

Programa de Pós-Graduação em **Engenharia Civil e Ambiental**

Universidade Federal de Campina Grande
Centro de Tecnologia e Recursos Naturais
Departamento de Engenharia Civil

**ANÁLISE DO SISTEMA DE DRENAGEM DE
CAMPINA GRANDE/PB PARA PROTEÇÃO
DE ÁREAS DE RISCO DE INUNDAÇÃO**

PAULO VINÍCIUS DE MORAIS NÓBREGA

Campina Grande
Data: MAIO / 2012



UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE

CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL

ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: ENGENHARIA DE RECURSOS HÍDRICOS E SANITÁRIA

PAULO VINÍCIUS DE MORAIS NÓBREGA

**ANÁLISE DO SISTEMA DE DRENAGEM DE CAMPINA GRANDE/PB
PARA PROTEÇÃO DE ÁREAS DE RISCO DE INUNDAÇÃO.**

CAMPINA GRANDE

Mai de 2012

PAULO VINÍCIUS DE MORAIS NÓBREGA

**ANÁLISE DO SISTEMA DE DRENAGEM DE CAMPINA GRANDE/PB
PARA PROTEÇÃO DE ÁREAS DE RISCO DE INUNDAÇÃO.**

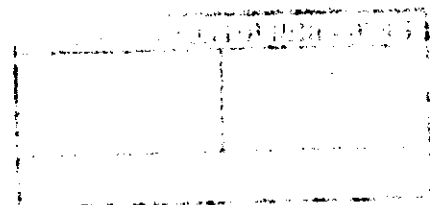
Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental da Universidade Federal de Campina Grande, como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Mestre.

Área de concentração: Engenharia de Recursos Hídricos e Sanitária

Orientadores: Prof (a). Dra. Andréa Carla Lima Rodrigues

Prof. Dr. Rui de Oliveira

Campina Grande, maio de 2012.





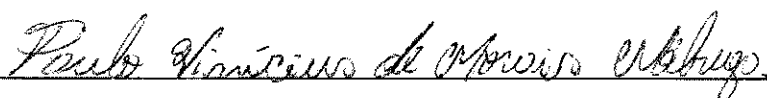
FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA BIBLIOTECA CENTRAL DA UFCC

- N754a Nóbrega, Paulo Vinícius de Morais.
Análise do sistema de drenagem de Campina Grande/PB para proteção de áreas de risco de inundação / Paulo Vinícius de Morais Nóbrega. – Campina Grande, 2012.
128 f. : il.
- Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) – Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais.
Orientadores: Profa. Dra. Andréa Carla Lima Rodrigues, Prof. Dr. Rui de Oliveira.
- Referências.
1. Drenagem Urbana. 2. Modelagem. 3. SWMM. 4. Inundação. I. Título.

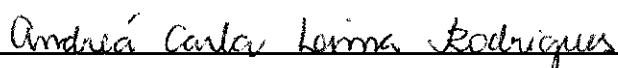
CDU 626.86 (043)

**ANÁLISE DO SISTEMA DE DRENAGEM DE CAMPINA GRANDE/PB PARA
PROTEÇÃO DE ÁREAS DE RISCO DE INUNDAÇÃO**

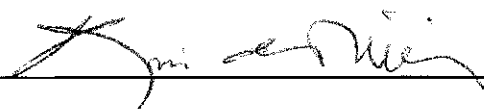
Aprovada em 24 de maio de 2012



Paulo Vinicius de Moraes Nóbrega



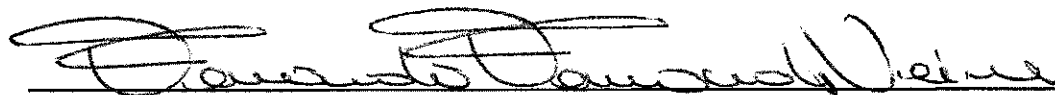
Prof. Dr(a). Andréa Carla Lima Rodrigues (Orientadora)
Universidade Federal de Campina Grande - UFCG



Prof. Dr. Rui de Oliveira (Co-orientador)
Universidade Federal de Campina Grande – UFCG



Prof. Dr(a). Patrícia Herminio Cunha Feitosa (Examinador Interno)
Universidade Federal de Campina Grande – UFCG



Prof. Dr. Fernando Fernandes Vieira (Examinador Externo)
Universidade Estadual da Paraíba – UEPB

Campina Grande – PB

Maio de 2012

Dedicatória

Aos meus pais José Paulino e Maria José;

A minha esposa e grande amiga Elane;

Ao meu querido filho José Miguel.

Dedico.

AGRADECIMENTOS

A Deus, por está presente em todos os momentos de minha vida, e sendo muitas vezes fonte de inspiração e perseverança para este trabalho.

Aos meus pais, José paulino e Maria José, por me ensinarem a seguir o caminho do bem, perseverar em busca de meus sonhos.

A minha esposa Elane e ao meu filho Miguel, pelo amor, paciência, compreensão, incentivo e companheirismo durante a produção deste trabalho.

A toda a família e amigos pelo incentivo e que de alguma forma me acompanharam durante esta importante etapa da minha vida acadêmica.

A Professora Andréa e ao Professor Rui, pela oportunidade, orientação e amizade nestes dois últimos anos.

Aos colegas de mestrado: Adriana, Andreza, Bárbara, Camila, Erick, Ester, Itamara, John, José Willams, Leomar e Renato pela amizade e companheirismo.

Ao bolsista de iniciação científica André pelo auxílio na alimentação de informações do software de modelagem e principalmente pela amizade.

A banca examinadora pelas considerações que enriqueceram o trabalho.

A Prefeitura Universitária da UFCG, representada pelo Prefeito Eduardo Jorge Lira Bonates, pela compreensão, incentivo e liberação para as aulas e demais necessidades do curso de pós-graduação. Ao grande amigo de trabalho Antônio Leomar, pelas discussões e compartilhamento dos desafios surgidos no dia a dia. Aos amigos e colegas de trabalho, Vicente Rocha e José Batista, pelo grande incentivo e apoio.

A todos que de alguma forma contribuíram para a realização deste trabalho.

RESUMO

Este trabalho teve o objetivo de avaliar, por meio de modelagem, os efeitos da urbanização de microbacias da cidade de Campina Grande visando o melhoramento do sistema de drenagem e a minimização e prevenção de risco de inundações. Para isso foi escolhido como área de estudo o bairro do Catolé por compartilhar das características urbanas e sociais da cidade. A discretização da rede de drenagem, tipo de ocupação e topografia da área de estudo foi realizada através de levantamento de campo e por meio do Mapa Base Urbano de Campina Grande-PB. Para modelagem do sistema foi utilizado o software SWMM (Storm Water Management Model) calibrado com base em 11 eventos de precipitação ocorridos entre julho de 2007 e agosto de 2011. Os resultados obtidos indicaram que a situação atual apresenta pontos de falha para precipitações com tempos de retorno a partir de 1 ano, sendo registrado o maior número de falhas no evento com duração de 60 minutos e tempo de retorno de 05 anos. Caso fosse realizado um aumento de 20% da área permeável haveria a eliminação de pontos de falha para precipitações com período de retorno de 01 ano e redução para os demais eventos com períodos de retorno maiores. A diminuição de pontos de falhas no sistema também seria obtida se fossem realizadas modificações na rede. Neste caso, reduziriam, na maioria das simulações, os pontos de falhas quando comparado ao sistema de drenagem existente, no entanto, seria menos eficiente que o aumento da área permeável. Se houvesse a aplicação combinada entre o aumento de 20% da área permeável e as modificações na rede de drenagem ocorreria, de modo geral, a maior redução de falhas do sistema, porém, esta solução apresentaria maiores dificuldades de implantação devido a necessidade de investimentos tanto por parte da administração pública municipal quanto do setor privado.

Palavras chave: drenagem urbana; modelagem; SWMM; inundação.

ABSTRACT

This work aims to evaluate, by means of modeling, the effects of watersheds urbanization in Campina Grande city, in order to improve the drainage system and minimizing and preventing flood risk. For this, it was chosen as study area the neighborhood of Catolé for having urban and social characteristics of the city. The discretization of the drainage network, occupation type and the topography study area was made by camp study and using the Urban Base Map of Campina Grande-PB. For the system modeling was used the software SWMM (Storm Water Management Model) which was standardized based on 11 events of precipitation occurred between July of 2007 and August of 2011. The obtained results indicates that the current situation presents points of failure for the precipitation with a return time from one year, recording the highest number of failures in the event lasting 60 minutes and a return time of 5 years. If it was increased 20% of the permeable area would have an elimination of the points of failure for precipitations with a return period of 1 year and a decrease for the others events with greater return period. The decrease of points of failure in the system also would be obtained if modifications were implemented in the network. In this case, in the most of the simulations would be reduced, the points of failure as compared to existing drainage system, although, it would be less efficient than increasing the permeable area. If there was a combined application between the increase of 20% of the permeable area and the drainage network modification, in general, it would have more reduction of the failures in the system, however, this solution would have more difficulties of implementation due to the need for investments by both municipal government and private sectors.

Keywords: urban drainage; modeling; SWMM, flood.

LISTA DE FIGURAS

Figura 3.1 – Comparativo entre a população urbana e a população rural de alguns estados brasileiros segundo o Censo 2010.....	23
Figura 3.2 – Relação entre os módulos do SWMM.	37
Figura 4.1 – Localização da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba.	42
Figura 4.2 – Subdivisões da Bacia do Rio Paraíba	43
Figura 4.3 – Localização do município de Campina Grande nas regiões do médio e baixo Paraíba.	46
Figura 4.4 – Mapa dos bairros de Campina Grande.	48
Figura 4.5 – O bairro do Catolé é representado pelo contorno em vermelho.....	49
Figura 4.6 - Situação de algumas bocas de lobo do bairro do Catolé.....	50
Figura 4.7 – Estação meteorológica da Embrapa Algodão de Campina Grande.	57
Figura 4.8 – Estação meteorológica da Embrapa Algodão de Campina Grande	58
Figura 4.9 – Organograma dos cenários utilizados.	62
Figura 4.10 – Resumo das etapas metodológicas.	63
Figura 5.1 – Gráfico da Intensidade x Duração para os tempos de retorno de 1, 2 e 5 anos.....	66
Figura 5.2 – Mapa de inundação do cenário para a situação atual após a precipitação com intensidade de 32,48 mm/h e duração de 60 minutos.....	68
Figura 5.3 – Mapa de inundação do cenário para a situação atual 30 minutos após o encerramento da chuva de 32,48 mm/h.....	70
Figura 5.4 – Mapa de inundação do cenário para situação atual 60 minutos após o encerramento da chuva de 32,48 mm/h.....	71
Figura 5.5 – Trecho da rede de drenagem.....	72

Figura 5.6 – Trecho da rede de drenagem. As setas em vermelho mostram as bocas de loco em que ocorre retorno de fluxo devido ao diâmetro insuficiente da seção de galeria a jusante.	73
Figura 5.7 – Mapa de inundação do cenário para a situação atual após a precipitação com intensidade de 39,99 mm/h e duração de 60 minutos.	74
Figura 5.8 – Mapa de inundação do cenário para a situação atual 30 minutos após o encerramento da chuva de 39,99 mm/h.	75
Figura 5.9 – Mapa de inundação do cenário para a situação atual 60 minutos após o encerramento da chuva de 39,99 mm/h.	76
Figura 5.10 – Trecho da rede de drenagem.	77
Figura 5.11 – Trecho da rede de drenagem.	77
Figura 5.12 – Mapa de inundação do cenário II após 60 minutos de chuva, com intensidade de 32,48 mm/h, considerando uma maximização de 20% da área permeável.	80
Figura 5.13 – Mapa de inundação do cenário 2 após 30 minutos do final da chuva de 32,48 mm/h.	81
Figura 5.14 – Mapa de inundação do cenário 2 após 60 minutos do final da chuva de 32,48 mm/h.	82
Figura 5.15 – Trecho da rede de drenagem.	83
Figura 5.16 – Trecho da rede de drenagem.	84
Figura 5.17 – Mapa de inundação do cenário 2 após 60 minutos de chuva, com intensidade de 39,99 mm/h, considerando uma maximização de 20% da área permeável.	85
Figura 5.18 – Mapa de inundação no cenário 2 após 30 minutos do final da chuva de 39,99 mm/h, considerando uma maximização de 20% na área permeável.	86
Figura 5.19 – Mapa de inundação do cenário 2 após 60 minutos do fim da chuva de 39,99 mm/h, considerando uma maximização de 20% na área permeável.	87
Figura 5.20 – Trecho da rede de drenagem.	88
Figura 5.21 – Trecho da rede de drenagem.	88

Figura 5.22 – Mapa de inundação do cenário 3 – melhoria da rede de drenagem após 60 minutos de chuva com intensidade 32,48 mm/h.....	91
Figura 5.23 – Mapa de inundação do cenário 3 – melhoria da rede de drenagem 30 minutos após o encerramento da chuva de 32,48 mm/h.....	92
Figura 5.24 – Mapa de inundação do cenário 3 – melhoria da rede de drenagem 60 minutos após o encerramento da chuva 32,48 mm/h.....	93
Figura 5.25 – Trecho da rede de drenagem.....	94
Figura 5.26 – Mapa de inundação do cenário 3 – melhoria da rede de drenagem após 60 minutos de chuva com intensidade 39,99 mm/h.....	95
Figura 5.27 – Mapa de inundação do cenário 3 – melhoria da rede de drenagem 30 minutos após o encerramento da chuva de 39,99 mm/h.....	96
Figura 5.28 – Mapa de inundação do cenário 3 – melhoria da rede de drenagem 60 minutos após o encerramento da chuva de 39,99 mm/h.....	97
Figura 5.29 – Trecho da rede de drenagem.....	98
Figura 5.30 – Mapa de inundação no cenário 4 após 60 minutos de chuva com 32,48 mm/h.	100
Figura 5.31 – Mapa de inundação no cenário 4 após 30 minutos o encerramento da chuva.....	101
Figura 5.32 – Mapa de inundação do cenário 4 após 60 minutos após do encerramento da chuva de 32,48 mm/h.....	102
Figura 5.33 – Trecho da rede de drenagem.....	103
Figura 5.34 – Mapa de inundação no cenário 4 após 60 minutos de chuva com 39,99 mm/h.	104
Figura 5.35 – Mapa de inundação do cenário 4 após 30 minutos do encerramento da chuva com intensidade de 39,99 mm/h.....	105
Figura 5.36 – Mapa de inundação no cenário 4 após 60 minutos do encerramento da chuva com intensidade de 39,99 mm/h.....	106
Figura 5.37 – Trecho da rede de drenagem.....	107

LISTA DE QUADROS E TABELAS

Tabela 3.1 – Resumo dos principais processos simulados pelos aplicativos.....	41
Tabela 4.1 – Parâmetros necessários na definição da sub-bacia para a simulação do modelo.....	52
Tabela 4.2 – Coeficiente de rugosidade de Manning.	53
Tabela 4.3 – Intervalo de valores para o coeficiente de rugosidade de Manning e capacidade de armazenamento em depressões (Superfícies impermeáveis e permeáveis).....	54
Tabela 4.4 – Valores utilizados na aplicação das equações de Horton.....	55
Tabela 4.5 – Parâmetros necessários para a caracterização dos condutos.	56
Tabela 4.6 – Precipitação horária dos eventos selecionados.....	Erro! Indicador não definido.
Tabela 4.7 – Constantes do local da equação geral da relação IDF para Campina Grande.	Erro! Indicador não definido.
Tabela 5.1 – Data da ocorrência dos eventos utilizados para a calibração do modelo.	64
Tabela 5.2 – Valores determinados no processo de calibração.	65
Tabela 5.3 – Tempos de retorno para sistemas de drenagem urbana.....	65
Tabela 5.4 – Tabela resumo das simulações do cenário atual.....	78
Tabela 5.5 – Tabela resumo das simulações do cenário com aumento da área permeável.....	79
Tabela 5.6 – Tabela resumo das simulações do cenário 3 com sistema de drenagem modificado.....	89
Tabela 5.7 – Tabela resumo das simulações do cenário 4 com maximização da área permeável e melhoramentos na rede de drenagem existente.....	99

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

BDI	Benefício e despesas indiretas
BMPs	Best Management Practices for Stormwater
DISME	Distrito de Meteorologia
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
EMEPA	Empresa Estadual de Pesquisas Agropecuárias da Paraíba
EPA	Environmental Protection Agency
EPUSP	Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
ETE	Estação de Tratamento de Esgotos
EUA	Estados Unidos da América
IDF	Intensidade, duração e frequência
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
LABSID	Laboratório de Sistema de Suporte a Decisão
LID	Low Impact Development
MNCBIA	Maryland-National Capital Building Industry Association
MOUSE	Modelling of Urban Sewers
NBR	Norma Brasileira Regulamentadora
PB	Paraíba
PPDUA	Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano e Artístico
RIZA	Instituto de Gerenciamento de Águas Interiores e Tratamento de Águas Servidas da Holanda
RS	Rio Grande do Sul
SUDS	Sustainable urban drainage system
SWMM	Storm Water Management Model
U.S. EPA	United States Environmental Protection Agency
UFMG	Universidade Federal de Campina Grande
UFRGS	Universidade Federal do Rio Grande do Sul
USP	USP - Universidade de São Paulo

LISTA DE SÍMBOLOS

%	Porcentagem
A	Área da bacia ou sub-bacia
ac	Acre
AI	Áreas impermeáveis
AINC	Áreas impermeáveis não conectadas
B	Constante do local
DI	Capacidade de armazenamento em depressões com superfícies impermeáveis
DP	Capacidade de armazenamento em depressões com superfícies permeáveis
ft	Foot
hab./km ²	Habitantes por quilômetro quadrado
hoff	Offset de saída
i	Intensidade máxima da precipitação
I _f	Capacidade de infiltração final
in	Inch
I _o	Capacidade de infiltração inicial
k	Constante de decaimento
K	Constante do local
k _c	Coefficiente de compacidade
km ²	Quilômetros quadrados
L	Comprimento do conduto
l/h	Litro por hora
Le	Largura do retângulo equivalente
m	Constante do local
mm	Milímetros
mm/h	Milímetro por hora
n	Constante do local
NI	Coefficiente de rugosidade de Manning para superfícies impermeáveis
NP	Coefficiente de rugosidade de Manning para superfícies permeáveis
P	Perímetro da sub-bacia
Q _b	Vazão de base
S	Declividade da sub-bacia
S _c	Declividade do conduto
t	Duração
T	Tempo de recorrência
W	Largura da sub-bacia

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	18
OBJETIVOS	20
2.1 OBJETIVO GERAL	20
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	20
REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	21
3.1 A URBANIZAÇÃO	21
3.2 A DRENAGEM URBANA	24
3.2.1 – ELEMENTOS DA DRENAGEM URBANA	25
3.2.2 – MEDIDAS DE CONTROLE DE INUNDAÇÃO	26
3.3 MODELAGEM	32
3.4 – APLICATIVOS PARA SISTEMAS DE DRENAGEM URBANA	33
3.4.1 – O SOBEK-URBAN	34
3.4.2 – O INFOWORKS CS	34
3.4.3 – O MOUSE-DHI	35
3.4.4 – O SWMM	36
3.4.5 – O APLICATIVO ABC	40

3.4.6 – O IPH II	40
MATERIAL E MÉTODOS	42
4.1 – DESCRIÇÃO DA BACIA HIDROGRÁFICA.....	42
4.1.1 – REGIÃO DO MÉDIO CURSO DO RIO PARAÍBA.....	44
4.1.2 – REGIÃO DO BAIXO CURSO DO RIO PARAÍBA.....	44
4.2 – DESCRIÇÃO DO MUNICÍPIO DE CAMPINA GRANDE	45
4.3 – DELIMITAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	46
4.4 – LEVANTAMENTO DE CAMPO.....	50
4.5 – REPRESENTAÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS DA BACIA.....	51
4.5.1 – SUB-BACIAS	51
4.5.2 – INFILTRAÇÃO	55
4.5.3 – CONDUTOS	55
4.5.4 – NÓS	56
4.6 – DADOS HIDROLÓGICOS.....	57
4.9 – CALIBRAÇÃO DO MODELO	60
4.10 – CENÁRIOS	60
RESULTADOS.....	64

5.1 – RESULTADOS DE CALIBRAÇÃO DO MODELO	64
5.2 – INTENSIDADE DA PRECIPITAÇÃO	65
5.3 – RESULTADOS DAS SIMULAÇÕES	67
5.3.1 – CENÁRIO 1 – A SITUAÇÃO ATUAL	67
5.3.2 – CENÁRIO 2 – AUMENTO DE 20% DA ÁREA PERMEÁVEL	79
5.3.3 – CENÁRIO 3 – MELHORAMENTOS NA REDE DE DRENAGEM EXISTENTE.....	89
5.3.4 – CENÁRIO 4 – MAXIMIZAÇÃO DA ÁREA PERMEÁVEL COMBINADA COM MELHORAMENTOS NA REDE DE DRENAGEM EXISTENTE	99
DISCUSSÃO	108
CONCLUSÕES	111
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	113
ANEXO A – CARACTERÍSTICAS DAS SUB-BACIAS.....	119
ANEXO B – PRECIPITAÇÃO DIÁRIA.....	124
ANEXO C – COMPOSIÇÃO DE CUSTO.....	127
ANEXO D - BDI.....	128

CAPÍTULO I

INTRODUÇÃO

As cidades brasileiras de médio porte vêm passando, nas últimas décadas, por um acentuado processo de urbanização. No entanto, na maioria dos casos, este processo não ocorre de forma ordenada.

O crescimento desordenado das médias e grandes cidades, ocasionando ocupações irregulares de terrenos urbanos vem se estendendo vertiginosamente. Este fato contribui bastante para o aumento da impermeabilização do solo acarretando no aumento das cheias, que geram frequentes inundações e dificultam a recarga dos aquíferos subterrâneos. Somando-se ainda a falta de infraestrutura e saneamento para a população residente, monta-se um cenário de vulnerabilidade para a vida humana.

O desenvolvimento dos centros urbanos necessita de planejamento estratégico e investimento para que ocorra de maneira sustentável. No entanto, em diversas cidades não existe a preocupação em implantar obras hidráulicas que minimizem os efeitos das inundações. Em alguns municípios, quando realizada algum tipo de obra, é baseada em estudos hidrológicos deficientes. A omissão, por parte dos municípios, com relação aos estudos que prevejam os efeitos das inundações e soluções que minimizem estes efeitos, pode ser devida a diversos aspectos dentre os quais podem ser citados a ausência de iniciativa do poder público e privado, a carência de recursos que financiem os projetos e a falta de informações que permitam o uso de metodologias.

É preciso que sejam empregadas técnicas de planejamento para toda a bacia hidrográfica que reduzam os efeitos maléficos causados por este desordenado

processo de urbanização. Para isso, necessita-se de conhecimento sobre os processos ocorridos no escoamento superficial e seus efeitos.

Uma ferramenta de grande importância para o planejamento estratégico de bacias hidrográficas é a modelagem hidrológica e hidráulica. É através da modelagem que é possível analisar e verificar diversas condições de funcionamento dos sistemas de drenagem possibilitando o fornecimento de informações para o entendimento e a dinâmica das inundações.

Porém os modelos hidrológicos e hidráulicos geralmente apresentam uma matemática complexa e necessitam de diversos parâmetros, sejam calculados ou estimados. Dessa forma se faz necessário um equilíbrio entre o grau de detalhamento das bacias hidrográficas e os valores atribuídos aos parâmetros do modelo, a fim de se obter resultados satisfatórios.

Neste trabalho é apresentada a avaliação de uma bacia urbana da cidade de Campina Grande-PB, onde é possível diagnosticar as falhas do sistema de drenagem existente assim como prever quais as possíveis melhorias para que o sistema seja capaz de receber o escoamento gerado.

A avaliação realizada empregou a versão 5.0 da ferramenta computacional *Storm Water Management Model* – (SWMM) que foi desenvolvida pela Environmental Protection Agency (EPA). Esta ferramenta, disponível de forma livre e gratuita, é muito usada na drenagem de águas urbanas, principalmente na drenagem de águas pluviais urbanas.

CAPÍTULO II

OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Avaliar os efeitos da urbanização de microbacias visando o melhoramento do sistema de drenagem e a minimização e prevenção de risco de inundações.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Para obtenção do objetivo geral, alguns objetivos específicos devem ser atendidos:

- Revisar medidas de controle de drenagem urbana utilizadas em bacias hidrográficas em processo de urbanização a nível nacional e internacional.
- Modelar o atual sistema de drenagem do bairro do Catolé na cidade de Campina Grande-PB utilizando o modelo computacional SWMM (*Storm Water Management Model*).
- Avaliar os impactos ocasionados pela simulação de diferentes cenários de intervenção na bacia através da criação e análise de mapas das áreas de risco de inundação.
- Fazer um estudo comparativo entre a situação atual e cenários alternativos buscando promover subsídios para um modelo de gestão do sistema que propicie a melhoria das áreas críticas.
- Sugerir propostas para a minimização dos impactos decorrentes da urbanização da área estudada e, conseqüentemente, de áreas com características semelhantes.
- Avaliar a viabilidade de implementação dos cenários propostos.

CAPÍTULO III

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 A URBANIZAÇÃO

O termo urbanização, designando “a ação sobre a urbi”, ou ainda, “o processo de transformar em cidade”, como manifestam Tucci e Bertoni (2003), representa uma das mais significativas manifestações da atividade humana.

Esse “processo de transformar em cidade” resulta, principalmente, na concentração da população em um espaço restrito e na substituição das atividades primárias por atividades secundárias e terciárias.

Para Limonad (1996), a urbanização é uma forma de estruturação do território, onde a importância dos lugares varia historicamente em função dos condicionantes e processos sociais, econômicos, políticos e, por vezes, culturais que tomam corpo. Este fenômeno não ocorre por acaso, sendo estimulado pelo anseio que as pessoas possuem na busca por melhores condições de vida.

A Revolução Industrial, ocorrida no século XVIII, foi o grande marco impulsionador da urbanização na Europa. Despontando na Inglaterra, desencadeou em todo o mundo um processo de reestruturação jamais visto em toda a história da humanidade. A ascensão e o crescimento da indústria moderna, no século XIX, levaram a um grande deslocamento da população rural para o meio urbano e um aumento de grandes cidades, primeiramente na Europa, e, posteriormente, em outras regiões.

O marco inicial no Brasil ocorreu com a transferência da corte portuguesa para a sua colônia americana em 1808. Este fato, além de permitir o crescimento

demográfico das cidades existentes, também garantiu uma transformação urbanística. As principais cidades, a partir da segunda metade do século XIX, passaram a receber significantes melhorias técnicas, desde a implantação de sistema hidráulico, de iluminação, de transportes coletivos com tração animal e redes de esgoto a até planos urbanísticos de logradouros públicos, praças e vias arborizadas (GOMES, 2007).

Segundo Vilela e Suzigan (1973), em 1920 o Brasil contabilizava uma população de 27.500.000 habitantes, sendo que 74 cidades possuíam quantitativos populacionais superiores a 20 mil que somados atingia 4.552.069 habitantes, ou seja, 17,0% do total populacional. Esta população urbana se mantinha bastante concentrada, sendo 58,3% destas cidades localizadas na região Sudeste, inclusive no Distrito Federal (atual município do Rio de Janeiro).

Para Graham e Holanda Filho (1973) a migração interna no Brasil pode ser dividida em três períodos distintos: um momento de crescimento constante dos fluxos nas últimas décadas do século XIX até 1920; um crescimento vertiginoso dos movimentos até 1950; e um pequeno arrefecimento das taxas a partir de 1960.

Note-se que os períodos aparecem alinhados com as principais mudanças na estrutura urbana e produtiva do país durante o século XX, a saber, a transição de uma economia agro-exportadora para a industrialização com a consolidação da infraestrutura de produção e do parque tecnológico nacional.

Durante as décadas de 1970, 1980 e 1990, ao mesmo tempo em que surgem novas localidades entre os mais importantes centros urbanos nacionais ocorre um contínuo processo de metropolização entre as maiores cidades do país e os municípios periféricos (BAENINGER, 2000).

Segundo a Organização das Nações Unidas (2007) o grau de urbanização da população mundial em 2005 atingiu 48,6% e segundo estudos, realizados pela própria Organização, esse percentual atingiu 50,6% no ano de 2010. Enquanto a população rural cresce a uma taxa anual de 0,37%, a população urbana evolui a uma taxa muito maior, de 1,98%, anual. O mesmo estudo relata o grau de urbanização entre distintas regiões: enquanto na África o percentual de urbanização

em 2010 não atingia 40%, nos países da América Latina e Caribe essa taxa atingia 79,4%. Considerando apenas os países da América do Sul, a taxa de urbanização da população chegou a 83,7%, enquanto que a população rural experimentava declínio de 0,93% na taxa média anual. A Figura 3.1 apresenta um comparativo entre a população rural e a população urbana de alguns estados brasileiros segundo o Censo 2010.

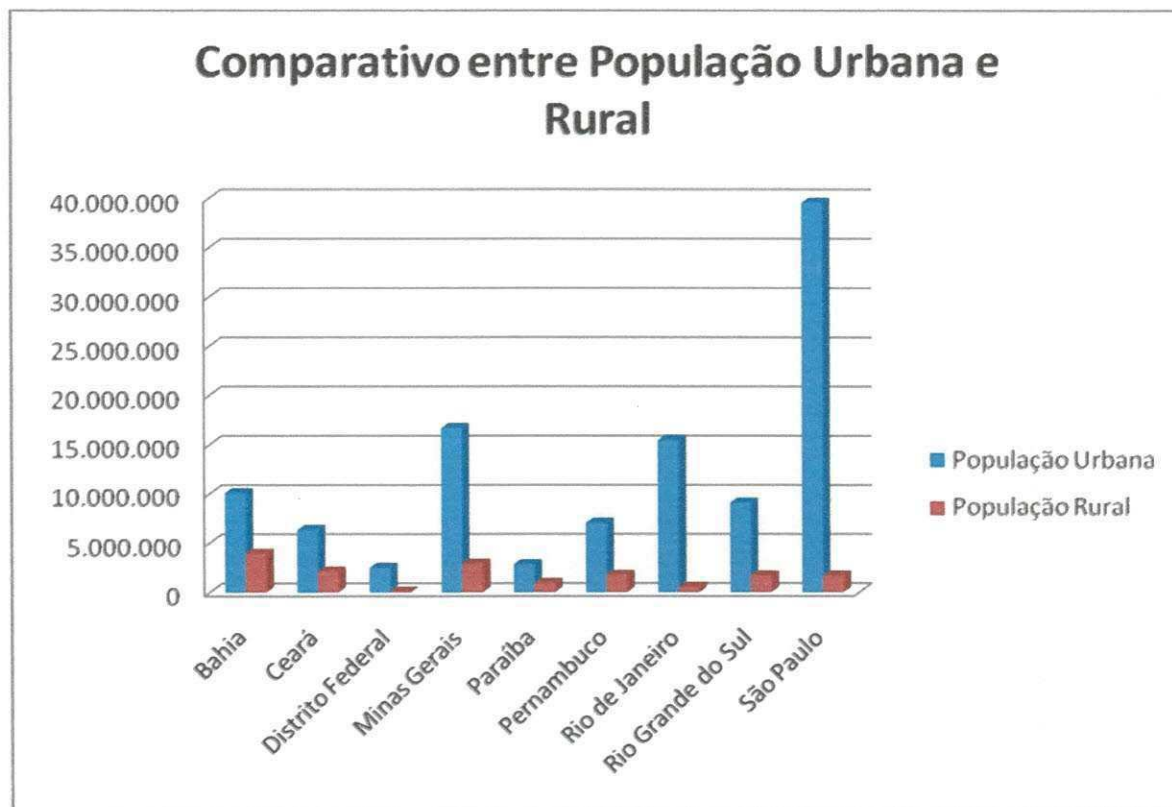


Figura 3.1 – Comparativo entre a população urbana e a população rural de alguns estados brasileiros segundo o Censo 2010.

Essa tendência de crescimento urbano resulta em aumento das alterações antrópicas no ambiente, provocando destruição dos recursos naturais disponíveis e reduzindo a qualidade de vida.

Notadamente, a ocupação das bacias hidrográficas, transformando-as em bacias urbanas, ocorre, na maioria das vezes, de forma desordenada, gerando desmatamentos, aterros e erosões, e que irão aumentar o grau de

impermeabilização do solo e, conseqüentemente, reduzir a infiltração das águas pluviais e aumentar o escoamento superficial.

Para Tucci (2005) a concentração populacional em pequenas áreas, as ocupações irregulares, geradas pela falta de planejamento, e o aumento da periferia das cidades de forma descontrolada são as principais conseqüências ocorridas do processo de urbanização. Em meio aos resultados decorrentes, a impermeabilização de áreas, antes permeáveis, merece destaque. Araújo et al (1999) alerta que a impermeabilização do solo por meio de telhados, ruas, calçadas, pátios e estacionamentos, altera as características de volume nas diversas fases do ciclo hidrológico, aumentando a ocorrência de enchentes urbanas.

Estas enchentes acarretam, para a população, perdas materiais e humanos, interrupção da atividade econômica das áreas inundadas, contaminação por doença de veiculação hídrica e contaminação da água através do contato com substâncias poluentes.

Para minimizar os efeitos drásticos, provocados pelo escoamento superficial urbano, são realizadas diversas ações na região. Esse conjunto de ações compõe a drenagem urbana.

3.2 A DRENAGEM URBANA

Para Tucci (2002) drenagem urbana pode ser entendida como um conjunto de atividades que visam reduzir os riscos que as populações estão sujeitas e os prejuízos causados por inundações, promovendo um desenvolvimento urbano de forma harmônica, articulável e sustentável.

Este conjunto de atividades varia de acordo com as características da região geográfica e da freqüência das inundações.

Basicamente a drenagem urbana apresenta dois níveis:

- Microdrenagem – que é determinada pela ocupação urbana através do traçado das ruas. A sarjeta, a boca-de-lobo (bueiro) e as galerias de

pequenos diâmetros (diâmetros inferiores a 1,5 m) são exemplos de elementos que compõem a microdrenagem.

- **Macro drenagem** – que é o conjunto formado pela microdrenagem e pelas obras concebidas para receber grandes volumes escoados. As galerias de grande porte, os reservatórios de detenção, os canais e os rios são exemplos de elementos que recebem grandes volumes.

3.2.1 – ELEMENTOS DA DRENAGEM URBANA

Um sistema de drenagem de águas pluviais é composto de uma série de unidades e dispositivos hidráulicos para os quais existe uma terminologia própria e cujos elementos mais frequentes são listados a seguir:

Guia - também conhecida como meio-fio, é a faixa longitudinal de separação do passeio com o leito viário, constituindo-se geralmente de peças de granito argamassadas.

Sarjeta - é o canal longitudinal, em geral triangular, situado entre a guia e a pista de rolamento, destinado a coletar e conduzir as águas de escoamento superficial até os pontos de coleta.

Bocas de lobo – são estruturas hidráulicas construídas para a captação dos escoamentos superficiais transportados pelas sarjetas.

Galerias - são condutos destinados ao transporte das águas captadas nas bocas coletoras até os pontos de lançamento; tecnicamente denominadas de galerias tendo em vista serem construídas com diâmetro mínimo de 400 mm.

Condutos de ligação - também denominados de tubulações de ligação, são destinados ao transporte da água coletada nas bocas coletoras até as galerias pluviais.

Poços de visita - são câmaras visitáveis situadas em pontos previamente determinados, destinadas a permitir a inspeção e limpeza dos condutos subterrâneos.

3.2.2 – MEDIDAS DE CONTROLE DE INUNDAÇÃO

Por muitos anos se concebeu os sistemas de drenagem urbana com o objetivo de coletar quase que instantaneamente os escoamentos gerados, a partir da precipitação, e transportá-los a grandes distâncias. Atualmente esta visão tornou-se obsoleta uma vez que o controle próximo às fontes reduz drasticamente os riscos de inundação para as populações.

Na Europa o conceito de desenvolvimento sustentável passou a ser aplicado, nos últimos anos, à drenagem urbana, envolvendo o bom emprego de sistemas com a intenção de evitar desastres causados por inundações em zonas ocupadas. Essa sustentabilidade na gestão de águas pluviais é fundamentada na redução dos picos de enchente, retardamento dos volumes escoados e de serviços aos cidadãos pela melhoria da paisagem urbana e recuperação de habitat natural dentro das cidades.

Para Matos (2000) a satisfação de uma melhor qualidade ambiental a custos de investimento e de operação compatíveis exige o cumprimento dos seguintes princípios gerais: a utilização de menos recursos naturais e redução de consumos energéticos; a redução das transferências de problemas no espaço e no tempo; e a redução da degradação da qualidade dos recursos naturais como água, solo e ar.

Na visão de Matos Saldanha (2003) a aplicação destes princípios aos atuais desafios, pode resultar em conceitos e procedimentos, não tradicionais, como a redução das distâncias de transporte de águas residuais; a utilização das águas pluviais recolhidas ao nível da edificação para uso doméstico ou infiltração das águas pluviais captadas após a precipitação, até ao limite do adequado e possível, antes da sua descarga na rede de drenagem; o controle e o tratamento das águas pluviais, por técnicas ambientalmente adequadas, antes da sua disposição final; a

maximização do tratamento no coletor recorrendo à injeção de oxigênio ou adição de outro oxidante; e a descentralização dos sistemas de drenagem e do seu destino final.

Segundo Fresno et al. (2005) as principais técnicas para o desenvolvimento sustentável são:

- Medidas preventivas, através da conscientização dos cidadãos sobre a questão da limpeza urbana, com o objetivo de reduzir a carga poluente do escoamento superficial;
- Superfícies permeáveis, como a grama, o cascalho, o piso grama, a pavimentação em concreto poroso e a pavimentação em bloco intertravado de concreto;
- Poços de infiltração e trincheiras, utilizados para coletar e armazenar água da enxurrada, até que haja infiltração no terreno natural. As trincheiras são mais estreitas e mais rasas que os poços, sendo mais eficientes do ponto de vista construtivo;
- Tanques de infiltração, que são reservatórios de superfície rasa onde a água é armazenada até que haja infiltração no solo natural;
- Drenos franceses ou filtragem, que são trincheiras revestidas por geotêxtil e cobertas com cascalho nas quais a água flui diretamente proveniente do tubo de drenagem ou outro dispositivo de descarga.
- Valas, que são canais vegetados com grama geralmente localizados nas margens das estradas onde haja vegetação remanescente;
- Tanques de retenção, que são destinados a armazenar temporariamente o volume das enxurradas, liberando-os lentamente, para reduzir a descarga de pico a jusante;
- Retenção através de lagoas e pântanos, onde se utiliza o volume de espera. Outra vantagem é que o escoamento retido passará por tratamento natural através de microrganismos.

Diversos estudos vêm sendo realizados na busca pela sustentabilidade, como por exemplo, o desenvolvimento do primeiro manual para a construção de

pavimentos permeáveis com hidrocarbonetos biodegradáveis. Este trabalho, financiado pelo Ministério da Educação e Ciência da Espanha, e realizado pelas universidades espanholas de Catambria e Oviedo, com o apoio da instituição educacional inglesa Coventry University, tem por objetivo generalizar o uso deste tipo de pavimento. De acordo com Hernandez et al (2006) o aumento da porcentagem de superfície permeável, a redução da poluição difusa, a possibilidade de recarga dos aquíferos, a qualidade estética e segurança das ruas no período chuvoso são as principais vantagens oferecidas por estes pavimentos.

