

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO MARANHÃO
CENTRO DE CIÊNCIAS TECNÓLOGICAS
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

RODRIGO SILVA NASCIMENTO

**ESTUDO DE DRENAGEM URBANA APLICANDO O MÉTODO TRADICIONAL E
UM MÉTODO COMPUTACIONAL - PLATAFORMA SWMM
(Área de estudo – Bairro Jardim São Cristóvão, São Luís - MA)**

São Luís/MA
2018

RODRIGO SILVA NASCIMENTO

**ESTUDO DE DRENAGEM URBANA APLICANDO O MÉTODO TRADICIONAL E
UM MÉTODO COMPUTACIONAL - PLATAFORMA SWMM
(Área de estudo – Bairro Jardim São Cristóvão, São Luís - MA)**

Monografia apresentada junto ao Curso de Engenharia Civil da Universidade Estadual do Maranhão para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof.^a Dr.^a Maria Teresinha de Medeiros Coelho.

São Luís/MA

2018

Nascimento, Rodrigo Silva.

Estudo de drenagem urbana aplicando o método tradicional e um método computacional – Plataforma SWMM (área de estudo – bairro Jardim São Cristovão, São Luís – MA) / Rodrigo Silva Nascimento. – São Luís, 2018.

112 f.

Monografia (Graduação) – Curso de Engenharia Civil, Universidade Estadual do Maranhão, 2018.

Orientador: Profa. Dra. Maria Teresinha de Medeiros Coelho.

1. SWIMM. 2. Drenagem urbana. 3. Modelagem computacional.

I. Título.

CDU 626.86:004.42(812.1)

RODRIGO SILVA NASCIMENTO

**ESTUDO DE DRENAGEM URBANA, APLICANDO O MÉTODO
TRADICIONAL E UM MÉTODO COMPUTACIONAL - PLATAFORMA SWMM
(Área de estudo – Bairro Jardim São Cristóvão, São Luís - MA)**

Monografia apresentada junto ao Curso de Engenharia Civil da Universidade Estadual do Maranhão para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Civil.

Aprovada em: 26/06/2018

BANCA EXAMINADORA



Prof. Drª Maria Teresinha Coelho Medeiros (Orientadora)



Prof. Msc. Marivaldo Costa Duarte (1º Examinador)



Prof. Msc. Sergio Roberto Guimarães Pantoja (2º Examinador)

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradecer a Deus pelo dom da vida e por ter me dado saúde e força para superar todos os obstáculos vividos neste período acadêmico.

Agradeço ao meus pais, Astério e Lúcia, por ter sido a base forte para a realização deste sonho. Por ter tido compreensão e ter me dado apoio durante estes anos. Muito obrigado!

Agradeço a toda minha família, especialmente minha Tia Conceição, por ter me ajudado e me amparado das mais diversas formas durante todos estes anos. Que Deus a abençoe!

A minha namorada Lorena, por todos estes anos vividos até aqui. Pelo amor e companheirismo, por estar ao meu lado em todos os momentos sempre me apoiando e incentivando.

Aos meus amigos de curso e futuro colegas de profissão Luciano Araújo, Gabriel Oliveira e João Baptista pela amizade construída durante esses anos, tornando-a menos difícil.

A todos professores que contribuíram para a minha formação, especialmente a minha orientadora Teresinha Coelho pela atenção e pelos grandes ensinamentos passados.

E a todos que me ajudaram de forma direta ou indiretamente, muito obrigado!

RESUMO

O cenário atual de diversas cidades brasileiras mostra o resultado de um processo de urbanização desorganizado que vem se desenvolvendo ao longo das últimas décadas, e que traz consigo grandes problemas que afetam diretamente a qualidade de vida dos habitantes. O impacto decorrente das modificações de uso e cobertura do solo, a partir da implantação de pavimentos, edificações e demais construções ocasiona um aumento de velocidade e volume de água que escoam pela superfície do terreno intensificando as inundações. A função da Drenagem Urbana é analisar e minimizar os riscos que a população pode estar sujeita e diminuir os seus prejuízos. Desta maneira, esse trabalho tem o objetivo de propor um sistema de drenagem na bacia de contribuição da Avenida São Cristóvão, que sofre em períodos chuvosos e causa grandes transtornos quem passa pelo trecho. Além do dimensionamento feito para solucionar os problemas, o estudo tem como proposta analisar o comportamento de fluxo no interior das galerias através de um programa de modelagem computacional, o Storm Water Management Model – SWMM, criado pela US Environmental Protection Agency - EPA. Para isso, foi imprescindível o estudo da bacia de contribuição hidrográfica, assim como seus parâmetros hidrológicos e topográficos, sendo utilizados em ambos os mesmos parâmetros. A partir das metodologias adotadas para os dimensionamentos utilizados conclui-se que o método tradicional atende de forma satisfatória, confirmada através do uso da ferramenta computacional empregada no estudo. Ressalta ainda que, uma das finalidades de utilizar o software neste trabalho foi de analisar o comportamento do sistema de drenagem proposto e ter uma maior segurança de que o sistema sugerido é capaz de resolver os problemas de drenagem na região.

Palavras-chave: Drenagem Urbana. Dimensionamento. Modelagem Computacional. SWMM.

ABSTRACT

The current scenario of several Brazilian cities shows the result of a process of disorganized urbanization that has been developing over the last decades, and which brings with it great problems that directly affect the quality of life of the inhabitants. The impact of changes in land use and cover, from the implementation of pavements, buildings and other constructions, causes an increase in speed and volume of water flowing through the surface of the land, intensifying flooding. The function of Urban Drainage is to analyze and minimize the risks that the population may be subject and to reduce their losses. In this way, this work has the objective of proposing a drainage system in the contribution basin of São Cristóvão Avenue, that suffers in rainy periods and causes great inconveniences who pass through the stretch. In addition to the sizing done to solve the problems, the study aims to analyze the flow behavior inside the galleries through a computer modeling program, Storm Water Management Model - SWMM, created by the US Environmental Protection Agency (EPA). For this, it was essential to study the basin of the hydrographic contribution, as well as its hydrological and topographic parameters, being used in both the same parameters. From the methodologies adopted for the sizing used, it is concluded that the traditional method meets satisfactorily, confirmed through the use of the computational tool used in the study. Considering that one of the purposes of using the software in this work was to analyze the behavior of the proposed drainage system and to have a greater certainty that the suggested system will be able to solve drainage problems in the region.

Keywords: Urban Drainage. Sizing. Computational modeling. SWMM.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

| | |
|---|----|
| Figura 1 – Ciclo Hidrológico | 19 |
| Figura 2 – Mapa das Isozonas no Brasil | 22 |
| Figura 3 – Pluviômetro “Ville de Paris” | 26 |
| Figura 4 – Pluviógrafo Sifão de Fuess | 27 |
| Figura 5 – Representação de uma Bacia Hidrográfica..... | 34 |
| Figura 6 – Representação de guia e sarjeta..... | 38 |
| Figura 7 – Vista e Posicionamento de um sarjetão..... | 38 |
| Figura 8 – Tipos de bocas de lobo | 39 |
| Figura 9 – Representação de um poço de visita | 40 |
| Figura 10 – Instalação de galerias | 40 |
| Figura 11 – Componentes de uma microdrenagem | 41 |
| Figura 12 – Canal Artificial | 43 |
| Figura 13 – Etapas do Plano Diretor de Drenagem..... | 48 |
| Figura 14 – Representação de ocupação ribeirinhas | 49 |
| Figura 15 – Características do balanço hídrico numa bacia urbana..... | 52 |
| Figura 16 – Área de contribuição hidrográfica (Destaque em preto) | 54 |
| Figura 17 – Bacias Hidrográficas de São Luís | 56 |
| Figura 18 – Localização de exutório da área estudada (Destaque em vermelho)..... | 58 |
| Figura 19 – Local de saída da bacia tomada por lixo | 58 |
| Figura 20 – Outra vista do local do exutório da bacia coberto de restos de materiais de construção..... | 58 |
| Figura 21 – Avenida Guajajaras alagada | 49 |
| Figura 22 – Posto de Combustível na Av. Guajajaras alagado | 59 |
| Figura 23 – Boca de lobo danificada | 60 |
| Gráfico 1 – Precipitação média do Posto de São Luís | 63 |
| Gráfico 2 – Média de Precipitação Máxima..... | 64 |
| Gráfico 3 – Números de dia de chuva anual | 64 |
| Gráfico 4 – Curvas de Precipitação – Duração – Frequência | 70 |
| Gráfico 5 – Curvas de Intensidade – Duração – Frequência – IDF | 70 |

