águas pluviais na cidade do Recife – A contribuição da UFPE**. In: XX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. Bento Gonçalves - RS, Novembro de 2013.

MONDARDO, M. L. (2007). Uma caracterização geral do processo de urbanização do sudoeste do Paraná – Brasil. **Revista Electronica de Geografia y Ciências Sociales**, v. XI, n. 239, 15 de maio de 2007.

MONTEIRO, M. (2010). **Preserva-se o Solo Natural para Drenagem das Águas nos Lotes Urbanos do Recife?** Avaliação de Pós-Ocupação em quadras dos bairros da Madalena e de Boa Viagem. Trabalho Final de Graduação. Recife, Universidade Federal de Pernambuco/Departamento de Arquitetura e Urbanismo.

NEVES, M. G. F. P. ; TASSI, Rutinéia ; ALLASIA, D. G. ; VILLANUEVA, A. O. N. . **Propostas de melhorias nos reservatórios para controle de cheias urbanas.** In: XX Congreso Nacional del Agua y III Simposio de Recursos Hidricos del Cono Sur, 2005, Mendoza/Argentina. XX Congreso Nacional del Agua y III Simposio de Recursos Hidricos del Cono Sur, 2005.

PQA/PE (1997). **Estudos de Consolidação e Complementação de Diagnóstico sobre a qualidade das águas, relativos à preparação do programa de investimentos nas bacias dos rios Beberibe, Capibaribe, Jaboatão e Ipojuca.** Relatório nº 7. Recife - PE.

PREFEITURA DA CIDADE DO RECIFE. **Atlas Ambiental da Cidade do Recife.** Recife: PCR / SEPLAM, Nov. 2000. 158p.

PREUSS, S. L. C.; SILVA, A. A.; BRAGA, R. A. P.; CABRAL, J. J. S. P. **Adequação Estrutural e Ambiental para a Drenagem Urbana Sustentável: o caso do Recife, Pernambuco.** In: XIX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, Maceió – AL, 2011.

PROCEL-SANEAR (2012). **Modelo de Gestão de Drenagem Urbana – Manual do Usuário.** LENHS-UFPB, João Pessoa - PB, 2012. 279 p.

RECIFE. CÂMARA MUNICIPAL DO RECIFE. **Relatório do Substitutivo do Projeto de Lei Nº 06/2006 - Plano Diretor.** Recife, agosto 2008.

_____. **Lei Orgânica do Município do Recife (LOMR) - 04 de abril de 1990:** Decreta e promulga a lei orgânica municipal do Recife. Disponível em: <http://www.legiscidade.recife.pe.gov.br/lei/organica/>. Acesso em: 15 mar. 2014.

_____. **Lei nº 16.176, de 09 de abril de 1996:** Estabelece a Lei de Uso e Ocupação do Solo da Cidade do Recife. Disponível em: <http://www.legiscidade.recife.pe.gov.br/lei/16176/>. Acesso em: 15 de março de 2014.

_____. **Plano Diretor de Recife (PDCR) - Lei nº 17511, de 29 de dezembro de 2008:** Promove a revisão do plano Diretor do Município do Recife. Disponível em: <http://www.legiscidade.recife.pe.gov.br/lei/17511/>. Acesso em: 15 mar. 2014.

_____. **Lei nº 16.243, de 13 de setembro de 1996:** Institui o Código do Meio Ambiente e o Equilíbrio Ecológico da Cidade do Recife. Disponível em: <http://www.legiscidade.recife.pe.gov.br/lei/16243/referencias/>. Acesso em: 15 mar. 2014.

_____. **Lei nº 18.112, de 12 de janeiro de 2015:** Institui sobre a obrigatoriedade de instalação do "telhado verde", e construção de reservatórios de acúmulo ou de retardo do escoamento das águas pluviais em novas edificações no Recife. Disponível em: <http://www.legisweb.com.br/legislacao/?id=280138>. Acesso em: 30 jan. 2015.

RIGHETTO, A. M.; MOREIRA, L. F. F.; SALES, T. E. A. (2009). **Manejo de Águas Pluviais Urbanas**. In: Manejo de águas pluviais urbanas. Coordenador: Antonio Marozzi Righetto, Rio de Janeiro. Projeto PROSAB. ABES. 396 p.

RIO-ÁGUAS. Subsecretaria de Gestão de Bacias Hidrográficas. **Instruções Técnicas para Elaboração de Estudos Hidrológicos e Dimensionamento Hidráulico de Sistemas de Drenagem Urbana**. Rio de Janeiro, Dez. 2010.

ROESNER, L. A.; BLEDSOE, B. P.; BRASHEAR, R. W. (2001) **Are best – management - practices criteria really environmentally friendly**. In: Journal of Water Resources Planning and Management, 127 (3), 150 – 154.