Os Estados Unidos vêm executando sistemas de drenagem não convencional, também denominados como medidas não estruturais, que podem minimizar significativamente os prejuízos causados pelas enchentes com um custo de implantação muito menor, se comparado à drenagem convencional.

Inicialmente desenvolvido e implementado pelo Condado de Prince George, Mariland, no início de 1990, como uma forma inovadora de enfrentar o escoamento superficial de águas pluviais através do uso de técnicas de baixo impacto (tecnologias de proteção dos recursos naturais com redução dos custos de infraestrutura). O sistema de drenagem tradicional é formado basicamente pelas guias, sarjetas, bueiros, poços de visitas e galerias. Esse sistema tem por finalidade captar o escoamento superficial de área urbanizada, protegendo as cidades e os habitantes, transportando a água até os grandes reservatórios (lagoas) ou outros corpos receptores.

Segundo Maryland-National Capital Building Industry Association - MNCBIA (2001) os custos para a instalação de um sistema de drenagem convencional, incluindo material, serviços de implantação, planejamento e projetos, variam entre US\$ 40 e US\$ 50 por metro linear. Além disso, o escoamento transportado apresenta relativa carga poluidora, contaminando os corpos receptores.

De acordo com U.S. Department of Housing and Urban Development (2003) os sistemas de baixo impacto minoram bastante os custos, pois reduzem ou eliminam o transporte convencional de águas pluviais e sistemas de recolhimento. São objetivos desse sistema: reduzir a quantidade de superfícies impermeáveis nas

áreas urbanas; gerenciar os escoamentos superficiais na fonte em vez de transportá-lo para outras regiões; e fazer uso de sistemas de tratamento natural para reduzir as cargas poluentes das águas pluviais. O desenvolvimento urbano sustentável, com relação ao sistema de drenagem urbana, é conhecido por diversos nomes ao redor do mundo: Sistemas de Drenagem Urbana Sustentável (SUDS), no Reino Unido, Melhores Práticas de Gestão de Águas Pluviais (BMPs) ou Desenvolvimento de Baixo Impacto (LID) nos EUA e Brasil.

O Vale do México, com 9.600 km² de área e estando a 2.240 m acima do nível do mar, apresentando uma área urbana com 18 milhões de habitantes, era originalmente uma bacia fechada, que foi artificialmente aberta no fim do século XVII para evitar inundações. Além disso, outros instrumentos foram criados, ao longo do tempo, para combater o escoamento superficial gerado pelas precipitações como as drenagens profundas e os sistemas de bombeamentos, que são necessários devido à falta de inclinação da bacia. No entanto, as soluções desenvolvidas no passado não são suficientes para atender as necessidades atuais da região. O grande problema enfrentado, atualmente na Cidade do México, é a escassez hídrica para o consumo local. Dentre as soluções propostas, o armazenamento da precipitação, é visto como uma solução para combater a falta d'água. Jiménez et al (2004), considerando a precipitação média local e problemas causados pelas inundações, avalia a possibilidade de armazenamento superficial como uma solução inviável do ponto de vista econômico e espacial. Diante do exposto, a aplicação de dispositivos de drenagem que permitam a infiltração e recarga dos aquíferos subterrâneos, explorados pela população é apreciado como desfecho para o controle das enchentes e para o aumento da oferta de água.

A Argentina, com cerca de 90% da população localizada em áreas urbanas, apresenta dados estatísticos indicando um grande evento de inundação a cada dez anos. Segundo Bertoni (2003), o Banco Mundial levando em consideração a região geográfica, classifica as inundações na Argentina em quatro tipos base: a) no vale de grandes rios; b) na planície da Cordilheira do Andes; c) nas cidades e áreas rurais; e em d) em planícies com gestão inadequada dos recursos naturais (particularmente o uso do solo e a vegetação).

A região metropolitana de Buenos Aires, capital da Argentina e principal centro urbano do país, com população de aproximadamente 12,5 milhões de habitantes, e com cerca de 700 km², apresenta um sistema de drenagem ineficiente para a época (Maza et al, 2004).

A fim de aperfeiçoar o funcionamento do sistema de águas pluviais existentes e adequar a cidade no controle das inundações, a administração pública tem se concentrado no desenvolvimento do programa de proteção contra inundações, financiado pelo Banco Mundial, cujo núcleo consiste no Plano Diretor de Ordenamento Hidráulico, e que consiste em planejar o funcionamento do sistema de drenagem da cidade mediante as mais modernas ferramentas tecnológicas, projetar novas obras para um horizonte de planejamento de 50 anos e elaborar um conjunto de normas e procedimentos para reduzir a vulnerabilidade aos desastres de origem hídrica.

A cidade de Córdoba, localizado na região central do país argentino, se destaca nacionalmente na gestão da drenagem urbana, pois esta, desde 1995, vem implementando técnicas que retêm, amortecem e retardam o escoamento. Para Bertoni et al (2003), aos poucos, ideias inovadoras como estas vêm sendo difundidas naquele país com relação à drenagem urbana. As mesmas se baseiam fundamentalmente no emprego de medidas estruturais e não estruturais que tendem a minimizar o impacto hidrológico da urbanização, favorecendo um desenvolvimento sustentável.

No Brasil, a idéia de que o escoamento pluvial deve ser conduzido para longe da origem o mais rápido possível, aumentando a capacidade de transporte do sistema, ainda predomina nos projetos de drenagem que são concebidos e executados. Estes projetos apresentam altos custos de implantação, além de apenas transferir o ponto de alagamento onde deverão ser executados projetos e obras mais onerosas e complexas.

Outro fato negativo, para o sistema de drenagem urbano brasileiro, é o arraste de material sólido para a rede coletora nas lavagens das ruas pela precipitação, favorecido pela falta de educação ambiental da população. Este material provocará

entupimentos nos mais diversos pontos do sistema, acarretando inundações localizadas.

No entanto, discretamente, um conceito de controle estrutural alternativo ao convencional tem conquistado espaço no cenário da drenagem urbana brasileira a partir do fim do século XX e início do século XXI. Trata-se das técnicas de desenvolvimento sustentável ou sistema de baixo impacto. Para Tucci & Genz (1995) existe grande resistência à aplicação das técnicas por parte dos projetistas, devido à pouca divulgação e obras executadas, além da oposição natural a inovações. No entanto, a experiência mostra que o seu uso é mais eficiente, barato e, principalmente, soluciona o problema mais próximo de sua origem, sem afetar a outras regiões. Algumas experiências de adoção das medidas de controle na fonte têm sido implementadas em algumas cidades brasileiras, a exemplo de Porto Alegre, Belo Horizonte, São Paulo, Guarulhos e Caxias do Sul, apresentando diferentes estágios de abordagem.

O estágio de utilização das medidas de controle na fonte, para o Brasil, em especial Porto Alegre, são mostradas por Cruz, Souza & Tucci (2007), no qual apresenta o novo Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano Ambiental (PPDUA). A nova legislação autoriza o município a exigir a utilização de medidas de controle pontual de escoamento para os novos empreendimentos implantados naquela cidade. É importante ressaltar que os instrumentos legais disponíveis para a gestão da drenagem urbana no Brasil, apesar de claramente atuais e de cumprirem o seu papel de quebra de paradigma, necessitam ainda de aprimoramentos, principalmente no que se refere aos conceitos de sustentabilidade no meio urbano. Embora já existam estudos e aplicações dos sistemas de baixo impacto pelo mundo deste a década de 1980, inclusive congressos específicos, poucos são os estudos no país relacionados à sua implementação, limitando-se aos trabalhos desenvolvidos no Instituto de Pesquisas Hidráulicas da UFRGS (Souza, 2005 e Souza et al, 2007).

O desenvolvimento dos centros urbanos necessita de planejamento e investimento para que ocorra de maneira sustentável. Uma ferramenta de grande

importância para o planejamento estratégico de bacias hidrográficas é a modelagem hidrológica. É através da modelagem que é possível analisar e verificar diversas condições de funcionamento dos sistemas de drenagem possibilitando o fornecimento de informações para o entendimento e a dinâmica das inundações.

3.3 MODELAGEM

As bacias hidrográficas sofrem diversas variações em suas características, portanto o seu monitoramento pode fornecer indicações a respeito de mudanças desejáveis ou indesejáveis que estejam ocorrendo com os recursos hídricos como consequência de práticas de manejo (RENNÓ & SOARES, 2000).

O monitoramento das bacias urbanas pode ser realizado de diversas formas, inclusive com a utilização de modelos computacionais. Para Righetto (2009) esses modelos podem ser utilizados na fase de planejamento e detalhamento de projeto, no caso de manutenção corretiva em que seja necessário realizar obras complementares e, em outros casos, em que se deseja simular cenários sobre o comportamento de um sistema de drenagem submetido a determinadas condições de precipitação pluviométrica.

Os modelos de simulação, acompanhados do monitoramento hidrológico, apresentam-se como ferramentas eficientes para prognosticar os efeitos causados às bacias hidrográficas pelo crescimento urbano, possibilitando planejamento adequado do desenvolvimento das cidades (COLLODEL, 2009).

Atualmente são encontrados vários modelos desenvolvidos no mundo à disposição dos profissionais de recursos hídricos e áreas afins. No entanto, a escolha do modelo a ser utilizado é uma das etapas de maior importância, pois são empregadas diferentes formulações matemáticas na criação, em vista do atendimento de finalidades específicas. Para Maksimovic (2001) a escolha depende dos objetivos, da cobertura espacial, da variabilidade dos dados, da tecnologia empregada e do conhecimento do modelador.

Os modelos para simulação da drenagem urbana podem ser classificados, segundo os objetivos a que se destina, em modelos de operação, planejamento e dimensionamento. Para Zoppou (2001) os modelos de planejamento são utilizados para estimar os custos associados com a infraestrutura urbana relacionada à água ao longo dos anos. Para determinar as dimensões das estruturas que compõem o sistema, como redes de condutos e bacias de retenção, além de outros, utilizam-se modelos de dimensionamento. Já os modelos de operação fornecem uma análise detalhada e permitem definir regras de operação das estruturas de controle (bombas, vertedores, bacias de retenção e comportas) e do escoamento na rede de condutos.

Existem também diversos casos em que um determinado modelo pode ser empregado para o planejamento, o dimensionamento e a operação. Segundo Meller (2004) a diferença fundamental na divisão entre os modelos está no nível de informações necessárias para a simulação dos processos, nas informações que podem ser obtidas com o modelo específico e na sofisticação da análise realizada.

3.4 – APLICATIVOS PARA SISTEMAS DE DRENAGEM URBANA

Entre os softwares de modelagem aplicados à drenagem urbana, mais utilizados no mundo, merecem destaque: o SOBEK-URBAN, o InfoWorks-CS, o MOUSE-DHI e o SWMM. No Brasil, mais especificamente nas instituições de ensino superior, alguns modelos foram desenvolvidos, a exemplo dos modelos ABC (desenvolvido na USP) e IPH II (desenvolvido no Instituto de Pesquisas Hidráulicas da UFRGS). Estes aplicativos serão apresentados a seguir.

3.4.1 – O SOBEK-URBAN

Desenvolvido pelo Instituto Holandês WL/Delft Hydraulics, em parceria com o Instituto de Gerenciamento de Águas Interiores e Tratamento de Águas Servidas da Holanda – RIZA, o SOBEK-URBAN apresenta três módulos principais: Rainfall-Runoff (modelo chuva-vazão, que utiliza o método racional integrado com o modelo de infiltração de Horton), Water Flow (que propaga o escoamento na rede de condutos, resolvendo as equações completas de Saint-Venant e permitindo a simulação de inundações no sistema, o escoamento supercrítico sem simplificação das equações e a simulação de redes multiplamente conectadas e de ressaltos hidráulicos) e Real Time Control (que é simulação de um sistema em tempo real, incluindo controle otimizado dos níveis, descargas e altura pluvial, comportas, represas, descarga da bomba, bacias de detenção e outros). Ele é bastante utilizado no dimensionamento e verificação de redes de condutos, que pode simular redes multiplamente conectadas, efeitos de jusante, inversões de fluxo, fluxo sob pressão, operação de bombas, vertedores e comportas, bueiros, orifícios, válvulas com sifão, deposição de sedimentos na rede, operação de sistemas em tempo real e realização de simulação hidrológica chuva-vazão para vários tipos de superfícies pavimentadas e não pavimentadas (RIGHETTO, 2009).

3.4.2 – O INFOWORKS CS

O InfoWorks CS, criado pelo Wallingford Institute – Inglaterra, contém uma estrutura dividida em diversos módulos que fazem: estimativa da carga de lavagem, simulação da qualidade da água na rede, construção de hietogramas de projeto, transformação chuva-vazão e propagação na rede de condutos e canais. O pacote computacional possibilita o controle operacional, inclusive controle em tempo real, permite o cálculo de transporte de sedimentos e possui também uma boa saída de resultados. O InfoWorks CS é muito empregado em simulações da quantidade e da qualidade da água da drenagem urbana pluvial. Ele é capaz de realizar o

planejamento de drenagem, avaliar o impacto das mudanças climáticas sobre os sistemas de drenagem urbana, implementar sistemas sustentáveis, realizar análise hidráulica para tratamento de águas residuárias e identificar soluções para as descargas intermitentes em redes de esgotos. O programa ainda é capaz de prever inundações e modelar transporte de sedimentos e qualidade da água (INNOVYZE, 2011).

Liew, Selamat & Ghani (2009), utilizando a modelagem através do InfoWorks CS, avaliou o desempenho atual e futuro da lagoa de retenção pertencente ao sistema de drenagem urbana de Kota Damansara, Selangor, na Malásia.

3.4.3 – O MOUSE-DHI

Concebido pela Universidade Técnica da Dinamarca e o Danish Hydraulic Institute o MOUSE-DHI apresenta propriedades que simplificam seu uso por meio de melhorias em sua interface gráfica, facilitando a entrada e a modificação de séries de dados, além de contar em sua estrutura com algoritmos para detecção de erros devido à incoerência ou à ausência de dados ou parâmetros. Na versão atual, o aplicativo é organizado em módulos (RIGHETTO, 2009), permitindo a simulação de bacias de retenção, regularizações do escoamento, entrada e saída d'água na rede, constante ou variável no tempo, operações com bombas, coeficientes de atrito variáveis nos condutos, inundações locais, perdas de carga em poços de visita e bacias de retenção (MELLER & PAIVA, 2003).

O software MOUSE-DHI foi aplicado à drenagem urbana de Zagreb – Croácia como uma ferramenta capaz de auxiliar nas medidas corretivas do sistema, na elaboração de normas para a proteção de águas receptoras, na definição da vazão de entrada da futura ETE e na criação de um centro de controle e gestão de tempo real (DEDUŠ & PAVLEKOVIĆ, 1997).

3.4.4 – O SWMM

Produzido e desenvolvido pela U.S. EPA – Estados Unidos, o SWMM é um software de domínio público e possui código de programação aberto, permitindo modificações. É bastante utilizado no dimensionamento do sistema de drenagem urbana para controle de alagamentos, na avaliação de uso de sistemas de retenção de cheias e proteção da qualidade das águas, no mapeamento de áreas inundáveis, na análise do efeito de medidas compensatórias, no efeito qualitativo no sistema devido ao carreamento de poluentes, nas entradas de esgoto e de outras fontes pontuais externas ao sistema de águas pluviais, na redução da concentração de poluentes no tratamento das águas em reservatórios e por meio de processos naturais em galerias e canais e na sensibilidade quanto aos componentes do ciclo hidrológico de bacias, como infiltração, evaporação e escoamento superficial.

O aplicativo apresenta 10 módulos sendo 4 computacionais (Runoff, Extran, Storage/Treatment e Receiving water) e 6 de serviço (Executive, Graph, Combine, Rain, Temperature e Statistics) conforme ilustrado na Figura 3.2.

Os módulos computacionais são responsáveis pelas principais rotinas de cálculo, como por exemplo, transformação chuva-vazão, propagação na rede e simulação das estruturas de controle de quantidade e qualidade. Os módulos de serviços possuem funções diversas como organização da ordem das simulações, dos dados de precipitação e temperatura, apresentação de gráficos e análise estatística dos resultados.

Na interface do programa a bacia urbana é representada na forma de um conjunto de sub-bacias e canais de propagação interconectados, sendo a área de cada sub-bacia subdividida em três subáreas: impermeável com armazenamento, permeável com armazenamento e permeável sem armazenamento. O escoamento superficial é obtido através de um reservatório não-linear para cada subárea, representado pela combinação das equações de Manning e da continuidade, que são solucionadas através do método iterativo de Newton-Raphson.

As informações básicas para simulação hidrológica chuva-vazão são, além dos dados de precipitação, a área da sub-bacia, a largura representativa da sub-bacia, os coeficientes de rugosidade de Manning, a declividade da sub-bacia, a altura do armazenamento em depressões e os parâmetros de infiltração.

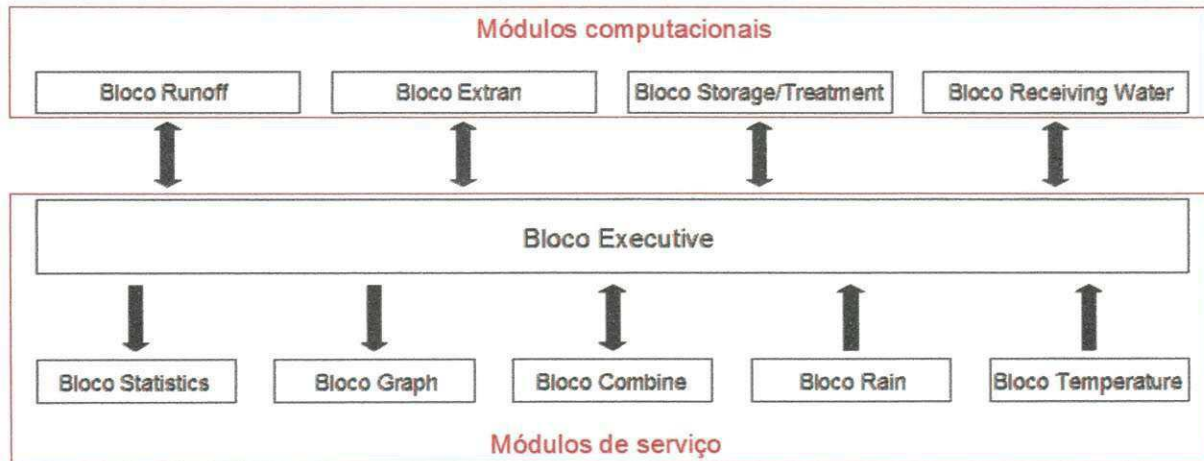


Figura 3.2 – Relação entre os módulos do SWMM (Fonte: Huber & Dickinson apud García, 2005, modificado).

De acordo com Rossman (2010) é possível modelar diversos processos hidrológicos que causam escoamento superficial em áreas urbanas, entre os quais:

- Evaporação da água na superfície;
- Infiltração da chuva em camadas de solo insaturado;
- Percolação da água infiltrada nas camadas subterrâneas;
- Captação, retenção e transporte do escoamento, inclusive com a utilização de técnicas de desenvolvimento sustentável aplicadas à drenagem urbana.

Desde a sua criação o software tem sido utilizado principalmente na concepção e no dimensionamento do sistema de drenagem para controle de cheias, no dimensionamento de instalações de detenção e no mapeamento das planícies de inundação dos canais naturais.

O SWMM é um modelo que utiliza em sua formulação o princípio da conservação da massa, da energia e do impulso sempre que possível. No Manual do Usuário, Rossman (2010) descreve, brevemente, os métodos utilizados pelo SWMM na modelagem ao longo dos seguintes processos físicos:

1. Escoamento superficial: as sub-bacias se comportam como um depósito não linear em que recebem as contribuições do escoamento provenientes da precipitação e de outras sub-bacias localizadas a montante. Na sub-bacia uma parte do escoamento infiltra ou sofre evaporação, outra parte é retida nas depressões do terreno onde é representado pelo armazenamento nas depressões, e outra parte escoar superficialmente. O escoamento superficial, obtido através das equações de Manning, é produzido quando se atinge o valor máximo de armazenamento em depressões.
2. Infiltração: o SWMM permite a utilização do método da equação de Horton, do método Green-Ampt ou do método do Número de Curva. O método da equação de Horton baseia-se em observações empíricas e propõe que a infiltração decresce exponencialmente a partir de um valor inicial máximo até um valor mínimo ao longo do evento de chuva. O método Green-Ampt assume a existência de certa umidade no solo, onde se separa um solo com determinado grau de umidade de um solo superficial saturado. No método do Número de Curva a capacidade total de infiltração no solo é representada, durante um evento chuvoso, como uma função da chuva acumulada e da capacidade de infiltração disponível.
3. Modelo hidráulico de transporte: são disponíveis três modelos: o do Fluxo Uniforme, o da Onda Cinemática e o da Onda Dinâmica. O modelo do Fluxo Uniforme apresenta a forma mais simples de representar o comportamento da água no conduto. Para isso assume-se que o fluxo seja uniforme, fazendo com que os hidrogramas do nó de montante do conduto sejam transferidos para o nó de jusante com certo atraso e aspecto alterado. No modelo da Onda Cinemática tanto o fluxo no interior do conduto quanto a seção do conduto podem variar espacialmente e temporalmente, sendo o fluxo máximo que pode fluir no conduto determinado pela equação de Manning para o conduto cheio. Neste caso qualquer excesso de fluxo no nó de entrada poderá se perder do sistema

ou permanecer na entrada do nó e entrar posteriormente no sistema quando houver disponibilidade de transporte por parte do conduto. Os modelos do Fluxo Uniforme e da Onda Cinemática não consideram efeitos como o ressalto hidráulico, as perdas nas entradas e saídas dos poços de registro, o fluxo inverso e o fluxo pressurizado, restringindo sua aplicação unicamente a redes ramificadas. O modelo da Onda Dinâmica pode contemplar os efeitos não abrangidos pelos modelos descritos anteriormente, uma vez que soluciona simultaneamente os valores dos níveis nos nós e os fluxos dos condutos podendo ser aplicado a qualquer tipo de configuração de sistema de saneamento.

Garcia & Paiva (2006) avaliaram a aplicabilidade do SWMM na bacia hidrográfica urbana do Arroio Cancela, localizada na cidade de Santa Maria – RS. Os autores realizaram um estudo da sensibilidade dos parâmetros e da influência do grau de discretização da bacia na simulação de eventos, assim como a análise das mudanças ocorridas nos hidrogramas em três períodos distintos.

Almeida (2007), usando o modelo hidrológico SWMM, avaliou o impacto causado por cargas poluidoras de pequenas bacias que drenam diretamente para o estuário lagunar Ria de Aveiro, localizado na costa ocidental de Portugal. A contribuição das pequenas bacias representa 10% da vazão média anual. Para a determinação dos indicadores químicos e biológicos foram coletadas amostras nos esteiros que, após análises, demonstraram a presença de contaminantes originários, principalmente, de efluentes urbanos.

Silva (2007) empregou a ferramenta computacional *Storm Water Management Model* (SWMM) em uma área urbana da bacia do Córrego dos Buritis, localizada em Goiânia-GO, que apresentava graves problemas de inundação. No trabalho foram projetados 11 cenários hipotéticos que consistiam na aplicação e avaliação da eficiência dos seguintes dispositivos de controle: micro reservatórios de detenção, trincheiras de infiltração, bacias de detenção e aumento da área impermeável.

3.4.5 – O APLICATIVO ABC

O aplicativo ABC, gerado pelo Laboratório de Sistema de Suporte a Decisão (LabSid) da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (EPUSP), segundo Silva (2006), é uma ferramenta que permite o cálculo de chuvas excedentes, geração de hidrogramas e cálculo de amortecimentos em canais e reservatórios. No software as bacias são representadas por redes de fluxo, sendo necessário que sejam informados áreas totais, as áreas impermeáveis, as áreas diretamente conectadas, o tempo de concentração, o comprimento dos canais, a velocidade do escoamento, o tempo de trânsito da onda cheia, o coeficiente de amortecimento e os dados referentes à permeabilidade do solo.

Santos (2006), com auxílio do software ABC 6, simulou cenários propostos para a drenagem urbana da bacia fechada denominada Lagoa do Buracão, localizada no bairro de Oitizeiro, município de João Pessoa – PB. Na pesquisa foi eleito, entre os cenários propostos, o que se propunha a uma solução de drenagem de uso multifuncional para a lagoa, combinando a utilização de técnicas compensatórias de drenagem urbana e a inserção de elementos que propiciassem a requalificação da paisagem urbana.

3.4.6 – O IPH II

A versão IPH II (TUCCI et al, 1981; Tucci & Campana, 1993) foi desenvolvida com o objetivo de buscar um modelo com o máximo de moderação e que pudesse ser utilizado em bacias de diferentes tamanhos e características. Os algoritmos utilizados são conhecidos na literatura, da mesma forma que seus parâmetros. O modelo é composto dos seguintes algoritmos: perdas através da evaporação e interceptação, separação de escoamentos, propagação do escoamento superficial e propagação subterrânea.

A propagação do escoamento superficial no modelo é feita através do método de Clark, que utiliza o parâmetro tempo de concentração e o histograma tempo-área.

Esses parâmetros podem ser calibrados ou mantidos fixos, de acordo com a disponibilidade de informações de características físicas da bacia. Adicionalmente, para se levar em consideração o efeito do armazenamento na bacia, o modelo utiliza a teoria do reservatório linear simples, que representa o tempo de retardo do escoamento superficial. Para a propagação do escoamento superficial é necessário definir também o percentual de área impermeável na bacia hidrográfica (BRAVO et al, 2007).

A propagação do escoamento subterrâneo é realizada através do modelo do reservatório linear simples e representa o tempo médio de esvaziamento do reservatório de escoamento subterrâneo. O modelo IPH II, originalmente, foi desenvolvido para simulação de eventos. Entretanto, para simulação de séries contínuas de longo período, os autores introduziram um parâmetro adicional. Esse parâmetro adicional participa do processo de separação do escoamento no caso em que a precipitação é menor que a capacidade de infiltração.

Bastos (2007) através de uma tabela-resumo (Tabela 3.1) apresenta a capacidade de modelagem do escoamento superficial e subterrâneo, erosão, precipitação, degelo e qualidade da água dos softwares mais utilizados no mundo.

Tabela 3.1 – Resumo dos principais processos simulados pelos aplicativos. (Fonte: Bastos, 2007)

MODELO	Processos simulados					
	Escoamento Superficial	Escoamento Subterrâneo	Erosão	Precipitação	Degelo	Qualidade da Água
SOBEK-URBAN	X			X		X
INFORWORKS	X	X				X
MOUSE	X	X			X	
SWMM	X	X	X	X	X	X

CAPÍTULO IV

MATERIAL E MÉTODOS

4.1 – DESCRIÇÃO DA BACIA HIDROGRÁFICA

Segundo o PERH-PB (2006) a Bacia hidrográfica do Rio Paraíba (Figura 4.1), possui uma área de 20.071,83 km², sendo a segunda maior do Estado, após a Bacia do Rio Piranhas, abrangendo 35,56% do território paraibano. Compreendida entre as latitudes 6°51'47"S e 8°18'12"S e as longitudes 34°47'37"O e 37°21'22"O, ela abrigava, em 2003, cerca de 1.892.939 habitantes, que correspondia a mais de 53,46% da população total do estado.

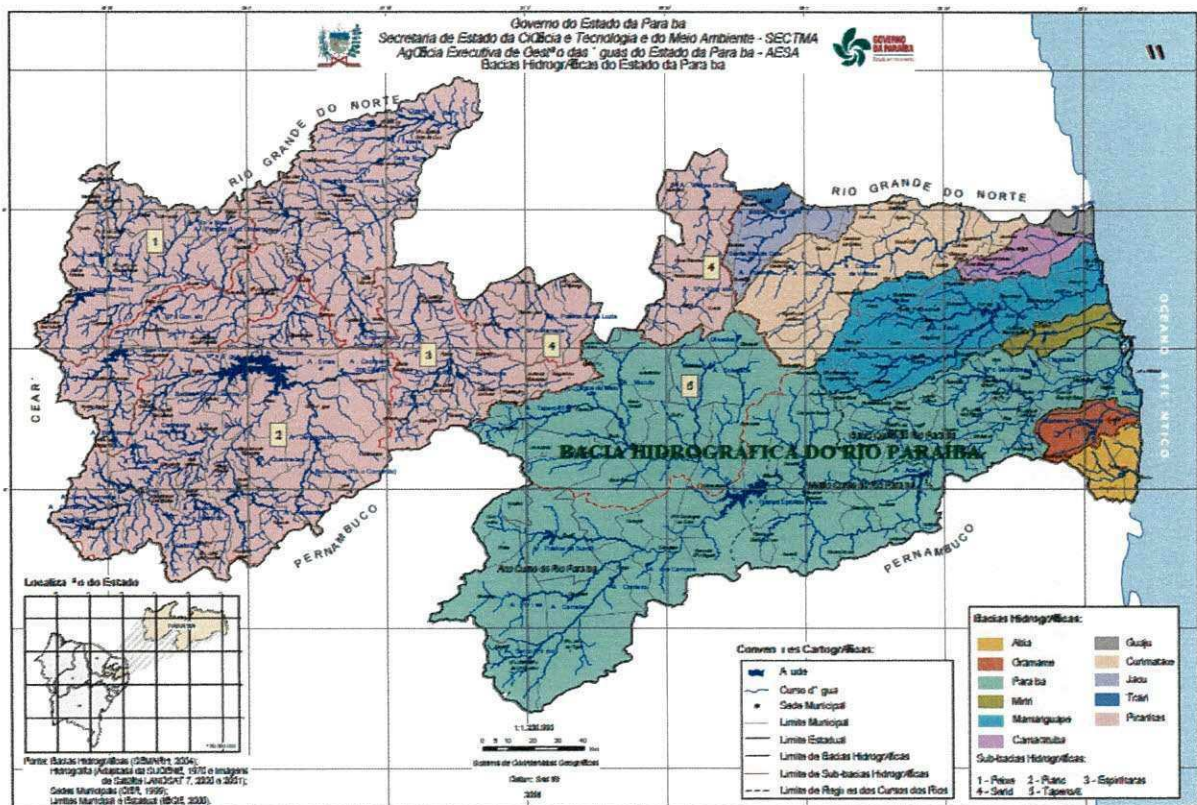


Figura 4.1 – Localização da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba.

A bacia integra as mesorregiões da Borborema, Agreste e Litoral paraibano. Além da grande densidade demográfica, na bacia estão incluídas a cidade de João Pessoa, a capital do estado, e Campina Grande, seu segundo maior centro urbano.

Considerada uma das mais importantes bacias do semi-árido nordestino e em razão da grande extensão geográfica, diversidades física e climática, sua caracterização será definida em função das suas subdivisões: sub-bacia do Rio Taperoá e regiões do Alto, Médio e Baixo Curso do Rio Paraíba (Figura 4.2). Onde, para este estudo, será descrita apenas as características das Regiões do Médio e Baixo Curso do Rio Paraíba.



Figura 4.2 – Subdivisões da Bacia do Rio Paraíba. A linha em vermelho delimita a sub-bacia do rio Taperoá e a linha tracejada delimita as regiões do Alto, Médio e Baixo Paraíba.

4.1.1 – REGIÃO DO MÉDIO CURSO DO RIO PARAÍBA

Localizada na mesorregião do Agreste paraibano, a região do Médio Curso do Rio Paraíba está entre as latitudes 7°3'50"S e 7°49'13"S e as longitudes 35°30'15"O e 36°16'38"O, limitando-se com a sub-bacia do Rio Taperoá e a região do Alto Curso do Rio Paraíba a oeste, região do Baixo Curso do Rio Paraíba a leste, o estado do Rio Grande do Norte ao norte e o estado de Pernambuco ao Sul. Sua área drenante é de aproximadamente 3.760,65 km² (PERH-PB, 2006).

Segundo a classificação de Köppen, seu clima é do tipo BSw^h, ou seja, semi-árido quente. A temperatura mínima do ar se apresenta entre 18 e 22 °C. A máxima chega 31 °C, nos meses de novembro e dezembro. A precipitação média anual é diferenciada ao longo da região, crescendo de oeste (600 mm) para leste (1100 mm), havendo concentração do total precipitado entre os meses de março e julho. A umidade relativa do ar varia entre 68% e 85%, com valores mínimos ocorrendo nos meses de novembro a janeiro e máximos nos meses de junho a agosto.

A cobertura vegetal natural predominante é a Caatinga hiperxerófila, hipoxerófila, floresta caducifólia e subcaducifólia. As áreas agrícolas são, geralmente, ocupadas pelas culturas de palma, agave, algodão, milho e feijão.

A região do Médio Curso do Rio Paraíba está situada no planalto da Borborema, em relevo que oscila do ondulado ao montanhoso. O solo predominante é o Bruno não Cálcico, além de solos Litólicos, Solonetz Solodizado, Regossolos e Cambissolos, que cobre todo o cristalino existente na área.

4.1.2 – REGIÃO DO BAIXO CURSO DO RIO PARAÍBA

Situado na parte litorânea do estado da Paraíba, estendendo-se pelas mesorregiões do Agreste paraibano e Zona da Mata, a região do Baixo Curso do Rio Paraíba está entre as latitudes 6°55'13"S e 7°30'20"S e as longitudes 34°47'37"O e 35°55'23"O, limitando-se com as bacias do Rio Mamanguape e Rio Miriri ao norte,

estado de Pernambuco e Bacia do Rio Gramame ao sul, Oceano Atlântico a leste e região do Médio Curso do Rio Paraíba a oeste. Sua área drenante é de aproximadamente 3.925,40 km² (PERH-PB, 2006).

Segundo a classificação de Köppen, seu clima é do tipo Aw', ou seja, úmido. A temperatura mínima do ar se apresenta entre 20 e 24 °C. A máxima chega 32 °C, nos meses de novembro e dezembro. A precipitação média anual varia entre 1.200 mm e 1.700 mm, com valores decrescentes da região litorânea para o interior. A umidade relativa do ar varia entre 68% e 85%, com valores mínimos ocorrendo nos meses de novembro a janeiro e máximos nos meses de julho e agosto.

A cobertura vegetal natural que dominava a área foi, ao longo do processo de colonização e ocupação das terras, quase toda retirada indiscriminadamente e substituída por culturas de cana-de-açúcar, abacaxi e mandioca, além de outras culturas de caráter intensivo e extensivo. Da cobertura vegetal original, restaram somente alguns pequenos trechos da Floresta Atlântica e de seus ecossistemas.

A região do baixo curso do Rio Paraíba está em relevo plano, predominando áreas de tabuleiro com vales rasos e em forma de "U". O solo predominante é o Bruno não Cálcico, além de solos Litólicos, Solonetz Solodizado, Regossolos e Cambissolos.

A cidade de Campina Grande, sede do município de mesmo nome e objeto deste trabalho, está inserida na divisão das Regiões do Médio e Baixo curso do Rio Paraíba.

4.2 – DESCRIÇÃO DO MUNICÍPIO DE CAMPINA GRANDE

Situado nas regiões do médio e baixo curso do Rio Paraíba (Figura 4.3), o município de Campina Grande apresenta sua localização na latitude 7°13'50"S e longitude 35°52'52"O e está 560 m, em média, acima do nível do mar. Limita-se ao norte com os municípios de Pocinhos, Puxinanã, Lagoa Seca e Massaranduba, ao sul com os municípios de Caturité, Queimadas e Fagundes, a leste com o município

de Riachão do Bacamarte e a oeste com o município de Boa Vista. Sua área é de 620,63 km² e população, segundo o Censo 2010 do IBGE, de 385.276 habitantes, apresentando uma densidade demográfica de 620,78 hab./km².



Figura 4.3 – Localização do município de Campina Grande nas regiões do médio e baixo Paraíba. A região em marrom representa toda a área do município de Campina Grande.

Apresenta clima semi-árido quente e precipitação média anual variando entre 700 mm e 800 mm, com predomínio de chuvas torrenciais.

O município de Campina Grande é composto pela cidade de Campina Grande (sede do município) e pelos distritos de Catolé de Boa Vista, Catolé de Zé Ferreira, São José da Mata, Santa Terezinha e Galante, além da área rural no entorno da cidade e dos distritos.

4.3 – DELIMITAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A cidade de Campina Grande é a segunda área urbana mais importante, economicamente, no estado da Paraíba. A posição privilegiada contribui para que

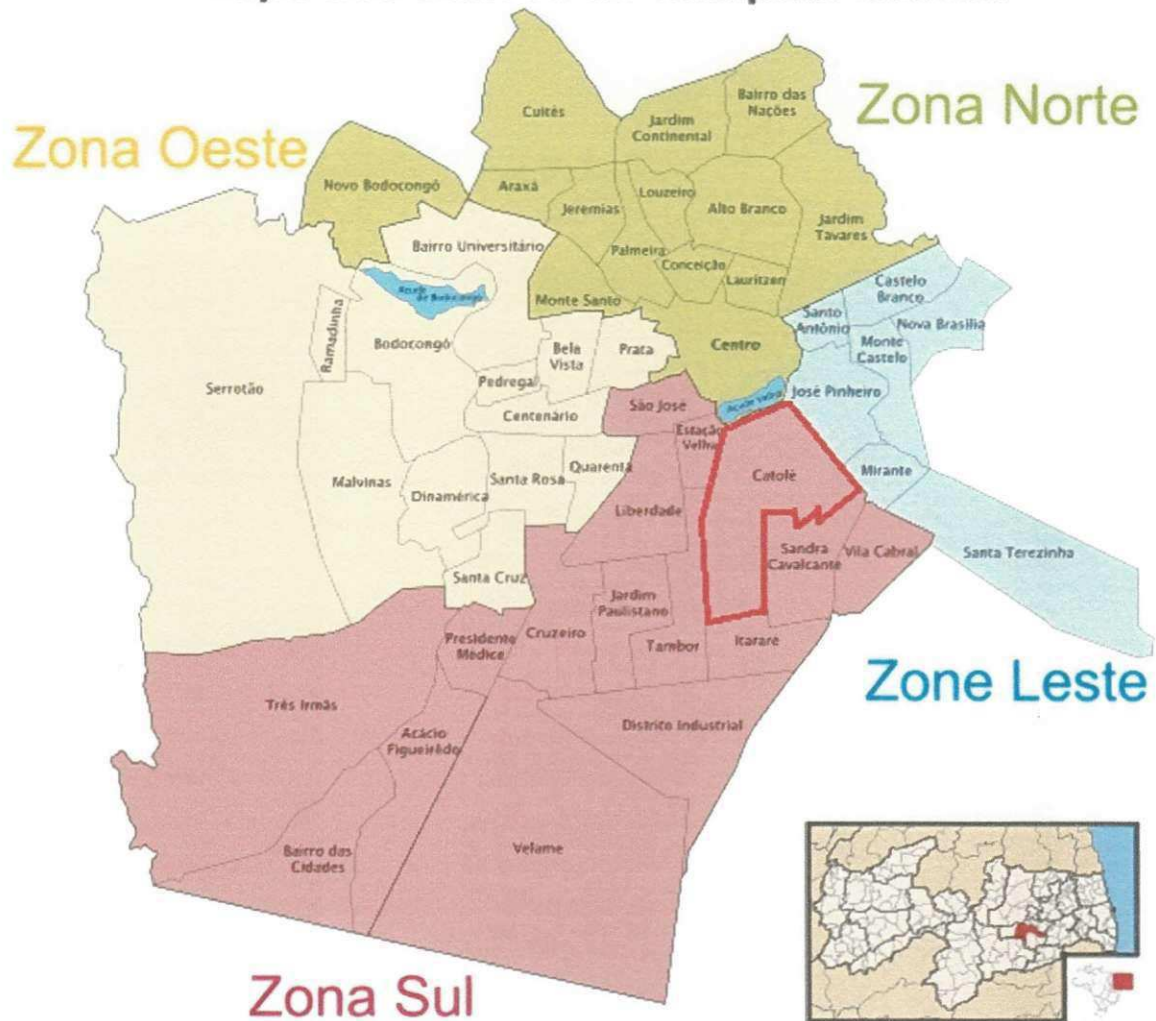
seja um centro distribuidor e receptor de matéria-prima e mão-de-obra de vários estados. Tem grande proximidade com três capitais brasileiras: Natal, João Pessoa e Recife. Além disso, dentro do próprio estado, situa-se no cruzamento entre as rodovias federais BR-230 e BR-104. Por sua localização, economia, densidade demográfica e a grande oferta no ensino superior torna-se uma das cidades de maior destaque entre as interioranas do Nordeste do Brasil.