| | |
|--|----|
| Figura 24 – Exemplo de um sistema de drenagem no SWMM | 79 |
| Figura 25 – Representação das larguras da sub-bacia..... | 81 |
| Figura 26 – Tipos de seção dos condutos..... | 84 |
| Figura 27 – Esquema gráfico do offset de saída..... | 87 |
| Figura 28 – Bacia de Contribuição desenvolvida no SWMM..... | 91 |
| Figura 29 – Trecho N1-E1 – Avenida Lourenço ao lançamento..... | 91 |
| Figura 30 – Trecho N7-E1 | 93 |
| Figura 31 – Trecho N9-E1 | 93 |
| Figura 32 – Trecho N14-E1 | 94 |
| Figura 33 – Trecho N15-E1 | 95 |
| Figura 34 – Trecho N22-E1 | 95 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|--|-----|
| Tabela 1 – Valores dos parâmetros a , b , c e β para algumas cidades brasileiras | 21 |
| Tabela 2 – Valores do parâmetro α | 21 |
| Tabela 3 – Tabela de Gumbel: Fatores de Frequência “k” | 24 |
| Tabela 4 – Relação entre as precipitações de 24 horas e as de 1 hora e 6 minutos. | 25 |
| Tabela 5 – Períodos de Recorrência | 26 |
| Tabela 6 – Valores do coeficiente “c” por tipo de ocupação..... | 29 |
| Tabela 7 – Valores do coeficiente “c” com base em superfícies | 30 |
| Tabela 8 – Valores do coeficiente de rugosidade Manning..... | 33 |
| Tabela 9 – Causas e efeitos da urbanização sobre a bacia metropolitana | 51 |
| Tabela 10 – Medidas não-estruturais para controle de inundações | 52 |
| Tabela 11 – Posto de São Luís | 62 |
| Tabela 12 – Série Histórica do período de 1986 a 2015 | 65 |
| Tabela 13 – Tabela dos valores Estatísticos | 68 |
| Tabela 14 – Precipitações para 1 dia, 24 horas, 1 hora e 6 minutos..... | 69 |
| Tabela 15 – Intensidades para 6 minutos, 1 hora e 24 horas | 69 |
| Tabela 16 – Anexo I – Dimensionamento das Galerias Pluviais..... | 104 |
| Tabela 17 – Classificação para determinar Boca de Lobo | 74 |
| Tabela 18 – Anexo II - Dimensionamento das Bocas de Lobo..... | 106 |
| Tabela 19 – Solos em capacidade de infiltração | 76 |
| Tabela 20 – Valores de CN | 77 |
| Tabela 21 – Tipos de comportamento para modelagem | 78 |
| Tabela 22 – Parâmetros das Sub-Bacia..... | 82 |
| Tabela 23 – Valores da largura de escoamento..... | 82 |
| Tabela 24 – Parâmetros para rugosidade e armazenamento | 86 |
| Tabela 25 – Resumo das galerias dimensionadas..... | 89 |
| Tabela 26 – Comparativo das capacidades geradas | 96 |

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

ANA – Agência Nacional de Águas

BNH – Banco Nacional de Habitação

CETESB – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo

CN – Curva Número

CONFEA – Conselho Federal de Engenharia e Agronomia

CREA – Conselho Regional de Engenharia e Agronomia

DNIT – Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes

EPA – Environment Protect Agency

IDF – Intensidade-Duração-Frequência

NUGEO – Núcleo Geoambiental

PPDU – Plano Diretor de Drenagem Urbana

SCS – Soil Conservation Service

SIG – Sistema de Informação Geográfica

SWMM – Storm Water Management Model

Tr – Período de Retorno

UEMA – Universidade Estadual do Maranhão

USGS – United States Geological Survey

SUMÁRIO

| | |
|---|-----------|
| 1 INTRODUÇÃO | 14 |
| 1.1 OBJETIVOS | 15 |
| 1.1.1 Objetivo Geral | 15 |
| 1.1.2 Objetivos Específicos | 15 |
| 1.2 JUSTIFICATIVA | 15 |
| 1.3 METODOLOGIA | 16 |
| 2 REFERENCIAL TEÓRICO | 18 |
| 2.1 HIDROLOGIA | 18 |
| 2.1.1 Ciclo Hidrológico | 18 |
| 2.1.2 Precipitação | 19 |
| 2.1.2.1 Precipitação Máxima | 21 |
| 2.1.3 Pluviometria e Medição de Chuva | 25 |
| 2.1.4 Período de Retorno | 28 |
| 2.1.5 Escoamento Superficial | 29 |
| 2.1.6 Tempo de Concentração | 31 |
| 2.1.7 Bacia de Contribuição Hidrográfica | 34 |
| 2.1.8 Métodos de Previsão de Vazão | 35 |
| 2.2 DRENAGEM URBANA | 36 |
| 2.2.1 Microdrenagem | 37 |
| 2.2.2 Macrodrenagem | 42 |
| 2.2.3 Sistema de Drenagem Sustentável | 43 |
| 2.2.4 Planejamento em Drenagem Urbana | 45 |
| 2.2.4.1 Plano Diretor de Drenagem Urbana | 46 |
| 2.3 INUNDAÇÕES URBANAS | 48 |
| 2.3.1 Impactos devido à Urbanização | 49 |

| | |
|--|-----------|
| 2.3.2 Medidas de Controle de Inundações | 51 |
| 3 ÁREA DE ESTUDO | 54 |
| 3.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA..... | 54 |
| 3.1.1 Pedologia | 55 |
| 3.1.2 Hidrologia | 55 |
| 3.1.3 Topografia | 58 |
| 3.2 SISTEMA DE DRENAGEM EXISTENTE | 59 |
| 4 METODOLOGIA | 62 |
| 4.1 TIPO DE PESQUISA..... | 62 |
| 4.2 COLETA E ANÁLISE DE DADOS..... | 62 |
| 4.3 ESTUDOS HIDROLOGICOS | 62 |
| 4.3.1 Coleta de dados | 63 |
| 4.3.2 Determinação da Precipitação Máxima | 64 |
| 4.4 DIMENSIONAMENTO HIDRÁULICO..... | 72 |
| 4.4.1 Dimensionamento das Galerias de Águas Pluviais | 72 |
| 4.4.2 Dimensionamento das Bocas de Lobo | 74 |
| 4.5 APLICAÇÃO DO MODELO SWMM | 75 |
| 4.5.1 Plataforma SWMM | 75 |
| 4.5.2 Método para Infiltração | 77 |
| 4.5.3 Método de Propagação de Deflúvio | 78 |
| 4.5.4 Comportamento de Módulo de Fluxos de Água | 79 |
| 4.5.5 Representação de Acessórios de um Sistema de Drenagem | 80 |
| 4.5.6 Dados de Entrada | 86 |
| 4.5.6.1 Parâmetros Hidrológicos..... | 85 |
| 4.5.6.2 Parâmetro Hidraulicos..... | 86 |
| 4.5.7 Unidades de Medida | 89 |
| 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO | 90 |

| | |
|-------------------------------------|------------|
| 6 CONSIDERAÇÕES FINAIS | 99 |
| REFERÊNCIAS..... | 101 |
| ANEXOS..... | 104 |
| MAPA 1..... | 109 |
| MAPA 2..... | 110 |

1 INTRODUÇÃO

Compreender e caracterizar as bacias hidrográficas torna-se importante, tanto no melhoramento de técnicas de gerenciamento e planejamento de redes de drenagem, quanto na redução de problemas causados por inundações relacionadas ao aumento de áreas impermeabilizadas, assoreamento dos cursos d'água, ocupações irregulares referentes ao intenso crescimento urbano e pela carência de medidas públicas relacionadas ao tema.

De acordo com Tucci e Bertoni (2003), o desenvolvimento urbano altera a cobertura vegetal provocando alterações no ciclo hidrológico natural. Com a impermeabilização do solo, a água que antes infiltrava, passa a escoar pelos condutos, aumentando assim seu escoamento superficial.

Um das soluções mais utilizadas para minimizar os problemas de inundações, é a implantação de um sistema de drenagem eficiente que possa absorver e conduzir de forma satisfatória toda a bacia de contribuição daquela região.

O referido trabalho é voltado para minimizar o impacto causado pela deficiência do sistema de drenagem existente no Bairro Jardim São Cristovão, pertencente ao município de São Luís – MA, no qual está relacionada a problemas decorrentes de inundações e alagamentos, causando grandes transtornos a toda a população local, assim como no próprio município. Diante o exposto, é proposto o dimensionamento de um sistema de drenagem urbana, além da aplicação de um software com a finalidade de simular e verificar o comportamento do sistema de drenagem, o SWMM: (StormWater Management Model), desenvolvido pela Agencia Norte-Americana EPA (*EnvironmentProtectAgency*), com a intuito de obter resultados mais precisos e mais próximos a realidade.

O trabalho está dividido em 6 capítulos, incluindo esta introdução. No primeiro é abordado os objetivos gerais e específicos, a metodologia utilizada para concretização deste trabalho e uma justificativa ou importância do estudo. No segundo capítulo, é apresentada uma fundamentação teórica, focalizando nos conceitos que serão indispensáveis para a compreensão do problema exposto. O terceiro trata de um descritivo da caracterização da bacia em estudo. O quarto capítulo mostra a metodologia empregada no trabalho, explicando como foram adquiridos os dados utilizados para o dimensionamento dos dispositivos de drenagem, aplicando o método tradicional juntamente com a modelagem computacional SWMM. No quinto capítulo

são apresentados os resultados do dimensionamento e a realização da verificação no SWMM com os valores encontrados. Finalmente, no sexto capítulo faz uma consideração geral do trabalho exibido.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo Geral

Realizar um estudo de drenagem urbana, aplicando o método tradicional com o auxílio de um modelo computacional - plataforma SWMM, tendo como estudo de caso o trecho da Avenida Guajajaras, situado no Bairro Jardim São Cristóvão, São Luís – MA.

1.1.2 Objetivos Específicos

- a) Caracterizar e delimitar a bacia de contribuição correspondente ao trecho estudado, a partir de cartografias aerofotogramétricas existentes e fichas cadastrais;
- b) Desenvolver os estudos hidrológicos para a área de estudo;
- c) Realizar o dimensionamento do sistema de drenagem utilizando o método tradicional;
- d) Realizar a verificação e a simulação do dimensionamento tradicional, através de uma modelagem computacional (SWMM);
- e) Analisar os resultados obtidos.