ROESNER, L.A.; ALDRICH, J. A.; DICKINSON, R.E. (1988). **Storm Water Management Model**. EXTRAN Addendum, User's Manual, Version 4, Environmental Research Laboratory, U.S. Environmental Protection Agency, Athens, Georgia.

ROSSMAN, L. A.. **Storm Water Management Model. Version 5.0**. National risk Management Research Laboratory, United States Environmental Protection Agency, Cincinnati, Ohio. 2010.

SANTOS, C.N.F. dos, (1998). **A Cidade como um jogo de cartas**. Universidade Federal Fluminense. EDUFF, Projetos Editores, São Paulo.

SILVA, P. O. (2010) **Análise de técnicas compensatórias de drenagem urbana para atenuação de inundações em uma sub-bacia do rio Jiquiá no Recife**. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil. Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal de Pernambuco, Recife, PE. 141p.

SILVA, P. O.; CABRAL, J. J. .S. P. (2014). Atenuação de Picos de Vazão em Área Problema: Estudo Comparativo de Reservatórios de Detenção em Lote, em Logradouros e em Grande Área da Bacia. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, ABRH, v. 19, n. 2, p. 7 – 18, abr./jun de 2014.

SILVA, G. B. L. (2006) **Avaliação experimental sobre a eficiência de superfícies permeáveis com vistas ao controle do escoamento superficial em áreas urbanas**. Tese (Doutorado). Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF. 2006. 180 p.

SILVA, K. A. (2007) **Análise da eficiência de métodos de controle de enchentes na atenuação de picos de cheias utilizando o modelo computacional SWMM**. Dissertação (Mestrado), Universidade Federal de Goiás. Goiana. 2007. 126 p.

SILVA JR, M. A. B.; SILVA, S. R. (2014). Drenagem Urbana: O dia em que o Recife parou. **Revista Construir Nordeste**, Recife, p. 39 - 39, 01 mar. 2014.

SILVEIRA, A. L.L. **Gestores regionais de recursos hídricos**. Curso de Drenagem Urbana. UFRGS, 2002.

SKYSCRAPERCITY. **Imagens históricas do bairro de Boa Viagem**. Disponível em: <http://www.skyscrapercity.com/showthread.php?t=1103073>. Acesso em: 05 nov. 2013.

SMITH, J. A. Precipitation. In: MAIDMENT, D. R. **Handbook of Hydrology**. 1 ed. New York: McGraw-Hill. Cap. 3, p. 3.1-3.47, 1992.

SOARES, W. A. Determinação dos parâmetros hídricos do solo por meio da simulação computacional do processo de infiltração. **Diálogos: Revista de Estudos Culturais e da Contemporaneidade**, v.1 , n. 3, p. 73-84, 2º semestre de 2010.

SOUSA, W. S.; ASSIS, J. M. O.; SILVA, R. F.; CORREIA, A. M. (2013). Análise do comportamento das chuvas durante os últimos 50 anos (1961 – 2011), na cidade do Recife/PE. **Revista Pernambucana de Tecnologia**. Recife, p. 6 - 14 out. 2013.

SOUZA, V. C. B. (2013). Gestão da drenagem urbana no Brasil: Desafios para a sustentabilidade. **Revista Eletrônica de Gestão e Tecnologias Ambientais**, GESTA, v. 1, n. 1, p. 58 – 72, 2013.

SOUZA, C. F.; CRUZ, M. A. S.; TUCCI, C. E. M. Desenvolvimento urbano de baixo impacto: planejamento e tecnologias verdes para a sustentabilidade das águas Urbanas. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, ABRH, v. 17, n. 2, p. 9-18, 2012.

SOUZA, V. C. B.; GOLDENFUM, J. A. **Trincheiras de infiltração como elemento de controle do escoamento superficial**: um estudo experimental. In: TUCCI, Carlos E. M e MARQUES, David M. L. da Motta (org.) Avaliação e controle da drenagem Urbana. Porto Alegre: Ed. Universidade / UFRGS / ABRH, Vol 2, 2001.

SUDS. **Sustainable Drainage Systems** (2013). Disponível em: <http://www.ciria.com/suds/>. Acesso em: 15 ago. 2013.

TASSI, Rutnéia. **Efeito dos microrreservatórios de lote sobre a macrodrenagem urbana**. Dissertação (Mestrado). Instituto de Pesquisas Hidráulicas (IPH-UFRGS). Porto Alegre, 2002.

TORONTO AND REGION CONSERVATION (2006). **Water Budget Discussion Paper**. Gartner Lee Ltd, Toronto, 37p. Disponível em: www.sustainabletechnologies.ca. Acesso em: 12 abr. 2014.