Com o acelerado processo de urbanização nos últimos anos, novas áreas foram ocupadas favorecendo o aumento do escoamento superficial, provocado por obras de pavimentação, que impermeabilizam o solo, e a construção dos mais diversos tipos de edificações. Conseqüentemente, a cidade tem apresentado sérios problemas nos períodos de chuva, gerados pelo grande acúmulo do volume de água escoada superficialmente. A falta de investimentos do poder público na expansão dos sistemas de drenagem urbana e as falhas dos sistemas que se encontram implantados também contribuem para o fenômeno de inundação das bacias urbanas.

Devido à ampla extensão territorial foi selecionada para este estudo uma área representativa que compartilha dos mesmos problemas existentes na cidade. Dessa forma, foi escolhido o bairro do Catolé. A Figura 4.4 localiza e delimita o Catolé na cidade de Campina Grande.

Localizado na zona sul da cidade, o bairro em estudo situa-se entre os seguintes logradouros: avenida Prefeito Severino Cabral a leste, ruas Guilhermino Barbosa e Vinte Quatro de Maio a oeste, rua Paulo Frontin ao norte e ruas Manoel Alves de Oliveira e Basílio Araújo ao sul. A área de 2,89 km² possui elevado processo de urbanização, com alto índice de construção civil e verticalização e a maioria das ruas pavimentadas. Neste bairro estão localizados os dois maiores centros comerciais (shopping centers) da cidade. Outro fato que motivou a escolha do bairro é a grande região plana, nas cotas topográficas inferiores a 511 m, (Figura 4.5), favorecendo o aumento das inundações.

Mapa dos Bairros de Campina Grande



Campina Grande - PB, Brasil

Legenda

- Limites dos bairros de Campina Grande
- Limites do bairro do Catolé (área escolhida para a avaliação dos riscos de inundação)

Figura 4.4 – Mapa dos bairros de Campina Grande.

Imagem Aérea de Parte da Cidade de Campina Grande

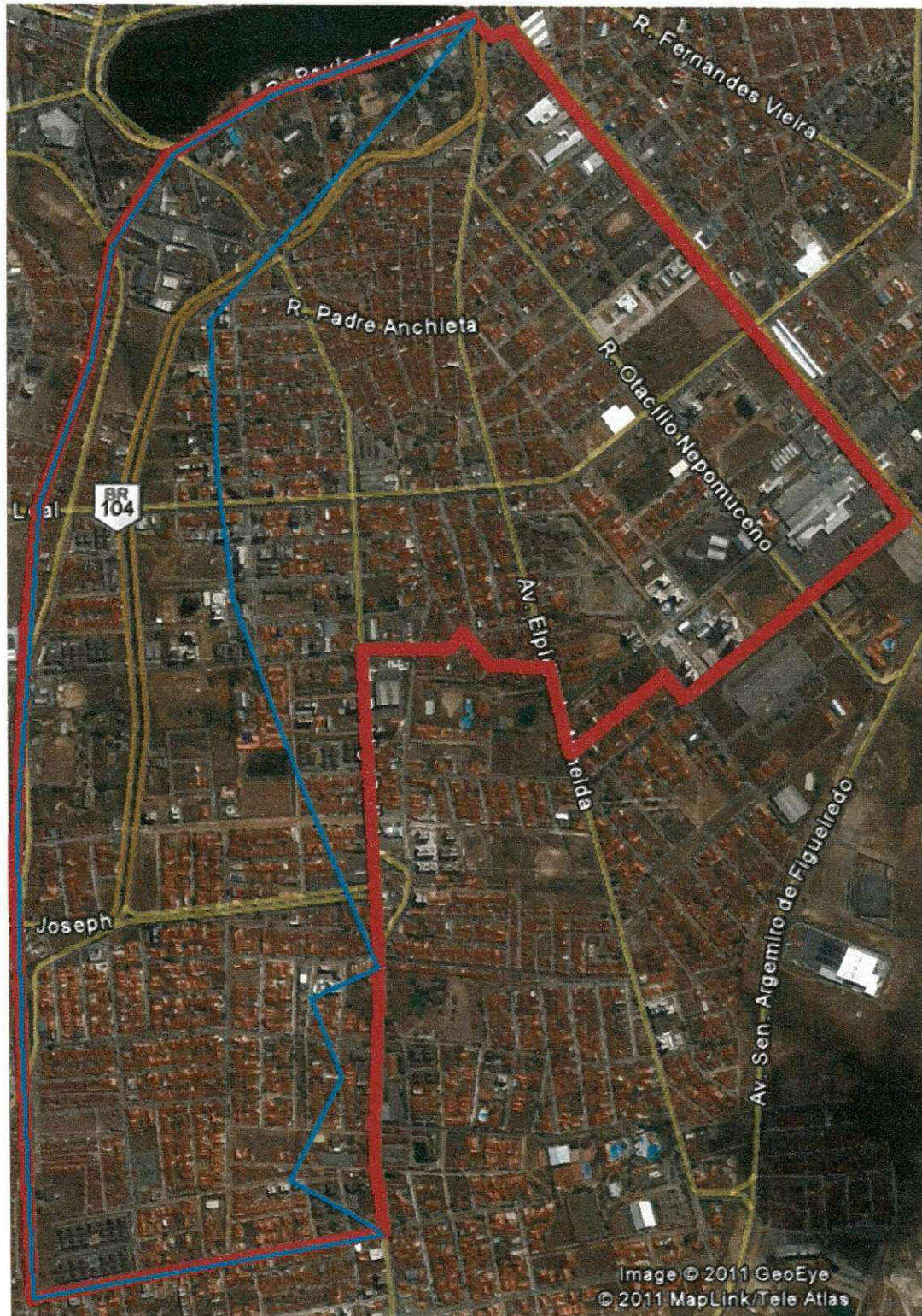


Figura 4.5 – O bairro do Catolé é representado pelo contorno em vermelho. A área de contorno azul é a região com cotas topográficas inferiores a 511 m.

4.4 – LEVANTAMENTO DE CAMPO

Com o objetivo de mapear a rede de drenagem pluvial do bairro do Catolé, foi realizado, entre os meses de maio e agosto de 2011, um levantamento de campo que determinou a localização e dimensão de todas as bocas de lobo existentes, assim como poços de visita, da rede de drenagem, diâmetro e comprimento das galerias, e a seção dos canais que compõem a rede pluvial.

A Figura 4.6 apresenta algumas imagens das bocas de lobo encontradas na região, onde é possível constatar uma precária manutenção visto que grande parte apresenta vegetação (Figuras 4.6 a e c), ausência de tampa (Figura 4.6 a) ou tampa danificada (Figuras 4.6 c e d). Porém, algumas se encontram em bom estado de conservação (Figura 4.6 b).

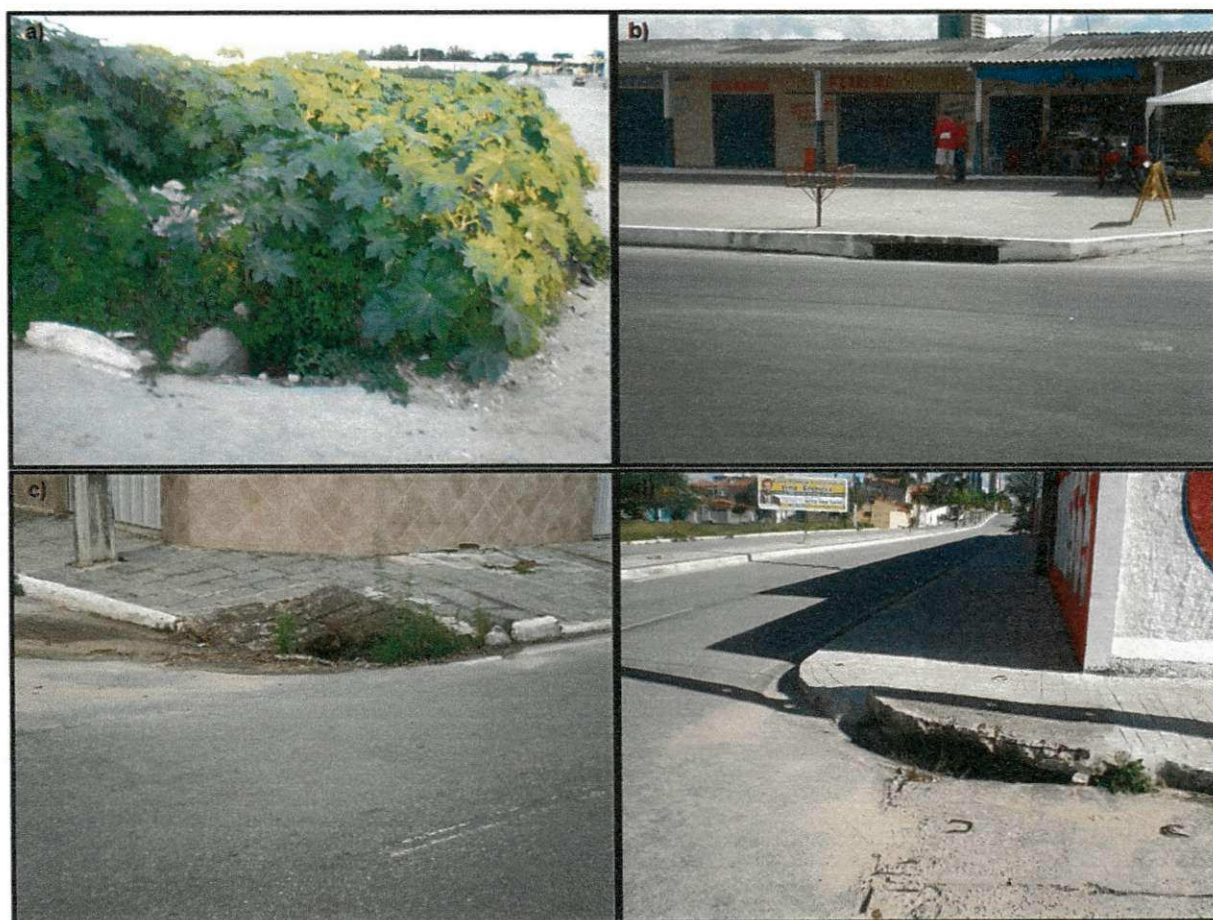


Figura 4.6 - Situação de algumas bocas de lobo do bairro do Catolé.

4.5 – REPRESENTAÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS DA ÁREA DE ESTUDO

Entre os mais diversos softwares desenvolvidos, ao longo tempo, para a modelagem de bacias hidrográficas, o SWMM 5.0 foi o escolhido para este trabalho por ser um modelo de simulação chuva-vazão aplicado em áreas essencialmente urbanas, onde é possível analisar a quantidade e qualidade do escoamento. Além disso, esta ferramenta é disponibilizada gratuitamente no portal da Agência Ambiental dos Estados Unidos, o que a torna bastante utilizada em toda parte do mundo.

No modelo SWMM o sistema de drenagem é representado através dos seguintes elementos: bacias (sub-bacias), condutos e nós. Os parâmetros destes elementos, necessários para a simulação, foram definidos com base na coleta de dados realizada por meio de visitas *in loco*, pela consulta aos projetos existentes e imagens aéreas.

Foi usado neste trabalho o Mapa Base Urbano de Campina Grande-PB, na escala 1:10.000, de novembro de 2005, cedido, em meio eletrônico, pela Secretaria de Planejamento da Prefeitura Municipal de Campina Grande, tendo sido feito uso do software AutoCad, versão 2010.

As imagens aéreas usadas foram as disponibilizadas pelo software Google Earth, versão 6, para a cidade de Campina Grande/PB, com data, para as imagens, de 26 de maio de 2010.

4.5.1 – SUB-BACIAS

Neste trabalho as sub-bacias foram definidas pelas quadras existentes no bairro em estudo. Dessa forma cada sub-bacia delimitada representa uma quadra e a bacia representa o bairro do Catolé.

Para que ocorra a simulação do modelo se faz necessário que as sub-bacias sejam qualificadas através dos parâmetros apresentados na Tabela 4.1.

Tabela 4.1 – Parâmetros necessários na definição da sub-bacia para a simulação do modelo.

PARÂMETROS	SIGLA	UNIDADE
Área da Sub-bacia	A	ac
Largura da Sub-bacia	W	ft
Declividade da Sub-bacia	S	%
Áreas impermeáveis	AI	%
Coeficiente de Rugosidade de Manning - Superfícies Impermeáveis	NI	-
Coeficiente de Rugosidade de Manning - Superfícies Permeáveis	NP	-
Capacidade de Armazenamento em Depressões - Superfícies Impermeáveis	DI	in
Capacidade de Armazenamento em Depressões - Superfícies Permeáveis	DP	in
Áreas Impermeáveis Não Conectadas	AINC	%

As áreas e os perímetros das sub-bacias foram estimados através do Mapa Base Urbano de Campina Grande-PB.

Para Garcia (2005) a largura da sub-bacia (W) é determinada a partir da largura do retângulo equivalente (Le), conforme a Equação 1, onde:

$$Le = \frac{k_c \cdot \sqrt{A}}{1,12} \left[1 - \sqrt{1 - \left(\frac{1,128}{k_c} \right)^2} \right] \quad (\text{Equação 1})$$

No qual:

Le = Largura do retângulo equivalente (m);

A = Área da bacia hidrográfica ou sub-bacia (m²);

k_c = Coeficiente de compacidade, definido como a relação entre o perímetro da sub-bacia e a circunferência de um círculo de área igual à da sub-bacia.

O k_c é determinado através da Equação 2:

$$k_c = 0,282 \cdot \frac{P}{\sqrt{A}} \quad (\text{Equação 2})$$

Onde:

P = Perímetro da sub-bacia (m).

A partir desses valores, determinaram-se as larguras das sub-bacias através da Equação 3:

$$w = \frac{A}{L_g} \quad (\text{Equação 3})$$

As declividades médias (S) foram determinadas a partir do Mapa Base Urbano de Campina Grande-PB.

As áreas impermeáveis (AI) foram estimadas em cada sub-bacia a partir das imagens de satélite, com a utilização do Google Earth, onde era verificado o tipo de superfície existente e a área ocupada através do contraste de cores entre os elementos que compõem estas imagens..

O coeficiente de rugosidade de Manning para superfícies impermeáveis (NI) e permeáveis (NP) é determinado pelo tipo de superfície em que ocorre o escoamento. A Tabela 4.2 apresenta alguns valores para o coeficiente de rugosidade manning.

Tabela 4.2 – Coeficiente de rugosidade de Manning.

SUPERFÍCIE	n
Asfalto liso	0,011
Concreto liso	0,012
Revestimento de concreto comum	0,013
Madeira	0,014
Tijolo com argamassa de cimento	0,014
Argila vitrificada	0,015
Ferro fundido	0,015
Tubo metal corrugado	0,024
Superfície cimentada	0,024
Solos não cultiváveis	0,05
Solos cultiváveis	0,06 - 0,17
Solos com vegetação natural	0,04 - 0,80

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

O coeficiente do coeficiente de rugosidade de Manning aplicado para superfícies impermeáveis *NI* de cada sub-bacia foi determinado através da Equação 4.

$$NI = \frac{S_1 \cdot n_1 + S_2 \cdot n_2 + \dots + S_n \cdot n_n}{S_1 + S_2 + \dots + S_n} \quad (\text{Equação 4})$$

Onde:

S_1 , S_2 e S_n são áreas impermeáveis pertencentes à sub-bacia construídas, respectivamente, com material impermeável 1, 2, n.

n_1 , n_2 , e n_n são coeficientes de rugosidade de Manning para as áreas S_1 , S_2 e S_n , respectivamente.

Para a determinação do coeficiente de rugosidade de Manning para superfícies permeáveis *NP* o procedimento é realizado de forma semelhante ao utilizado para o cálculo do *NI*, sendo, neste caso, utilizados as áreas permeáveis e seus coeficientes.

A Tabela 4.3 apresenta os intervalos de valores sugeridos no Manual do Usuário do SWMM (ROSSMAN, 2007) para os coeficientes de rugosidade de Manning, superfícies impermeáveis (*NI*) e permeáveis (*NP*), e as respectivas capacidades de armazenamento em depressões (*DI* e *DP*).

Tabela 4.3 – Intervalo de valores para o coeficiente de rugosidade de Manning e capacidade de armazenamento em depressões (Superfícies impermeáveis e permeáveis).

SIGLA	PARÂMETRO	MÍNIMO	MÁXIMO
NI	Coeficiente de rugosidade de Manning - Superfícies impermeáveis	0,010	0,040
NP	Coeficiente de rugosidade de Manning - Superfícies permeáveis	0,100	0,800
DI	Capacidade de armazenamento em depressões - Superfícies impermeáveis - (in)	0,050	0,100
DP	Capacidade de armazenamento em depressões - Superfícies permeáveis - (in)	0,100	0,300

Para determinar a capacidade de armazenamento em depressões em superfícies impermeáveis (*DI*) e permeáveis (*DP*) o modelo foi calibrado através de eventos ocorridos. Esta calibração será vista adiante.

O Anexo A apresenta todas as características utilizadas nas sub-bacias.

4.5.2 – INFILTRAÇÃO

O SWMM dispõe de três possibilidades para a modelagem de infiltração da água no solo que são: as Equações de Horton, o Método de Green-Ampt, e o Método SCS. Devido à falta de informações para a aplicação dos métodos Green-Ampt e SCS para Campina Grande, foram utilizadas as equações de Horton, nas quais se necessita conhecer os seguintes parâmetros: capacidade de infiltração inicial (I_0), capacidade de infiltração final (I_f) e constante de decaimento (k).

Paixão et al. (2009) desenvolveram uma pesquisa na área experimental da Empresa Estadual de Pesquisas Agropecuárias da Paraíba – EMEPA, localizada no município de Lagoa Seca (PB), tendo sido realizados 65 testes de infiltração que possibilitaram determinar a capacidade de infiltração inicial e final do solo (Tabela 4.4). Entre os modelos empíricos estudados o de Horton melhor se ajustou à curva de infiltração real apresentando uma constante de decaimento de 2,677 l/h.

Tabela 4.4 – Valores utilizados na aplicação das equações de Horton.

Capacidade de Infiltração Inicial (mm/h)	Capacidade de Infiltração Final (mm/h)	Constante de Decaimento (l/h)
396,10	7,10	2,677

4.5.3 – CONDUTOS

Os condutos são elementos do sistema de drenagem que permitem a condução da água, funcionando como uma espécie de caminho por onde o fluxo irá se deslocar. Eles representam as galerias pluviais, as sarjetas e os canais. Collodel

(2009) apresenta os parâmetros necessários à caracterização dos condutos, para o SWMM. Esses parâmetros são vistos na Tabela 4.5.

Tabela 4.5 – Parâmetros necessários para a caracterização dos condutos.

PARÂMETROS	SIGLA	UNIDADE
Comprimento do Conduto	L	ft
Declividade	Sc	ft/ft
Coefficiente de Rugosidade de Manning	Ncn/Ng,s	-
Seção Transversal	-	-
Vazão de Base	Qb	ft ³ /s
Offset de Saída	hoff	ft

Em razão do bairro do Catolé não possuir projeto de drenagem alguns parâmetros foram determinados da seguinte forma:

- O comprimento das galerias foi definido como a distância entre duas junções;
- Foi aplicado o critério da declividade mínima adotada pelos itens 5.1.3 e 5.1.4 da NBR 9649 – Projeto de redes coletoras de esgoto sanitário.
- O coeficiente de rugosidade de Manning e a seção transversal foram observados através das inspeções de algumas entradas de galerias, realizadas nas visitas de campo.

4.5.4 – NÓS

Os nós representam, na rede de drenagem, os poços de visita e as bocas de lobo. Para a caracterização necessita-se que sejam determinados os seguintes parâmetros:

- A coordenada geográfica de localização;
- As dimensões internas;
- O coeficiente de Manning.

Além dos parâmetros citados é preciso também que seja informada a capacidade de armazenamento que o nó suporta, ou seja, o volume de espera disponível em cada nó.

4.6 – DADOS HIDROLÓGICOS

Devido à necessidade de calibração do modelo alguns dados horários de precipitação foram adquiridos no INMET através do 3º Distrito de Meteorologia – DISME. Estes dados foram obtidos a partir da estação automática A313 localizada na estação meteorológica instalada na Embrapa Algodão de Campina Grande (Figuras 4.7 e 4.8), situada a $7^{\circ}12'32,40''S$ e $35^{\circ}54'16,70''O$. Os dados de chuva apresentados na Tabela 4.6 foram medidos através do pluviógrafo (Figura 4.8).



Figura 4.7 – Estação meteorológica da Embrapa Algodão de Campina Grande.



Figura 4.8 – Estação meteorológica de Campina Grande. O círculo vermelho identifica o pluviômetro.

Tabela 4.6 – Precipitação horária dos eventos selecionados em mm/h.

PRECIPITAÇÃO HORÁRIA											
HORA	18/03/08	25/03/08	26/03/08	20/02/09	11/04/09	01/03/11	02/03/11	03/05/11	04/05/11	05/05/11	17/07/11
00:00	0,0	0,0	6,2	0,0	0,0	0,0	6,8	0,0	1,0	2,2	1,4
01:00	0,0	0,0	18,4	0,0	0,0	0,0	7,6	0,0	0,0	0,2	1,8
02:00	0,2	0,0	1,8	4,4	0,0	0,0	6,6	0,0	0,2	2,0	2,0
03:00	0,0	0,0	5,2	0,0	0,0	0,0	6,0	0,2	0,0	0,6	2,2
04:00	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	5,4	0,2	0,4	0,0	2,6
05:00	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	5,2	0,0	0,0	0,4	2,6
06:00	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	4,4	0,2	0,0	0,8	3,2
07:00	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	3,0	0,6	0,2	0,6	3,6
08:00	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	4,0
09:00	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,6	0,0	4,4
10:00	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,2	0,0	4,6
11:00	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	4,4	2,0	0,0	4,4
12:00	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,2	4,0	0,0	5,0
13:00	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	8,6	0,0	0,0	5,4
14:00	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	14,8	11,2	0,0	5,4
15:00	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	36,8	4,8	2,2	5,6
16:00	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	6,8	0,4	0,6	5,6
17:00	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	0,2	1,2	5,8
18:00	0,0	0,0	0,0	22,2	0,0	0,4	0,0	0,0	0,8	0,2	5,6
19:00	0,0	0,0	6,4	23,6	0,4	7,0	0,0	0,0	7,6	0,8	4,8
20:00	11,4	0,0	0,0	0,0	7,2	8,4	0,0	0,0	16,8	0,0	4,0
21:00	22,8	0,0	0,0	0,0	16,6	9,0	0,0	0,0	1,6	0,0	4,0
22:00	29,4	8,4	0,0	0,2	15,8	8,8	0,0	0,0	0,8	4,6	3,4
23:00	3,6	21,4	0,0	0,0	4,8	7,6	0,0	0,0	0,2	0,0	3,0

A seleção dos eventos presentes na Tabela 4.6 foi realizada com base na precipitação diária para a cidade de Campina Grande no período de 01 de julho de 2007 a 31 de agosto de 2011 (Anexo B). A partir do conhecimento dos dados foram escolhidas as maiores precipitações diárias que geraram inundações na área, optando por estes para a calibração. A exceção ocorre para o evento do dia 17 de julho de 2011, pois o mesmo não gerou inundações, uma vez que houve uma boa distribuição do evento ao longo do dia, o que favoreceu o sistema de drenagem da área.

Na criação dos cenários para a área em estudo foi utilizada a equação geral da relação IDF (Equação 5), onde:

$$i = \frac{K.T^m}{(t + B)^n} \quad \text{(Equação 5)}$$

No qual:

i = intensidade máxima (mm/h);

T = frequência em termos de tempo de recorrência (em anos);

t = duração da chuva (em minutos);

B, n, m e K = constantes do local.

Aragão et al. (1998), usando dados de 15 postos pluviométricos da Paraíba, estabeleceu valores para as constantes locais de diversas regiões do estado. Para Campina Grande os valores determinados constam na Tabela 4.7.

Tabela 4.7 – Constantes do local da equação geral da relação IDF para Campina Grande.

CONSTANTES DO LOCAL PARA CAMPINA GRANDE			
B	n	m	K
5,00	0,596	0,227	334,00

A escolha em se trabalhar com a equação 5 foi acarretada pela inacessibilidade a dados pluviográficos horários da região em estudo.

4.9 – CALIBRAÇÃO DO MODELO

A calibração do modelo para a região estudada foi realizada para 11 eventos ocorridos entre julho de 2007 e agosto de 2011. Estes eventos selecionados foram distribuídos em dois conjuntos: os de grande intensidade, que provocaram inundações no sistema, e os de média e pequena intensidade.

O método de tentativa e erro foi adotado para a calibração onde buscou-se uma aproximação, através do ajuste manual dos parâmetros, de valores para a capacidade de armazenamento em depressões das superfícies permeáveis (DP) e impermeáveis (DI), e um percentual para áreas impermeáveis não conectadas.

Partindo da Tabela 4.3 que apresenta os intervalos de valores de DP e DI sugeridos pelo Manual do Usuário do SWMM, foram verificados os valores mínimos, médios e máximos e um percentual de 10% para áreas impermeáveis não conectadas. A partir da comparação da altura da lâmina de escoamento entre a resposta do modelo e as inundações ocorridas na bacia foram determinados os índices da capacidade de armazenamento das depressões.

4.10 – CENÁRIOS

Para analisar o comportamento da drenagem urbana na área de estudo foi criado um cenário que representasse o mais fielmente possível a situação existente sendo possível diagnosticar os problemas.

A partir do diagnóstico resultante da avaliação deste cenário, outros três foram desenvolvidos no sentido de tornar o sistema de drenagem mais eficiente. Todos, inclusive o que representa a situação existente, serão descritos a seguir.

O cenário 01 apresenta o sistema atual de drenagem do Catolé. A rede de drenagem, formada por bocas de lobo, poços de visita, galerias e canais, tem a função de drenar o escoamento superficial gerado na área.

O cenário 02 caracteriza-se por propor a redução da impermeabilidade das sub-bacias favorecendo o processo natural de infiltração. Neste cenário houve um aumento de 20% de área permeável para cada sub-bacia.

O aumento da área permeável para as sub-bacias propõe a redução das contribuições para a geração de escoamento. Na prática, esta redução poderá ser alcançada através da aplicação de algumas técnicas para o desenvolvimento sustentável da drenagem urbana. São exemplos: a substituição por revestimentos permeáveis para ruas, calçadas e áreas de recuo dos lotes urbanos e o uso de tanques de retenção, como as cisternas.

O cenário 03 caracteriza-se por propor melhoramentos na rede existente, mais precisamente na substituição de alguns condutos existentes por outros de maiores diâmetros.

A substituição de trechos de condutos existentes por outros de maiores diâmetros torna o sistema de drenagem capaz de receber maiores volumes do escoamento superficial.

O cenário 04 propõe maximizar a área permeável em 20%, conforme o cenário 02, e substituir trechos de galerias existentes por outras de maiores diâmetros, conforme o cenário 03.

Para avaliar a eficiência do sistema de drenagem e diagnosticar as falhas existentes foram aplicadas sobre a região, para todos os cenários, as durações de precipitação estimada de 30, 60, 120 e 180 minutos para os tempos de retorno de 1, 2 e 5 anos. As precipitações foram estimadas através da equação geral da relação IDF (Equação 5) para a cidade de Campina Grande

A Figura 4.9 mostra o organograma dos cenários utilizados e suas características e a Figura 4.10 apresenta, de forma resumida, as etapas metodológicas aplicadas para o desenvolvimento do estudo.

Os resultados obtidos para cada cenário desenvolvido serão apresentados no Capítulo V.

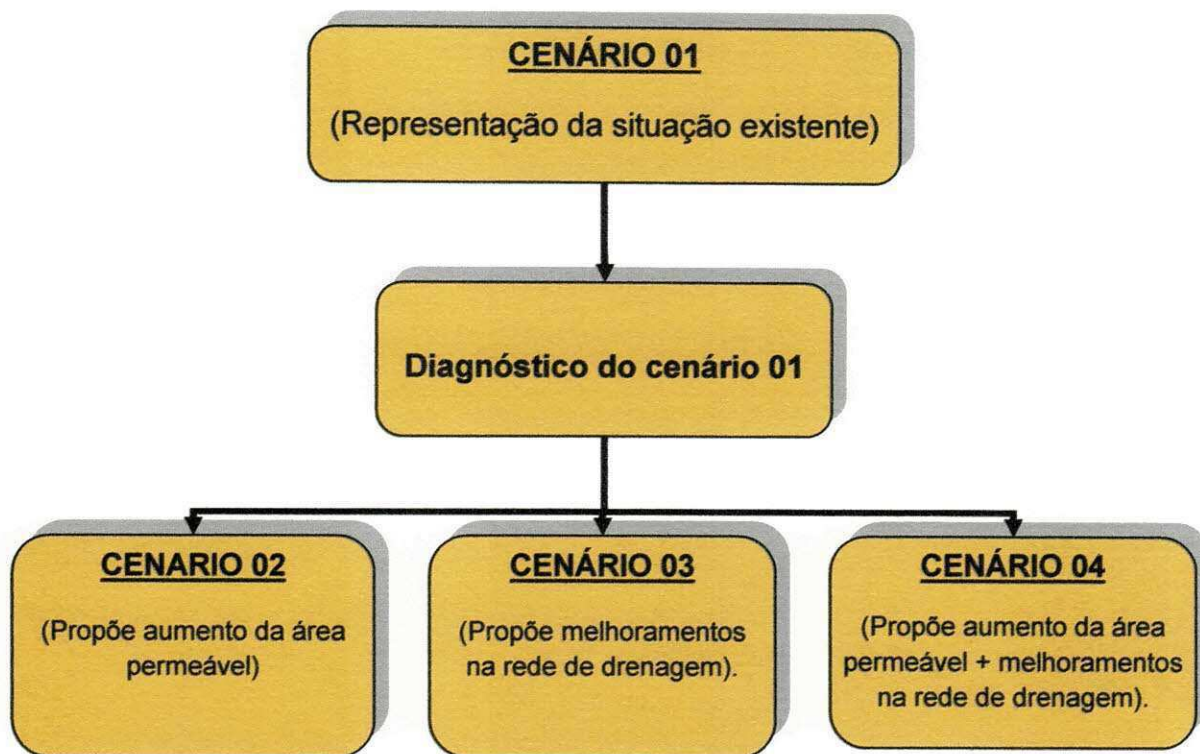


Figura 4.9 – Organograma dos cenários utilizados.

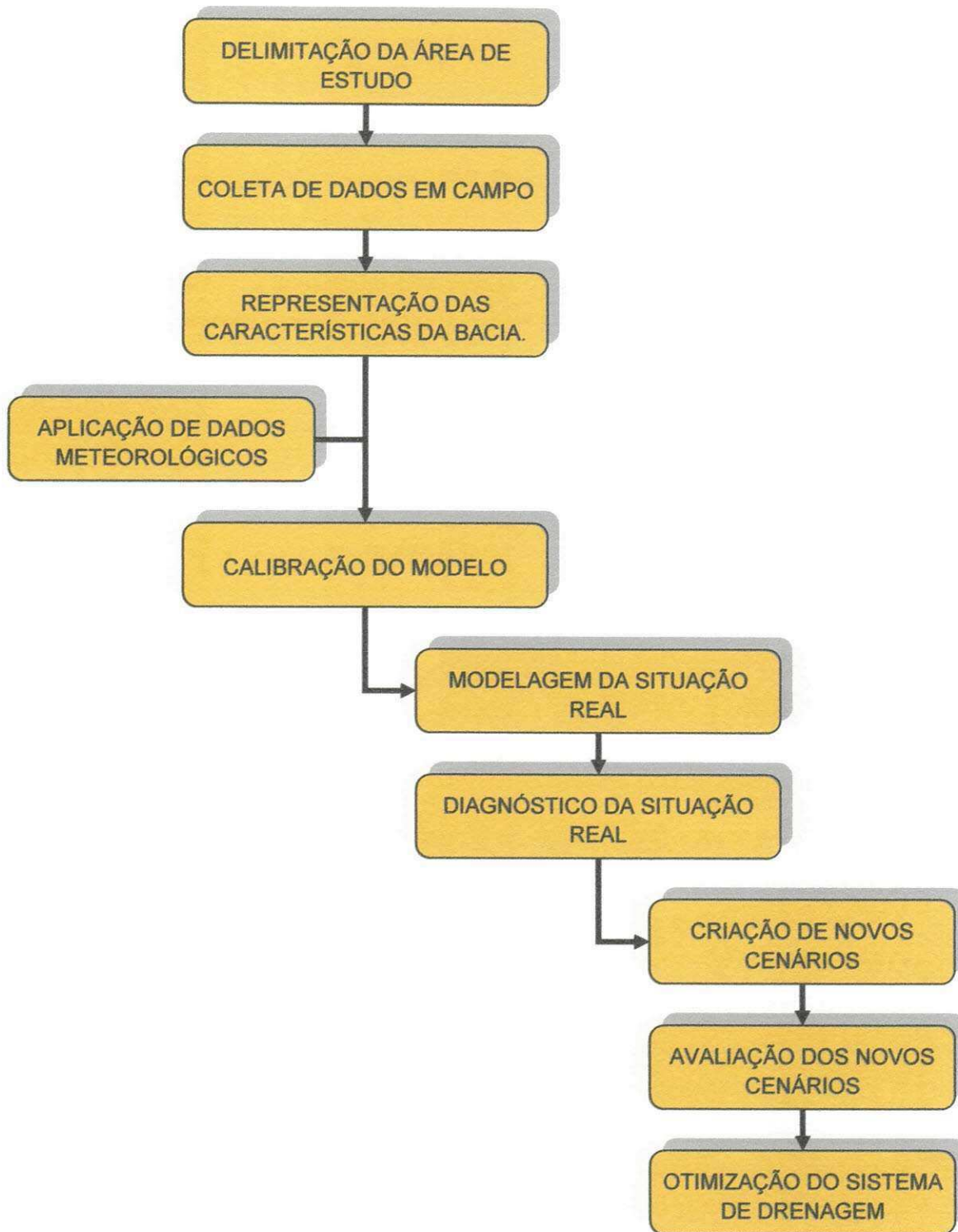


Figura 4.10 – Resumo das etapas metodológicas.

CAPÍTULO V

RESULTADOS

5.1 – RESULTADOS DE CALIBRAÇÃO DO MODELO

A calibração do modelo para a área do Catolé, com a aplicação do processo manual de tentativa e erro, foi realizada utilizando-se oito eventos que foram selecionados entre janeiro de 2008 e agosto de 2011. A Tabela 5.1 apresenta as datas em que ocorreram os eventos.

Tabela 5.1 – Data da ocorrência dos eventos utilizados para a calibração do modelo.

EVENTO	DATA DA OCORRÊNCIA DO EVENTO
I	18 de março de 2008
II	25 de março de 2008
III	20 de fevereiro de 2009
IV	11 de abril de 2009
V	01 de março de 2011
VI	03 de maio de 2011
VII	04 de maio de 2011
VIII	17 de julho de 2011

A calibração do modelo foi realizada devido à necessidade de determinar, no módulo Runoff do SWMM, os valores da capacidade de armazenamento em depressões para superfícies permeáveis (DP) e superfícies impermeáveis (DI), e de estimar as áreas impermeáveis não conectadas (AINC). Os valores médios determinados para esses parâmetros encontram-se na Tabela 5.2.

Tabela 5.2 – Valores determinados no processo de calibração.

PARÂMETROS CALIBRADOS		
Capacidade de armazenamento em depressões para superfícies impermeáveis - (Di)	Capacidade de armazenamento em depressões para superfícies permeáveis - (Dp)	Áreas impermeáveis não conectadas (A/NC)
1,91 mm (0,75 in)	5,08 mm (0,2 in)	10%

5.2 – INTENSIDADE DA PRECIPITAÇÃO

O risco adotado para um projeto de drenagem urbana define a relação entre os investimentos envolvidos para reduzir a frequência das inundações e os prejuízos aceitos. Dessa forma, os riscos usualmente adotados são baseados em tempos de retorno pequenos (TUCCI, 2003). A Tabela 5.3 apresenta os riscos usualmente aplicados nos projetos de drenagem pluvial.

Tabela 5.3 – Tempos de retorno para sistemas de drenagem urbana.

SISTEMA	CARACTERÍSTICA	INTERVALO (ANOS)	VALOR FREQUENTE
Microdrenagem	Residencial	02 -05	02
	Comercial	02 - 05	05
	Áreas de prédios públicos	02 - 05	05
	Aeroportos	05 - 10	05
	Áreas comerciais e avenidas	05 -10	10
Macro drenagem	-	10 - 25	10
Zoneamento de áreas ribeirinhas	-	5 - 100	100

Devido ao fato da área de estudo ser predominantemente residencial, mas apresentando também alguns pontos comerciais, foi determinada a precipitação para períodos de retorno de 2 e 5 anos. Também foi determinada para o período de retorno de 1 ano para avaliar o real comprometimento da rede. Foi possível estimar a precipitação da área estudada a partir do conhecimento dos coeficientes B, n, m e K, da equação geral da relação IDF, obtidos por Aragão (2000) para a cidade de Campina Grande.

Para cada tempo de retorno definido foram calculadas as intensidades (i) para eventos com durações de 30, 60, 120 e 180 minutos. Os resultados encontrados possibilitaram a construção das curvas de intensidade de chuva como mostra a Figura 5.1.

O conhecimento dos dados de intensidade de chuva, duração e frequência permitiu a realização de simulações na área de estudo utilizando o modelo SWMM para diferentes cenários. Os resultados dessas simulações serão apresentados a seguir.