1.2 JUSTIFICATIVA

A abordagem ao tema proposto é de grande importância para se desenvolver um conhecimento técnico a respeito do sistema de drenagem da área do bairro Jardim São Cristóvão, em São Luís - Ma. Com o emprego de incentivos, a sociedade se beneficiaria com a redução de inundações e alagamentos na região e conseqüentemente, de transtornos causados em períodos de chuva; enquanto a comunidade científica se beneficiaria a respeito de tópicos importantes e necessários

para melhor compreensão sobre a importância de um sistema de drenagem bem planejado e desenvolvido.

É inquestionável que o um sistema de drenagem pluvial urbana é o principal meio para diminuir os danos causados pelas chuvas na cidade de São Luís. Com a ausência de um sistema de drenagem adequado, as chuvas podem causar graves danos a população como: alagamentos, aumento de transmissão de doenças e problemas na pavimentação.

Como meio de se obter resultados mais rápidos e precisos em relação aos métodos tradicionais de dimensionamento, os modelos hidrológicos vêm sendo amplamente utilizados nos últimos anos com intuito de proporcionar simulações das redes de galeria com o escoamento superficial possibilitando a simulação de alagamentos, decorrente da sobrecarga nas galerias e bueiros de drenagem.

A área de estudo engloba parte da Avenida Guajajaras que sempre é prejudicada com ocorrências frequentes de alagamentos durante os períodos chuvosos, aliada a um ineficiente sistema de drenagem. Por esse motivo, um estudo abrangente se faz necessário, identificando os parâmetros de escoamento superficial, analisando sua área de contribuição e seus respectivos dados hidrológicos com a finalidade de propor uma adaptação e futuras ações ao sistema de drenagem urbana da área de estudo.

1.3 METODOLOGIA

O presente trabalho define-se como uma pesquisa qualitativo e quantitativo, que irá avaliar os problemas de drenagem pluvial existente na sub bacia da Avenida Guajajaras, correspondente ao bairro Jardim São Cristóvão, em São Luís – MA.

A metodologia tem como primeira etapa uma abordagem bibliográfica para compor o referencial teórico a ser utilizado no desenvolvimento do estudo que é pautado em trabalhos acadêmicos, livros, tutoriais, publicações e artigos onde possa contribuir no aperfeiçoamento do conhecimento em relação as práticas que serão utilizadas para o desenvolvimento do tema em questão. Nessa etapa, também foi realizado a coleta de dados que contemplou de uma análise das plantas planialtimétricas existentes, dados pluviométricos da cidade São Luís, dados hidrológicos e físicos da bacia de contribuição.

A próxima etapa do trabalho foi realizar uma análise do método tradicional de dimensionamento de drenagem urbana, e a aplicação de um modelo computacional de simulação de escoamento de águas pluviais e redes de drenagem (SWMM), com a finalidade de fazer uma verificação que mais se aproxima da realidade e propor uma alternativa de sistema de drenagem que venha a reduzir, ou até mesmo sanar, os danos causados na área em estudo.

Para a análise dos dados pluviométricos e determinação das intensidades de chuva é utilizado o Método das Isozonas do posto pluviométrico de São Luís, de acordo com o método do Jaime Taborga Torrico. Para o dimensionamento clássico da vazão de projeto, será utilizado o Método Racional que irá correlacionar as intensidades das precipitações com as propriedades do escoamento superficial e o dimensionamento da vazão dos dispositivos de drenagem será fundamentado na equação hidráulica de Manning. Para a verificação no modelo computacional no SWMM, é utilizado os elementos encontrados pelo dimensionamento tradicional e os mesmos dados pluviométricos e característicos do posto de São Luís para fazer uma análise dos resultados obtidos através dos métodos aplicados.

Por fim, foram feitas considerações finais a partir dos resultados obtidos da pesquisa proposta.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 HIDROLOGIA

Segundo Collischon e Dorneles (2013), a hidrologia se caracteriza pela ciência que trata a água na Terra, sua ocorrência, circulação, distribuição espacial, suas propriedades físicas e químicas e sua relação com o ambiente, inclusive com os seres vivos.

O estudo da água era uma ciência basicamente descritiva e qualitativa, porém se transformou em uma área de conhecimento onde os métodos quantitativos têm sido explorados através de metodologias matemáticas e estatísticas, melhorando de um lado os resultados e do outro explorando melhor as informações existentes (TUCCI, 1993).

Como a hidrologia está ligada diretamente ao uso da água, ao controle da ação da mesma sobre a população e ao impacto sobre a bacia, os estudos realizados visam o melhor entendimento desses processos e a implantação de um planejamento adequado do uso da bacia hidrográfica.

2.1.1 Ciclo Hidrológico

O comportamento natural da água, quanto as suas ocorrências, transformações e relações com a vida humana é bem caracterizada através do conceito de ciclo hidrológico (VILLELA E MATTOS, 1975).

Denomina-se ciclo hidrológico o processo natural de evaporação, condensação, precipitação, detenção e escoamento superficial, infiltração, percolação da água no solo e nos aquíferos, escoamentos fluviais e interações entre esses componentes (RIGHETTO, 1998).

Para entender melhor o ciclo, pode-se visualiza-lo como tendo início com a evaporação da água dos oceanos. O vapor resultante é transportado pelo movimento das massas de ar. Sob determinadas condições, o vapor é condensado, formando as nuvens que por sua vez podem resultar em precipitação. Esta precipitação que ocorre sobre a terra pode ser dispersa de várias formas. A maior parte fica retida temporariamente no solo próximo onde caiu, que por sua vez, retorna à atmosfera através da evaporação e transpiração das plantas. Uma parte da água que sobra

escoa sobre a superfície do solo ou para os rios, enquanto que a outra parte penetra profundamente no solo, abastecendo o lençol d'água subterrâneo. A Figura 1 demonstra melhor como ocorrem essas relações entre as fases.

Figura 1 - Ciclo Hidrológico



Fonte: <https://water.usgs.gov/edu/watercycleportuguese.html> (Acesso em 18/03/2018)

2.1.2 Precipitação

A precipitação é entendida em hidrologia como toda a água proveniente do meio atmosférico que atinge a superfície terrestre. Neblina, chuva, granizo, saraiva, orvalho, geada e neve são formas diferentes de precipitações. A diferença entre essas precipitações é o estado em que a água se encontra (BERTONI & TUCCI, 1993).

A chuva é a causa mais importante dos processos hidrológicos, de importância da engenharia e se individualiza por uma grande aleatoriedade no tempo e no espaço. Nesse sentido, abranger o mecanismo de formação das chuvas atesta algo significativo.

O processo de formação das chuvas está associado ao movimento ascendente de uma massa de ar úmido. Nesse processo, a temperatura do ar vai diminuindo até que o vapor do ar começa a condensar. Isso acontece porque a quantidade de água que o ar pode conter sem que ocorra condensação é maior para o ar quente do que para o ar frio. Quando esse vapor se condensa, pequenas gotas começam a se formar, permanecendo suspensas no ar por fortes correntes de ar ascendente e pela turbulência. As nuvens são parcelas de ar atmosférico com

pequenas gotas de água ou cristais de gelo mantidos em suspensão pelo fluxo de ar e pela turbulência. Em certas condições, as gotas de nuvem crescem, atingindo tamanho e peso suficiente para vencer as correntes de ar que as sustenta. Nessas condições, a água das nuvens se precipita para a superfície da Terra, na forma de chuva (COLLISCHON E DORNELES, 2013).

2.1.2.1 Precipitação Máxima

Para Zahed Filho e Marcellini (1995), as chuvas cujas intensidades ultrapassam um determinado valor mínimo são definidas como chuvas intensas ou precipitações máximas. Os autores caracterizam a precipitação máxima através das relações intensidade-duração-frequência que são obtidas através de uma série de dados de chuvas intensas, suficientemente longas e representativas do local de interesse.

As chuvas de intensidade-duração-frequência podem ser definidas de acordo com:

a) Método de Otto Pfafstetter

A equação dada por Otto Pfafstetter (1982 apud ZAHED FILHO e MARCELLINI, 1995) que realizou um amplo serviço para diferentes regiões do Brasil, avaliando 98 postos de serviços de meteorologia federal. As chuvas de intensidade-duração-frequência são definidas de acordo com expressão 1:

$$P = K [at + b \log(1 + ct)] \quad (1)$$

Onde:

P = Precipitação máxima provável em mm;

K = Fator de Probabilidade;

t = Duração da precipitação em horas;

a, b, c = Parâmetros específicos para cada posto.

Os valores de a, b, c e β para algumas cidades brasileiras são representadas na Tabela 1.

Para Zahed Filho e Marcellini (1995), o fator R pode ser calculado pela expressão 2:

$$R = T^{(\alpha + \frac{\beta}{\tau^{0,25}})} \quad (2)$$

Onde:

T = Tempo de retorno em anos;

α = Parâmetro que depende da duração de um evento;

β = Parâmetro que depende da duração e fator climático.

A tabela 2 apresenta os valores de α para qualquer local, em função do tempo de duração.