TUCCI, C. E. M. **Drenagem Urbana**. In: Curso de gestão de águas pluviais. Apresentação em PowerPoint. São Paulo, 10 de agosto de 2013.

_____. (2009). **Hidrologia**: ciência e aplicação. Associação Brasileira de Recursos Hídricos (ABRH). Porto Alegre: Editora da UFRGS, 4ª ed. 2009, p. 944.

_____. (2004). **Hidrologia Ciência e Aplicação**. Associação Brasileira de Recursos Hídricos (ABRH). Porto Alegre: Editora da UFRGS, 3ª ed., 2004, p. 943.

_____. (1998). **Modelos hidrológicos**. ABRH Editora da UFRGS. Porto Alegre. 669 p.

UN, 2009. Disponível em: <http://www.un.org/esa/population/publications/wup2007/2007>. Acessado em: 15 jun. 2013.

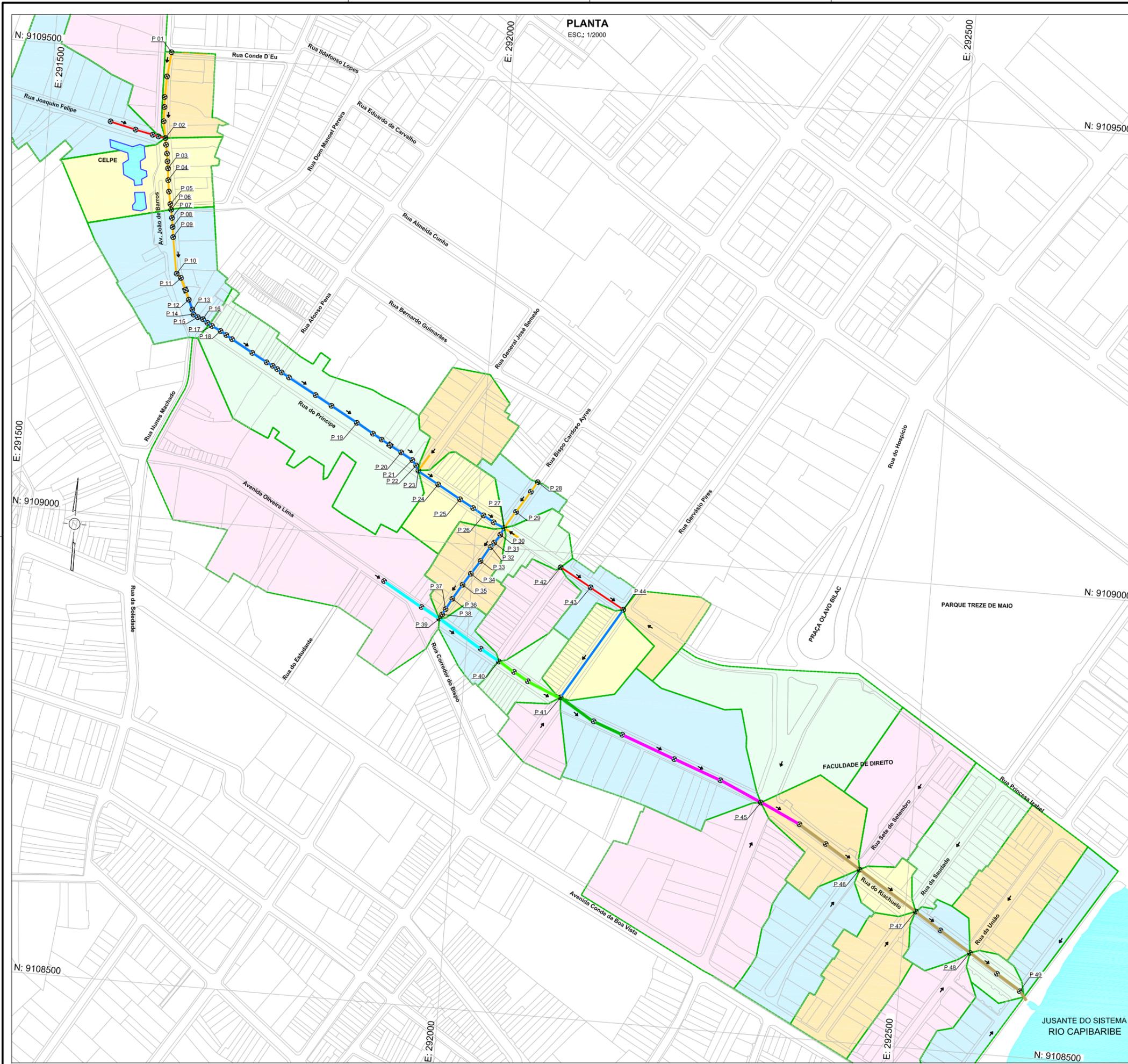
URBAN AGGLOMERATIONS (2003). Disponível em: <http://esa.un.org/unup/>. Acesso em: 31 out. 2011.