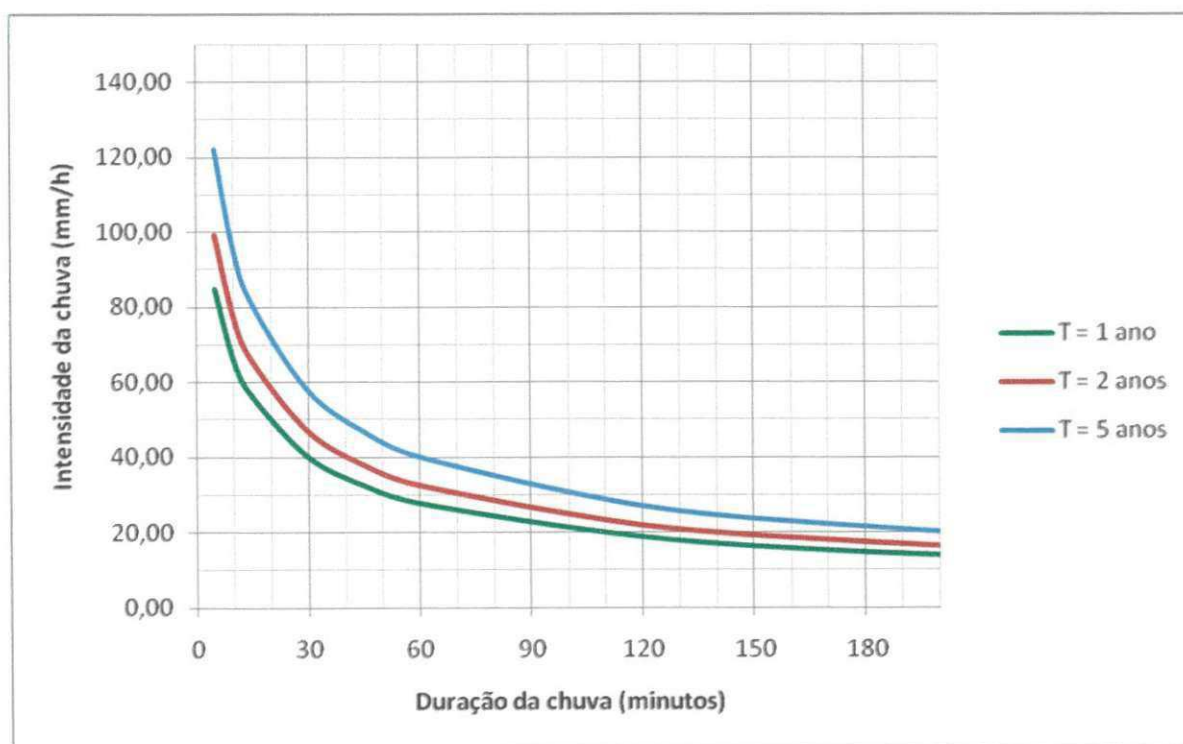


Figura 5.1 – Gráfico da Intensidade x Duração para os tempos de retorno de 1, 2 e 5 anos.

5.3 – RESULTADOS DAS SIMULAÇÕES

Inicialmente foi considerado o modelo da onda cinemática como modelo hidráulico de transporte por ser capaz de representar uma rede ramificada com variações para a seção dos condutos e para o fluxo.

No entanto, o modelo da onda dinâmica foi utilizado nos trechos em que os condutos se apresentaram totalmente cheios e geraram perdas de fluxo através das bocas de lobo ou poços de visita. A opção por utilizar o modelo da onda dinâmica parte do princípio de que foi gerada uma coluna de fluxo nos bueiros e poços de visita que extravasaram. Essa coluna é capaz de provocar pressurização nos condutos de jusante e fluxo inverso no conduto de montante, o que não é previsto pelo modelo da onda cinemática.

Durante a simulação do modelo é possível a geração de mapas de inundação e perfis de rede a cada segundo permitindo conhecer de forma instantânea o comportamento do sistema de drenagem. Como havia a disponibilidade de um numeroso banco de resultados, foram escolhidas, para cada cenário, duas simulações representando bem os pontos problemáticos do sistema estudado. Essa escolha foi baseada no tempo de retorno de 2 e 5 anos, que são os valores de risco usualmente aplicados nos projetos de drenagem urbana de regiões predominantemente residenciais.

5.3.1 – CENÁRIO 1 – A SITUAÇÃO ATUAL

Para a simulação com tempo de retorno de 2 anos e duração de chuva de 60 minutos o gráfico de intensidade x duração (Figura 5.1) estima uma intensidade de precipitação de 32,48 mm/h. Para esta precipitação o sistema de drenagem apresentou 6 pontos de falha causados pela seção insuficiente das galerias com relação à vazão a ser captada.

O ponto de falha é definido como uma situação em que não é possível captar o fluxo escoado devido às pequenas dimensões dos dispositivos de captação quando comparadas com o volume a ser captado ou quando ocorre perda de fluxo do sistema drenante para a bacia.

A Figura 5.2 apresenta o mapa de inundação da bacia logo após a ocorrência da precipitação. O mapa representa o escoamento superficial nas sub-bacias através da escala de cores.

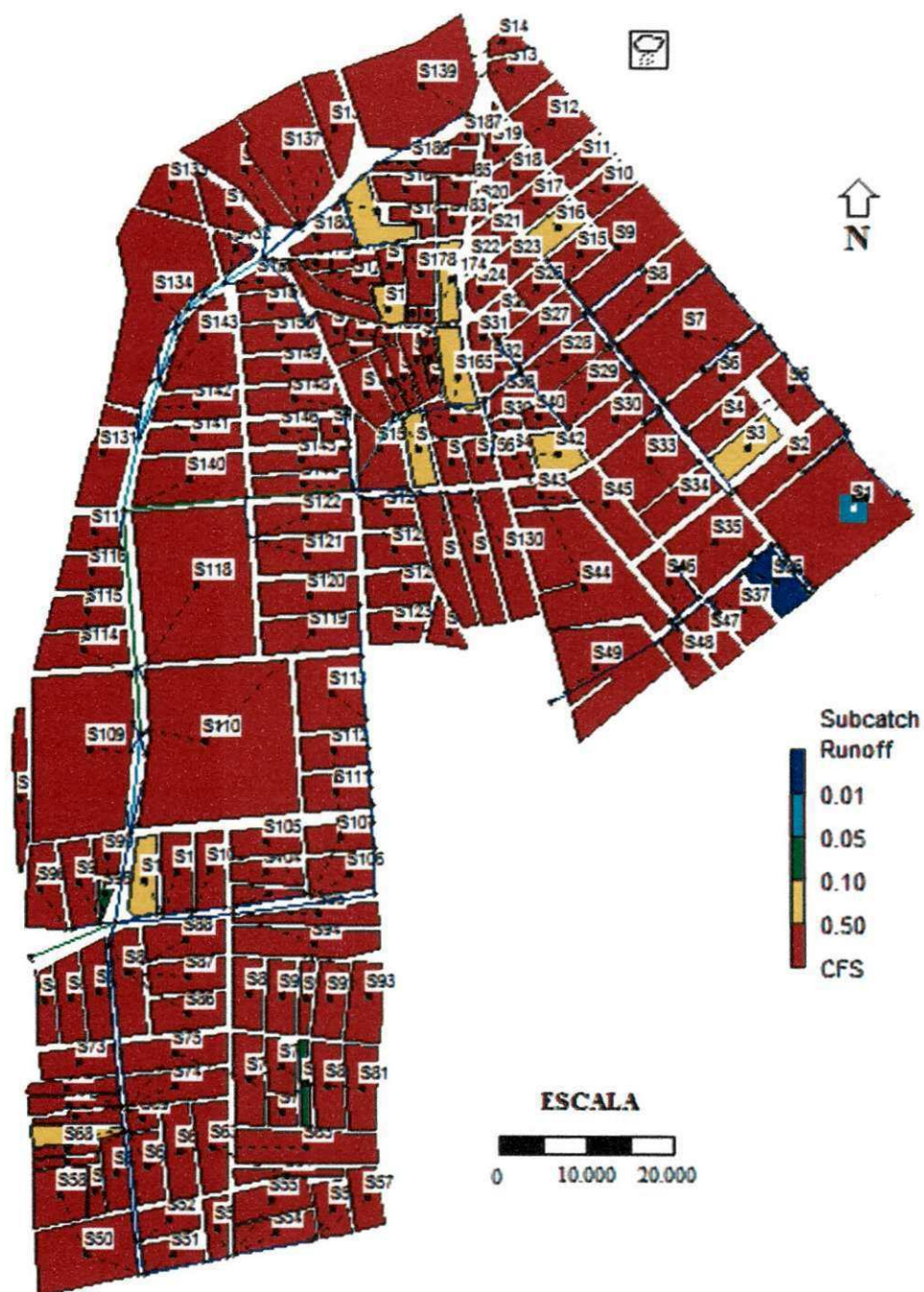


Figura 5.2 – Mapa de inundação do cenário para a situação atual após a precipitação com intensidade de 32,48 mm/h e duração de 60 minutos.

É possível verificar no mapa que das 187 sub-bacias que compõem a área de estudo 174 apresentam escoamento superficial com lâmina superior a 12,70 mm (0,50 in). Estas áreas estão representadas em vermelho no mapa e correspondem a 97,11% da área total da bacia.

Das 13 sub-bacias restantes 10 apresentaram escoamento superficial entre 2,54 mm (0,10 in) e 12,70 mm (0,50 in), duas apresentaram escoamento superficial entre 1,27 mm (0,05 in) e 2,54 mm (0,10 in) e apenas uma sub-bacia (sub-bacia S36) não obteve escoamento considerável.

Após o encerramento da precipitação inicia-se a recuperação natural da bacia com relação às inundações. A Figura 5.3 mostra mapa de inundação da bacia após 30 minutos do encerramento da precipitação.

Pode ser visualizado que grande parte das sub-bacias apresenta escoamentos superficiais inferiores a 1,27 mm (0,05 in). No entanto 11 sub-bacias ainda apresentam escoamentos superiores a 12,70 mm (0,5 in).

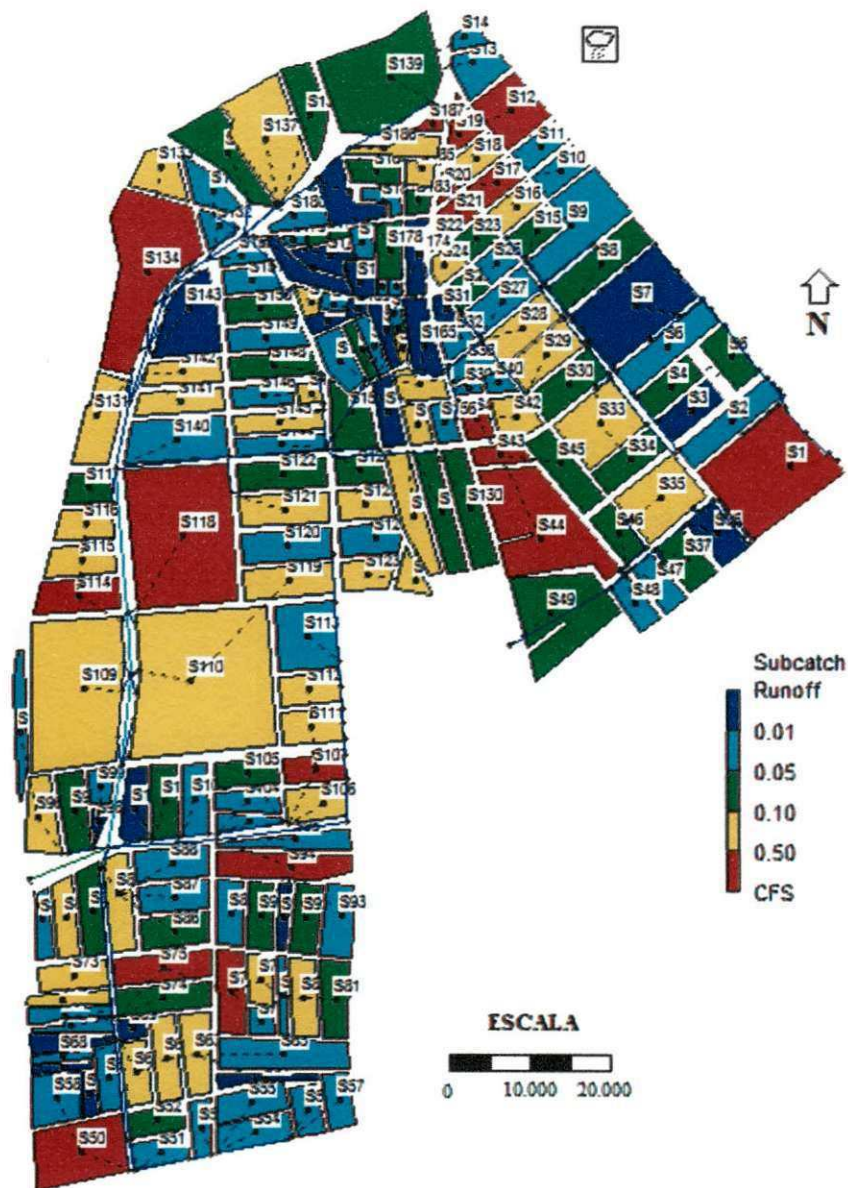


Figura 5.3 – Mapa de inundação do cenário para a situação atual 30 minutos após o encerramento da chuva de 32,48 mm/h.

A Figura 5.4 mostra o mapa de inundação da bacia após 60 minutos do encerramento da precipitação.

É possível verificar que grande parte das sub-bacias não registrou escoamentos, caracterizando a total recuperação dessas. No entanto, as sub-bacias S41, S43 e S44 ainda apresentaram escoamentos superiores a 12,70 mm (0,5 in).

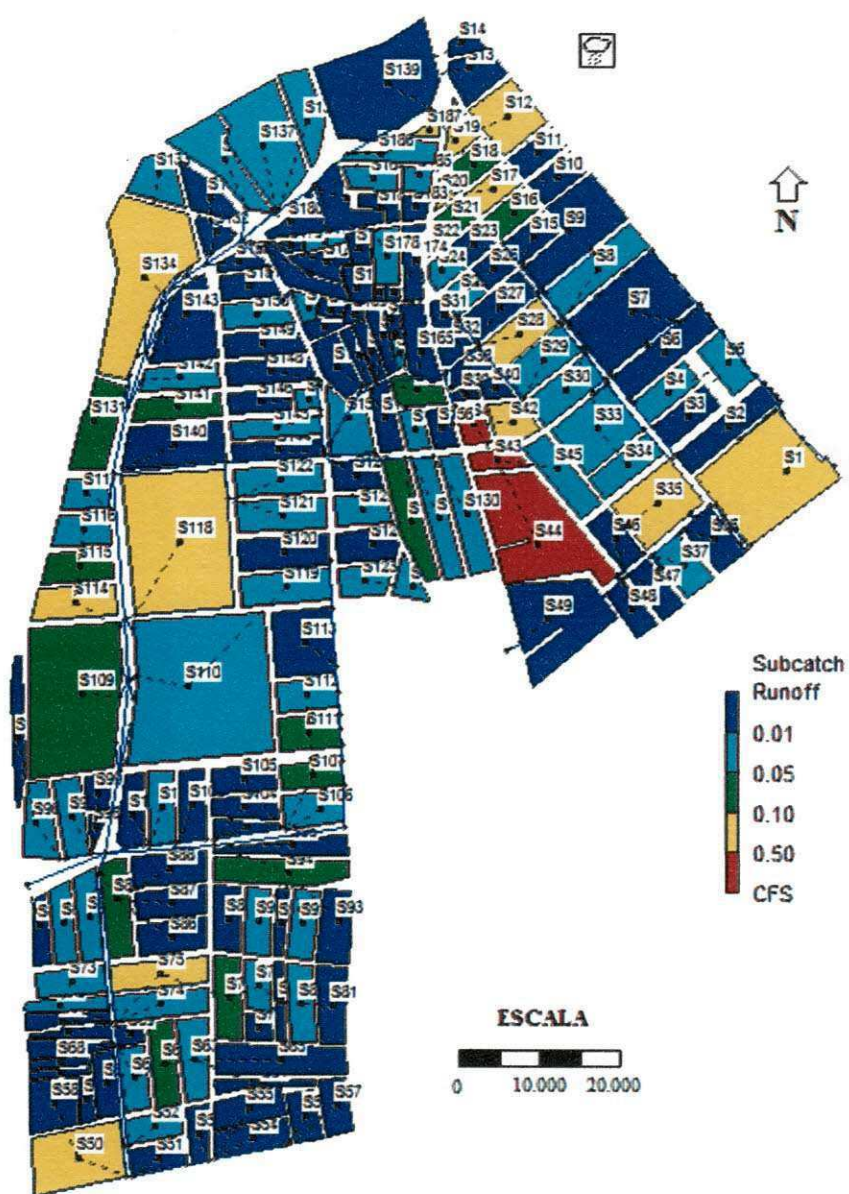


Figura 5.4 – Mapa de inundação do cenário para situação atual 60 minutos após o encerramento da chuva de 32,48 mm/h.

As Figuras 5.5 e 5.6 apresentaram o perfil dos trechos da rede drenante em que houve pontos de falha. Estas falhas foram registradas durante a ocorrência das chuvas. Pode ser visto que o fluxo, representado pela cor azul clara, escoava nos condutos. Mas, em alguns momentos, devido ao total preenchimento da seção do conduto, forma-se uma coluna de fluxo nos nós (poços de visita e bocas de lobo).

Essa coluna gera pressão para a rede aumentando sua capacidade de transporte. A falha do sistema ocorre quando a coluna de fluxo atinge alturas superiores à altura do nó. A linha em azul escuro é gerada a partir da ligação da altura da coluna d'água gerada em cada nó e a linha tracejada é formada a partir da cota piezométrica de cada nó.

As bocas de lobo e os poços de visita que apresentam retorno do fluxo devido ao diâmetro insuficiente de seção de galeria a jusante são indicados com setas vermelhas.

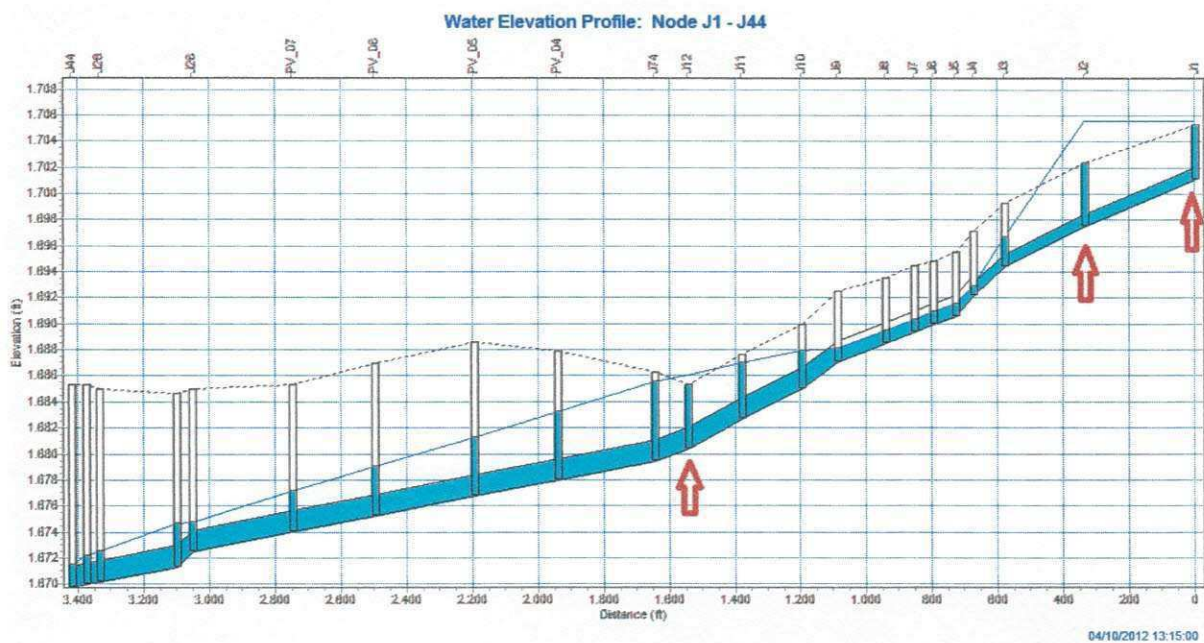


Figura 5.5 – Trecho da rede de drenagem. As setas em vermelho mostram as bocas de lobo em que ocorrem retorno de fluxo devido ao diâmetro insuficiente da seção de galeria a jusante.

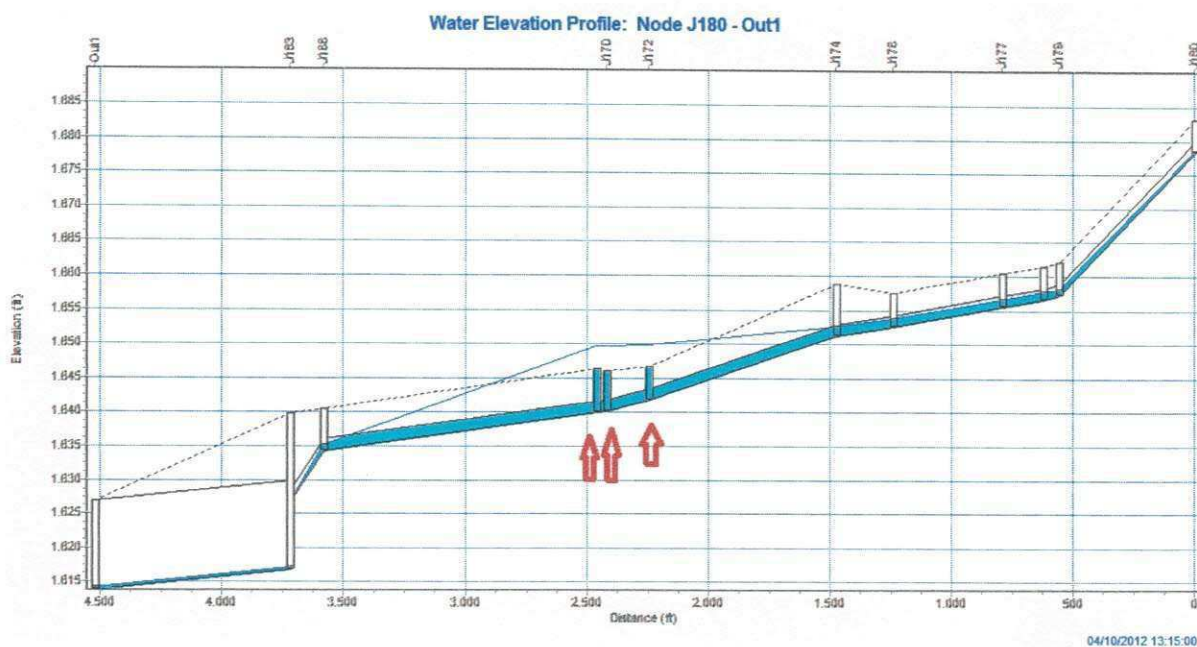


Figura 5.6 – Trecho da rede de drenagem. As setas em vermelho mostram as bocas de lodo em que ocorre retorno de fluxo devido ao diâmetro insuficiente da seção de galeria a jusante.

Para a simulação com tempo de retorno de 5 anos e duração de chuva de 60 minutos o gráfico de intensidade x duração (Figura 5.1) estima uma intensidade de precipitação de 39,99 mm/h.

Para esta precipitação o sistema de drenagem apresentou o maior número de pontos de falha, atingindo um total de 15 pontos.

A Figura 5.7 apresenta o mapa de inundação da bacia, logo após a ocorrência da precipitação.

De acordo com o mapa, das 187 sub-bacias que compõem a área de estudo 179 apresentam escoamento superficial com lâmina superior a 12,70 mm (0,50 in), cinco a mais que o observado para o período de retorno de 2 anos. A área que está representada em vermelho, no mapa, representa 97,80% da área total da bacia.

Das 8 sub-bacias restantes 6 apresentam escoamento superficial entre 2,54 mm (0,10 in) e 12,70 mm (0,50 in), uma apresenta escoamento superficial entre 1,27 mm (0,05 in) e 2,54 mm (0,10 in) e apenas em uma sub-bacia não se obteve escoamento considerável, a sub-bacia S36, que não possui superfície impermeável,

não recebe escoamento de outras sub-bacias e apresenta reduzida declividade, favorecendo o processo de infiltração.

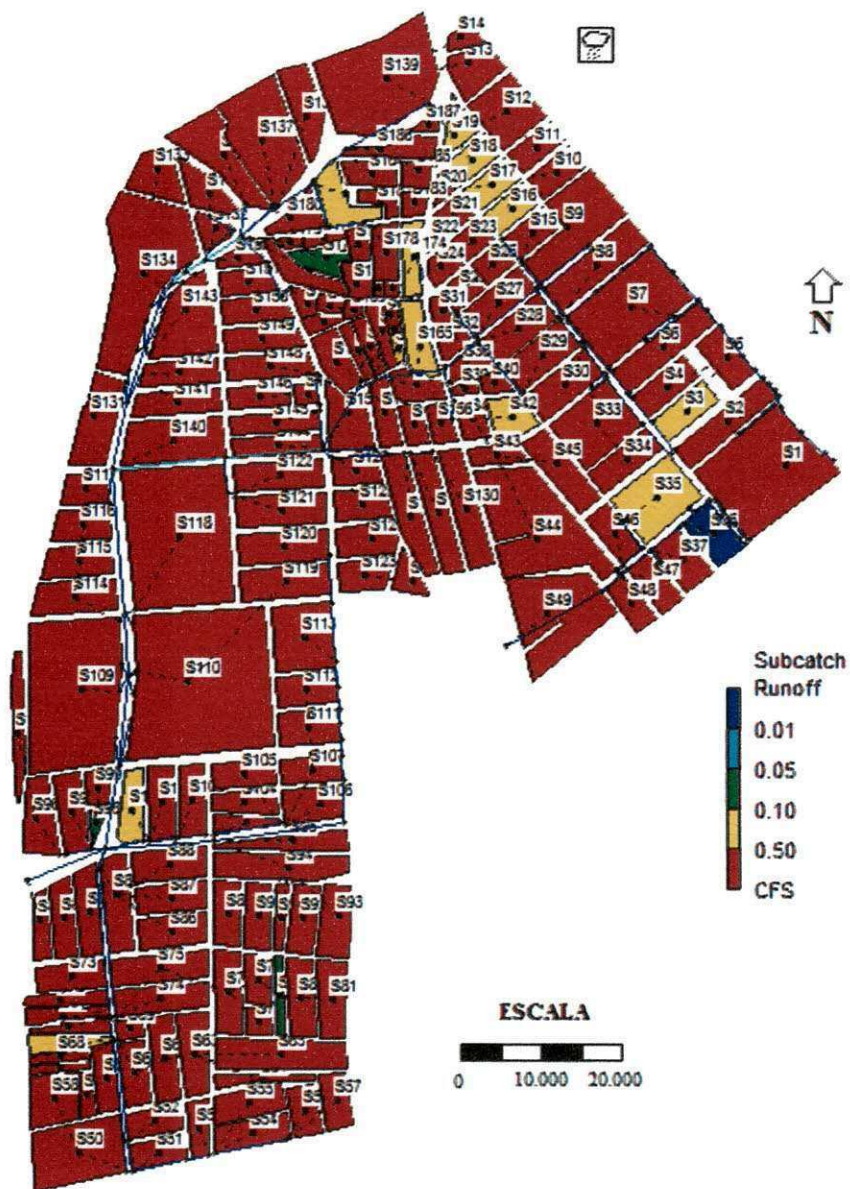


Figura 5.7 – Mapa de inundação do cenário para a situação atual após a precipitação com intensidade de 39,99 mm/h e duração de 60 minutos.

A Figura 5.8 mostra o mapa de inundação da bacia após 30 minutos do encerramento da precipitação. Nota-se que a recuperação da área se realiza de modo semelhante ao observado na simulação para o período de retorno de 2 anos.

No entanto, apesar da resposta do sistema, 12 sub-bacias ainda possuem escoamentos superiores a 12,70 mm (0,5 in).

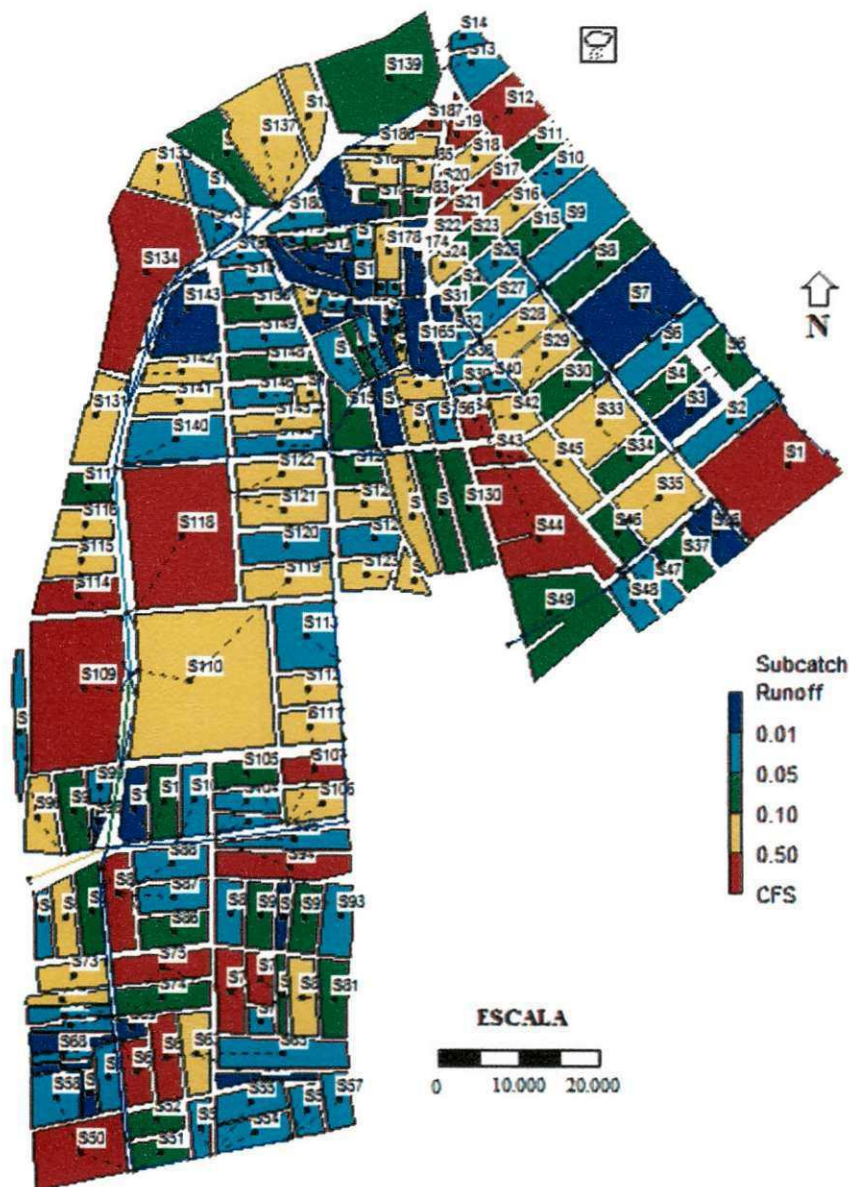


Figura 5.8 – Mapa de inundação do cenário para a situação atual 30 minutos após o encerramento da chuva de 39,99 mm/h.

O mapa de inundação da bacia após 60 minutos do encerramento da precipitação é apresentado na Figura 5.9. Pode ser verificado que, após esse período de tempo, grande parte das sub-bacias não registra escoamentos superficiais. No entanto, mesmo uma hora após cessada a chuva, 6 sub-bacias

ainda apresentam escoamentos superficiais superiores a 12,70 mm (0,5 in), que corresponde ao dobro do observado na simulação para uma precipitação com período de retorno de 2 anos.

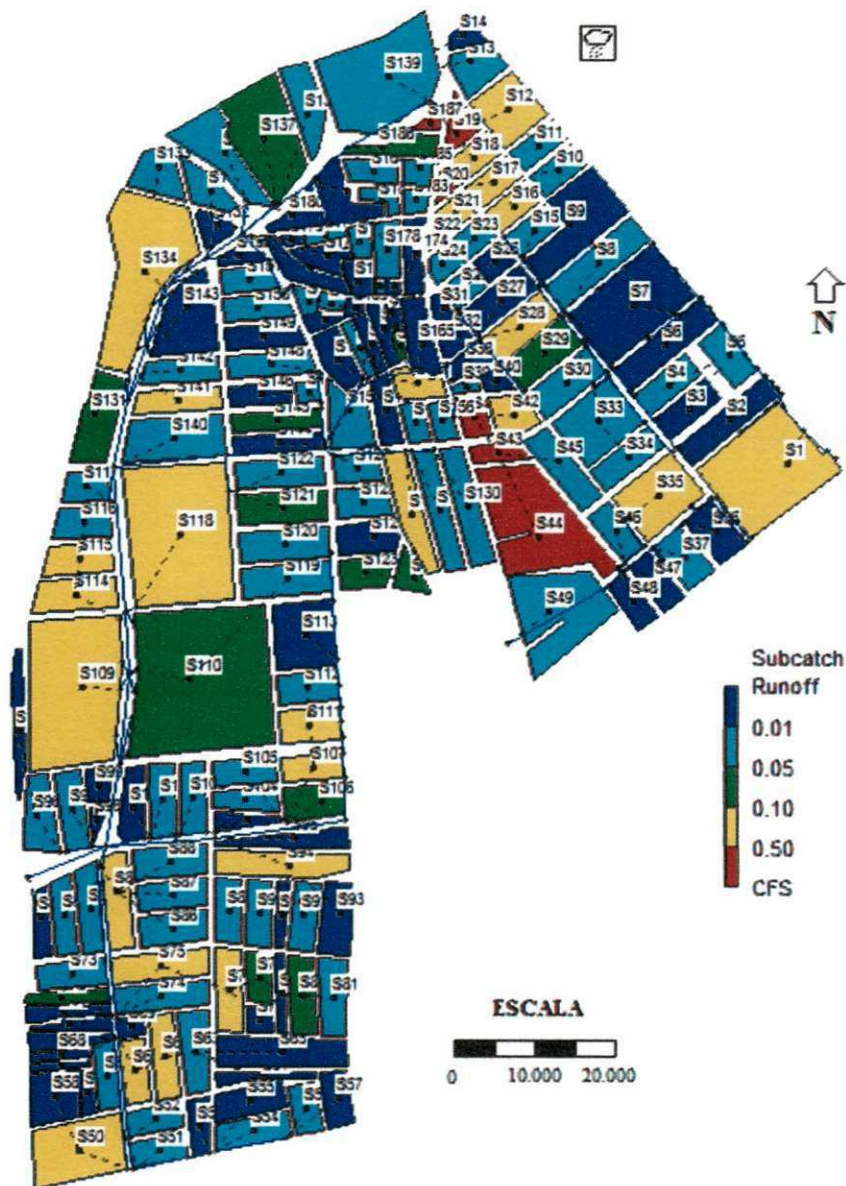


Figura 5.9 – Mapa de inundação do cenário para a situação atual 60 minutos após o encerramento da chuva de 39,99 mm/h.

As Figuras 5.10 e 5.11 apresentam o perfil dos trechos da rede drenante em que foram registrados os pontos de falha do sistema de drenagem indicando um número mais expressivo que o obtido para a precipitação de intensidade 32,48 mm/h

sob as mesmas condições de tempo. Essa afirmação pode ser comprovada pela comparação com os perfis obtidos nas Figuras 5.6 e 5.11.

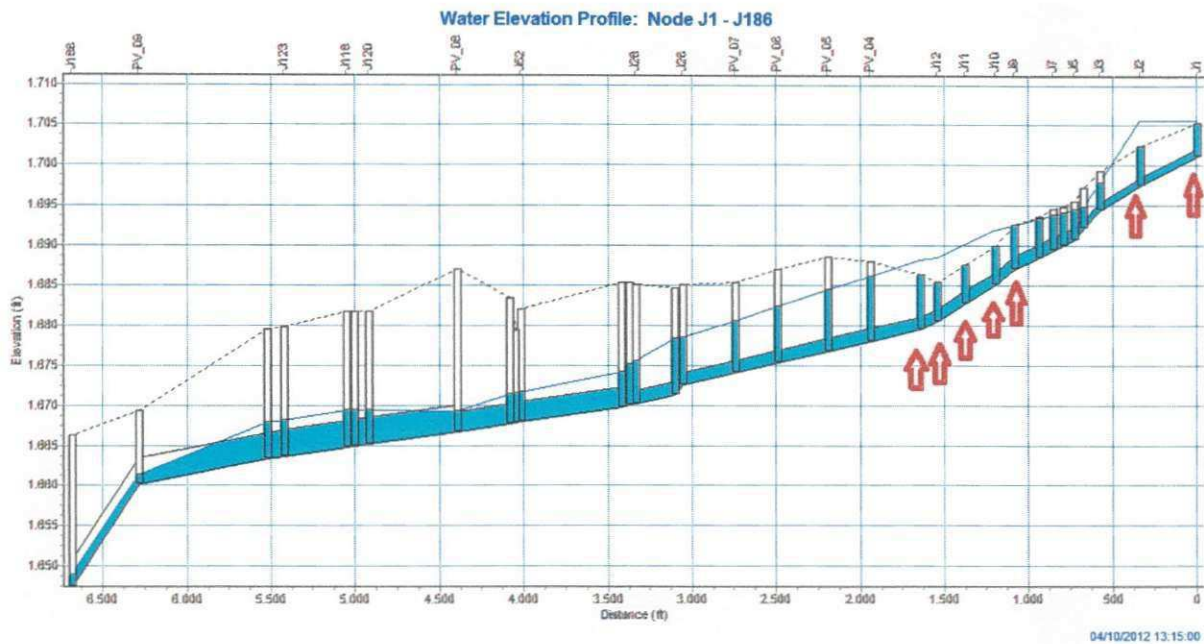


Figura 5.10 – Trecho da rede de drenagem. As setas em vermelho mostram as bocas de lobo em que ocorre retorno de fluxo devido ao diâmetro insuficiente da seção de galeria a jusante.

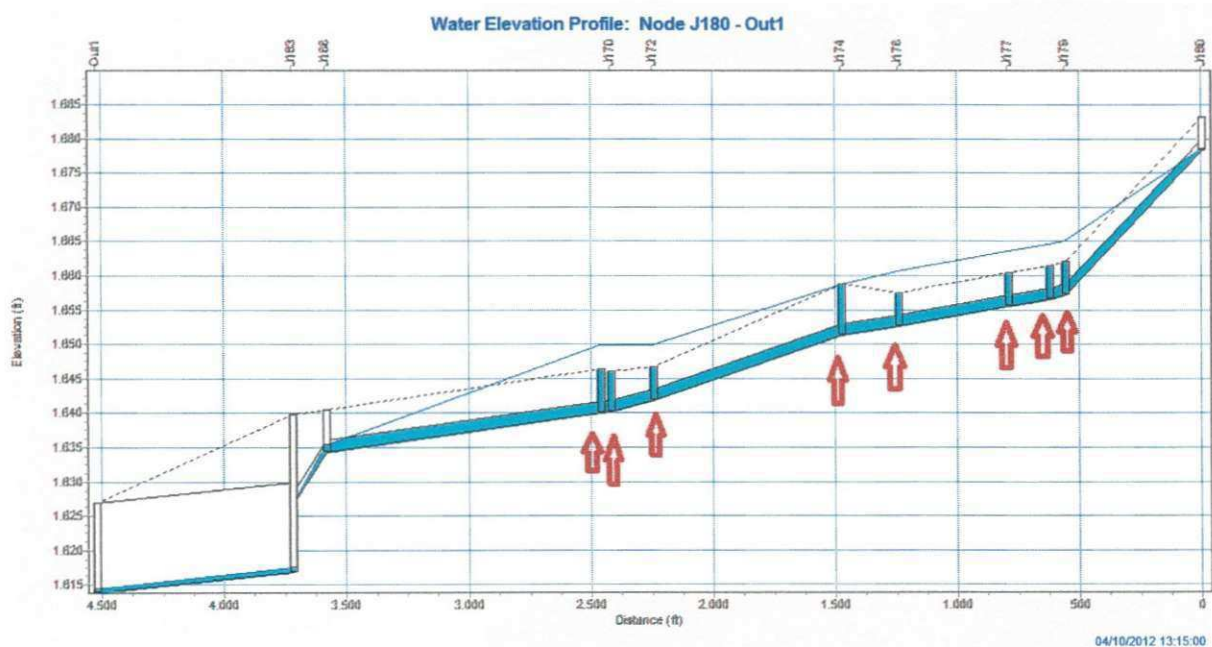


Figura 5.11 – Trecho da rede de drenagem. As setas em vermelho mostram as bocas de lobo em que ocorre retorno de fluxo devido ao diâmetro insuficiente da seção de galeria a jusante.