Tabela 1 – Valores dos parâmetros **a**, **b**, **c** e **β** para algumas cidades brasileiras

| LOCAL | a | b | c | β | | | |
|---------------------|-----|----|----|---------|--------|--------|------|
| | | | | 5 min | 15 min | 30 min | >1h |
| Barra do Corda - MA | 0,1 | 28 | 20 | -0,08 | 0,04 | 0,08 | 0,12 |
| Caxias - RS | 0,2 | 33 | 20 | 0,12 | 0,12 | 0,12 | 0,12 |
| São Luís - MA | 0,4 | 42 | 10 | -0,08 | 0,0 | 0,0 | 0,08 |
| Turiçu - MA | 0,6 | 30 | 20 | 0,04 | 0,04 | 0,04 | 0,04 |
| Belo Horizonte - MG | 0,6 | 26 | 20 | 0,12 | 0,12 | 0,012 | 0,04 |
| Natal - (RN) | 0,7 | 23 | 20 | -0,08 | 0,0 | 0,08 | 0,12 |
| Piracicaba - (SP) | 0,3 | 25 | 20 | -0,008 | 0,04 | 0,12 | 0,08 |
| Porto Alegre - RS | 0,4 | 22 | 20 | 0,0 | 0,08 | 0,08 | 0,08 |

Fonte: Pfstetter (1982, apud COELHO, 2015)

Tabela 2 – Valores do parâmetro α

| DURAÇÃO | α |
|------------|----------|
| 5 min | 0,108 |
| 15 min | 0,122 |
| 30 min | 0,138 |
| 1 h | 0,156 |
| 2 h | 0,166 |
| 4 h | 0,174 |
| 8 h | 0,176 |
| 14 h | 0,174 |
| 24 h | 0,170 |
| 48 h | 0,166 |
| 3 α | 0,160 |
| 4 α | 0,156 |
| 6 α | 0,152 |

Fonte: Pfstetter (1982, apud COELHO, 2015)

b) Método das Isozonas

O método das Isozonas baseia-se na observação feita pelo engenheiro José Jaime Torga Torrico que ao desenhar, em um papel de Hershfield e Wilson, as precipitações 24 horas e 1 hora de diferentes estações pluviográficas do Brasil, constatou que se prolongando as respectivas retas de altura de precipitação/duração,

estas tendem a cortar o eixo das abscissas em um mesmo ponto, para determinadas áreas geográficas. Cada região que apresentava esta característica era classificada como uma Isozona (TORRICO, 1974).

Segundo Torrico (1974) esta tendência significa que, em cada área homóloga, a relação entre as precipitações de 1 a 24 horas, para um mesmo tempo de recorrência, é constante e independe das alturas de precipitações.

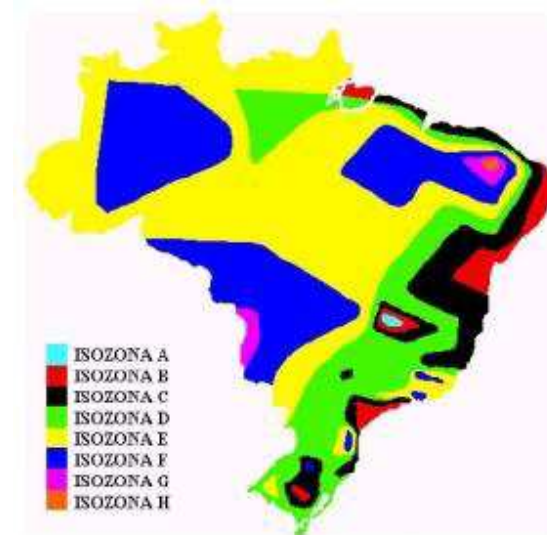
O mapa do Brasil possui 08 Isozonas (Figura 2) intituladas em A, B, C, D, E, F, G e H. Para Torrico (1975) possuem as seguintes características:

As Isozonas B e C tipificam a zona de influência marítima, com coeficiente de intensidade suaves.

As Isozonas D tipificam as zonas de transição (entre continental e marítima) e se prolonga, caracterizando a zona de influência do Rio Amazonas. Tipificam a zona da caatinga nordestina. Com coeficientes de intensidade muito altos.

A zona A coincide com a zona de maior precipitação anual do Brasil, com coeficientes de intensidade baixos.

Figura 2 - Mapa das Isozonas no Brasil



Fonte: Mapa de Isozonas de igual relação (SIMÕES, 2003)

Com este método é possível estimar precipitações com durações inferiores a 24 horas conforme as relações contidas na Tabela 4, que variam de acordo com o tempo de retorno e o tipo de isozone.

Para correlacionar as precipitações nas estações pluviométricas com as isozonas, deduzidas das estações pluviográficas, determinou-se a relação de 24

horas/1 dia, para o tempo de recorrência base de um ano. O coeficiente de conversão de uma chuva de 1 dia para 24 horas é de 1,095 e um desvio padrão de $\pm 6,6\%$ (TORRICO, 1975).

O procedimento do método desenvolvido pelo autor será exposto a seguir:

- a) Compilam-se os dados das máximas chuvas diárias, para cada ano, dos postos pluviométricos da região a ser estudada.
- b) Calcula-se para cada posto, a chuva de um dia, no tempo de recorrência previsto, para este cálculo utiliza-se de métodos estatísticos. A análise estatística do trabalho foi feita aplicando-se o método de Chow-Gumbel.
- c) Determina-se a média ponderada e o desvio padrão das máximas chuvas diárias de cada posto, para o tempo de recorrência previsto, utilizando as expressões 3 e 4, respectivamente:

$$P_{med} = \frac{\sum_i^m P_i}{m} \quad (3)$$

Onde:

P_{med} = Precipitação média das precipitações máximas durante o período observado (mm);

P_i = Precipitação máxima, de ordem i até a ordem n , em mm;

m = Número total de observações.

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_i^m (P_i - P_{med})^2}{m-1}} \quad (4)$$

Onde:

σ = Desvio Padrão das amostras;

E a probabilidade deste evento ocorrer é expressa pela expressão 5:

$$Tr = \frac{1}{f} \quad (5)$$

Onde:

Tr = Tempo de recorrência (probabilidade de ocorrência de um evento);

F = Frequência de ocorrência do evento, definido pela expressão 6:

$$F = \frac{n}{m+1} \quad (6)$$

Onde:

n = Número de ordem de cada precipitação;

m = Número total de anos observados.

Para determinação das precipitações para chuvas de 1 dia de duração, foi utilizada a expressão 7 de Ven Te Chow.

$$P = P_{med} + \sigma k \quad (7)$$

Onde:

P = Precipitação máxima diária, dada em mm;

P_{med} = Precipitação média, dada em mm;

σ = Desvio Padrão das amostras;

k = Fator de frequência do número de anos de observação, em função do tempo de recorrência. Os valores de k são obtidos na Tabela 3.

Tabela 3 – Tabela de Gumbel: Fatores de Frequência “k”

| TABELA DE GUMBEL - FATORES DE FREQUÊNCIA (k) | | | | | | |
|--|----------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| n/Tr | PERIODO DE RECORRÊNCIA (Tr anos) | | | | | |
| | 5 | 10 | 15 | 25 | 50 | 100 |
| 10 | 1,058 | 1,848 | 2,289 | 2,847 | 3,588 | 4,323 |
| 11 | 1,034 | 1,809 | 2,242 | 2,789 | 3,516 | 4,238 |
| 12 | 1,013 | 1,777 | 2,202 | 2,741 | 3,456 | 4,166 |
| 13 | 0,996 | 1,748 | 2,166 | 2,669 | 3,405 | 4,105 |
| 14 | 0,981 | 1,721 | 2,138 | 2,663 | 3,360 | 4,052 |
| 15 | 0,967 | 1,703 | 2,112 | 2,632 | 3,321 | 4,005 |
| 16 | 0,955 | 1,682 | 2,087 | 2,601 | 3,283 | 3,959 |
| 17 | 0,943 | 1,664 | 2,066 | 2,575 | 3,250 | 3,921 |
| 18 | 0,934 | 1,649 | 2,047 | 2,552 | 3,223 | 3,888 |
| 19 | 0,926 | 1,636 | 2,032 | 2,533 | 3,199 | 3,860 |
| 20 | 0,919 | 1,625 | 2,018 | 2,517 | 3,179 | 3,836 |
| 21 | 0,911 | 1,613 | 2,004 | 2,500 | 3,157 | 3,810 |
| 22 | 0,905 | 1,603 | 1,992 | 2,484 | 3,138 | 3,787 |
| 23 | 0,899 | 1,593 | 1,980 | 2,470 | 3,121 | 3,766 |
| 24 | 0,893 | 1,584 | 1,969 | 2,457 | 3,104 | 3,747 |
| 25 | 0,888 | 1,575 | 1,958 | 2,444 | 3,088 | 3,729 |
| 26 | 0,883 | 1,568 | 1,949 | 2,432 | 3,074 | 3,711 |
| 27 | 0,879 | 1,560 | 1,941 | 2,422 | 3,061 | 3,696 |
| 28 | 0,874 | 1,553 | 1,932 | 2,412 | 3,048 | 3,681 |
| 29 | 0,870 | 1,547 | 1,924 | 2,402 | 3,037 | 3,667 |
| 30 | 0,866 | 1,541 | 1,917 | 2,393 | 3,026 | 3,653 |
| 31 | 0,863 | 1,535 | 1,910 | 2,385 | 3,015 | 3,641 |
| 32 | 0,860 | 1,530 | 1,904 | 2,377 | 3,005 | 3,629 |
| 33 | 0,856 | 1,525 | 1,897 | 2,369 | 2,996 | 3,618 |
| 34 | 0,853 | 1,520 | 1,892 | 2,362 | 2,987 | 3,608 |
| 35 | 0,851 | 1,516 | 1,886 | 2,354 | 2,979 | 3,598 |

Fonte: DNIT (2005)

Converte-se a chuva de 1 dia para 24 horas, pelo coeficiente de 1,095. Logo em seguida, determina-se na Figura 2, a Isozona correspondente à área de estudo. Com o valor da chuva de 24 horas e os percentuais designados de cada Isozonas (Tabela 4) multiplicam-se esses percentuais pelo valor da chuva diária e obtêm-se as precipitações para 1 hora e 6 minutos.