WRIGHT, L. and HEANEY, J.P. (2001). Design of Distributed Stormwater Control and Reuse Systems, Chap. 11 in Mays, L.W., Ed. **Stormwater Collection Systems Design Handbook**, McGraw-Hill, New York, p. 11.1-11.49.

WSUD. **Water Sensitive Urban Design**. (2012). Disponível em: <http://wsud.melbournewater.com.au/>. Acesso em: 15 ago. 2013.

YANNOPOULOS, S. I.; GRIVAKI, G.; GIANNOPOULOU, Io.; BASBAS, S.; OIKONOMOU, E. K. **Environmental impacts and best management of urban stormwater runoff**: measures and legislative framework. Global NEST Journal, Vol. 20, N° 10, p. 1-9, 2013.

APÊNDICE A - PLANTA CADASTRAL DA REDE DE DRENAGEM NA ÁREA DE ESTUDO



PLANTA
ESC.: 1/2000

LEGENDA:

- BACIAS DE CONTRIBUIÇÃO
- SENTIDO DO FLUXO
- DRENAGEM EXISTENTE
- BSCC Ø0,30m
- BSCC Ø0,40m
- BSCC Ø0,60m
- BSCC 0,55x0,95m
- BSCC 0,60x1,00m
- BSCC 0,60x1,20m
- BSCC 0,60x1,35m
- BSCC 0,70x1,60m

NOTAS:

1. O DESENHO ESQUEMÁTICO DO CADASTRO DA REDE DE DRENAGEM FOI ELABORADO A PARTIR DOS DADOS FORNECIDOS PELA EMLURB;
2. OS POÇOS DE VISITA APRESENTADOS SÃO APENAS OS QUE POSSUAM DADOS NO CADASTRO.

INFORMAÇÕES DOS POÇOS DE VISITA

Poços	H (m)	CT (m)	CF (m)
P 01	1,20	5,33	4,13
P 02	1,45	5,25	3,80
P 03	1,10	5,34	4,24
P 04	1,45	5,35	3,90
P 05	1,30	5,44	4,14
P 06	1,30	5,45	4,15
P 07	1,30	5,45	4,15
P 08	1,35	5,49	4,14
P 09	1,45	5,52	4,08
P 10	1,75	5,65	3,90
P 11	1,60	5,60	4,00
P 12	1,60	5,61	4,01
P 13	1,62	5,62	4,00
P 14	1,50	5,56	4,06
P 15	1,60	5,65	4,05
P 16	1,65	5,65	4,00
P 17	1,50	5,47	3,97
P 18	1,60	5,67	4,07
P 19	1,60	4,83	3,23
P 20	1,45	4,51	3,06
P 21	1,45	4,39	2,94
P 22	1,60	4,50	2,90
P 23	1,63	4,47	2,84
P 24	1,50	4,44	2,94
P 25	1,50	4,41	2,91
P 26	1,50	4,34	2,84
P 27	1,60	4,34	2,74
P 28	1,10	3,92	2,82
P 29	1,27	4,05	2,78
P 30	1,50	4,22	2,72
P 31	1,60	4,18	2,58
P 32	1,50	4,21	2,71
P 33	1,50	4,22	2,72
P 34	1,50	4,16	2,66
P 35	1,50	4,18	2,68
P 36	1,65	4,27	2,62
P 37	1,75	4,32	2,57
P 38	1,80	4,31	2,51
P 39	1,80	4,35	2,55
P 40	2,12	4,14	2,02
P 41	1,98	4,01	2,03
P 42	1,30	4,41	3,11
P 43	1,30	4,21	2,91
P 44	1,60	4,30	2,70
P 45	2,15	3,26	1,11
P 46	2,31	3,28	0,97
P 47	2,30	3,20	0,90
P 48	2,26	3,40	1,14
P 49	2,44	3,36	0,92



UNIVERSIDADE DE PERNAMBUCO - UPE
Escola Politécnica de Pernambuco - POLI
Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil (PEC)

TÍTULO DO DESENHO:	APÊNDICE A - PLANTA CADASTRAL DA REDE DE DRENAGEM NA ÁREA DE ESTUDO	FOLHA
TÍTULO DA DISSERTAÇÃO:	ALTERNATIVAS COMPENSATÓRIAS PARA CONTROLE DE ALAGAMENTOS EM LOCALIDADE DO RECIFE - PE	01/01