Na Figura 5.11, correspondente à chuva com período de retorno de 5 anos, tem-se o transbordamento registrado em mais cinco bocas de lobo (J174, J176, J177, J178 e J179) que para o período de retorno de 2 anos.

Considerando ainda o cenário da situação atual foi elaborada a Tabela 5.4 com os resultados obtidos nas simulações empregando chuvas com duração de 30, 60, 120 e 180 minutos para os tempos de retorno de 1, 2 e 5 anos.

Tabela 5.4 – Tabela resumo das simulações do cenário atual.

TEMPO DE RETORNO	01 ANO	Intensidade (mm/h)	40,13	27,75	18,79	14,88
		Duração (min.)	30	60	120	180
		Pontos de falha	00	05	05	01
	02 ANOS	Intensidade (mm/h)	46,97	32,48	21,99	17,41
		Duração (min.)	30	60	120	180
		Pontos de falha	02	06	05	02
	05 ANOS	Intensidade (mm/h)	57,83	39,99	27,08	21,44
		Duração (min.)	30	60	120	180
		Pontos de falha	05	15	08	05

De acordo com os dados da tabela, é observado que o sistema atual apresenta falhas mesmo para chuvas de baixa intensidade (período de retorno de 1 ano). Essa avaliação é preocupante visto que os projetos de redes de drenagem devem ser dimensionados para períodos de retorno entre 2 e 5 anos.

Os resultados indicam a necessidade de estudos alternativos para a bacia com o objetivo de reduzir os pontos de falha da rede, tornando o sistema mais eficiente. Diante disso foram criados cenários nos quais houve aumento da área permeável da bacia e/ou a alteração do sistema de drenagem existente.

5.3.2 – CENÁRIO 2 – AUMENTO DE 20% DA ÁREA PERMEÁVEL.

O aumento da área permeável em 20%, conforme sugerido neste cenário, revelou melhorias na bacia urbana estudada.

A Tabela 5.5 apresenta as quantidades de pontos falhos encontrados no sistema de drenagem nas simulações onde a área permeável foi maximizada.

Tabela 5.5 – Tabela resumo das simulações do cenário com aumento da área permeável.

TEMPO DE RETORNO	01 ANO	Intensidade (mm/h)	40,13	27,75	18,79	14,88
		Duração (min.)	30	60	120	180
		Pontos de falha	00	00	00	00
	02 ANOS	Intensidade (mm/h)	46,97	32,48	21,99	17,41
		Duração (min.)	30	60	120	180
		Pontos de falha	02	04	01	00
	05 ANOS	Intensidade (mm/h)	57,83	39,99	27,08	21,44
		Duração (min.)	30	60	120	180
		Pontos de falha	05	08	05	01

Para precipitações com período de retorno de 1 ano o sistema responde adequadamente, não apresentando nenhum ponto de falha, condição não observada no cenário 1.

Comparando as Tabelas 5.4 e 5.5 é possível observar que quase todas as simulações realizadas no cenário 2 houve redução nos pontos de falha da rede de drenagem. As exceções ocorrem para as simulações em que é utilizada a precipitação com intensidade de 46,97 mm/h, com duração de 30 minutos e tempo de retorno de 2 anos, e para a precipitação com intensidade de 57,83 mm/h, com duração de 30 minutos e tempo de retorno de 5 anos. Nestes casos, o sistema de drenagem continuou apresentando a mesma quantidade de pontos de falhas que foram estimadas no cenário 1.

A Figura 5.12 apresenta o mapa de inundação da bacia logo após a ocorrência da precipitação com intensidade de 32,48 mm/h, duração de 60 minutos

e tempo de retorno de 2 anos. O mapa representa o escoamento superficial das sub-bacias mediante a maximização de 20% da área permeável.

De acordo com o mapa, 160 sub-bacias apresentam escoamento superficial com lâmina superior a 12,70 mm (0,50 in), totalizando 93,47% da área global.

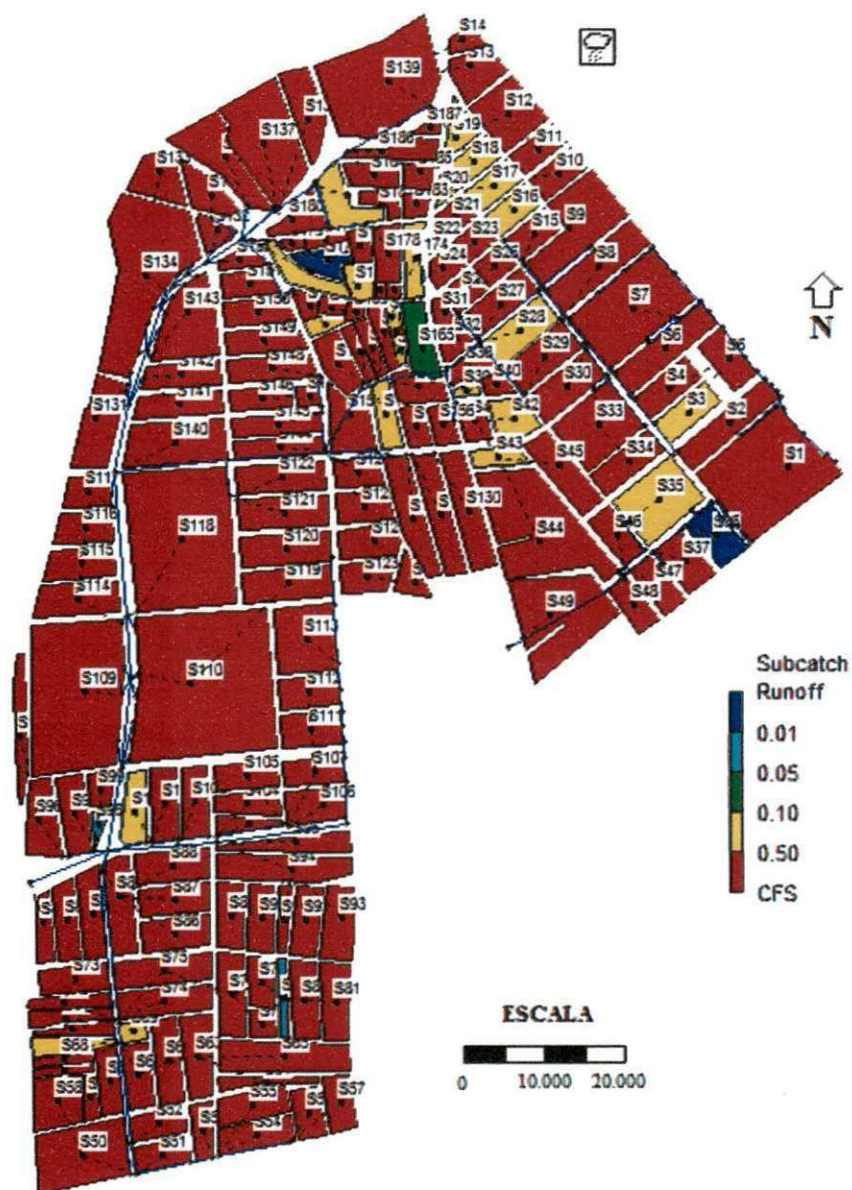


Figura 5.12 – Mapa de inundação do cenário II após 60 minutos de chuva, com intensidade de 32,48 mm/h, considerando uma maximização de 20% da área permeável.

Das demais sub-bacias 22 apresentam escoamento superficial entre 2,54 mm (0,10 in) e 12,70 mm (0,50 in), uma apresenta escoamento entre 1,27 mm (0,05 in) e

2,54 mm (0,10 in), duas apresentam entre 0,254 mm (0,01 in) e 1,27 mm (0,05 in), e em apenas duas sub-bacias não se obteve escoamento considerável. Comparando o mapa deste cenário (Figura 5.12) com o do cenário 1 (Figura 5.2) pode ser observada uma discreta redução no escoamento superficial de algumas sub-bacias, por exemplo, S17, S18 e S19 localizadas na parte alta do mapa. Esta redução foi motivada pelo aumento da infiltração nas sub-bacias devido ao aumento da permeabilidade do solo.

A Figura 5.13 apresenta o mapa de inundação da bacia após 30 minutos do encerramento da precipitação de 32,48 mm/h.

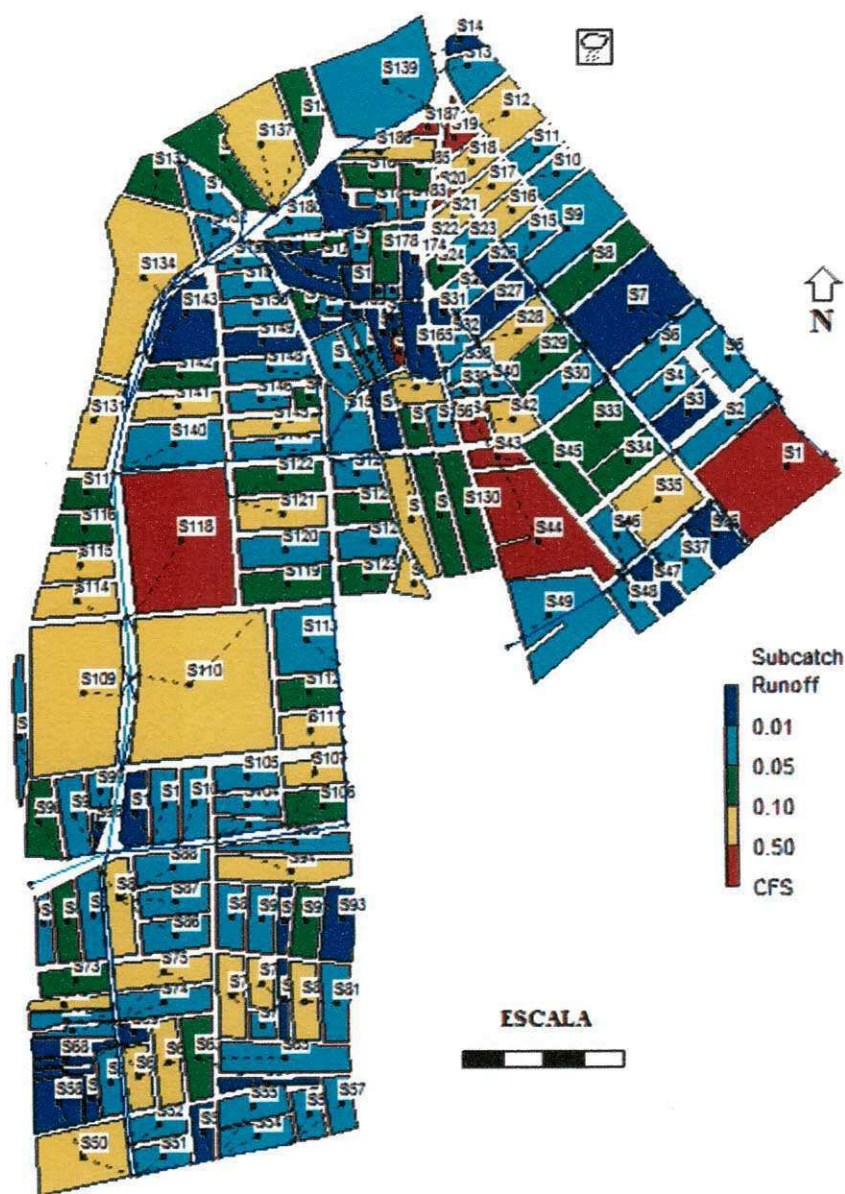


Figura 5.13 – Mapa de inundação do cenário 2 após 30 minutos do final da chuva de 32,48 mm/h.

É observado que grande parte das sub-bacias apresenta escoamentos superficiais inferiores a 1,27 mm (0,05 in), gerando uma melhoria em relação ao cenário 1 para as chuvas de igual período de retorno. No entanto 9 sub-bacias ainda possuem escoamentos com alturas superiores a 12,70 mm (0,5 in).

A Figura 5.14 mostra o mapa de inundação da bacia, após 60 minutos do encerramento da precipitação.

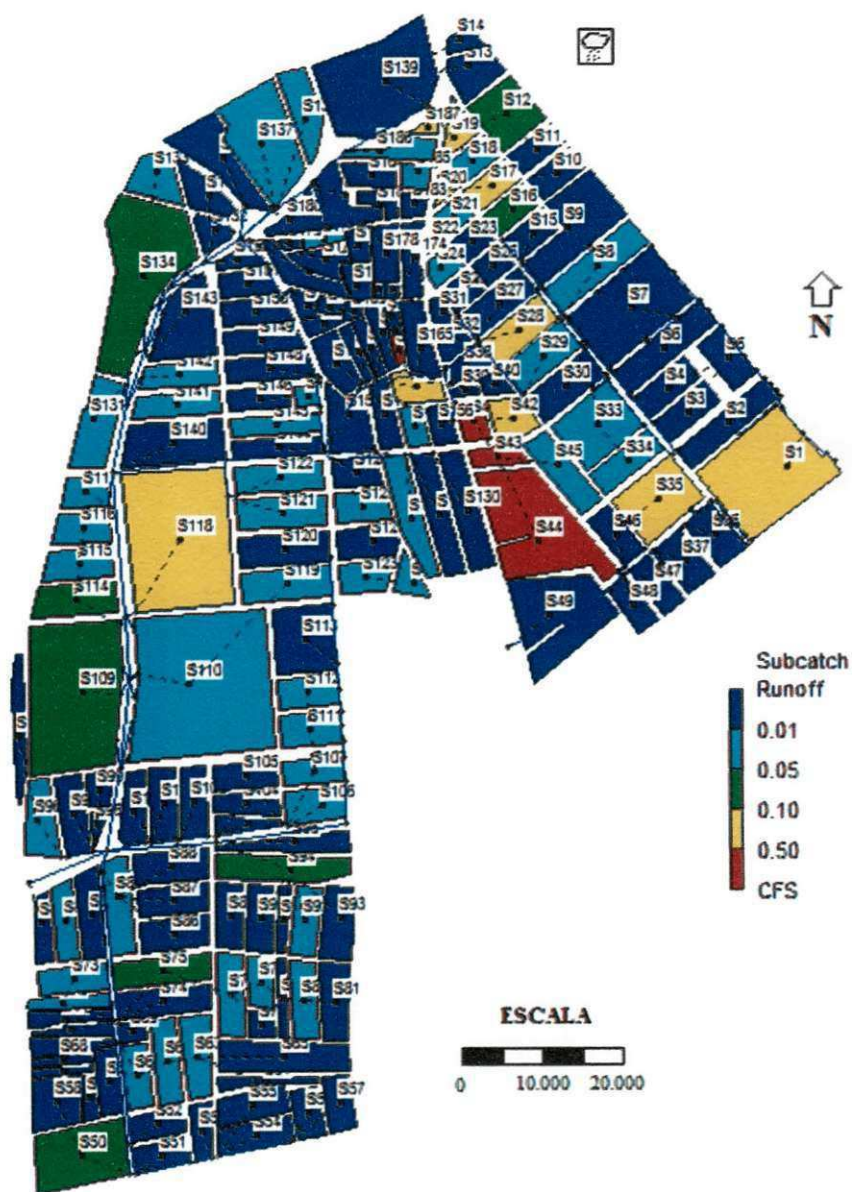


Figura 5.14 – Mapa de inundação do cenário 2 após 60 minutos do final da chuva de 32,48 mm/h.

É possível observar que grande parte das sub-bacias não registra escoamentos superficiais, caracterizando a recuperação dessas. Somando-se as áreas das sub-bacias que não registram escoamentos e as que apresentam escoamentos com alturas inferiores a 1,27 mm são atingidos 77,88% da área total da bacia em estudo. Quando comparado com o cenário 1 percebe-se que houve redução nas alturas dos escoamentos, gerando um resultado positivo para o sistema.

As Figuras 5.15 e 5.16 apresentam os perfis dos trechos da rede drenante com pontos de falha do sistema de drenagem. Houve registro dessas falhas durante a ocorrência das chuvas (Figura 5.15) e 10 minutos após o seu encerramento (Figura 5.16).

Pode ser visto nos trechos problemáticos (Figuras 5.15 e 5.16) a ocorrência de 4 pontos de falha.

Comparando com os trechos problemáticos do cenário 1 (Figuras 5.5 e 5.6) verifica-se que as bocas de lobo J1 e J12, que são pontos de falha do cenário anterior, não apresentam problemas neste cenário.

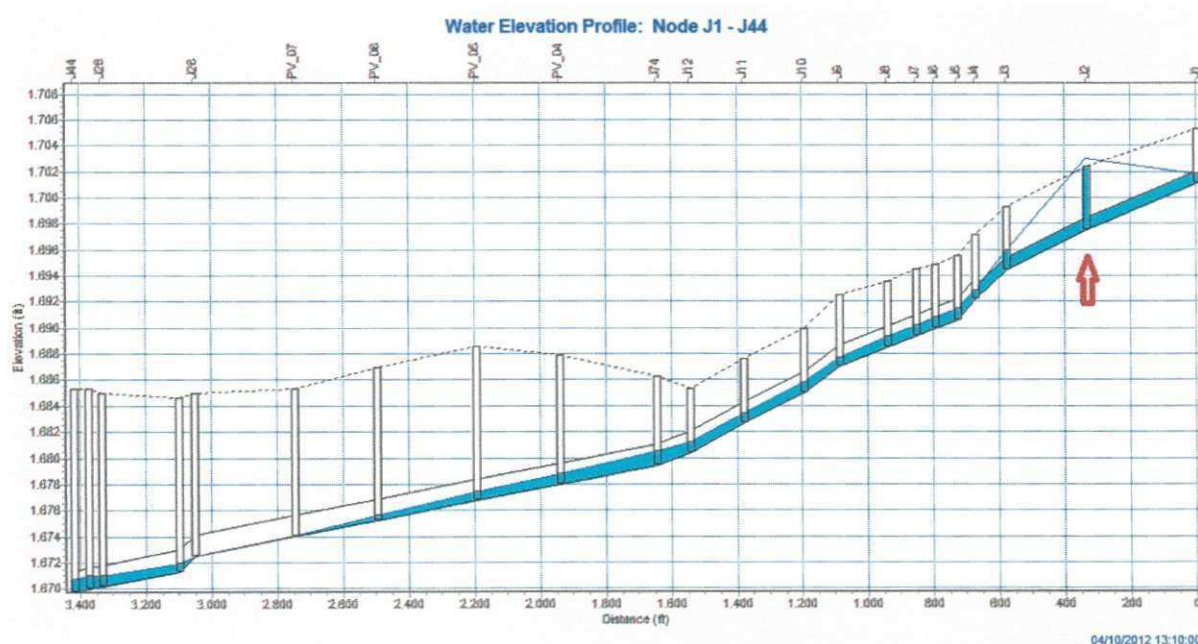


Figura 5.15 – Trecho da rede de drenagem. A seta em vermelho mostra a boca de lobo em que ocorre retorno de fluxo devido ao diâmetro insuficiente da seção de galeria a jusante.

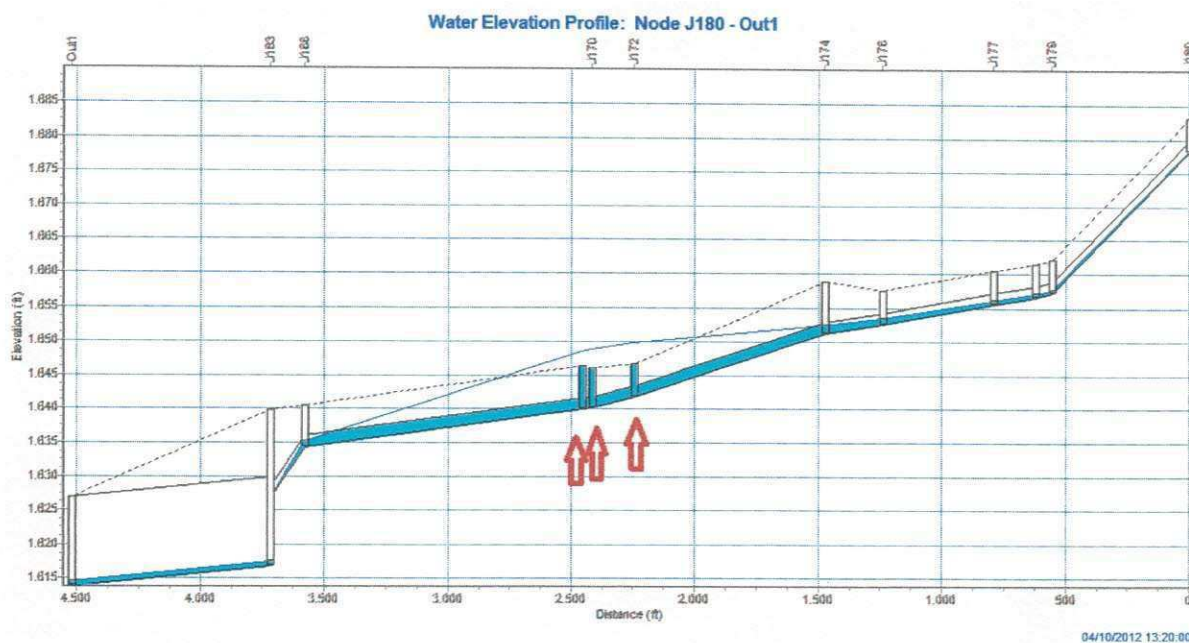


Figura 5.16 – Trecho da rede de drenagem. As setas em vermelho mostram as bocas de lobo em que ocorre retorno de fluxo devido ao diâmetro insuficiente da seção de galeria a jusante.

A Figura 5.17 apresenta o mapa de inundação da bacia logo após a ocorrência da precipitação com intensidade de 39,99 mm/h, duração de 60 minutos e tempo de retorno de 5 anos para o cenário 2.

É possível verificar, no mapa, que das 187 sub-bacias, 168 apresentam escoamento superficial com lâmina superior a 12,70 mm (0,50 in) correspondendo a 94,92% da área total da bacia.

Das demais sub-bacias 15 apresentam escoamento superficial entre 2,54 mm (0,10 in) e 12,70 mm (0,50 in), uma apresenta escoamento superficial entre 1,27 mm (0,05 in) e 2,54 mm (0,10 in), duas apresentam escoamento superficial entre 0,254 mm (0,01 in) e 1,27 mm (0,05 in), e apenas a sub-bacia S36 não teve escoamento considerável.

Comparando o mapa de inundação deste cenário (Figura 5.17) com o do cenário 1 (Figura 5.7), ambos para o período de retorno de 5 anos, é possível observar que a eficiência do sistema continua sendo maior no cenário 2, mesmo considerando uma situação de chuva mais intensa (39,99 mm/h).

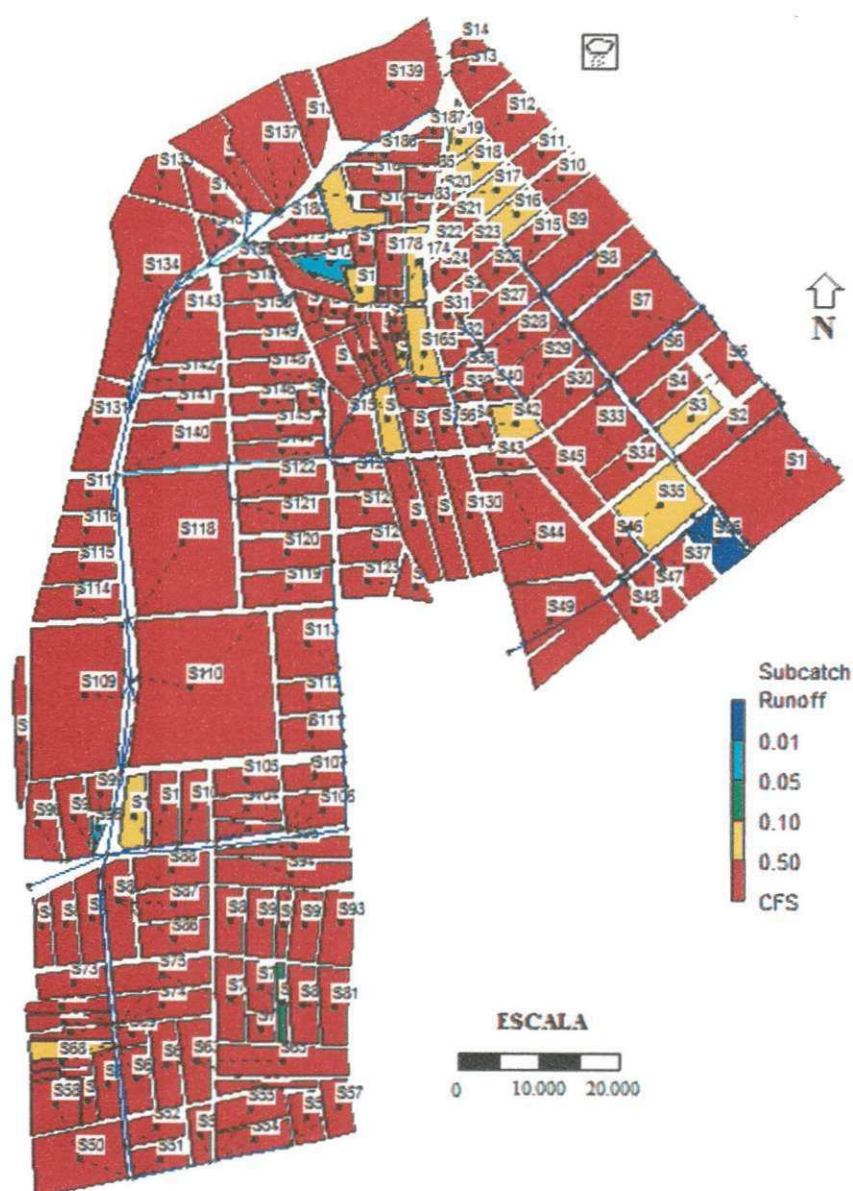


Figura 5.17 – Mapa de inundação do cenário 2 após 60 minutos de chuva, com intensidade de 39,99 mm/h, considerando uma maximização de 20% da área permeável.

O mapa de inundação da Figura 5.18 indica o comportamento da bacia após 30 minutos do encerramento da precipitação de 39,99 mm/h para o cenário II.

Pode ser visualizado que grande parte das sub-bacias apresenta escoamentos superficiais inferiores a 1,27 mm (0,05 in). No entanto 12 sub-bacias ainda apresentam escoamentos com alturas superiores a 12,70 mm (0,5 in), gerando discretas diferenças em relação ao cenário I.

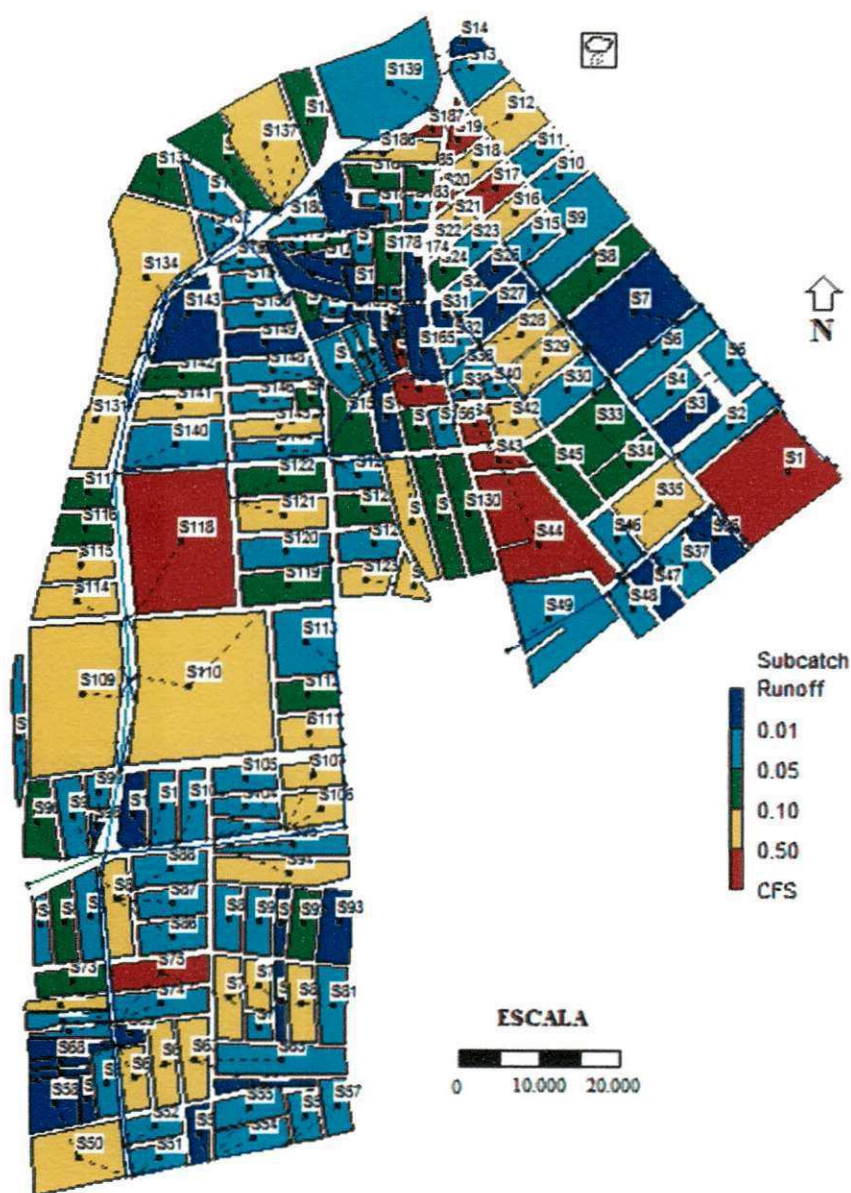


Figura 5.18 – Mapa de inundação no cenário 2 após 30 minutos do final da chuva de 39,99 mm/h, considerando uma maximização de 20% na área permeável.

A Figura 5.19 mostra o mapa de inundação da bacia após 60 minutos do encerramento da precipitação. Neste mapa parte das sub-bacias não registra mais escoamentos superficiais e apenas 5 sub-bacias ainda apresentam escoamentos com alturas superiores a 12,70 mm (0,5 in). Quando comparado com o cenário 1 (Figura 5.9) percebe-se que houve redução nas alturas dos escoamentos, devido ao aumento do volume infiltrado nas áreas de solo permeável.

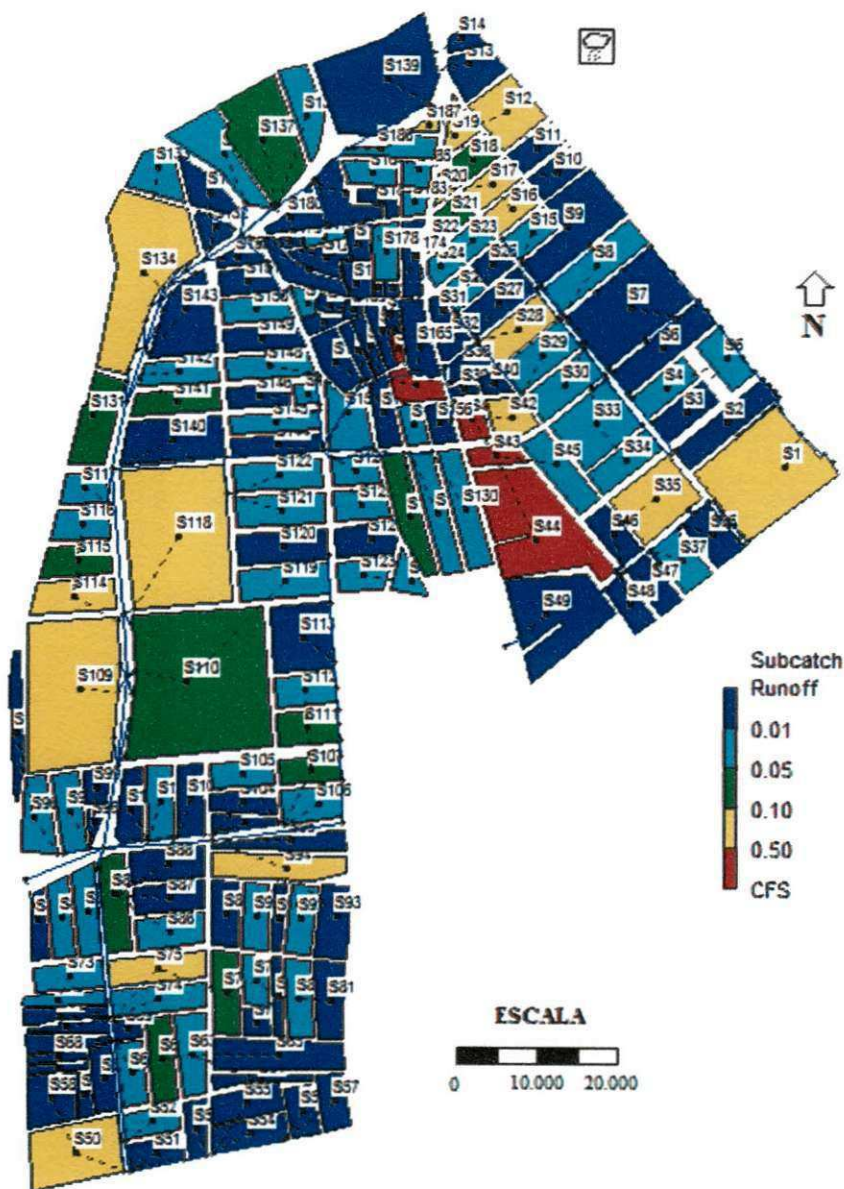


Figura 5.19 – Mapa de inundação do cenário 2 após 60 minutos do fim da chuva de 39,99 mm/h, considerando uma maximização de 20% na área permeável.

As Figuras 5.20 e 5.21 apresentam os perfis dos trechos da rede drenante em que houve pontos de falha do sistema de drenagem.

Comparando os perfis gerados no cenário 1 (Figuras 5.10 e 5.11) com os gerados no cenário 2 pode ser verificado que com a implementação do aumento da área permeável houve uma redução de 7 pontos de falha. Essa redução é muito

positiva uma vez que pode colaborar para a redução dos problemas de drenagem existentes hoje, no local.

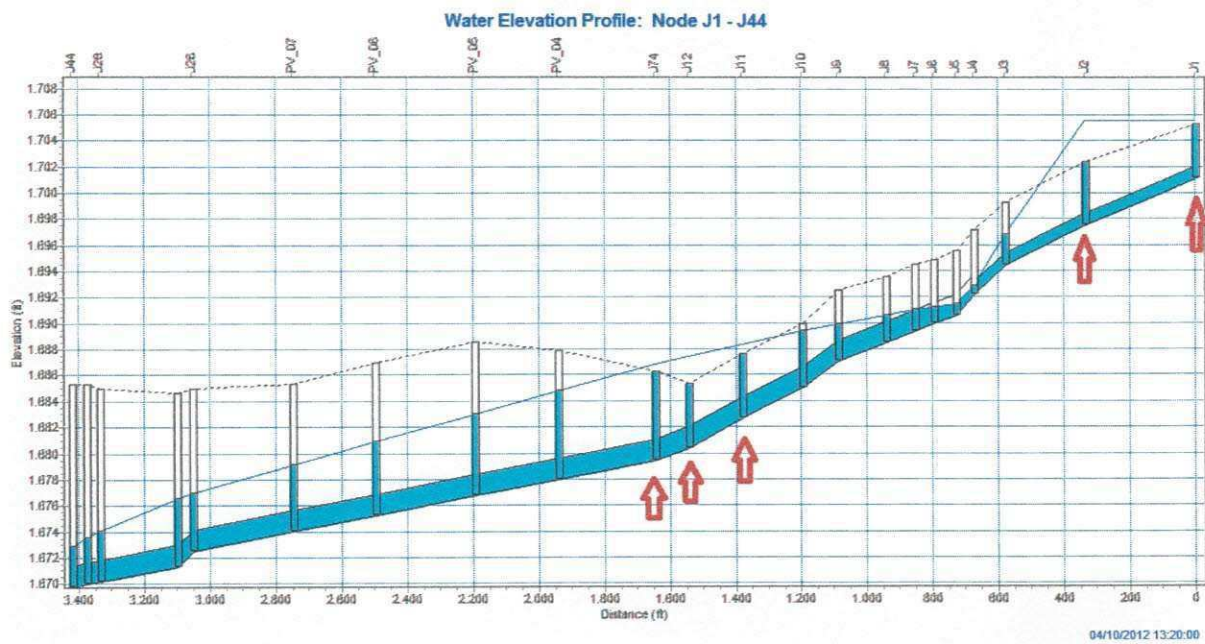


Figura 5.20 – Trecho da rede de drenagem. As setas em vermelho mostram as bocas de lobo em que ocorre retorno de fluxo devido ao diâmetro insuficiente da seção de galeria a jusante.

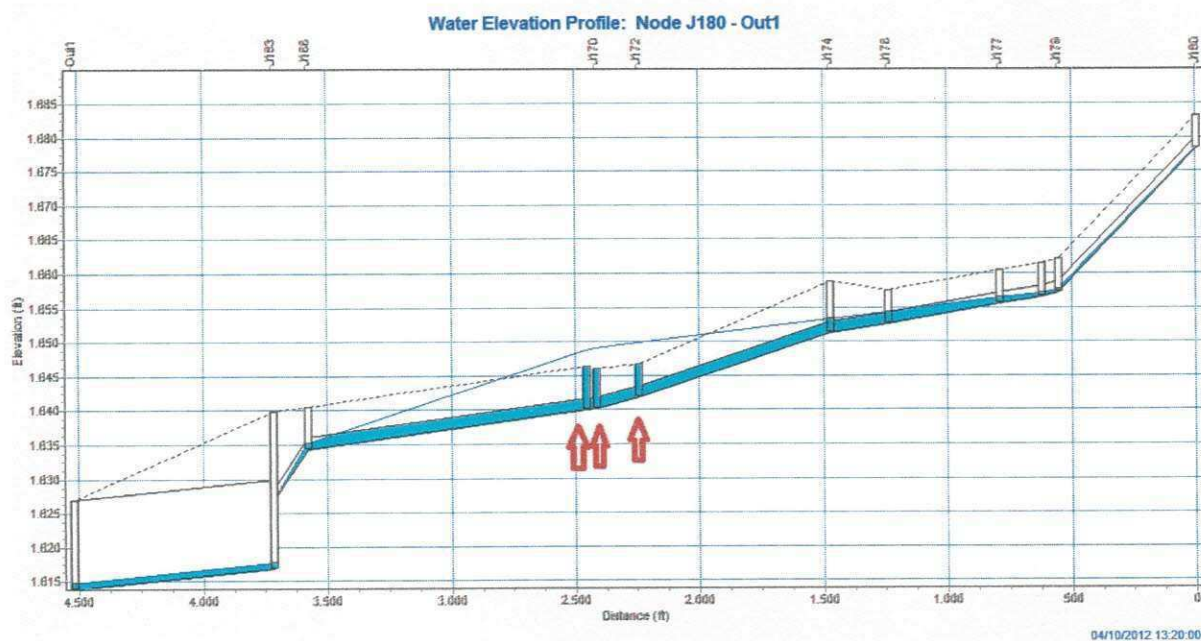


Figura 5.21 – Trecho da rede de drenagem. As setas em vermelho mostram as bocas de lobo em que ocorre retorno de fluxo devido ao diâmetro insuficiente da seção de galeria a jusante.