Tabela 4 – Relação entre as precipitações de 24 horas e as de 1 hora e 6 minutos

| ISOZONA | TEMPO DE RECORRÊNCIA EM ANOS | | | | | | | | | | | |
|---------|------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|------------|------|
| | 1 hora/ 24 horas | | | | | | | | | | 6 min/ 24h | |
| | 5 | 10 | 15 | 20 | 25 | 30 | 50 | 100 | 1000 | 10000 | 5 | 100 |
| A | 36,2 | 35,8 | 35,6 | 35,5 | 35,4 | 35,3 | 35,0 | 34,7 | 33,6 | 32,5 | 6,3 | 7,0 |
| B | 38,1 | 37,8 | 37,5 | 37,4 | 37,3 | 37,2 | 36,9 | 36,6 | 35,4 | 34,3 | 7,5 | 8,4 |
| C | 40,1 | 39,7 | 39,5 | 39,3 | 39,2 | 39,1 | 38,8 | 38,4 | 37,2 | 36,0 | 8,8 | 9,8 |
| D | 42,0 | 41,6 | 41,4 | 41,2 | 41,1 | 41,0 | 40,7 | 40,3 | 39,0 | 37,8 | 10,0 | 11,2 |
| E | 44,0 | 43,6 | 43,3 | 43,2 | 43,0 | 42,9 | 42,6 | 42,2 | 40,9 | 39,6 | 11,2 | 10,0 |
| F | 46,0 | 45,6 | 45,3 | 45,1 | 44,9 | 44,8 | 44,5 | 44,1 | 42,7 | 41,3 | 12,4 | 12,4 |
| G | 47,9 | 47,4 | 47,2 | 47,0 | 46,8 | 46,7 | 46,4 | 45,9 | 44,5 | 43,1 | 13,7 | 13,7 |
| H | 49,9 | 49,4 | 49,1 | 48,9 | 48,8 | 48,6 | 48,3 | 47,8 | 46,3 | 44,8 | 14,9 | 14,9 |

Fonte: DNIT (2005)

2.1.3 Pluviometria e Medição de Chuva

O índice pluviométrico está associado com a quantidade de chuva por metro quadrado em determinada localidade, num determinado período, sendo este calculado em milímetros. Para avaliar-se esse índice são utilizados equipamentos como os pluviômetros e pluviógrafos, consistindo em o primeiro de maior uso devido a facilidade de sua instalação e manutenção.

Paz (2004) caracteriza uma precipitação, no caso chuva, pelas seguintes grandezas:

- Altura Pluviométrica (P): representa a espessura média de lâmina de água precipitada, sendo geralmente adotada como unidade o milímetro (mm); significa a espessura da lâmina de água que recobria toda a região, supondo-se que não houvesse infiltração, evaporação nem escoamento para fora da região;
- Duração (t): representa o período de tempo durante o qual ocorreu a precipitação; geralmente se utilizam horas (h) ou minutos (min) como unidade;

- c) Intensidade (i): fazendo-se a relação da lâmina de água precipitada com o intervalo de tempo transcorrido, obtém-se a intensidade dessa precipitação, geralmente em mm/h ou mm/min. A intensidade é obtida pela expressão 8:

$$i = \frac{P}{t} \quad (8)$$

Onde:

i = Intensidade em mm/h;

P = Precipitação, em mm;

t = Tempo, em horas.

- d) Tempo de recorrência (Tr): representa o número médio de anos durante o qual se espera que uma determinada precipitação seja igualada ou superada; por exemplo, ao se dizer que o tempo de recorrência de uma precipitação é de 10 anos, tem-se que, em média, deve-se esperar 10 anos para que tal precipitação seja igualada ou superada.

Os pluviômetros funcionam a partir da leitura da altura total de água precipitada, em outras palavras, faz a leitura da lâmina de água acumulada ao longo de toda a precipitação. A figura 3 ilustra um modelo de pluviômetro, do tipo “Ville de Paris”, que possui uma área de captação de 400 cm².

Figura 3 - Pluviômetro "Ville de Paris"



Fonte: <http://www.efecade.com.br/pluviometro> (Acesso em 22/03/2018)

As leituras feitas pelo observador do pluviômetro, normalmente em intervalos de 24 horas, em provetas graduadas, são anotadas em cadernetas próprias que são enviadas a agência responsável pela rede pluviométrica, todo fim de mês. Elas se referem quase sempre ao total precipitado das 7 horas da manhã do dia anterior até às 7 horas do dia em que se fez a leitura (HOLTZ, 2014).

O outro instrumento utilizado para registrar a precipitação, o pluviógrafo, difere do pluviômetro basicamente por possuir um mecanismo de registro automático da precipitação, gerando informações mais discretizadas no tempo, isto é, informações em intervalos de tempos menores. Os pluviógrafos atuais, armazenam as informações em meio magnético ou enviam em tempo real por sistema de transmissão remoto de dados.

O pluviógrafo permite ter informações mais detalhadas ao longo do tempo, além de uma maior precisão também. Outra grande vantagem é não necessitar da visita diária de um operador, cuja visita fica restrita à troca de papel ou para descarregar os dados em um computador portátil, em períodos como 15 dias ou um mês. Um dos modelos mais utilizados no Brasil é o sifão de fabricação Fuess. A figura 04 ilustra o modelo do pluviógrafo.

Figura 4 - Pluviógrafo Sifão de Fuess



Fonte: <http://estacaometeorologicafctunesp.blogspot.com/2011/06/pluviografo.html> (Acesso em 22/03/2018)

2.1.4 Período de Retorno

Segundo Tomaz (2010), período de retorno é o tempo médio que um determinado evento hidrológico é igualado ou superado pelo menos uma vez. “É um parâmetro fundamental para a avaliação e projeto de sistemas hídricos, como reservatórios, canais, vertedouros, bueiros, galerias de águas pluviais, etc.”

Para Villela e Mattos (1975), o conhecimento das características das precipitações é de grande interesse de ordem técnica para aplicação de projetos de drenagem. Nos projetos dos vertedores de barragens, no dimensionamento de canais, na definição das obras de desvio de curso d’água, na determinação das definições de galerias de águas pluviais, no cálculo de bueiros, deve-se conhecer a magnitude das enchentes que poderiam ocorrer com uma determinada frequência.

Ainda segundo Tomaz (2010), ao se estabelecer, o período de retorno para uma determinada obra hidrológica é recomendado: bom senso, análise do(s) custo(s) da(s) obra(s) e os prejuízos finais. Nesse aspecto, fica evidente que tal parâmetro deve ser corretamente escolhido para não ocasionar perdas materiais, ao longo da vida útil do sistema hidráulico a projetar. Na tabela 5 apresenta os períodos de retornos utilizados de acordo com o tipo de obra.

Tabela 5 – Períodos de Recorrência

| TIPO DE OBRA | T (anos) |
|-----------------------------|-----------------|
| Drenagem Superficial | |
| Estrada de 1ª Classe | 10,0 |
| Estrada Vicinal | 5,0 |
| Drenagem Urbana | |
| Microdrenagem | 15,0 |
| Macrodrenagem | 25,0 |
| Bueiros Tubulares | |
| Trabalhando como Canal | 15,0 |
| Trabalhando como Orifício | 25,0 |
| Bueiros Celulares | |
| Trabalhando como Canal | 25,0 |
| Trabalhando como Orifício | 50,0 |
| Pontes | |
| Estrada de Primeira Classe | 100,0 |
| Estrada Vicinal | 50,0 |
| Barragens | 1000/5000 |

Fonte: DNIT (2005)

Para a definição teórico de risco de ruptura de uma obra, utiliza-se a expressão 9 que pode ser deduzida da teoria das probabilidades e está tabelada para os valores mais usuais de período de retorno e vida útil das obras. (PORTO, 1995)

$$R = 100 \times \left[1 - \left(1 - \frac{1}{T} \right)^N \right] \quad (9)$$

Onde:

R = Risco em porcentagem;

T = Período de retorno em anos;

N = Vida útil da obra em anos.

2.1.5 Escoamento Superficial

Segundo Paz (2004), esclarece que uma das etapas do ciclo hidrológico compreende o escoamento superficial, cuja principal origem é a precipitação. Notadamente, dentre as várias formas de precipitação (granizo, neve, chuva, etc) ao se estudar o escoamento superficial o maior interesse e praticamente o único se resume à chuva, pela própria capacidade de gerar escoamento superficial.