5.3.3 – CENÁRIO 3 – MELHORAMENTOS NA REDE DE DRENAGEM EXISTENTE.

A criação deste cenário foi definida a partir das observações dos cenários anteriormente desenvolvidos. Para este, buscou-se corrigir os pontos falhos através de modificações na rede de drenagem, sendo alterados os diâmetros de 15 trechos de galeria. O comprimento total dos trechos modificados foi da ordem de 1284 m distribuído da seguinte forma:

- 3 trechos com diâmetro de 0,30 m, perfazendo um comprimento total de 206,00 m, foram substituídos por condutos com diâmetro de 0,50 m;
- 12 trechos com diâmetro de 0,50 m, perfazendo um comprimento total de 1.078 m, foram substituídos por condutos com diâmetro de 0,75m.

A Tabela 5.6 apresenta as quantidades de pontos falhos encontrados nas simulações para o sistema de drenagem modificado.

Tabela 5.6 – Tabela resumo das simulações do cenário 3 com sistema de drenagem modificado.

TEMPO DE RETORNO	01 ANO	Intensidade (mm/h)	40,13	27,75	18,79	14,88
		Duração (min.)	30	60	120	180
		Pontos de falha	00	03	00	00
	02 ANOS	Intensidade (mm/h)	46,97	32,48	21,99	17,41
		Duração (min.)	30	60	120	180
		Pontos de falha	00	09	03	00
	05 ANOS	Intensidade (mm/h)	57,83	39,99	27,08	21,44
		Duração (min.)	30	60	120	180
		Pontos de falha	04	11	09	01

O aumento dos diâmetros em alguns trechos do sistema, sugeridos neste cenário, mostrou-se eficiente, obtendo como resposta das simulações a redução da maioria dos pontos críticos na rede de drenagem em relação à situação atual (cenário 1). As exceções ocorreram nas simulações para a precipitação com intensidade de 32,48 mm/h, duração de 60 minutos e tempo de retorno de 2 anos, para a precipitação com intensidade de 57,83 mm/h, duração de 30 minutos e tempo

de retorno de 5 anos, e para a precipitação de 27,08 mm/h, duração de 120 minutos e tempo de retorno de 5 anos. Nestes casos, foram registrados aumentos dos pontos de falha para o sistema de drenagem.

O aumento dos pontos de falha em algumas simulações é devido ao aumento da seção dos condutos C2 e C3. Estes condutos, por apresentar seções menores que os condutos de jusante, limitam o volume de fluxo transportado na rede. Com o redimensionamento o novo volume de fluxo transportado ocupou toda a seção de alguns trechos de jusante, gerando as colunas de fluxo nas bocas de lobo. Em alguns casos a altura da coluna de fluxo foi superior à altura da boca de lobo, apresentando ponto de falha.

Porém, de um modo geral, as melhorias ocorridas foram inferiores às apresentadas pelo cenário 2, sendo inclusive registrados 3 pontos de falha do sistema de drenagem para o período de retorno de 1 ano.

A Figura 5.22 apresenta o mapa de inundação da bacia logo após a ocorrência da precipitação com intensidade de 32,48 mm/h, duração de 60 minutos e tempo de retorno de 2 anos. O mapa representa o escoamento superficial das sub-bacias mediante as modificações ocorridas na rede de drenagem.

É possível verificar, no mapa, que das 187 sub-bacias 163 apresentam escoamento superficial com lâmina superior a 12,70 mm (0,50 in). A área representada em vermelho no mapa soma 93,90% da área total da bacia.

Das demais sub-bacias 20 apresentam escoamento superficial entre 2,54 mm (0,10 in) e 12,70 mm (0,50 in), duas apresentam escoamento superficial entre 0,254 mm (0,05 in) e 1,27 mm (0,01 in), e duas sub-bacias não apresentaram escoamento considerável.

Comparando o mapa de inundação deste cenário (Figura 5.22) com o do cenário 1 (Figura 5.2) observa-se uma discreta redução no escoamento superficial da sub-bacia. Esta redução é acarretada pelo aumento da capacidade de drenagem da rede em virtude das melhorias ocorridas em alguns trechos.

No entanto, quando comparado com o mapa de inundação do cenário 2 (Figura 5.12) vemos que aquele apresenta resultados discretamente melhores para algumas sub-bacias, por exemplo S69, S165 e S170.

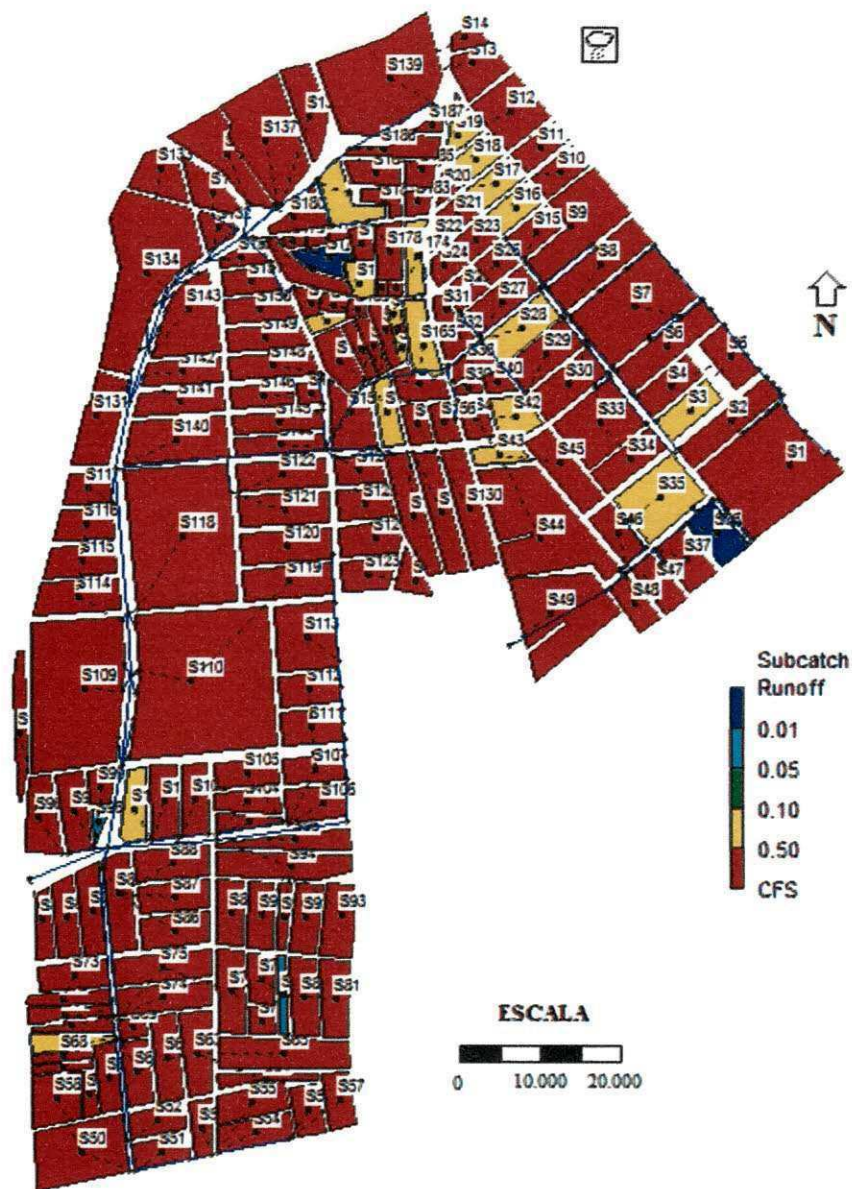


Figura 5.22 – Mapa de inundação do cenário 3 – melhoria da rede de drenagem após 60 minutos de chuva com intensidade 32,48 mm/h.

O mapa de inundação da bacia após 30 minutos do encerramento da precipitação de 32,48 mm/h pode ser visualizado na Figura 5.23.

Pelo mapa, grande parte das sub-bacias apresenta escoamentos superficiais inferiores a 1,27 mm (0,05 in). Porém, 18 sub-bacias ainda apresentam escoamentos com alturas superiores a 12,70 mm (0,5 in), produzindo uma situação mais desfavorável que o observado no cenário 2 (Figura 5.13) para a mesma intensidade de chuva.

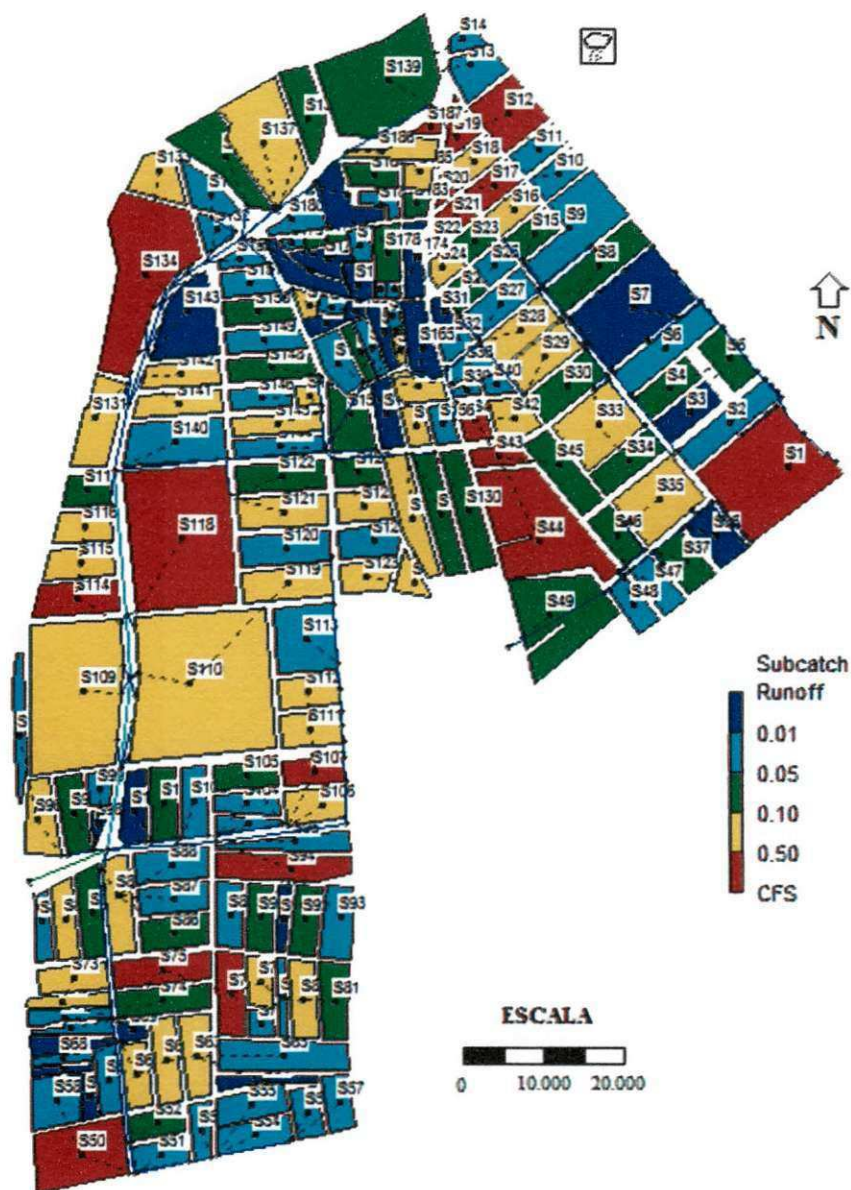


Figura 5.23 – Mapa de inundação do cenário 3 – melhoria da rede de drenagem 30 minutos após o encerramento da chuva de 32,48 mm/h.

A Figura 5.24 traz o mapa de inundação da bacia após 60 minutos do encerramento da precipitação. Igualmente aos outros cenários, é verificado que houve recuperação de grande parte das sub-bacias que antes apresentavam escoamento superficial. Somando-se a área das sub-bacias que não registram escoamentos e as que apresentam escoamentos com alturas inferiores a 1,27 mm atinge-se 62,93% da área total da bacia em estudo, percentual inferior ao obtido no cenário 2.

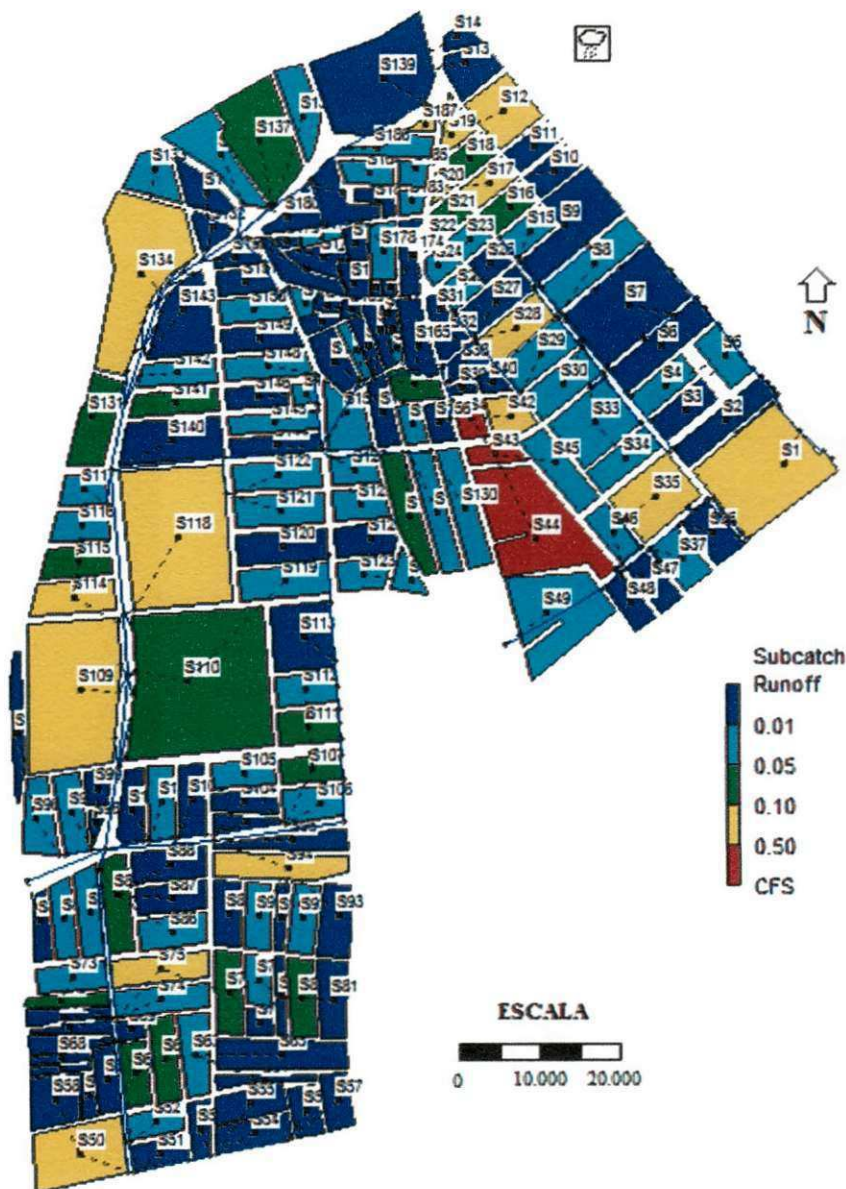


Figura 5.24 – Mapa de inundação do cenário 3 – melhoria da rede de drenagem 60 minutos após o encerramento da chuva 32,48 mm/h.

Logo, conclui-se que no cenário 3 a recuperação da bacia ocorre mais lentamente que no 2. Mas, melhor que a resposta obtida na simulação do cenário 1.

A Figura 5.25 apresenta o perfil dos trechos da rede drenante em que ocorreram pontos de falha. Pela figura, há ocorrência de 9 pontos de falha, número superior aos obtidos no cenário 1 (Figura 5.5) e cenário 2 (Figura 5.15). O preenchimento de toda a seção dos 14 trechos acarretou na formação das colunas de fluxo que geraram esses pontos.

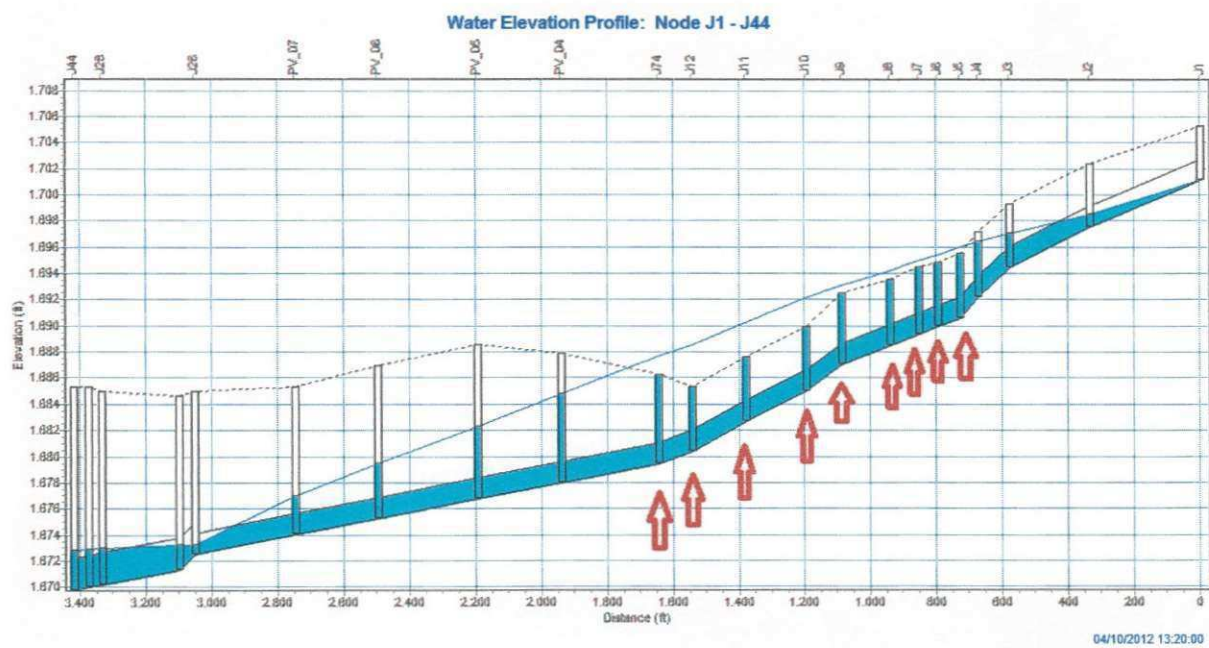


Figura 5.25 – Trecho da rede de drenagem. As setas em vermelho mostram as bocas de lobo em que ocorre retorno de fluxo devido à insuficiente seção da galeria de jusante.

A Figura 5.26 apresenta o mapa de inundação da bacia logo após a ocorrência da precipitação com intensidade de 39,99 mm/h, duração de 60 minutos e tempo de retorno de 5 anos.

É possível verificar, no mapa, que das 187 sub-bacias 170 apresentam escoamento superficial com lâmina superior a 12,70 mm (0,50 in). A área representada em vermelho no mapa possui 95,16% da área total da bacia.

Das demais sub-bacias 13 apresentam escoamento superficial entre 2,54 mm (0,10 in) e 12,70 mm (0,50 in), três apresentam escoamento superficial entre 1,27 mm (0,05 in) e 2,54 mm (0,10 in), e apenas a sub-bacia S36 não apresenta escoamento considerável.

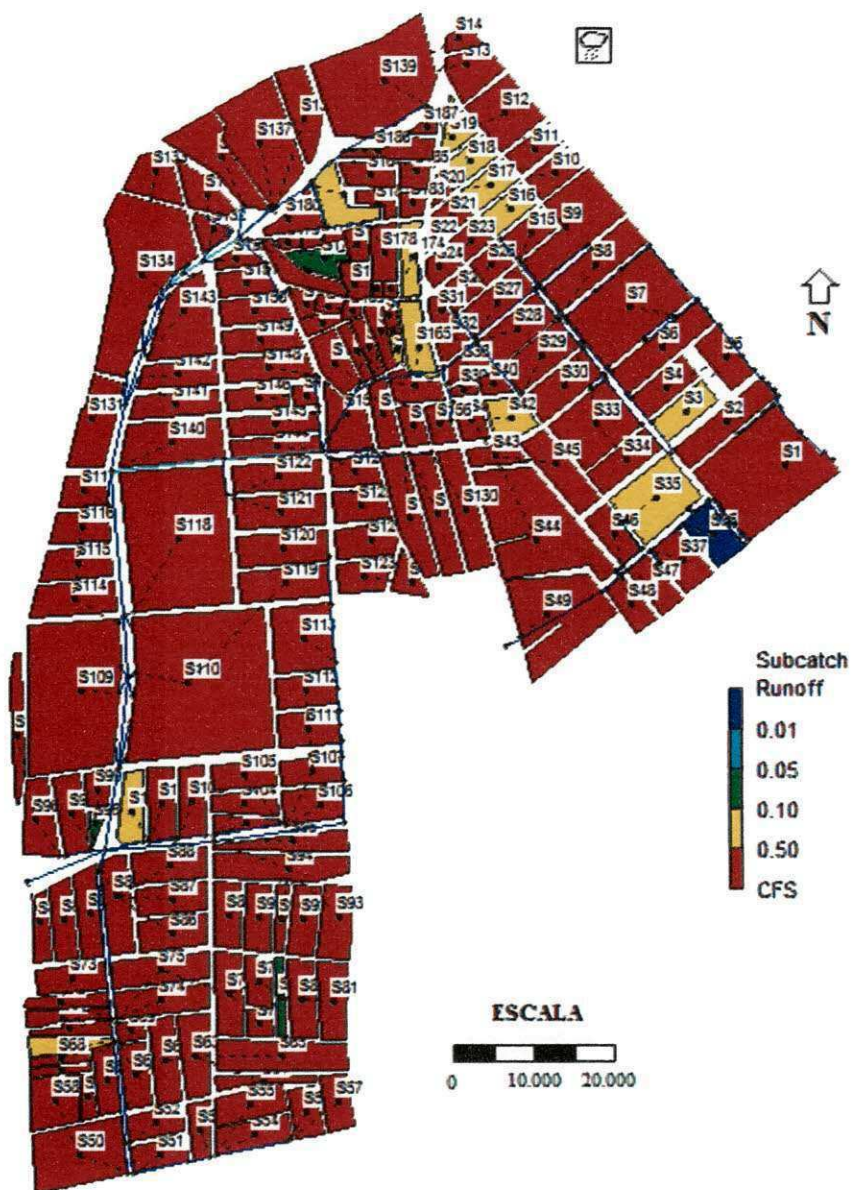


Figura 5.26 – Mapa de inundação do cenário 3 – melhoria da rede de drenagem após 60 minutos de chuva com intensidade 39,99 mm/h.

Confrontando os mapas de inundação dos cenários 3 (Figura 5.26) e 1 (Figura 5.7) observa-se que não houve melhoria da resposta do sistema de

drenagem. No entanto, em relação ao mapa de inundação do cenário 2 (Figura 5.17) este apresenta melhores resultados para as sub-bacias S98, S154, S171 e S175.

Para apresentar a condição em que se encontra a bacia após 30 minutos do encerramento da precipitação de 39,99 mm/h foi criado o mapa de inundação da Figura 5.27. Pela figura os escoamentos superficiais inferiores a 1,27 mm (0,05 in) perfazem um total de 73,11% da área. Existem ainda 23 sub-bacias apresentando escoamentos com alturas superiores a 12,70 mm (0,5 in).

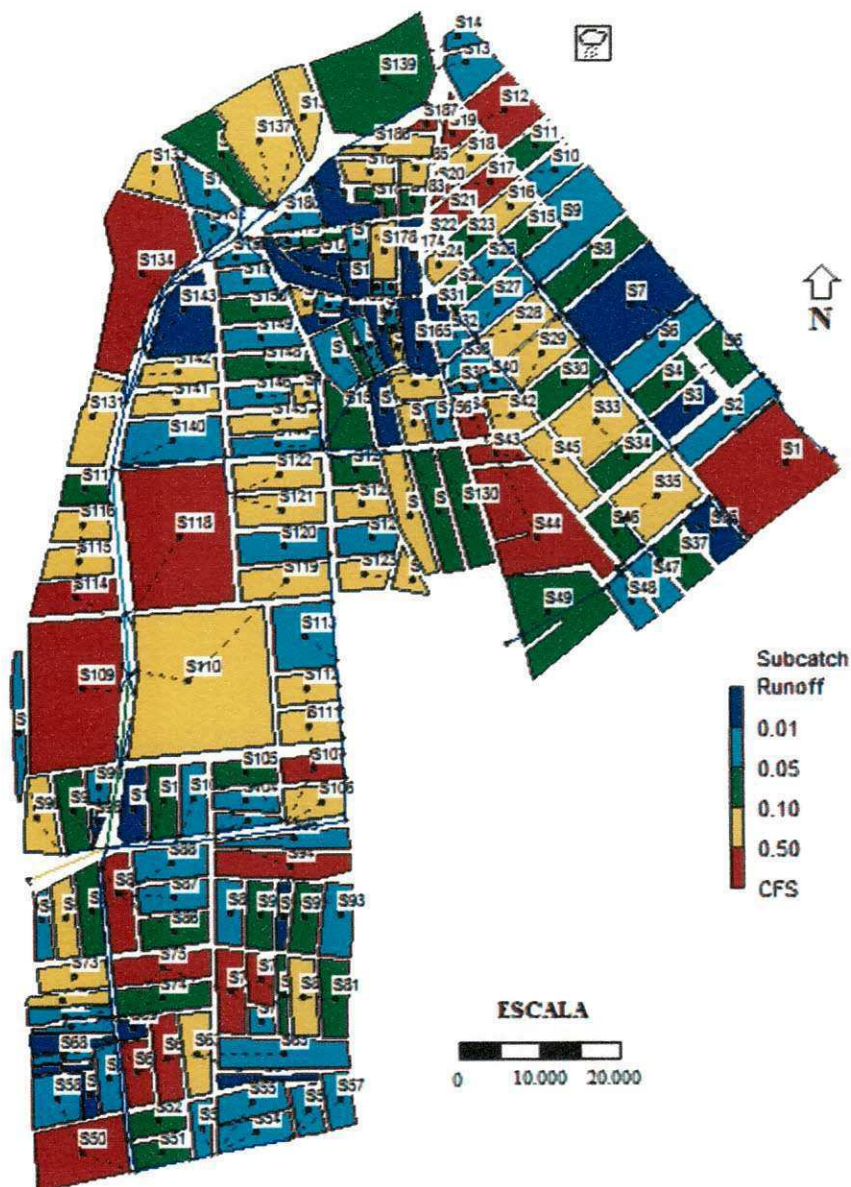


Figura 5.27 – Mapa de inundação do cenário 3 – melhoria da rede de drenagem 30 minutos após o encerramento da chuva de 39,99 mm/h.

O mapa de inundação da bacia após 60 minutos do encerramento da precipitação é apresentado na Figura 5.28. A recuperação da bacia, neste caso, ainda ocorre mais lentamente que o registrado para o cenário 2, todavia, melhor que a resposta obtida na simulação do cenário 1.

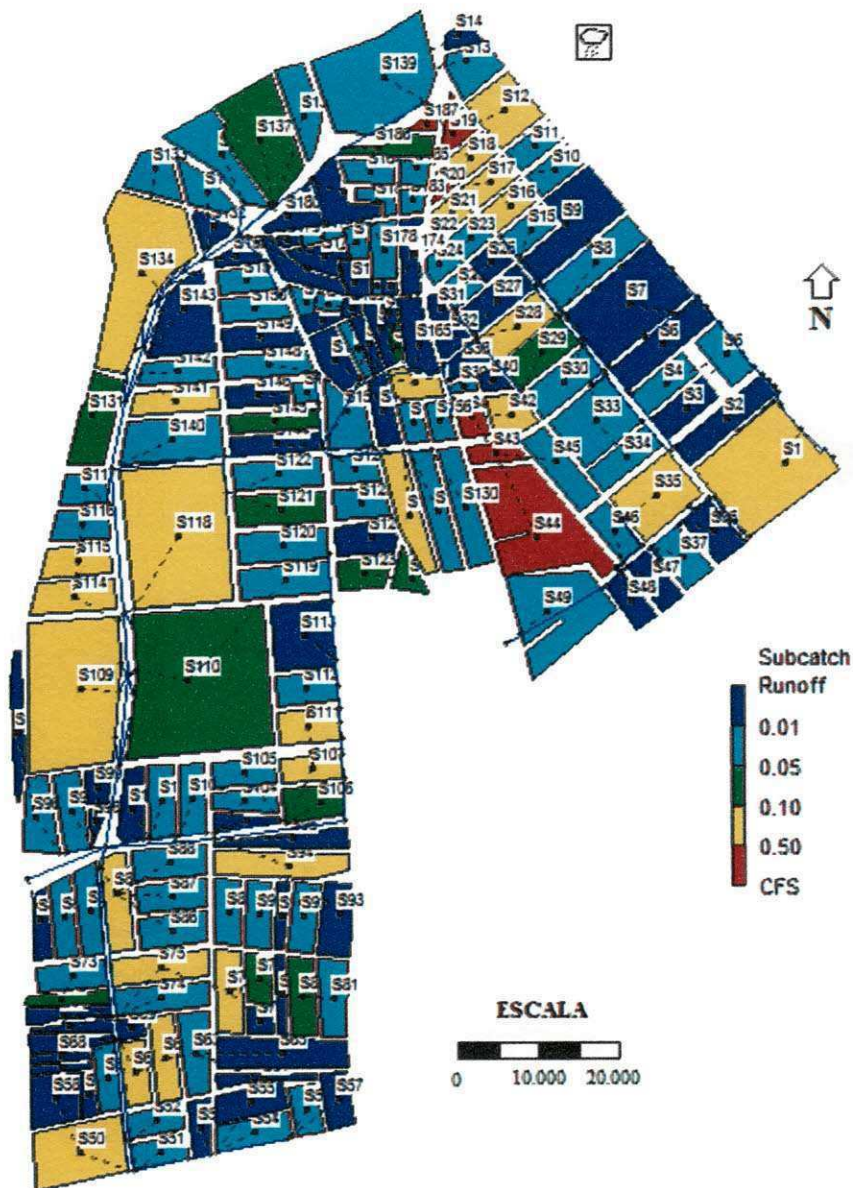


Figura 5.28 – Mapa de inundação do cenário 3 – melhoria da rede de drenagem 60 minutos após o encerramento da chuva de 39,99 mm/h.

Na Figura 5.29 é apresentado o perfil dos trechos da rede drenante em que houve falha do sistema.

O perfil apresenta 11 pontos de falha, quatro a menos que no cenário 1 (Tabela 5.4), porém, três a mais que no cenário 2 (Tabela 5.4).

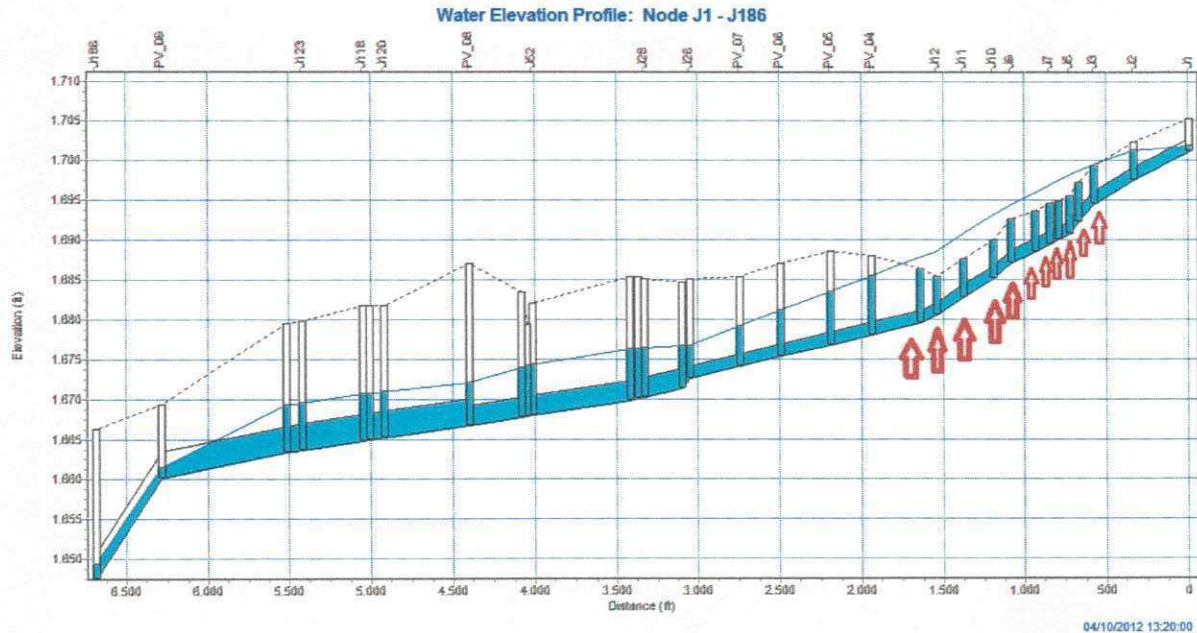


Figura 5.29 – Trecho da rede de drenagem. As setas em vermelho mostram as bocas de lobo em que ocorre retorno de fluxo devido à insuficiente seção da galeria de jusante.

Do ponto de vista de redução de falhas do sistema de drenagem os resultados gerados através do cenário 2, em que foi maximizada em 20% a área permeável, e do cenário 3, em que foi alterado o sistema de drenagem, podem ser considerados satisfatórios. Isto motivou a criação de um quarto cenário considerando, ao mesmo tempo, a maximização da área permeável em 20% e as mudanças consideradas na rede de drenagem do cenário 3.

5.3.4 – CENÁRIO 4 – MAXIMIZAÇÃO DA ÁREA PERMEÁVEL COMBINADA COM MELHORAMENTOS NA REDE DE DRENAGEM EXISTENTE

É apresentado na Tabela 5.7 o quantitativo dos pontos falhos encontrados no sistema de drenagem para as simulações maximizando em 20% a área permeável e alterando o diâmetro de 1284 m de galeria pluvial.

Tabela 5.7 – Tabela resumo das simulações do cenário 4 com maximização da área permeável e melhoramentos na rede de drenagem existente.

TEMPO DE RETORNO	01 ANO	Intensidade (mm/h)	40,13	27,75	18,79	14,88
		Duração (min.)	30	60	120	180
		Pontos de falha	00	00	00	00
	02 ANOS	Intensidade (mm/h)	46,97	32,48	21,99	17,41
		Duração (min.)	30	60	120	180
		Pontos de falha	00	04	00	00
	05 ANOS	Intensidade (mm/h)	57,83	39,99	27,08	21,44
		Duração (min.)	30	60	120	180
		Pontos de falha	01	09	03	00

De acordo com os dados apresentados na tabela são computados pontos de falha para precipitações com períodos de retorno de 2 e 5 anos.

Quando comparado com os cenários anteriormente apresentados vemos que o cenário 4 mostrou a menor quantidade de pontos de falha para quase todas as simulações. A exceção ocorre para a simulação do cenário 2 em que é utilizada a precipitação com intensidade de 39,99 mm/h, duração de 60 minutos e tempo de retorno de 5 anos, onde foi registrada quantidade de falhas inferior ao cenário 4.

A exceção apresentada é devida ao aumento das seções dos condutos C2 e C3, que geraram o aumento dos pontos de falhas a jusante de modo semelhante ao ocorrido no cenário 3

A Figura 5.30 apresenta para a chuva com intensidade de 32,48 mm/h (tempo de retorno 2 anos) e duração de 60 minutos o mapa de inundação da bacia.

Pelo mapa, 160 sub-bacias apresentam escoamento superficial com lâmina superior a 12,70 mm (0,50 in), correspondendo a 93,47% da área total da bacia.

Das demais sub-bacias, 22 apresentam escoamento superficial entre 2,54 mm (0,10 in) e 12,70 mm (0,50 in), uma apresenta escoamento superficial entre 1,27 mm (0,05 in) e 2,54 mm (0,10 in), duas apresentam escoamento superficial entre 0,254 mm (0,01 in) e 1,27 mm (0,05 in), e em apenas duas sub-bacias não se obteve escoamento considerável.

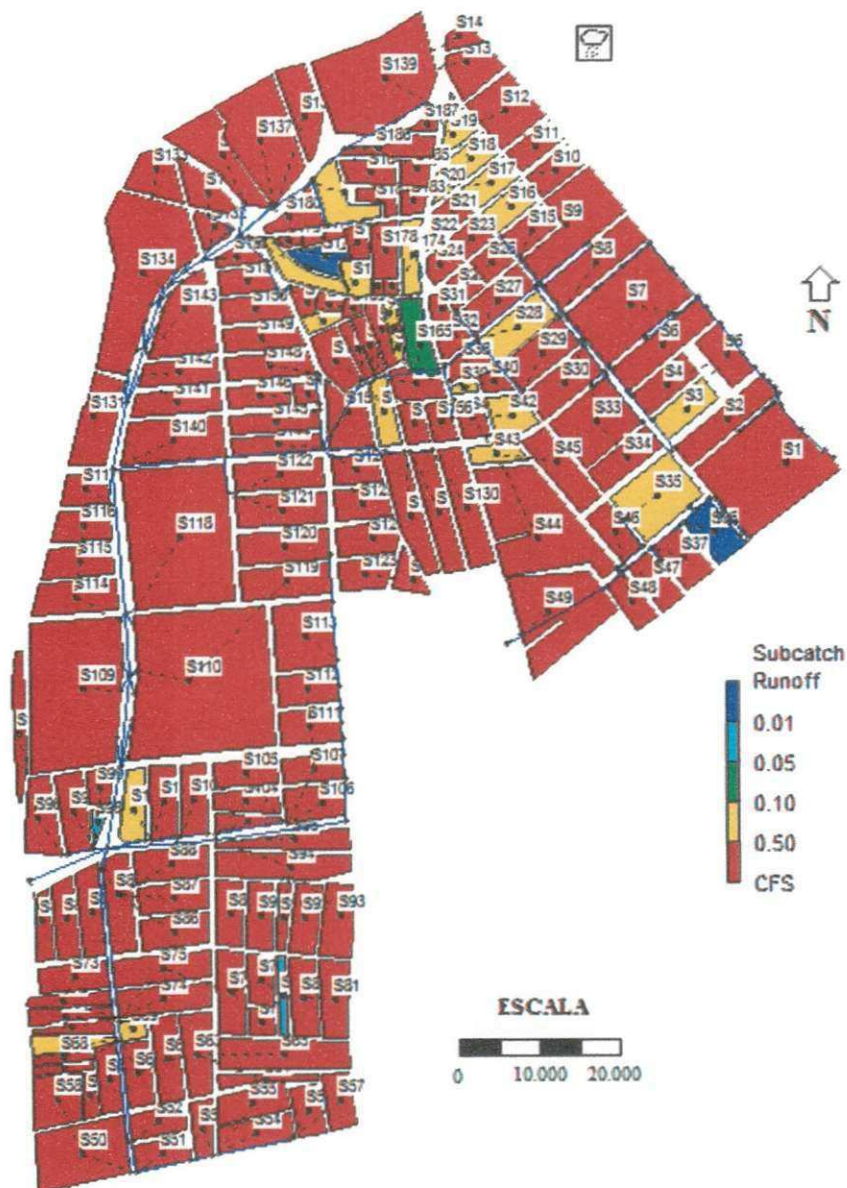


Figura 5.30 – Mapa de inundação no cenário 4 após 60 minutos de chuva com 32,48 mm/h.