Nesse sentido, é substancial conhecer tal evento, dado sua relevância no tratamento, sobretudo, dos problemas de inundações. Ainda de acordo com Barbosa Junior (2000), os principais fatores que influenciam diretamente no escoamento superficial são de natureza climática (relacionados à precipitação), fisiográficos (determinados pelo relevo da bacia) e decorrentes da ação antrópica (uso do solo e obras hidráulicas realizadas no rio e no seu entorno).

Nas tabelas 6 e 7 são apresentados valores existentes do coeficiente de escoamento superficial em função da ocupação do solo e com base em superfícies, os valores de C são recomendados para períodos de retorno da ordem de 5 a 10 anos.

Tabela 6 – Valores do coeficiente “c” por tipo de ocupação.

| DESCRIÇÃO DAS ÁREAS DAS BACIAS TRIBUTÁRIAS | Coefficientes de Deflúvio "c" |
|---|-------------------------------------|
| Comércio: | |
| Áreas Centrais | 0,7 a 0,95 |
| Áreas da periferia do centro | 0,50 a 0,70 |

(Continuação)

| Residencial: | |
|--|-------------|
| Áreas de uma única família | 0,30 a 0,50 |
| Multi-unidades, isoladas | 0,40 a 0,60 |
| Multi-unidades, ligadas | 0,60 a 0,75 |
| Residencial (suburbana) | 0,25 a 0,40 |
| Área de apartamentos | 0,50 a 0,70 |
| Industrial: | |
| Áreas leves | 0,50 a 0,80 |
| Áreas densas | 0,60 a 0,90 |
| Parques, cemitérios | 0,10 a 0,25 |
| Playgrounds | 0,20 a 0,35 |
| Pátio e espaço de serviços de estrada de ferro | 0,20 a 0,40 |
| Terrenos baldios | 0,10 a 0,30 |

Fonte: DNIT (2006)

Tabela 7 – Valores do coeficiente “c” com base em superfícies.

| TIPO DE SUPERFÍCIE | Coeficientes de Deflúvio "c" |
|---|------------------------------------|
| ÁREAS RURAIS: | |
| Revestimentos asfáltico | 0,90 |
| Revestimento de concreto armado | 0,80 a 0,90 |
| Revestimento de macadame asfáltico | 0,60 a 0,80 |
| Acostamento ou Estradas com Pedregulho | 0,40 a 0,60 |
| Terras sem revestimento | 0,20 a 0,90 |
| Áreas Gramadas com Declive (2:1) | 0,50 a 0,70 |
| Prados | 0,10 a 0,40 |
| Áreas com Matas | 0,10 a 0,30 |
| Campos Cultivados | 0,20 a 0,40 |
| ARÉAS URBANAS | |
| Zona Residencial mais ou menos plana com cerca de 30% de área impermeável | 0,40 |
| Zona Residencial mais ou menos plana com cerca de 60% de área impermeável | 0,55 |
| Zona Residencial mais ou menos plana com cerca de 50% de área impermeável | 0,65 |
| Zona Residencial mais ou menos plana com cerca de 70% de área impermeável | 0,80 |
| Zona Comercial com cerca de 90% de área impermeável | 0,80 |

Fonte: Coelho (2011)

Às vezes é conveniente obter o coeficiente de escoamento superficial de uma bacia pela média ponderada entre os coeficientes das diferentes superfícies que a compõem, sendo os pesos proporcionais às áreas dessas superfícies (DNIT, 2005).

2.1.6 Tempo de Concentração

O tempo de concentração de uma bacia hidrográfica é definido pelo tempo de percurso em que o deflúvio leva para atingir o curso principal desde os pontos mais longínquos até o local onde se deseja definir a descarga. Esse tempo caracteriza a forma do hidrograma unitário, sendo ainda definido pelo intervalo de tempo entre o início da precipitação e o instante em que todos os pontos da bacia estão contribuindo para a vazão e conseqüentemente é um fator importante na conformação e na descarga máxima da enchente de projeto (DNIT 2005).

Existem numerosas formulas que são empregadas no cálculo do tempo de concentração das bacias hidrográficas em função de algumas características da bacia, como comprimento (L) do curso principal, do desnível total (H) e eventualmente da área (A), ou de parâmetros escolhidos.

a) California Highways and Public Works (Equação 10):

- Para bacias com $A \leq 80$ ha:

$$tc = 57 x \left(\frac{L^3}{H}\right)^{0,385} \quad (10)$$

- Para bacias com $A \geq 80$ h (Equação 11)

$$tc = 85,2 x \left(\frac{L^3}{H}\right)^{0,385} \quad (11)$$

Onde:

tc – Minutos;

L – Comprimento do talvegue principal, em quilômetros (km);

H – Diferença de nível entre o ponto mais alto da bacia e a seção onde se localiza a obra em estudo, em metros (m).

b) Ven Te Chow (Equação 12):

$$tc = 25,2 x \left(\frac{L}{\sqrt{I}}\right)^{0,64} \quad (12)$$

Onde:

tc – Minutos;

L – Comprimento do talvegue principal, em quilômetros (km);

I – Declividade média em percentagem (%).

c) Kirpich (Equação 13):

$$tc = 0,115 x \left(\frac{L}{\sqrt{S}}\right)^{0,77} \quad (13)$$

Onde:

t_c – Minutos;

L – Comprimento do talvegue principal, em quilômetros (km);

S – Declividade média da bacia em percentagem (%).

No entanto, de acordo com Coelho (2015), para bacias urbanas, deve ser levado em consideração o tempo de percurso do fluido no sistema de drenagem somando ao tempo de entrada, por isso não se aplica diretamente as equações de Kirpich. Dessa forma, aplica-se a fórmula da chamada Onda Cinemática, expressada pela equação 14.

$$tc = te + tp \quad (14)$$

Onde:

t_c – tempo de concentração;

t_e – tempo de entrada, em min;

t_p – tempo de percurso, em min.

O tempo t_e corresponde a um escoamento sobre superfícies e pode ser estimado pela expressão 15:

$$te = \frac{0,65 (1,1-C)xL^{\frac{1}{2}}}{S^{1/3}} \quad (15)$$

Onde:

t_e – tempo de escoamento em superfície, em min;

C – Coeficiente de escoamento superficial;

L – Comprimento do escoamento em metros (máximo 150 m);

S – Declividade média da bacia, em percentagem (%)

De acordo com Silva (2015), o tempo de percurso depende da velocidade de escoamento no sistema de drenagem e do comprimento dos condutos que desemboca no exutório, sendo calculado pela expressão 16.

$$tp = \frac{L}{60V} \quad (16)$$

Onde:

t_p – Tempo de percurso, em min;

L – Comprimento do conduto no sistema, em m;

V – Velocidade do escoamento no conduto, em m/s.

A velocidade do escoamento no conduto é determinada a partir da equação

17.

$$V = \frac{1}{n} \cdot S^{\frac{1}{2}} \cdot Rh^{\frac{2}{3}} \quad (17)$$

Onde:

V – Velocidade do escoamento no conduto, em m/s;

n – coeficiente de rugosidade de Manning, obtidos na Tabela 8;

S – Declividade longitudinal de fundo do canal (m/m);

Rh – Raio hidráulico do canal (m/m)

Tabela 8 – Valores dos coeficientes de rugosidade Manning

| Cobertura Vegetal | Valores de Manning (n) |
|---|-------------------------------|
| Tubo de Concreto | 0,011 - 0,013 |
| Concreto, acabamento com colher | 0,012 - 0,014 |
| Sarjeta de concreto, acabamento de colher | 0,012 |
| Concreto com superfície conformada, sem acabamento | 0,013 - 0,017 |
| Sarjeta em concreto com pavimento asfáltico | 0,013 - 0,015 |
| Pavimento em concreto | 0,014 - 0,016 |
| Tubo de cerâmica vitrificada | 0,015 |
| Terra, seção uniforme e estabilizada, limpa | 0,018 - 0,020 |
| Terra, seção uniforme, com grama curta, pouca vegetação | 0,020 - 0,027 |
| Terra, seção bem uniforme, sem vegetação | 0,022 - 0,025 |
| Terra, seção bem uniforme, paredes limpas, fundo com seixo | 0,030 - 0,040 |
| Rocha lisa e uniforme | 0,035 - 0,040 |
| Rocha áspera e irregular | 0,040 - 0,045 |
| Canais não conservados, fundo limpo, plantas nas paredes | 0,05 - 0,08 |
| Canais com vegetação, boa conservação, qualquer grama | 0,07 - 0,30 |
| Canais não conservados, plantas em quantidade, altura elevada | 0,10 - 0,14 |
| Revestimento em grama | 0,025 |

Fonte: Coelho (2015)

Para os dispositivos de drenagem m são recomendados os seguintes tempos de duração: (COELHO, 2015)

- a) Dimensionamento de Sarjeta: $t_c = 5$ min;
- b) Dimensionamento de Valetas e Canais: $t_c = 10$ min;
- c) Dimensionamento de Bueiros: $t_c =$ calculado.

2.1.7 Bacia de Contribuição Hidrográfica

Segundo Silveira (2007, apud Sousa 2016), bacia de contribuição hidrográfica é uma área de captação natural da água de precipitação que faz convergir os escoamentos para um único ponto de saída que é chamado de exutório, em outras palavras, a função hidrológica de uma bacia hidrográfica é o de transformar uma entrada de volume concentrada no tempo (precipitação) em uma saída de água (escoamento) de forma mais distribuída no tempo.

A figura 05 ilustra um exemplo de bacia hidrográfica.