Comparando o mapa de inundação deste cenário (Figura 5.30) com o dos cenários 1, 2 e 3, Figuras 5.2, 5.12 e 5.22, respectivamente, são observadas melhorias em relação aos cenários 1 e 3 e comportamento similar ao cenário 2.

A Figura 5.31 apresenta o mapa de inundação da bacia após 30 minutos do encerramento da precipitação. Grande parte das sub-bacias apresenta escoamentos inferiores a 1,27 mm (0,05 in). Entretanto 9 sub-bacias ainda apresentam escoamentos superiores a 12,70 mm (0,5 in).

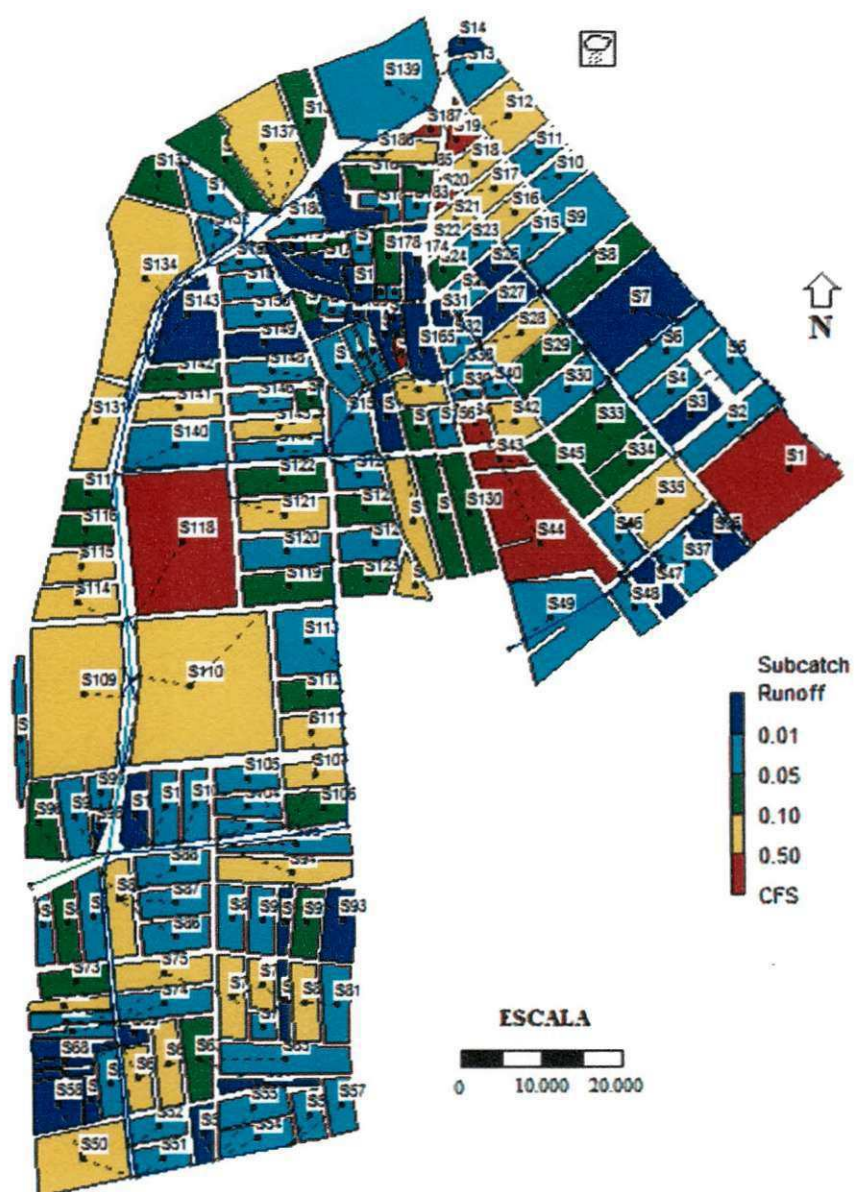


Figura 5.31 – Mapa de inundação no cenário 4 após 30 minutos o encerramento da chuva.

O mapa de inundação da bacia após 60 minutos do encerramento da precipitação é mostrado na Figura 5.32. Os escoamentos superficiais maiores de 1,27 mm corresponderam a 22,12% da área total da bacia em estudo, percentual igual ao obtido para o cenário 2 (Figura 5.14)

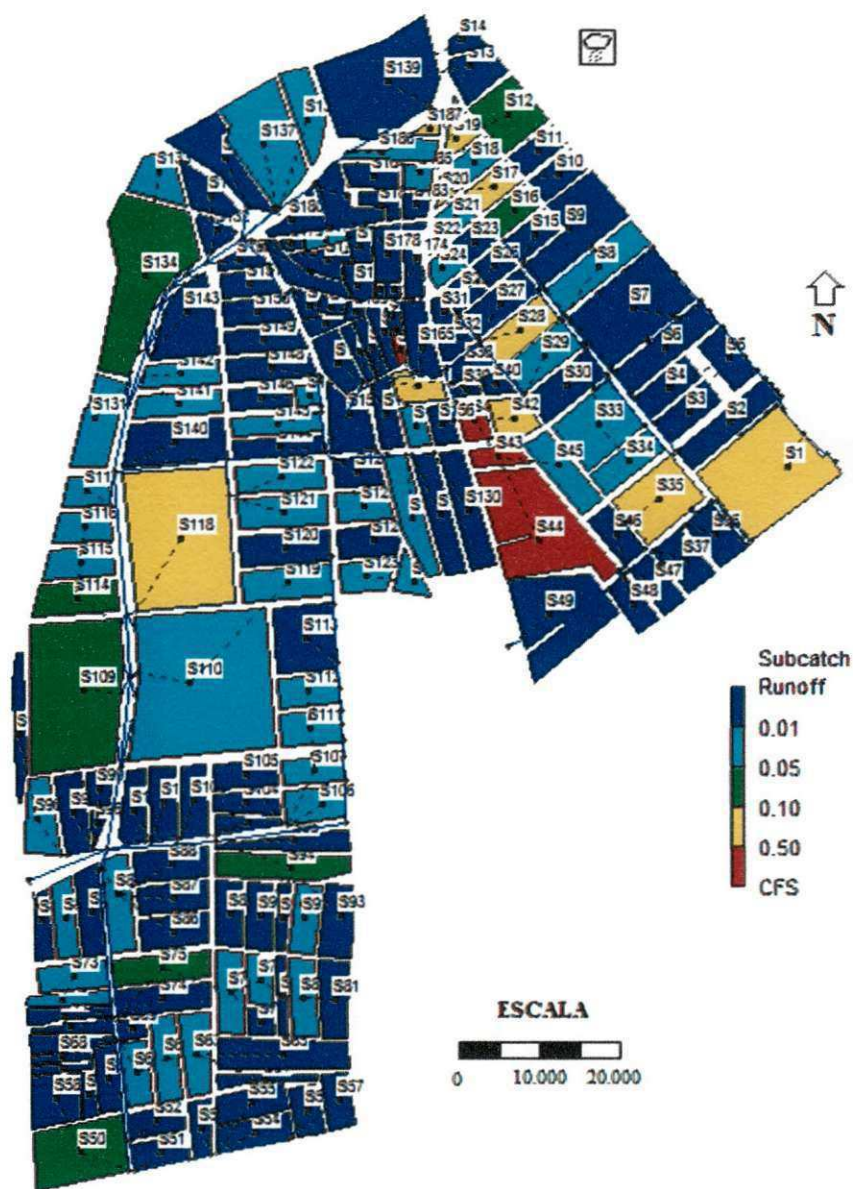


Figura 5.32 – Mapa de inundação do cenário 4 após 60 minutos após do encerramento da chuva de 32,48 mm/h.

O perfil contendo o trecho da rede drenante em que houve pontos de falha é mostrado na Figura 5.33.

O preenchimento de toda a seção dos 13 trechos acarretou a formação das colunas de fluxo que geraram 4 pontos de falha.

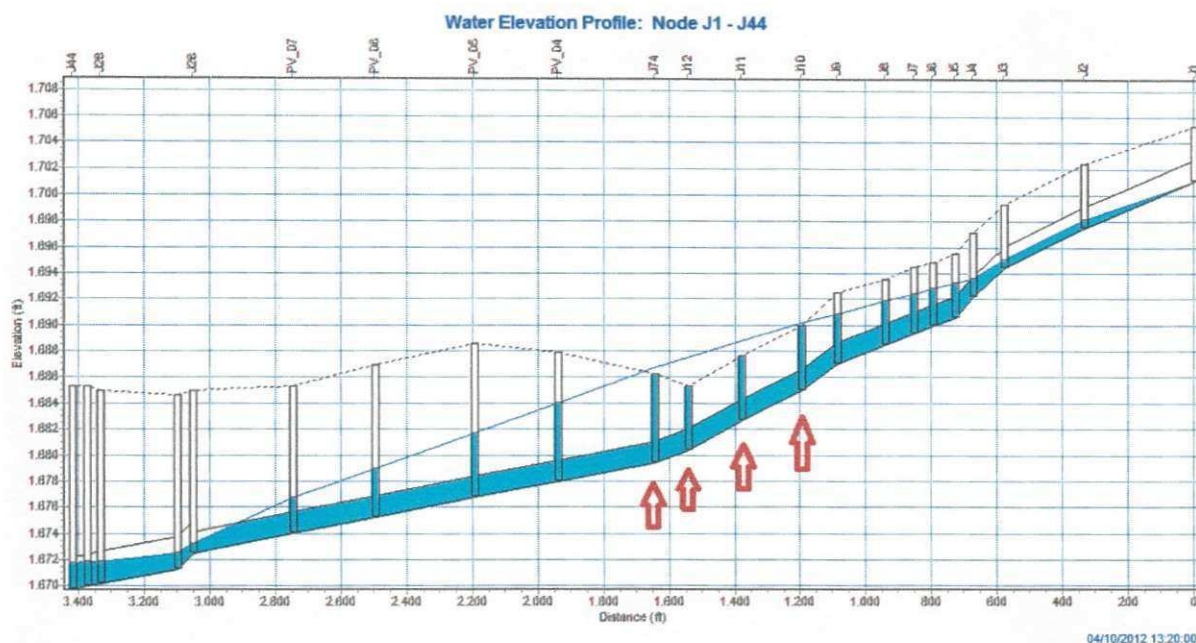


Figura 5.33 – Trecho da rede de drenagem. As setas em vermelho mostram as bocas de lobo em que ocorre retorno de fluxo devido à insuficiente seção da galeria de jusante.

O mapa de inundação da bacia logo após a ocorrência da precipitação com intensidade de 39,99 mm/h, duração de 60 minutos e tempo de retorno de 5 anos é apresentado na Figura 5.34 e mostra, em vermelho, as áreas de escoamento superficial com lâmina superior a 12,70 mm (0,50 in), correspondente a um percentual de 94,92% da área total da bacia.

Das demais sub-bacias 15 apresentam escoamento superficial entre 2,54 mm (0,10 in) e 12,70 mm (0,50 in), uma apresenta escoamento superficial entre 1,27 mm (0,05 in) e 2,54 mm (0,10 in), duas apresentam escoamento superficial entre 0,254 mm (0,01 in) e 1,27 mm (0,05 in), e apenas a sub-bacia S36 não apresenta escoamento considerável, uma vez que se trata de uma área permeável e com topografia que evita o recebimento do escoamento de áreas circunvizinhas.

Comparando os mapas de inundação do cenário 4 (Figura 5.34) com o dos cenários 1, 2 e 3 (Figuras 5.7, 5.17 e 5.26, respectivamente), são observadas melhorias em relação aos cenários 1 e 3 e comportamento semelhante ao cenário 2.

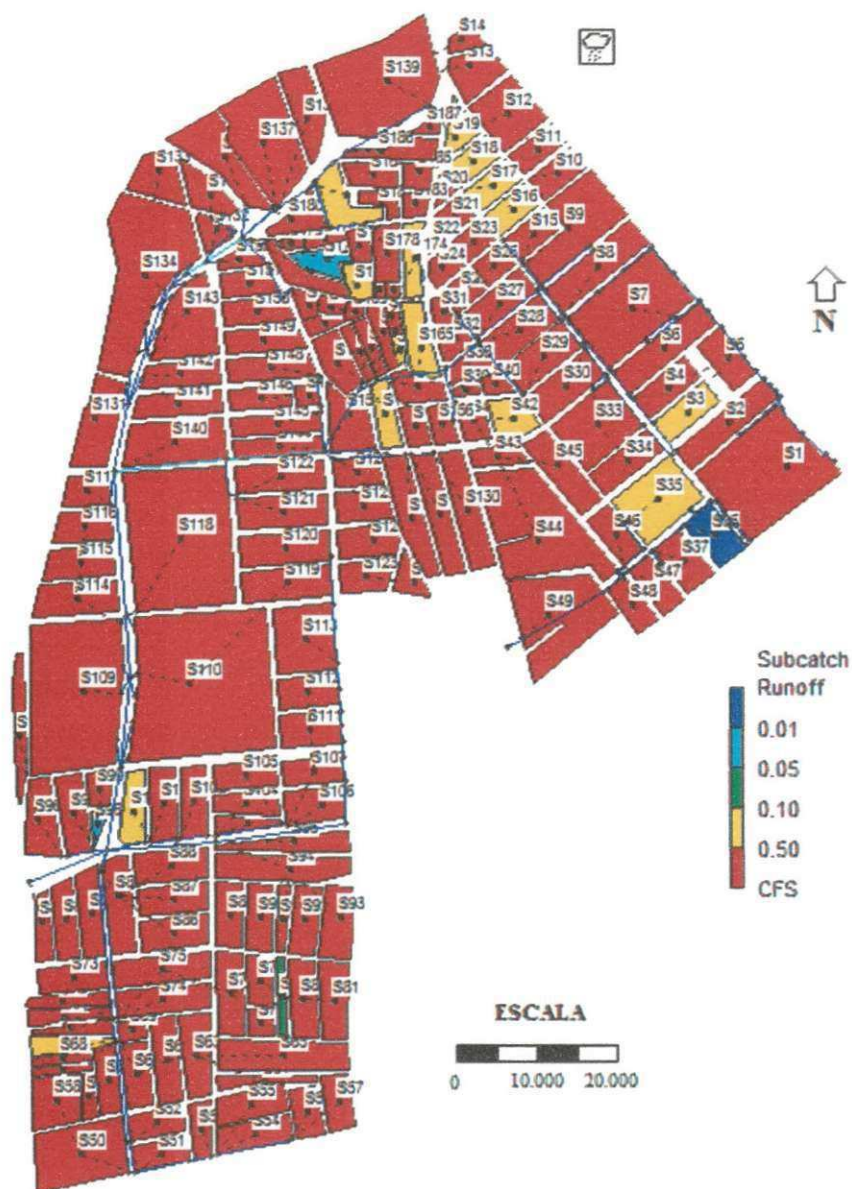


Figura 5.34 – Mapa de inundação no cenário 4 após 60 minutos de chuva com 39,99 mm/h.

A Figura 5.35 apresenta o mapa de inundação da bacia após 30 minutos do final da precipitação. Grande parte das sub-bacias apresenta escoamentos inferiores a 1,27 mm (0,05 in). Todavia, 12 sub-bacias ainda apresentam escoamentos superiores a 12,70 mm (0,5 in).

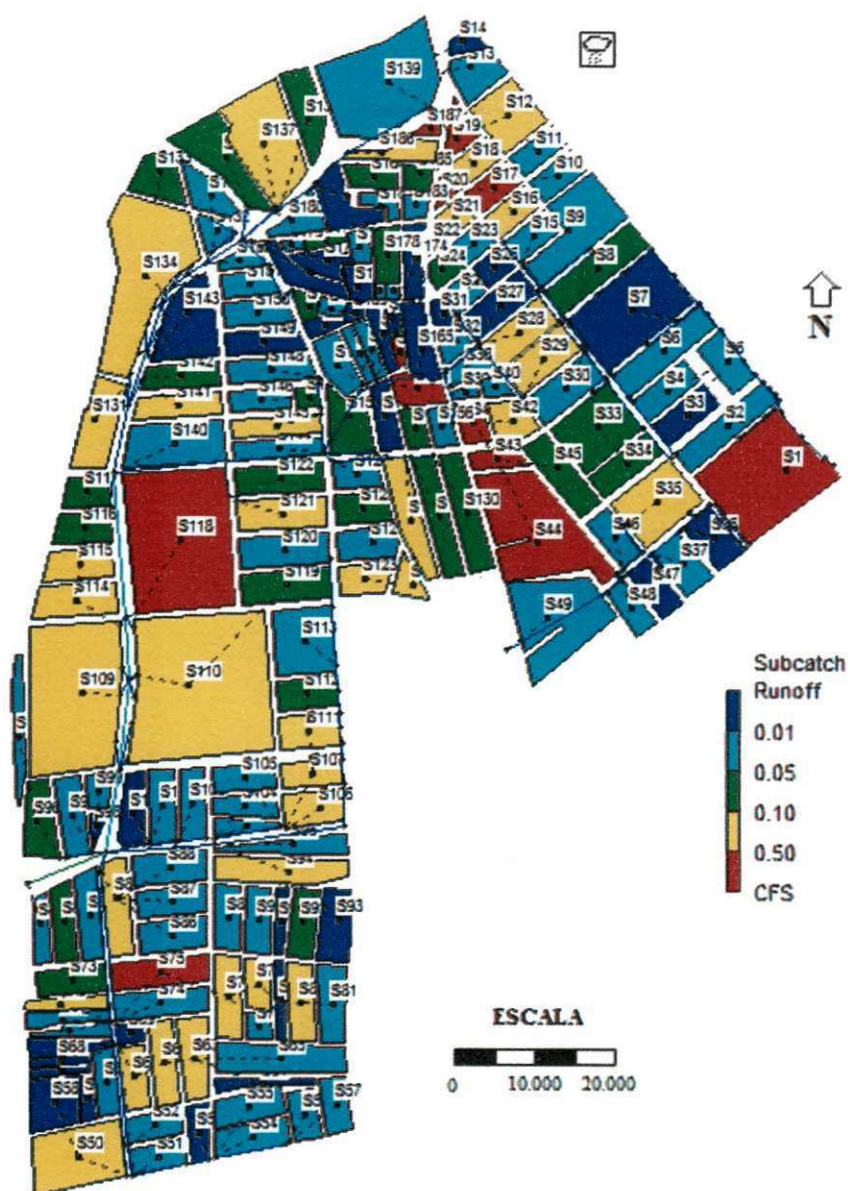


Figura 5.35 – Mapa de inundação do cenário 4 após 30 minutos do encerramento da chuva com intensidade de 39,99 mm/h.

A Figura 5.36 traz o mapa de inundação da bacia após 60 minutos do encerramento da precipitação. Este mapa apresenta comportamento idêntico ao do cenário 2 (Figura 5.19). Com relação aos mapas dos cenários 1 e 3 (Figuras 5.9 e 5.28, respectivamente) o do cenário 4 (Figura 5.36) apresenta melhores resultados na redução do escoamento para algumas sub-bacias, por exemplo, S10, S13 e S49.

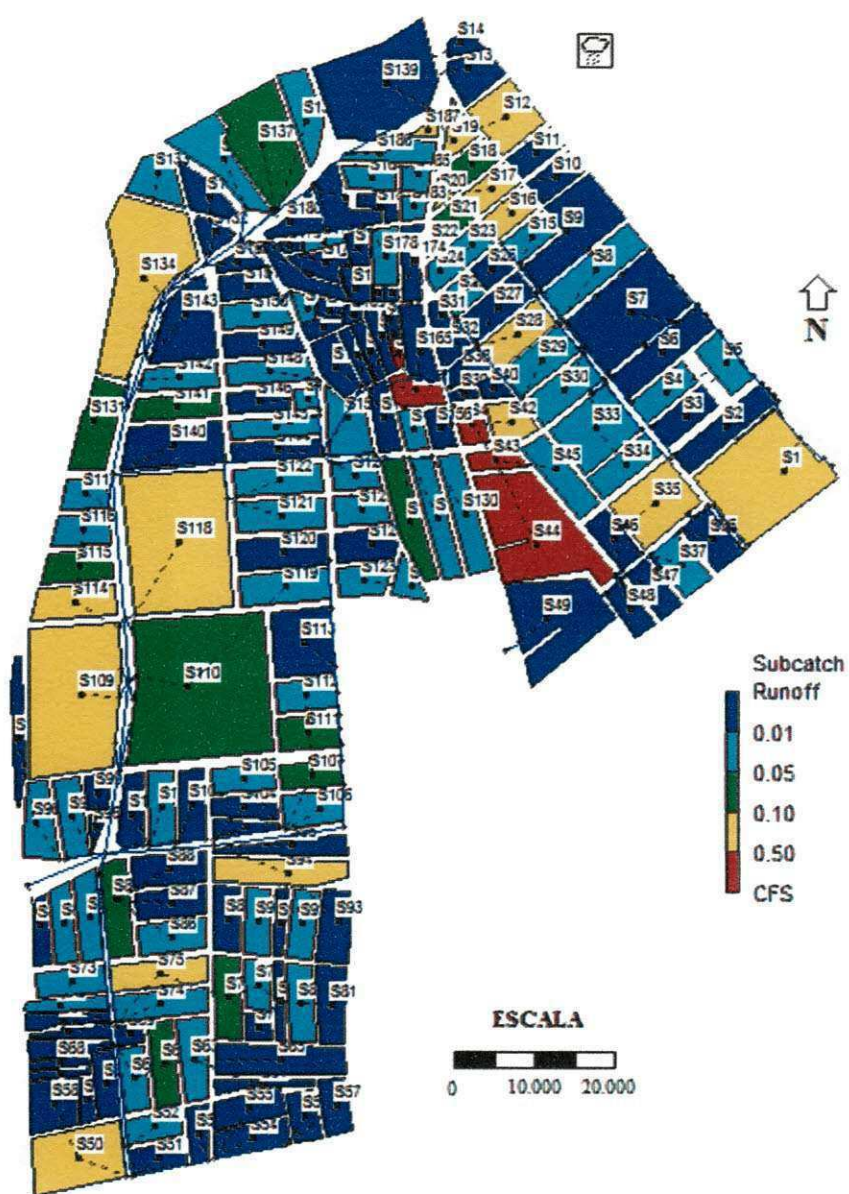


Figura 5.36 – Mapa de inundação no cenário 4 após 60 minutos do encerramento da chuva com intensidade de 39,99 mm/h.

A Figura 5.37 mostra o perfil do trecho da rede em que houve pontos de falha do sistema de drenagem. Pela figura são visualizados 9 pontos de falha.

Apesar de ser o cenário com as condições mais favoráveis de drenagem, quando comparado com os cenários anteriores pode se notar que o cenário 4 (Figura 5.37) apresenta uma maior quantidade de pontos de falhas em relação ao cenário 2 (Figuras 5.20 e 5.21).

A causa desse acréscimo está relacionada ao aumento do diâmetro da seção dos condutos S2 e S3 que funcionavam anteriormente com redutores.

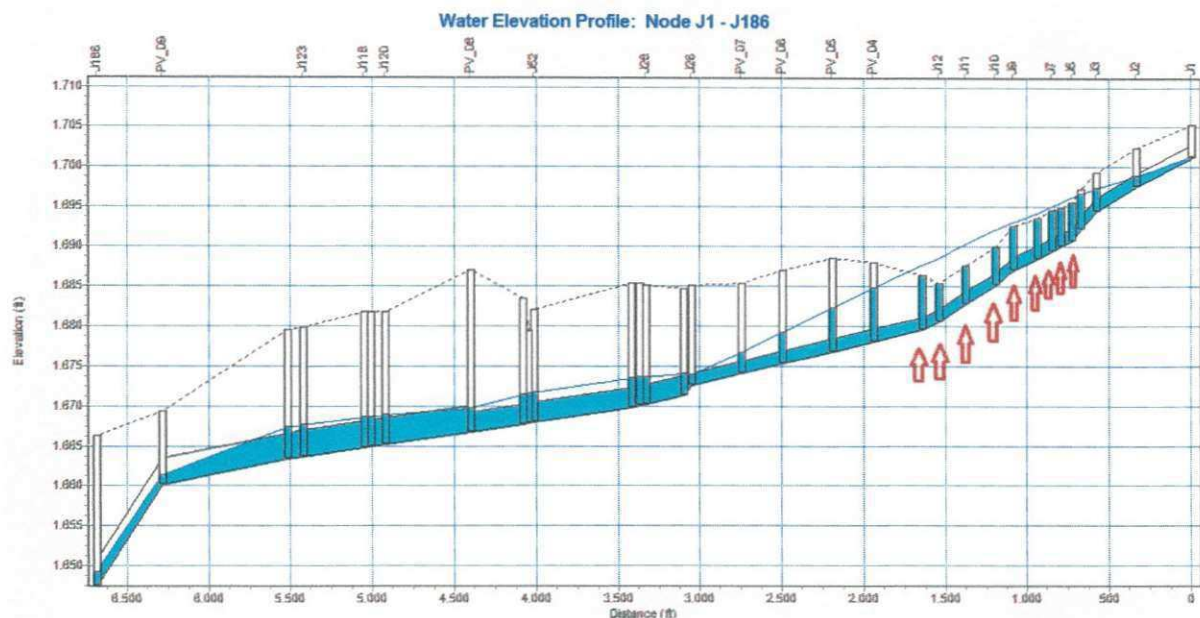


Figura 5.37 – Trecho da rede de drenagem. As setas em vermelho mostram as bocas de lobo em que ocorre retorno de fluxo devido à insuficiente seção da galeria de jusante.

Apesar de, particularmente para essa simulação, o cenário apresentar resultados desfavoráveis em relação ao cenário 2, no quadro geral os resultados apresentados pelo modelo SWMM para o cenário 4 mostraram a melhor solução para a maioria das simulações na bacia estudada. Porém duas medidas precisam ser implantadas: a maximização da área permeável e as modificações da rede de drenagem.

De acordo com os resultados obtidos nas simulações, quando se avalia a possibilidade de implantação de apenas uma das medidas propostas, o cenário 2 mostrou-se mais eficiente quando comparado com o cenário 3.

No entanto, a escolha de alguma medida mitigadora proposta neste estudo para a bacia urbana do bairro do Catolé deverá estar embasada em sua viabilidade de implementação. Uma discussão sobre essa questão será abordada no capítulo VI.

CAPÍTULO VI

DISCUSSÃO

A concepção do cenário 2 teve como medida adotada, para reduzir os pontos de falha do cenário existente, a maximização da área permeável em 20%. Já no cenário 3 a medida utilizada foi o aumento da seção de alguns trechos de galerias da rede de drenagem. O cenário 4, por sua vez, adotou duas medidas: a maximização em 20% da área permeável, conforme o cenário 2 e as modificações da rede, conforme o cenário 3.

Na prática, a implementação do cenário 2 seria de responsabilidade dos proprietários de cada lote, que teriam o comprometimento de manter em seu terreno a área mínima percentual de 20% ou de reter e reutilizar no próprio lote o volume precipitado equivalente à parcela que deveria infiltrar no solo. Como o bairro do Catolé apresenta um alto índice de urbanização e ocupação da maioria dos lotes, seria árdua a tarefa de convencer os proprietários dos lotes a aderir à ação. Portanto, caberia ao poder legislativo municipal criar uma lei específica tornando obrigatória a adesão de tais medidas.

Neste caso os custos para a adequação dos lotes às novas exigências seriam arcados pelos proprietários cabendo ao poder público a fiscalização do devido cumprimento da lei.

Com relação aos espaços de domínio público, estes devem ser planejados aproveitando-se a precipitação ocorrida nestes locais para usos menos nobres como a rega de jardins e descargas de bacias sanitárias.

É possível também a utilização de pavimentos permeáveis em áreas abertas como os estacionamentos públicos e privados. Outra ação proposta seria a realização, junto à comunidade, de uma campanha informativa dos impactos do processo de urbanização no meio ambiente e especialmente no bairro do Catolé e de conscientização sobre a necessidade de adesão às mudanças propostas.

Além disso, chama-se atenção para o fato de que o poder público e a sociedade precisam compreender a necessidade de um desenvolvimento baseado nos princípios de sustentabilidade. Na revisão de literatura realizada neste trabalho foram citados vários exemplos de soluções viáveis para centros urbanos, no Brasil e no mundo, para reduzir os impactos das ações de urbanização no ambiente. Todavia, é um processo lento e que depende da colaboração de todos.

Com relação à implementação do cenário 3, ou seja, a modificação da rede de drenagem não haveria necessidade de aprovação de lei específica, como previsto para o cenário 2, ficando sob a responsabilidade do poder público a execução de tal medida. Neste caso, haveria a necessidade de estudos dos custos gerados pelos serviços e previsão em programa da lei orçamentária do município.

Não foi objetivo deste trabalho a avaliação de custos dos empreendimentos propostos, no entanto, para ter uma idéia inicial de custo estima-se que o valor do metro linear de galeria com diâmetros de 0,50 m e 0,75 m, executada a uma profundidade de 1,50 m e em rua que possua pavimentação em paralelepípedo, seja respectivamente de R\$ 239,82 (duzentos e trinta e nove reais e oitenta e dois centavos) e R\$ 384,26 (trezentos e oitenta e quatro reais e vinte seis centavos), considerando valores de mercado para o ano de 2012.

Ou seja, a substituição proposta para 206,00 m de rede com o diâmetro de 0,30 m por 0,50 m e para 1.078,00 m de rede com o diâmetro de 0,50 m por 0,75 m não deve ter custo inferior a R\$ 463.635,20 (quatrocentos e sessenta e três mil, seiscentos e trinta e cinco reais e vinte centavos) uma vez que não foi considerado o custo para a remoção dos trechos antigos.

Essa estimativa foi realizada por meio de composições de preço. Nestas composições foi utilizado o relatório do SINAPI de serviço e insumos para fevereiro de 2012 no estado da Paraíba. Foi usado também o BDI (benefício e despesas indiretas) empregado nas composições da Prefeitura Universitária da UFCG. As tabelas com as composições de custos e demonstrativos de BDI se encontram respectivamente nos anexos C e D.

Outra questão levantada para o cenário 3 é que, caso ele fosse implementado, demandaria tempo e um grande volume de obras, com abertura de valas em várias ruas e avenidas do bairro para a colocação dos novos condutos no

sistema de drenagem. Considerando que o Catolé é um bairro residencial, com acelerado crescimento vertical e grande densidade demográfica, e também comercial, que atraem todos os dias pessoas de outros locais da cidade, essas obras de drenagem causariam grandes inconvenientes à população.

A terceira opção estudada neste trabalho é a apresentada no cenário 4, ou seja, a junção dos cenários 2 e 3. Neste caso teríamos os benefícios discutidos para os cenários 2 e 3 somados gerando uma boa redução dos pontos de falha do sistema, no entanto, esta opção demandaria grandes esforços tanto do setor público quanto do privado, tornando esse cenário inviável quando comparado com os demais, principalmente o cenário 2, onde em algumas sub-bacias a resposta das simulações foram, inclusive, superiores ao cenário 4.

Além das medidas corretivas propostas neste trabalho e apresentadas através das simulações dos cenários usando o SWMM, existem também as medidas preventivas que requerem investimentos consideravelmente menores e que contribuam de forma determinante para a melhoria da eficiência do sistema de drenagem. Entre essas medidas preventivas pode ser citada a limpeza periódica das ruas, sarjetas, bocas de lobo, galerias e canais reduzindo o volume de resíduos sólidos no sistema de drenagem evitando sua obstrução.

Outra medida seria a manutenção do sistema de drenagem existente. No documentário fotográfico apresentado no capítulo IV são observadas em alguns setores, bocas de lobo quase que totalmente cobertas pelo aumento da altura do asfalto devido ao recapeamento das ruas, em pontos diversos. Foram observados também, na pesquisa de campo, a destruição parcial ou total de bocas de lobo e outros elementos do sistema de drenagem, o fechamento das bocas de lobo devido à vegetação ou, simplesmente, a desativação do elemento de drenagem.

Com a realização de medidas preventivas é possível desobstruir o sistema de drenagem e aumentar o volume captado de escoamento, contribuindo de forma eficaz na redução dos pontos de alagamento.

Essas medidas preventivas são de responsabilidade da administração pública, mas cabe à sociedade a conscientização com relação ao lançamento de lixo diretamente nas galerias e nas ruas, permitindo seu acesso para dentro do sistema de drenagem.

CAPÍTULO VII

CONCLUSÕES

O presente trabalho avaliou os efeitos da urbanização através da modelagem de cenários existentes e alternativos com vistas à redução e/ou prevenção de áreas inundadas, em cidades de médio porte.

Para diagnosticar os pontos críticos de inundação foi criado um cenário que representasse o mais fielmente possível a atual situação da área (cenário 1). Neste cenário, assim como nos demais, foi aplicada a precipitação de intensidade estimada pela equação da relação IDF para Campina Grande com durações de 30, 60, 120 e 180 minutos para os tempos de retorno de 1, 2 e 5 anos.

Comparando todos os cenários propostos, o cenário 4 mostrou melhores resultados seguido respectivamente dos cenários 2 e 3.

Para o cenário 1 (situação atual) as simulações mostraram pontos de falha do sistema de drenagem após 1 hora de chuva para todos os períodos de retorno, inclusive o de 1 ano, sendo registrados 5, 6 e 15 falhas, respectivamente, para os tempos de retorno de 1, 2 e 5 anos. Considerando que projetos de drenagem com as características da área estudada devem ser dimensionados com base em períodos de retorno de 2 a 5 anos, pode-se constatar a ineficiência do sistema de drenagem atual existente no bairro Catolé.

No cenário 2 (20% de aumento da área permeável) foi observada uma melhor resposta do sistema, quando comparados os valores obtidos com os do cenário 1 tem-se uma eliminação dos pontos de falha para o tempo de retorno de 1 ano e uma redução de 2 e 7 pontos respectivamente para os tempos de retorno de 2 e 5 anos. Portanto, o incremento da área permeável cooperaria para a diminuição da sobrecarga no sistema de drenagem existente, uma vez que parte da água do

escoamento superficial, que antes chegaria às galerias de drenagem, infiltraria no solo.

O cenário 3 (melhoria da rede de drenagem existente) mostrou-se, de uma forma geral, mais eficiente que o cenário 1, porém, menos que o cenário 2 uma vez que revela para os tempos de retorno de 2 e 5 anos respectivamente 5 e 3 pontos a mais de falha. Além disso, para a melhoria da rede de drenagem existente seria necessário um alto investimento, além dos transtornos gerados para a região durante o período de execução dos serviços.

O cenário 4 apresentou, no geral, a maior redução de pontos de falha excluindo-se dessa situação apenas na simulação para o tempo de retorno de 5 anos e duração de 60 minutos por apresentar mais pontos de falha que o cenário 2. Porém, entre os cenários estudados, este apresenta o maior obstáculo de implantação por depender da administração pública municipal com relação a modificações da rede, de norma jurídica específica do município exigindo o cumprimento de aumento da área permeável dos lotes e da colaboração dos moradores.

Portanto, pode-se concluir que o aumento da área permeável retratado no cenário 2 seria a alternativa mais viável, entre as alternativas avaliadas, tanto no aspecto de eficiência de redução de áreas de risco de inundação quanto de viabilidade de implementação.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, J.R.M. Poluição das águas pluviais: a qualidade da água em esteiros da Ria de Aveiro e o uso do solo na orla do estuário. Dissertação (Mestrado) - Universidade de Aveiro. Portugal, 2007.

ARAGÃO, R.; FIGUEIREDO, E.E.; SRINIVASAN, V.S.; GÓIS, R.S.S. Chuvas Intensas no Estado da Paraíba. In: Anais do V Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste, volume 2, p 74-85, 1998.

ARAÚJO, P.R.; GOLDENFUM, J.A.; TUCCI, C.E.M. Avaliação de pavimentos permeáveis no controle da geração de escoamento superficial. In: XIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. Belo Horizonte - MG, 1999.

BAENINGER, R. Migrações internas no Brasil: municípios metropolitanos e não metropolitanos. In: Anais do II Encontro Nacional sobre Migração. Belo Horizonte: Abep, p 535-562, 2000.

BASTOS, G. A. P. Análise dos parâmetros do modelo SWMM para avaliação do escoamento em duas bacias periurbanas em Santa Maria – RS. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria-RS, 2007.

BERTONI, J.C. Estudios de casos, Capítulo 6 In: Tucci, Carlos E. M., Gestion de inundaciones urbanas, p 215-216, 2006.

BERTONI, J.C.; MAZA, J.A.; PAOLI, C.U. Argentina. In: Inundações urbanas na América do Sul. ABRH-Ed. UFRGS, cap. 04. Porto Alegre - RS, 2003.

BRASIL ESCOLA. Disponível em: <www.brasilecola.com/geografia/urbanizacao-mundo.htm>. Acesso em 19 de setembro de 2011.

BRAVO, J.M.; ALLASIA, D.G.; COLLISCHONN, W.; TASSI, R.; MELLER, A.; TUCCI, C.E.M. Avaliação visual e numérica da calibração do modelo hidrológico IPH II com fins educacionais. In: Anais do XVII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. São Paulo-SP, 2007.

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 (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Carlos-SP, 2009.

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

DEDUŠ, B. and PAVLEKOVIĆ, M. Application of a novel approach to sewer system analysis, EWPCA, volume 7, Number 5, p 43-48, 1997.

FRESNO, D. C.; BAYÓN, J. R.; HERNÁNDEZ, J. R. Y MUNOZ F. B. Sistemas urbanos de drenaje sostenible (SUDS). In: INCI, volume 30 n° 05. Caracas, 2005.

GARCIA, J.I.B. Monitoramento hidrológico e modelagem da drenagem urbana da bacia do Arroio Cancela. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria-RS, 2005.

GARCIA, J.I.B.; PAIVA, E.M.C.D. Monitoramento hidrológico e modelagem da drenagem urbana da bacia do Arroio Cancela - RS. In: Revista Brasileira de Recursos Hídricos, volume 11, p 1-10. Porto Alegre-RS, 2006.

GOMES, L. 1808: como uma rainha louca, um príncipe medroso e uma corte corrupta enganaram Napoleão e mudaram a história de Portugal e do Brasil. São Paulo: Editora Planeta do Brasil, 2007.

GRAHAM, D. H. e HOLANDA FILHO, S. B. de. As migrações inter-regionais e urbanas e o crescimento econômico do Brasil. In: MOURA, H. (org.). Migração Interna: Textos Selecionados. Volume 2, p 733-778. Fortaleza: Banco do Nordeste do Brasil. 1980.

HERNÁNDEZ, J.; BAYÓN, J.; FRESNO, D.; PÉREZ, M.; JORDANA, J.; MUNÓZ, F.; et al. Construcción de pavimentos permeables para el control en origen de la escorrentía urbana: ejemplo práctico del aparcamiento del palacio de deportes de La Guía. Paper presentado en el III Congreso de Ingeniería Civil, Territorio y Medio Ambiente. Universidade de Cantabria, Universidade de Oviedo y Ayuntamiento de Gijón, 2006.

INNOVYZE. Disponível em: <http://www.innovyze.com/products/infowork_cs/>. Acesso em 11 de outubro de 2011.

JIMÉNEZ CISNEROS, B.E.; MAZARI HIRIART, M.; DOMÍNGUEZ MORA, R.; CIFUENTES GARCÍA, E. El agua en el Valle de México. En: El agua en México vista desde la Academia. Academia Mexicana de Ciencias. México, D.F.: 15-32, 2004.

LIEW, Y.S.; SELAMAT, Z.; GHANI, A. Abd. Performace of stormwater drainage system through dry detention pond for medium size housing development using Infoworks CS (Casestudy: Kota Damansara, Selangor, Malaysia). In: 8th International Conference on Urban Drainage Modelling, p 7-11. Tokyo, Japan, september 2009.

LIMONAD, E. Os lugares da urbanização: o caso do interior fluminense. Tese (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo) – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo. Universidade de São Paulo, São Paulo-SP, 1996.

MAKSIMOVIC, C. General overview of urban drainage principles and practice. urban drainage in specific climates (IHP-V-Technical Documents in Hydrology). Paris: UNESCO, volume 1, n. 40, p 1-21, 2001.

Maryland National Capital Builders Industry Association (MNCBIA), unpublished research, 2001.

MATOS, J. S. Aspectos históricos a actuais da evolução da drenagem de águas residuais em meio urbano. Revista Engenharia Civil, número 16. Portugal, 2003.

MATOS, R. M. Gestão integrada de águas pluviais em meio urbano - visão estratégica e soluções para o futuro. Teses e Projectos de Investigação. LNEC, 2000.

MAZA, J. Inundaciones en los grandes centros urbanos, Capítulo 5 in: Bertoni, J. C., Inundaciones Urbanas en Argentina, 270p, 2004.

MELLER, A. & PAIVA, E. M. C. D. de. Modelagem de sistema de microdrenagem utilizando o software Mouse in: XV Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, Curitiba-PR. 2003.

MELLER, A. Simulação hidrodinâmica integrada de sistema de drenagem em Santa Maria - RS. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Maria, 164p. Santa Maria-RS, 2004.

NAHB Research Center, Inc. Upper Marlboro, Maryland. The practice of low impact development. Prepared for: U.S. Department of Housing and Urban Development Office of Policy Development and Research Washington, D.C., July 2003.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. Demographic Yearbook 2007. Disponível em: <<http://www.unstats.un.org/unsd/Demographic/Products/socind/population.htm>>. Acesso em 31 de julho de 2009.

PAIXÃO, F.J.R.; ANDRADE, A.R.S.; AZEVEDO, C.A.V.; COSTA, T.L.; GUERRA, H.O.C. Ajuste da curva de infiltração por meio de diferentes modelos empíricos. Pesquisa aplicada & Agrotecnologia, volume 2, n° 1, p 108-112. Guarapuava-PR, 2009.

PERH-PB – PLANO ESTADUAL DE RECURSOS HÍDRICOS. Relatório final. Governo do Estado da Paraíba. Secretaria de Estado da Ciência e Tecnologia e do Meio Ambiente; Agência Executiva de Gestão de Águas do Estado da Paraíba – AESA. Brasília-DF: Consórcio TC/BR – Concremat, 2006.

RENNÓ, D. C.; SOARES J. V. Modelos hidrológicos para gestão ambiental, INPE, Relatório Parcial, 2000.

Revista Brasileira de Estudos Urbanos e Regionais – volume 12, n° 2, 2010. – Associação Nacional de Pós-Graduação e Pesquisa em Planejamento Urbano e Regional; editor responsável Sarah Feldman: A Associação, 2010.

RIGHETTO, A. M. (Org.). Manejo de águas pluviais. 1ª edição. Rio de Janeiro: ABES, 2009.

ROSSMAN, L. A. Storm Water Management Model, Version 5.0: User's Manual U. S. Environmental Protection Agency, Cincinnati, OH 45268. Revised: July 2010. Disponível em: <<http://www.epa.gov/nrmrl/wswrd/wq/models/swmm/>>. Acesso em: 19 de setembro de 2010.

SANTOS, Valéria Diniz dos. Drenagem urbana em áreas especiais: o caso da bacia fechada do bairro de Oitizeiro, João Pessoa. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-graduação em Engenharia Urbana, Universidade Federal da Paraíba. João Pessoa-PB, 2006.

SILVA, Carla Alcione da. Análise da eficiência de métodos de controle de enchentes na atenuação de picos de cheias utilizando o método computacional SWMM - Storm

Water Management Model. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia civil, Universidade Federal de Goiás. Goiânia-GO, 2007.

SILVA, R. A. P. da. Sistema de suporte à tomada de decisão em gerenciamento de cheias. Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.

SINAPI, Sistema nacional de pesquisa de custos e índices da construção civil. Disponível em: <http://www1.caixa.gov.br/gov/gov_social/municipal/programa_des_urbano/SINAPI/index.asp>. Acesso em 23 de abril de 2012.

SOUZA, C.F. Mecanismos técnico-institucionais para a sustentabilidade da drenagem urbana. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, Porto Alegre-RS, 2005.

SOUZA, C. F.; POMPEO, C.A.; TUCCI, C.E.M. (No prelo) "Diretrizes para o estabelecimento de loteamentos urbanos sustentáveis" in: Caramori, V. (Org.) VI Encontro Nacional de Águas Urbanas, Belo Horizonte-MG. 2007.

TUCCI, C.E.M.; ORDONEZ, J.S.; SIMÕES LOPES, M. 1981. Modelo matemático precipitação-vazão IPH II alguns resultados. In: Anais do IV Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. ABRH. Fortaleza-CE, 1981.

TUCCI, C.E.M (Org.). Hidrologia: ciência e aplicação. 3ª ed., p 242-943, editora da UFRGS/ABRH. Porto Alegre-RS, 1993.

TUCCI, C.E.M.; CAMPANA, N. Simulação distribuída com IPH II, nova versão. In: Anais do X Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, volume 3, p 495-504. Gramado-RS, 1993.

TUCCI, C.E.M. & GENZ, F. Controle do impacto da urbanização. In: Tucci, C. E. M., Porto, R. L.; Barros, M. T. – organizadores; Drenagem Urbana, Coleção ABRH de Recursos Hídricos, volume 5, Editora da Universidade, Porto Alegre-RS. 1995.

TUCCI, C.E.M. Gerenciamento da drenagem urbana. In: Revista Brasileira de Recursos Hídricos/ABRH - volume 7, nº 1, p 5-27. Porto Alegre-RS, 2002.

TUCCI, C.E.M.; BERTONI, J.C. Inundações urbanas na América do Sul. ABRH-Ed. UFRGS. Porto Alegre-RS, 2003.

TUCCI, C.E.M. Gestão de águas pluviais urbanas. Ministério das Cidades - Global Water Partnership - World Bank - Unesco, 2005.

UFRRJ. Disponível em: <<http://www.ufrj.br/institutos/it/de/acidentes/baciaurb.htm>>. Acesso em: 11 de outubro de 2011.

U. S. Department of Housing and Urban Development. The Practice of Low Impact Development. Washington D.C. July, 2003.

VILELA, A. e SUZIGAN, W. Política do Governo e crescimento da economia brasileira 1889 - 1945, IPEA, Série Monografias , nº 10, 1973.

ZOPPOU, C. Review of urban storm water models. Environmental Modeling & Software. Issue 16. p.195-231. Editora: Elsevier, 2001.

ANEXO A – CARACTERÍSTICAS DAS SUB-BACIAS

DADOS DAS SUB-BACIAS									
SUB-BACIA	AREA (ac)	Largura das Sub-bacias (ft)	Declividade (%)	Áreas impermeáveis (%)	Coef. de Manning superfície impermeável	Coef. de Manning superfície permeável	Capac. de armazen. em depressões superfícies impermeáveis (mm)	Capac. de armazen. em depressões superfícies permeáveis (mm)	Áreas impermeáveis não conectadas (%)
S1	13,72	936,70	2,13	95,00	0,0118	0,05	1,91	5,08	10
S2	3,99	868,12	2,54	50,00	0,0114	0,05	1,91	5,08	10
S3	2,33	512,21	2,35	5,00	0,0120	0,05	1,91	5,08	10
S4	2,29	503,22	2,39	90,00	0,0160	0,05	1,91	5,08	10
S5	2,49	447,28	1,94	45,00	0,0115	0,05	1,91	5,08	10
S6	3,70	857,14	2,65	65,00	0,0113	0,05	1,91	5,08	10
S7	4,45	845,64	1,54	5,00	0,0110	0,05	1,91	5,08	10
S8	9,87	844,92	1,93	80,00	0,0116	0,05	1,91	5,08	10
S9	6,39	1.033,46	2,71	40,00	0,0110	0,05	1,91	5,08	10
S10	1,85	404,76	2,40	90,00	0,0118	0,05	1,91	5,08	10
S11	1,85	407,49	2,39	85,00	0,0168	0,05	1,91	5,08	10
S12	4,14	438,44	1,11	90,00	0,0168	0,05	1,91	5,08	10
S13	2,54	379,59	1,57	45,00	0,0186	0,05	1,91	5,08	10
S14	0,88	236,29	3,75	98,00	0,0117	0,05	1,91	5,08	10
S15	1,80	388,82	2,24	85,00	0,0186	0,05	1,91	5,08	10
S16	1,79	389,42	0,01	80,00	0,0168	0,05	1,91	5,08	10
S17	1,79	389,32	0,01	80,00	0,0168	0,05	1,91	5,08	10
S18	1,78	389,03	0,02	70,00	0,0159	0,05	1,91	5,08	10
S19	1,54	473,01	0,01	75,00	0,0213	0,05	1,91	5,08	10
S20	0,44	246,08	1,23	85,00	0,0186	0,05	1,91	5,08	10
S21	1,21	252,01	1,24	95,00	0,0168	0,05	1,91	5,08	10
S22	0,27	190,53	2,05	90,00	0,0159	0,05	1,91	5,08	10
S23	1,19	259,82	1,25	95,00	0,0168	0,05	1,91	5,08	10
S24	1,15	253,82	1,98	90,00	0,0186	0,05	1,91	5,08	10
S25	1,32	271,54	1,90	85,00	0,0168	0,05	1,91	5,08	10
S26	1,21	252,24	3,71	60,00	0,0159	0,05	1,91	5,08	10
S27	2,94	586,86	1,56	35,00	0,0159	0,05	1,91	5,08	10
S28	3,03	570,44	0,01	90,00	0,0159	0,05	1,91	5,08	10
S29	3,05	568,31	1,42	95,00	0,0159	0,05	1,91	5,08	10
S30	3,29	586,08	1,54	75,00	0,0110	0,05	1,91	5,08	10
S31	0,78	245,21	3,40	80,00	0,0159	0,05	1,91	5,08	10
S32	0,93	318,12	1,13	85,00	0,0159	0,05	1,91	5,08	10

S33	5,84	564,44	1,83	25,00	0,0240	0,05	1,91	5,08	10
S34	2,59	563,68	1,09	80,00	0,0159	0,05	1,91	5,08	10
S35	5,73	566,12	0,01	50,00	0,0240	0,05	1,91	5,08	10
S36	2,61	424,96	1,94	0,00	0,0240	0,05	1,91	5,08	10
S37	2,57	424,71	3,89	87,00	0,0168	0,05	1,91	5,08	10
S38	1,22	342,43	1,81	90,00	0,0159	0,05	1,91	5,08	10
S39	0,40	199,48	1,66	95,00	0,0159	0,05	1,91	5,08	10
S40	0,66	218,11	1,18	90,00	0,0159	0,05	1,91	5,08	10
S41	1,35	310,11	2,95	95,00	0,0159	0,05	1,91	5,08	10
S42	2,13	320,16	0,01	85,00	0,0159	0,05	1,91	5,08	10
S43	1,23	410,15	0,01	95,00	0,0177	0,05	1,91	5,08	10
S44	11,15	1.585,87	0,01	80,00	0,0162	0,05	1,91	5,08	10
S45	3,12	696,23	1,36	80,00	0,0168	0,05	1,91	5,08	10
S46	2,00	439,73	2,03	75,00	0,0192	0,05	1,91	5,08	10
S47	1,95	430,85	4,12	55,00	0,0175	0,05	1,91	5,08	10
S48	1,64	424,46	5,77	85,00	0,0192	0,05	1,91	5,08	10
S49	9,05	1.435,15	3,22	40,00	0,0168	0,05	1,91	5,08	10
S50	5,80	589,17	1,28	80,00	0,0202	0,05	1,91	5,08	10
S51	1,96	427,60	0,73	60,00	0,0168	0,05	1,91	5,08	10
S52	1,81	448,56	0,52	70,00	0,0168	0,05	1,91	5,08	10
S53	1,55	441,17	0,72	45,00	0,0168	0,05	1,91	5,08	10
S54	2,66	578,49	3,82	80,00	0,0168	0,05	1,91	5,08	10
S55	2,48	539,58	4,82	75,00	0,0165	0,05	1,91	5,08	10
S56	1,80	376,30	2,26	70,00	0,0202	0,05	1,91	5,08	10
S57	1,96	420,08	1,42	45,00	0,0174	0,05	1,91	5,08	10
S58	3,12	462,27	2,14	25,00	0,0177	0,05	1,91	5,08	10
S59	0,74	615,54	2,72	95,00	0,0159	0,05	1,91	5,08	10
S60	1,84	548,59	3,06	80,00	0,0168	0,05	1,91	5,08	10
S61	2,25	484,69	2,43	50,00	0,0148	0,05	1,91	5,08	10
S62	2,95	649,51	0,97	75,00	0,0168	0,05	1,91	5,08	10
S63	3,00	632,68	1,44	70,00	0,0168	0,05	1,91	5,08	10
S64	1,16	808,74	3,94	85,00	0,0159	0,05	1,91	5,08	10
S65	5,00	997,27	2,60	45,00	0,0147	0,05	1,91	5,08	10
S66	1,16	776,76	0,27	20,00	0,0159	0,05	1,91	5,08	10
S67	0,70	477,68	2,32	95,00	0,0159	0,05	1,91	5,08	10
S68	0,71	471,84	0,78	95,00	0,0159	0,05	1,91	5,08	10
S69	0,68	197,72	4,86	65,00	0,0168	0,05	1,91	5,08	10
S70	1,09	660,43	0,57	90,00	0,0159	0,05	1,91	5,08	10
S71	1,26	776,62	0,57	90,00	0,0159	0,05	1,91	5,08	10
S72	1,22	650,74	0,30	95,00	0,0159	0,05	1,91	5,08	10
S73	2,46	537,10	0,78	85,00	0,0159	0,05	1,91	5,08	10

S74	3,26	718,31	2,67	80,00	0,0168	0,05	1,91	5,08	10
S75	3,37	741,82	2,17	80,00	0,0168	0,05	1,91	5,08	10
S76	2,86	628,54	1,56	75,00	0,0168	0,05	1,91	5,08	10
S77	0,87	207,11	1,59	80,00	0,0168	0,05	1,91	5,08	10
S78	1,73	385,38	1,59	80,00	0,0168	0,05	1,91	5,08	10
S79	0,80	608,27	3,25	3,00	0,0240	0,05	1,91	5,08	10
S80	2,71	603,50	0,80	85,00	0,0168	0,05	1,91	5,08	10
S81	2,66	617,13	2,84	80,00	0,0165	0,05	1,91	5,08	10
S82	1,51	528,79	1,19	75,00	0,0168	0,05	1,91	5,08	10
S83	2,43	600,42	0,60	80,00	0,0168	0,05	1,91	5,08	10
S84	2,81	681,14	1,69	80,00	0,0168	0,05	1,91	5,08	10
S85	3,44	730,23	0,42	70,00	0,0168	0,05	1,91	5,08	10
S86	2,78	527,13	2,95	75,00	0,0168	0,05	1,91	5,08	10
S87	2,41	603,48	2,15	75,00	0,0168	0,05	1,91	5,08	10
S88	2,76	725,81	2,62	70,00	0,0168	0,05	1,91	5,08	10
S89	2,27	497,02	1,67	60,00	0,0168	0,05	1,91	5,08	10
S90	2,30	508,78	1,77	80,00	0,0168	0,05	1,91	5,08	10
S91	0,90	516,27	1,39	65,00	0,0204	0,05	1,91	5,08	10
S92	2,40	528,37	1,20	85,00	0,0171	0,05	1,91	5,08	10
S93	2,87	584,86	2,77	40,00	0,0168	0,05	1,91	5,08	10
S94	4,17	1.030,72	0,96	90,00	0,0159	0,05	1,91	5,08	10
S95	2,89	1.026,43	1,24	50,00	0,0168	0,05	1,91	5,08	10
S96	2,93	671,84	0,61	55,00	0,0168	0,05	1,91	5,08	10
S97	2,62	595,87	1,55	80,00	0,0159	0,05	1,91	5,08	10
S98	0,53	322,85	1,44	5,00	0,0240	0,05	1,91	5,08	10
S99	1,14	258,41	1,44	65,00	0,0168	0,05	1,91	5,08	10
S100	2,18	547,01	2,85	5,00	0,0240	0,05	1,91	5,08	10
S101	2,54	555,71	1,59	80,00	0,0168	0,05	1,91	5,08	10
S102	2,50	546,99	3,02	75,00	0,0168	0,05	1,91	5,08	10
S103	1,14	495,01	1,59	95,00	0,0168	0,05	1,91	5,08	10
S104	1,77	507,91	2,19	90,00	0,0168	0,05	1,91	5,08	10
S105	2,20	481,85	1,88	80,00	0,0168	0,05	1,91	5,08	10
S106	2,68	457,17	1,55	90,00	0,0200	0,05	1,91	5,08	10
S107	2,13	471,29	2,24	80,00	0,0174	0,05	1,91	5,08	10
S108	1,65	1.184,47	0,87	95,00	0,0159	0,05	1,91	5,08	10
S109	18,12	1.104,45	1,13	35,00	0,0195	0,05	1,91	5,08	10
S110	26,57	1.270,87	3,73	25,00	0,0162	0,05	1,91	5,08	10
S111	2,86	471,26	1,18	75,00	0,0168	0,05	1,91	5,08	10
S112	2,50	462,86	2,47	90,00	0,0190	0,05	1,91	5,08	10
S113	5,39	754,87	2,82	25,00	0,0198	0,05	1,91	5,08	10
S114	3,30	630,42	1,12	75,00	0,0190	0,05	1,91	5,08	10

S115	2,74	528,71	0,86	80,00	0,0168	0,05	1,91	5,08	10
S116	2,31	434,02	0,69	75,00	0,0171	0,05	1,91	5,08	10
S117	1,80	341,99	1,30	90,00	0,0181	0,05	1,91	5,08	10
S118	19,19	1.056,21	1,22	45,00	0,0181	0,05	1,91	5,08	10
S119	3,66	685,55	2,24	80,00	0,0168	0,05	1,91	5,08	10
S120	3,59	674,37	2,25	50,00	0,0198	0,05	1,91	5,08	10
S121	3,66	688,29	4,04	85,00	0,0171	0,05	1,91	5,08	10
S122	3,35	686,33	2,32	85,00	0,0171	0,05	1,91	5,08	10
S123	2,04	409,01	0,62	85,00	0,0209	0,05	1,91	5,08	10
S124	2,49	435,37	1,87	50,00	0,0168	0,05	1,91	5,08	10
S125	2,21	421,83	1,63	70,00	0,0168	0,05	1,91	5,08	10
S126	1,79	369,81	2,34	95,00	0,0159	0,05	1,91	5,08	10
S127	1,21	390,81	0,53	65,00	0,0159	0,05	1,91	5,08	10
S128	3,74	945,59	1,63	80,00	0,0159	0,05	1,91	5,08	10
S129	3,58	956,48	2,29	90,00	0,0159	0,05	1,91	5,08	10
S130	3,58	960,07	2,02	90,00	0,0159	0,05	1,91	5,08	10
S131	4,22	715,16	0,46	75,00	0,0168	0,05	1,91	5,08	10
S132	1,22	332,93	3,85	85,00	0,0216	0,05	1,91	5,08	10
S133	2,70	441,66	2,22	95,00	0,0180	0,05	1,91	5,08	10
S134	13,42	1.412,00	1,79	60,00	0,0180	0,05	1,91	5,08	10
S135	1,86	607,19	3,41	95,00	0,0194	0,05	1,91	5,08	10
S136	4,45	1.019,77	3,84	85,00	0,0169	0,05	1,91	5,08	10
S137	8,32	839,80	2,93	65,00	0,0168	0,05	1,91	5,08	10
S138	3,16	670,86	2,84	95,00	0,0162	0,05	1,91	5,08	10
S139	12,80	848,11	1,31	15,00	0,0126	0,05	1,91	5,08	10
S140	3,16	670,86	2,02	55,00	0,0168	0,05	1,91	5,08	10
S141	12,80	848,11	3,57	50,00	0,0171	0,05	1,91	5,08	10
S142	5,63	769,17	3,98	70,00	0,0171	0,05	1,91	5,08	10
S143	2,51	678,02	4,26	45,00	0,0156	0,05	1,91	5,08	10
S144	2,37	594,08	4,64	65,00	0,0165	0,05	1,91	5,08	10
S145	5,37	647,91	3,75	85,00	0,0159	0,05	1,91	5,08	10
S146	2,09	689,52	1,98	80,00	0,0159	0,05	1,91	5,08	10
S147	2,11	692,08	2,97	95,00	0,0159	0,05	1,91	5,08	10
S148	1,79	470,06	2,90	85,00	0,0159	0,05	1,91	5,08	10
S149	0,69	179,57	2,50	85,00	0,0159	0,05	1,91	5,08	10
S150	2,70	667,12	1,73	85,00	0,0159	0,05	1,91	5,08	10
S151	2,42	592,92	3,38	85,00	0,0159	0,05	1,91	5,08	10
S152	2,09	513,23	0,66	45,00	0,0180	0,05	1,91	5,08	10
S153	1,75	432,92	1,05	95,00	0,0163	0,05	1,91	5,08	10
S154	0,98	355,08	1,05	35,00	0,0183	0,05	1,91	5,08	10
S155	3,21	665,35	1,52	90,00	0,0165	0,05	1,91	5,08	10

S156	1,89	534,18	1,50	80,00	0,0157	0,05	1,91	5,08	10
S157	1,17	315,71	1,91	60,00	0,0180	0,05	1,91	5,08	10
S158	1,13	304,90	1,92	95,00	0,0159	0,05	1,91	5,08	10
S159	1,63	408,41	1,76	95,00	0,0159	0,05	1,91	5,08	10
S160	2,04	1.003,66	2,20	95,00	0,0159	0,05	1,91	5,08	10
S161	0,89	460,89	2,43	90,00	0,0159	0,05	1,91	5,08	10
S162	0,99	502,17	2,05	95,00	0,0159	0,05	1,91	5,08	10
S163	1,18	530,79	2,05	95,00	0,0159	0,05	1,91	5,08	10
S164	0,40	220,04	2,05	95,00	0,0159	0,05	1,91	5,08	10
S165	0,10	93,84	1,53	90,00	0,0159	0,05	1,91	5,08	10
S166	0,43	222,32	1,40	95,00	0,0159	0,05	1,91	5,08	10
S167	2,32	989,60	2,11	85,00	0,0159	0,05	1,91	5,08	10
S168	0,79	327,31	1,49	95,00	0,0159	0,05	1,91	5,08	10
S169	0,73	264,55	1,74	75,00	0,0159	0,05	1,91	5,08	10
S170	0,51	211,56	1,67	95,00	0,0159	0,05	1,91	5,08	10
S171	0,36	160,50	2,39	95,00	0,0159	0,05	1,91	5,08	10
S172	1,81	803,59	1,27	95,00	0,0159	0,05	1,91	5,08	10
S173	1,16	520,65	1,27	85,00	0,0159	0,05	1,91	5,08	10
S174	0,21	131,82	0,30	85,00	0,0159	0,05	1,91	5,08	10
S175	0,31	245,45	0,46	0,00	0,0250	0,05	1,91	5,08	10
S176	1,82	605,66	0,51	95,00	0,0159	0,05	1,91	5,08	10
S177	1,76	579,81	2,00	90,00	0,0159	0,05	1,91	5,08	10
S178	0,63	385,02	0,81	85,00	0,0159	0,05	1,91	5,08	10
S179	0,86	270,02	2,85	95,00	0,0159	0,05	1,91	5,08	10
S180	1,86	885,04	2,29	95,00	0,0159	0,05	1,91	5,08	10
S181	0,31	149,98	1,06	85,00	0,0159	0,05	1,91	5,08	10
S182	1,58	761,47	0,43	90,00	0,0159	0,05	1,91	5,08	10
S183	2,65	912,39	1,43	90,00	0,0159	0,05	1,91	5,08	10
S184	0,94	411,06	1,86	90,00	0,0159	0,05	1,91	5,08	10
S185	0,77	232,77	1,58	90,00	0,0159	0,05	1,91	5,08	10
S186	1,56	399,26	3,00	75,00	0,0165	0,05	1,91	5,08	10
S187	1,03	297,79	1,17	90,00	0,0240	0,05	1,91	5,08	10

ANEXO B – PRECIPITAÇÃO DIÁRIA

Precipitação diária registrada no posto pluviométrico da Embrapa Algodão localizado na cidade Campina Grande/PB.

ESTAÇÃO - CAMPINA GRANDE/EMBRAPA																
Ano	Mês	d1	d2	d3	d4	d5	d6	d7	d8	d9	d10	d11	d12	d13	d14	d15
2007	1	2.2	0.9	7.4	9.9	3.8	0.0	1.6	0.5	0.0	2.1	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0
2007	2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	23.5	1.3
2007	3	30.1	12.6	0.0	0.0	5.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5	0.5	0.0	0.0	0.0	21.6
2007	4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.3	0.0	5.0	0.5	0.0
2007	5	3.2	1.7	0.0	0.0	0.0	14.4	8.7	9.4	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2007	6	2.4	9.9	4.6	0.0	0.0	0.8	0.0	0.0	2.7	1.8	0.0	15.2	19.2	2.5	0.0
2007	7	0.0	0.0	0.8	0.8	0.0	0.0	0.7	19.2	1.9	4.5	4.2	0.2	1.0	0.2	0.1
2007	8	1.1	13.9	1.5	0.8	2.4	5.8	6.4	0.0	1.1	0.0	5.6	0.9	7.2	10.2	4.0
2007	9	0.0	0.4	0.0	2.1	14.8	28.7	1.4	10.4	0.0	0.7	0.0	0.3	3.1	3.6	12.4
2007	10	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.6	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0
2007	11	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	0.2
2007	12	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.1	0.0	0.0	0.0	0.0	1.6	0.0	0.2
2008	1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.4	1.6	4.6	0.0
2008	2	1.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2008	3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.9	0.0	0.0	2.8	26.3	0.0	0.0
2008	4	0.0	0.0	5.6	0.0	0.0	0.0	6.0	16.5	28.5	0.1	0.0	0.2	0.0	0.2	0.0
2008	5	1.6	9.4	0.1	0.0	0.0	0.4	0.0	14.9	7.0	18.2	8.1	9.9	19.6	1.8	0.8
2008	6	0.0	6.7	0.9	7.4	24.0	5.4	1.9	3.6	10.1	1.7	5.9	0.0	0.0	0.0	1.2
2008	7	44.1	19.3	1.3	0.0	0.1	11.3	0.1	0.2	0.7	5.0	3.5	0.9	3.5	0.0	0.0
2008	8	0.0	7.4	2.7	0.1	1.2	0.0	8.4	37.0	1.7	5.2	0.3	4.0	1.4	0.1	0.0
2008	9	0.0	0.0	2.2	6.0	22.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	1.8	0.0	0.0	0.2	0.0
2008	10	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	0.0	0.0	0.5	0.0	0.0	0.0	0.4	4.5	0.0	0.0
2008	11	0.0	0.0	0.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2008	12	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	0.0	0.0	0.0	3.5	2.1	0.0	0.0
2009	1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2009	2	0.0	0.0	6.9	27.2	21.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	10.1	0.9	0.0
2009	3	0.4	2.4	21.7	4.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2009	4	0.0	0.0	0.2	0.0	0.0	0.0	0.2	1.0	0.1	0.0	0.0	48.2	6.9	10.0	2.8
2009	5	0.0	3.3	0.2	5.3	0.0	6.0	0.0	0.2	0.1	1.1	1.1	0.0	0.3	0.0	0.0
2009	6	0.0	24.0	1.5	0.8	1.0	25.8	0.0	0.0	0.0	1.9	0.1	42.9	0.0	0.0	0.0
2009	7	0.0	3.0	11.9	24.5	14.5	1.8	18.6	4.2	0.0	2.9	8.4	0.0	0.6	2.6	0.0
2009	8	9.1	2.1	1.1	0.7	0.1	16.7	8.8	5.3	0.0	21.9	0.0	0.8	0.0	0.7	3.7
2009	9	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.4	3.8	8.0	0.3	4.4	2.1
2009	10	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2009	11	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4.0	0.1
2009	12	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2010	1	0.0	0.0	1.0	3.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0
2010	2	0.3	0.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	0.0	0.7	2.6	0.0	7.3	0.0	0.0

2010	3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2
2010	4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4.3	4.3	0.0	15.9	5.9	9.8	0.0	0.0	0.0	0.0
2010	5	0.0	0.0	0.0	0.0	8.3	0.0	0.0	0.0	3.2	0.0	0.0	0.0	3.3	8.6	0.0
2010	6	0.0	3.9	0.0	0.0	58.2	0.0	0.0	0.7	0.2	0.3	0.0	0.0	0.0	2.4	1.9
2010	7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	7.9	1.1	6.3	0.6	3.5	0.5	0.0	0.0
2010	8	4.3	0.0	14.4	0.3	1.8	6.5	18.1	0.3	0.0	13.0	0.0	2.4	0.0	0.0	0.0
2010	9	0.3	10.5	0.0	1.2	1.4	0.0	0.5	0.0	0.1	9.9	0.0	0.2	0.2	0.0	16.8
2010	10	0.0	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2010	11	0.0	0.0	0.0	0.0	3.3	0.0	0.2	0.0	0.2	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2010	12	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2011	1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	13.0	0.0	0.0	0.0
2011	2	0.0	2.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.2	79.5	0.5
2011	3	0.1	107.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	2.2	0.0	3.8	0.0	0.0	0.0	0.0
2011	4	0.5	0.0	0.0	0.0	0.9	0.2	0.0	4.9	11.1	0.0	8.6	3.1	5.1	11.3	0.3
2011	5	25.1	3.1	12.0	81.7	54.5	15.5	0.0	0.7	0.4	14.1	14.9	0.0	0.0	0.2	13.6
2011	6	1.3	0.7	2.5	10.1	0.3	0.0	0.0	1.6	0.0	6.9	0.0	11.8	1.3	0.0	0.0
2011	7	0.0	3.6	39.6	2.8	0.2	38.0	2.1	6.3	5.8	3.1	6.6	50.0	7.9	0.9	0.0
2011	8	20.6	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.4	2.0	5.3	0.3	0.0	0.0	0.0	2.0	0.0

ESTAÇÃO - CAMPINA GRANDE/EMBRAPA																	
Ano	Mês	d16	d17	d18	d19	d20	d21	d22	d23	d24	d25	d26	d27	d28	d29	d30	d31
2007	1	0.0	0.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2007	2	0.0	0.0	2.6	0.5	0.0	11.3	21.8	2.1	6.1	0.0	0.3	0.0	0.6			
2007	3	0.3	6.6	2.9	9.3	2.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2007	4	0.0	0.0	0.2	24.2	10.7	22.4	16.5	0.1	0.0	28.0	0.5	0.0	0.0	22.1	7.5	
2007	5	0.0	0.0	0.0	2.2	10.1	0.0	3.5	0.0	6.2	0.0	0.0	2.7	0.0	0.0	0.0	0.0
2007	6	1.7	1.6	0.8	0.5	0.8	1.9	2.6	0.3	1.7	1.9	18.5	5.8	16.7	1.6	0.0	
2007	7	0.1	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	9.0	13.3	2.6	0.0	0.0	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0
2007	8	3.1	3.9	0.2	1.0	5.3	3.8	0.7	0.0	2.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.3	2.2
2007	9	4.1	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
2007	10	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.2
2007	11	0.3	0.0	5.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
2007	12	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2008	1	0.0	30.8	1.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4.2	0.8	0.0	0.4	0.0	0.0	0.0	5.2
2008	2	6.8	2.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0		
2008	3	0.0	0.5	0.3	73.9	17.9	0.9	4.4	2.0	4.8	0.0	64.4	6.9	16.6	0.0	15.2	8.3
2008	4	0.1	0.0	0.0	0.2	0.0	0.0	1.9	1.8	11.9	0.5	0.0	0.0	1.2	1.1	0.0	
2008	5	5.2	6.7	23.5	0.1	0.0	0.0	3.5	0.0	0.0	0.5	4.8	13.8	14.8	0.0	0.3	0.0
2008	6	7.8	10.2	2.2	0.1	3.2	0.1	0.0	0.0	0.2	0.0	0.9	0.0	2.3	2.0	0.0	
2008	7	0.0	5.5	2.9	0.4	0.1	7.6	8.4	0.0	0.0	0.0	0.7	7.7	1.6	0.0	2.9	1.8
2008	8	0.0	2.6	1.5	0.0	0.6	1.7	1.4	0.0	0.0	0.0	0.1	7.2	2.1	0.6	0.0	0.0
2008	9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.4	0.0	
2008	10	4.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2008	11	0.2	0.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
2008	12	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.4	0.0	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2009	1	0.0	31.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	8.2	4.5
2009	2	22.4	0.0	0.0	0.0	4.4	52.3	17.3	39.7	38.0	2.1	1.9	0.0	0.0			

2009	3	0.5	0.0	11.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.4	2.5	0.7	0.0	0.0	0.0	0.0
2009	4	0.1	0.0	0.0	2.3	31.6	0.6	4.9	29.9	0.0	0.0	0.0	2.1	6.7	1.9	0.1	
2009	5	0.0	9.1	3.7	23.1	0.0	4.7	1.2	4.2	0.9	2.1	7.4	9.7	8.4	1.0	0.0	17.8
2009	6	4.0	0.0	0.0	0.0	4.6	0.0	4.2	12.6	0.0	0.5	7.4	0.0	2.4	3.8	0.0	
2009	7	0.4	7.2	1.0	4.2	0.4	0.3	17.8	24.7	0.2	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.2	0.0
2009	8	0.4	0.0	0.0	0.0	4.8	6.2	0.2	0.0	0.0	7.7	47.1	1.1	0.0	0.0	0.0	0.0
2009	9	0.0	0.0	0.0	0.0	1.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	0.0	0.0	
2009	10	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0
2009	11	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	1.2	0.2	0.0	0.0	0.2	0.0	0.3	
2009	12	0.0	1.2	4.9	0.0	0.0	0.0	0.0	10.1	0.0	0.0	2.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2010	1	0.0	0.0	33.8	0.0	5.1	16.0	14.4	0.0	0.7	0.0	0.0	0.3	2.3	0.5	0.0	0.3
2010	2	0.1	1.2	0.0	0.9	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0			
2010	3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	2.7	0.0	0.0	0.0	4.6	0.8	0.0	8.4	0.0	0.0
2010	4	3.1	0.0	42.2	1.3	0.0	0.0	0.0	0.9	0.2	3.5	1.2	2.6	0.2	0.0	0.0	
2010	5	0.0	0.0	3.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2010	6	5.1	28.7	77.6	23.6	0.0	0.0	1.1	7.8	2.6	0.0	3.8	0.3	9.0	6.3	0.0	
2010	7	0.0	2.8	0.5	0.0	0.4	0.2	0.2	6.9	0.0	0.7	2.5	0.0	4.2	0.2	1.8	2.0
2010	8	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	11.9	5.7	1.1	0.1	0.6	0.6	1.7	1.1	1.6	0.3
2010	9	0.0	2.9	0.0	0.0	0.0	1.2	0.0	0.0	1.1	1.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
2010	10	0.0	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	14.6	0.0	0.6	0.0	0.2	0.0	0.4	0.0	0.0
2010	11	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
2010	12	0.5	6.8	14.9	7.7	0.0	4.2	3.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2011	1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.6	0.0	27.6	4.7	0.7	1.2	0.0	1.9	1.8	0.0	1.4
2011	2	0.0	0.0	0.0	0.0	46.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	1.7	7.9	0.0			
2011	3	11.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	10.2	0.0	2.4	0.0	0.0	0.0	0.0
2011	4	0.0	0.0	12.9	29.0	0.0	1.9	3.0	0.4	1.1	1.4	0.0	0.0	0.0	82.1	7.6	
2011	5	0.4	0.0	54.5	0.0	46.4	0.3	0.0	0.1	4.0	0.0	0.9	1.7	0.0	0.6	12.5	4.3
2011	6	0.0	47.6	0.7	5.9	6.1	0.0	7.8	0.3	0.9	0.0	0.0	0.8	0.5	3.0	14.4	
2011	7	23.0	110.1	6.7	0.0	4.5	0.0	0.3	0.0	2.7	0.3	0.0	1.8	4.6	2.2	0.8	7.1
2011	8	0.5	4.7	2.2	0.0	1.7	0.0	0.1	24.7	1.2	0.0	37.0	1.1	0.0	1.1	0.2	0.5

ANEXO C – COMPOSIÇÃO DE CUSTO

Anexo C.1 – Custo por metro para execução de galeria de drenagem pluvial com tubo de concreto, diâmetro interno de 500 mm, com profundidade de 1,50 m.

IMPLANTAÇÃO DE GALERIA DE 500 MM, COM 1,50 M DE PROFUNDIDADE PARA REDE DE DRENAGEM PLUVIAL EM ÁREA URBANA					
CÓDIGO DO SERVIÇO NO SINAP	DESCRIÇÃO DO SERVIÇO	QUANTIDADE	UNIDADE	VALOR UNITÁRIO	VALOR TOTAL
73790/001	Retirada, limpeza e reassentamento de paralelepípedo	1,10	m ²	R\$ 36,27	R\$ 39,90
72915	Escavação mecânica de vala	1,65	m ³	R\$ 9,91	R\$ 16,35
73615	Execução de colchão de areia	0,11	m ³	R\$ 64,67	R\$ 7,11
73879/003	Assentamento de tubo de concreto 500 mm	1,00	m	R\$ 27,29	R\$ 27,29
7714 (Insumo)	Fornecimento de tubo de concreto 500 mm	1,00	m	R\$ 80,46	R\$ 80,46
74015	Reaterro e compactação mecânico de vala	1,35	m ³	R\$ 15,98	R\$ 21,57
CUSTO TOTAL					R\$ 192,69
BDI UTILIZADO: 24,46%					R\$ 47,13
VALOR TOTAL					R\$ 239,82

Anexo C.2 – Custo por metro para execução de galeria de drenagem pluvial com tubo de concreto, diâmetro interno de 750 mm, com profundidade de 1,50 m.

IMPLANTAÇÃO DE GALERIA DE 750 MM, COM 1,50 M DE PROFUNDIDADE PARA REDE DE DRENAGEM PLUVIAL EM ÁREA URBANA					
CÓDIGO DO SERVIÇO NO SINAP	DESCRIÇÃO DO SERVIÇO	QUANTIDADE	UNIDADE	VALOR UNITÁRIO	VALOR TOTAL
73790/001	Retirada, limpeza e reassentamento de paralelepípedo	1,35	m ²	R\$ 36,27	R\$ 48,96
72915	Escavação mecânica de vala	2,03	m ³	R\$ 9,91	R\$ 20,07
73615	Execução de colchão de areia	0,14	m ³	R\$ 64,67	R\$ 8,73
73879/005	Assentamento de tubo de concreto 750 mm	1,00	m	R\$ 51,38	R\$ 51,38
7742 (Insumo)	Fornecimento de tubo de concreto 750 mm	1,00	m	R\$ 154,99	R\$ 154,99
74015	Reaterro e compactação mecânico de vala	1,54	m ³	R\$ 15,98	R\$ 24,61
CUSTO TOTAL					R\$ 308,74
BDI UTILIZADO: 24,46%					R\$ 75,52
VALOR TOTAL					R\$ 384,26