Figura 5 - Representação de uma Bacia Hidrográfica



Fonte: <http://qgisbrasil.org> (Acesso em 23/03/18)

De acordo com Silva (2015), em uma pequena bacia de drenagem, que são as de grande ocorrência na maioria das áreas urbanas, os caudais são influenciados, sobretudo, pelas condições climáticas, físicas e pela cobertura sobre a qual o ser humano tem algum tipo de controle. No estudo de uma bacia, devemos atentar ainda,

para suas características físicas, ou seja, área, declividade média do curso d'água, comprimento do talvegue principal, característica da cobertura vegetal e uso da terra.

No que diz respeito a bacias urbanas, Tucci e Bertoni (2007), classificam-nas da seguinte maneira:

- a) Bacias de pequeno porte: São aquelas que possuem uma área de drenagem inferior a $2,5 \text{ km}^2$ ou tempo de concentração menor que 1 hora;
- b) Bacias de médio porte: Possuem área de drenagem superior a $2,5 \text{ km}^2$ e inferior a 1.000 km^2 , ou tempo de concentração entre 1h e 12h ($1\text{h} < t_c < 12\text{h}$)
- c) Bacias de grande porte: Possui uma área de drenagem maior ou igual a 1.000 km^2 ou tempo de concentração maior ou igual a 12 horas.

2.1.8 Métodos de Previsão de Vazão

De acordo com Coelho (2015), o dimensionamento de uma estrutura de drenagem é inerente ao conhecimento de suas vazões máximas previstas. Esta vazão máxima, por sua vez, pode ser obtida com base na precipitação, através de métodos que representam os principais processos da transformação da precipitação em vazão. Dentre os diversos métodos para o cálculo de vazão, têm-se o Método Racional (TUCCI, 2007).

O método Racional é utilizado para o dimensionamento das redes de drenagem urbana dada sua simplicidade, uma vez que engloba todos os processos em apenas um coeficiente “Coeficiente de Escoamento (c)”. No entanto, não devem ser aplicados em bacias com área superior a 2 km^2 .

Os princípios dessa metodologia são:

- a) Deve-se considerar a duração da precipitação intensa de projeto igual ao tempo de concentração da bacia. Ao considerar esta igualdade admite-se que a bacia é suficientemente pequena para que esta situação ocorra, pois, a duração é inversamente à intensidade. Em bacias pequenas, as condições mais críticas ocorrem devido às precipitações convectivas que possuem pequena duração e grande intensidade.

b) Adotar um coeficiente único de perdas (coeficiente de escoamento), estimado com base nas características da bacia.

c) Não avalia o volume de cheia e a distribuição temporal das vazões.

A equação 18 determina a vazão pelo método racional:

$$Q = \frac{c.I.A}{6} \quad (18)$$

Onde:

Q = vazão, em m³/s;

C = Coeficiente do escoamento superficial;

I = Intensidade média da precipitação sobre toda a área drenada em mm/min;

A = área a ser drenada em hectares (ha).

Este será o método utilizado para o dimensionamento da vazão de projeto deste trabalho, devido a sua empregabilidade em pequenas bacias.

2.2 DRENAGEM URBANA

Segundo De Bonis (2005, apud Coelho 2011), drenagem é o termo que se dá à disposição natural de canais ou instalações destinadas a escoar a água em excesso de uma região, em outras palavras, significa a remoção das águas pluviais, superficial ou subterrânea, de uma determinada área.

O aumento da população, principalmente em polos regionais de crescimento e a expansão irregular da periferia tem produzido impactos significativos na infraestrutura de recursos hídricos. E um dos principais impactos que tem ocorrido na drenagem urbana é a forma de aumento da frequência e magnitude das inundações e conseqüentemente a degradação ambiental.

De acordo com Vaz (2004), a antiga visão de drenagem urbana tinha como princípios: remover as águas pluviais para jusante e executar projetos e obras, como medida estrutural para resolver os problemas e a base de análise era somente econômica. Já a visão moderna busca a compreensão integrada do meio ambiente: social, legal, institucional e tecnológica, visando resolver os problemas gerenciais através de componentes políticos.

Os principais efeitos da urbanização sobre a vazão máxima são:

- a) Pico da vazão da água em uma bacia impermeabilizada é 6 vezes maior.
- b) A cobertura vegetal da área urbana influencia diretamente na vazão, a partir da chuva.
- c) As precipitações críticas são mais intensas e frequentes.
- d) No início da chuva é que ocorre o maior pico de poluição.

Para Tavares et al. (2015), o sistema tradicional de drenagem urbana pode ser caracterizado em dois sistemas distintos, porém interligados, que devem ser planejados a partir de critérios diferenciados, sendo estes, a microdrenagem e a macrodrenagem.

2.2.1 Microdrenagem

A microdrenagem é definida pelo sistema de condutos pluviais ou canais em nível de loteamento ou de rede primária urbana. Esse tipo de sistema de drenagem é projetado para atender à drenagem de precipitações com risco moderado (TUCCI, 2005).

A principal função do sistema de microdrenagem é coletar e conduzir a água pluvial até o sistema de macrodrenagem, além de retirar a água pluvial dos pavimentos das vias públicas, evitar alagamentos, oferecer segurança aos pedestres e motoristas e evitar ou reduzir danos.

Compõem o sistema de microdrenagem as guias, as sarjetas, os sarjetões, as bocas de lobo, os poços de visita, as galerias, os tubos de ligação, os trechos da galeria, as caixas de ligação e os condutos forçados. Existem algumas soluções alternativas visando a redução dos impactos da urbanização sobre o comportamento hidrológico das bacias que são os reservatórios domiciliares de águas pluviais, as trincheiras de infiltração, os valos de armazenamento, o armazenamento em coberturas, o armazenamento e a infiltração em áreas de estacionamento, entre outras, que são igualmente parte do sistema de microdrenagem.

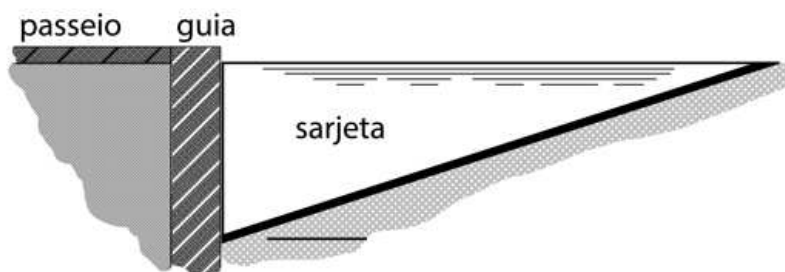
- a) Guias

Conhecido como meio-fio, é a faixa longitudinal de separação do passeio com o leito viário, constituindo-se geralmente de peças de granito argamassadas. (Figura 06)

b) Sarjetas

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. (Ver figura 06)

Figura 6 - Representação de guia e sarjeta

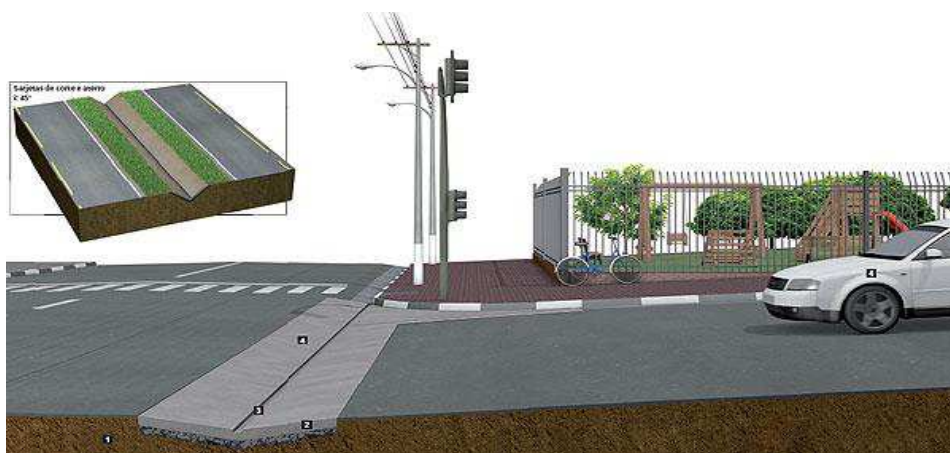


Fonte: <http://tinyurl.com/y8mkzu9k>. (Acessado em 23/03/2018)

c) Sarjetões

Canal de seção triangular situado nos pontos baixos ou nos encontros dos leitos viários das vias públicas, destinados a conectar sarjetas ou encaminhar efluentes destas para os pontos de coleta. (Ver figura 07)

Figura 7 - Vista e Posicionamento de um sarjetão



Fonte: PiniWeb (Acessado em 23/03/2018)

d) Bocas de Lobo

São estruturas hidráulicas para captação das águas superficiais transportadas pelas sarjetas e sarjetões; em geral situam-se sob o passeio ou sob a sarjeta.

As bocas coletoras podem ser classificadas em três grupos principais: bocas ou ralos de guias, ralos de sarjetas (grelhas) e os ralos combinados. Cada tipo pode ser utilizado com ou sem depressões em relação ao nível da superfície normal do perímetro e inclui variações quanto ao seu número podendo ser simples ou múltiplas (TUCCI e BIDONE, 1995). (Ver figura 08)

Figura 8 - Tipos de bocas de lobo

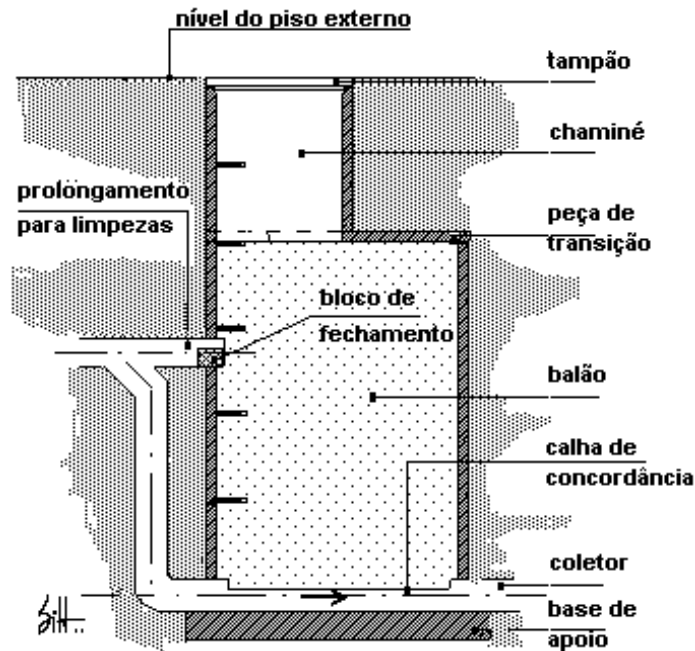


Fonte: <http://profmbacelar.blogspot.com.br>. (Acessado em 23/03/18)

e) Poços de Visita

São câmaras visitáveis situadas em pontos previamente determinados, destinadas a permitir a inspeção e limpeza dos condutos subterrâneos. (Ver figura 09)

Figura 9 - Representação de um poço de visita



Fonte: <http://www.ebah.com.br/content/ABAAAFsDYAB/apostila-embase?> (Acessado em 23/03/2018)

f) Galerias

São condutos destinados ao transporte das águas captadas nas bocas coletoras até os pontos de lançamento; tecnicamente denominada de galerias tendo em vista serem construídas com diâmetro mínimo de 400mm. (Ver figura 10)

Figura 10 - Instalação de galerias



Fonte: <https://www.aecweb.com.br>. (Acessado em 29/03/18)

Para CETESB (1999) o dimensionamento das galerias é realizado com base nas equações hidráulicas de movimento uniforme como a de Manning.

g) Tubos de ligação

São canalizações destinadas a conduzir as águas pluviais captadas nas bocas de lobo para as galerias ou para os poços de visita, como mostrado na Figura 11.

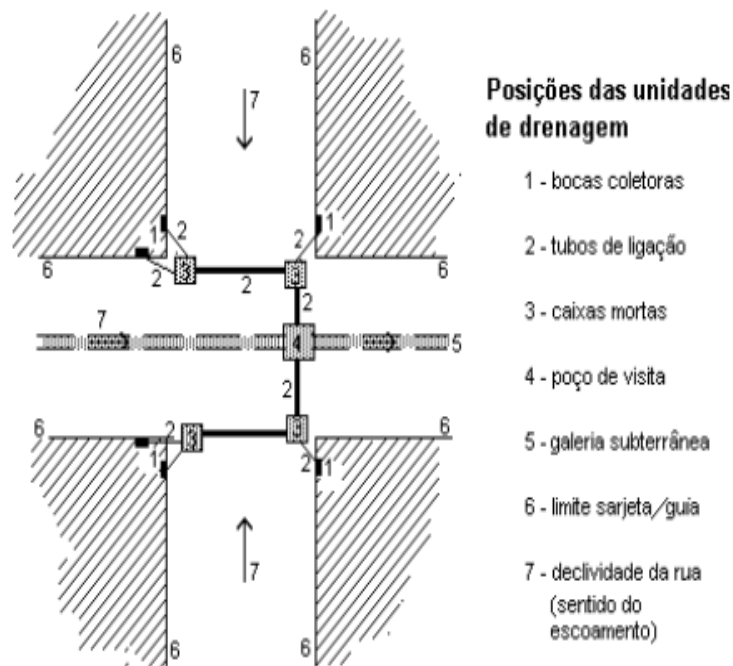
h) Trecho da Galeria

É a parte da galeria situada entre dois poços de visita consecutivos.

i) Caixas de Ligação

Também denominadas de caixas mortas, são caixas de alvenarias subterrâneas não visitáveis, com finalidade de reunir condutos de ligação ou estes à galeria. (Ver figura 11)

Figura 11 - Componentes de uma microdrenagem



Fonte: www.ceap.br. (Acessado em 29/03/2018)

j) Condutos Forçados e Estações de Bombeamento

Quando não houver mais condições de escoamento por gravidade, para a retirada da água de um canal de drenagem para outro em nível mais elevado ou receptor da drenagem final em estudo, recorre-se aos condutos forçados e as estações de bombeamento (Sousa, 2015).

2.2.2 Macrodrenagem

Segundo Canholi (2005), entende-se por macrodrenagem como o conjunto de águas pluviais, canais artificiais e canais naturais modificados, localizados no fundo de vales, que constituem grandes coletores das águas de chuva em áreas urbanizadas ou em processo de urbanização.

A macrodrenagem envolve os sistemas coletores de diferentes sistemas de microdrenagem, com áreas de pelo menos 2 km² ou 200ha. Esses valores não devem ser tomados como absolutos porque a malha urbana pode possuir as mais diferentes configurações. Esse tipo de sistema deve ser projetado para acomodar precipitações superiores à da microdrenagem com riscos, de acordo com prejuízos humanos e materiais potenciais.

Segundo Martins (1995, apud Sousa 2016), nos centros urbanos há uma necessidade de implantação ou ampliação dos sistemas de macrodrenagem e ainda, do aumento das vazões, na qual se elencam:

- a) A ocupação irregular dos leitos secundários de córregos que sofrem com a alagamentos nos períodos de chuva;
- b) O aumento da taxa de resíduos sólidos provenientes do desmatamento e desurbanização, cujo lançamento é feito diretamente sobre o leito do rio;
- c) A necessidade de ampliação da malha viária em vales ocupados;
- d) A necessidade de saneamento nas áreas alagadas.

Os principais condutos que fazem parte da macrodrenagem são: trechos de rio, canais naturais, grandes galerias de concreto e outros.

De acordo com Canholi (2015), os canais naturais são pequenos cursos d'água resultantes de contribuições de pequenas bacias sem nenhum tipo de melhoria no revestimento de seu leito. São, normalmente, em vegetação ou terra natural, que se alternam ao longo de sua via útil. Esses canais podem ser urbanos ou rurais e têm extensões variadas.

Já os canais artificiais são formados através de escavações, sendo o álveo contido dentro das margens (Figura 12). As seções molhadas, quando não revestidas, são geralmente de forma trapezoidal, podendo ter outras formas: poligonais, circulares, parabólicas, triangulares, retangulares, em função das várias utilizações e dimensões. Usualmente, os canais artificiais são revestidos por diferentes tipos de

materiais, dentre eles: concreto, pedra argamassa, gabiões, material betuminoso, pedra arrumada, ou até mesmo em grama. Sendo assim é necessário procurar o revestimento que possua as características requeridas de impermeabilidade, resistência, flexibilidade, rugosidade, durabilidade, baixo custo e, entre esses, adotar o tipo que seja mais adequado ao caso.

Figura 12 - Canal Artificial



Fonte: centroprofissionalcatastrofesnaturais.blogspot.com.br. (Acessado em 30/03/2018)

O percurso do canal é composto, geralmente, por longos trechos retos, unidos entre si por curvas de grandes raios, a escolha entre os possíveis e diversos traçados, que unem a seção de montante à de jusante, é efetuada levando em consideração diversos fatores como, por exemplo: presença de centros habitados, ferrovias, rodovias, cursos de águas naturais ou artificiais, trechos em erosão ou acidentados, solos inadequados à realização de canais em terra etc.

Dentre os objetivos da macrodrenagem, pode-se dizer que os principais são: aumentar a capacidade de descarga, diminuir as áreas alagadiças, adaptar a rede de drenagem a nova situação de escoamento superficial resultante do processo de urbanização de uma bacia (Coelho, 2011).

2.2.3 Sistema de Drenagem Sustentável

Diante das várias soluções de drenagem existentes, destaca-se, ainda, o sistema de drenagem sustentável, conhecido também como não convencional, onde

se visa a busca de tecnologias alternativas para neutralizar os efeitos da urbanização sobre os processos hidrológicos, com benefício para a qualidade de vida e a preservação ambiental (BATISTA, 2005).

Segundo Baptista (2005, apud COELHO, 2011), as tecnologias utilizadas nas medidas não convencionais são alternativas em relação às medidas clássicas, já que consideram os impactos da urbanização de forma global, tomando a bacia hidrográfica como base de estudo, buscando compensar, sistematicamente, os efeitos da urbanização.

Dentre as medidas não convencionais em drenagem, destacam-se aquelas que visam incrementar o processo de infiltração, reter os escoamentos em reservatórios, ou retardar o fluxo nas calhas do córregos e rios (CANHOLI, 2005).

Destaca-se:

- a) **Captação de água da chuva:** Sistemas de aproveitamento de água de chuva são uma tecnologia sustentável para captação e aproveitamento da água da chuva a partir da cobertura de qualquer tipo de edificação como casas, prédios residenciais e comerciais, galpões industriais e etc. O sistema consiste em recolher, filtrar, armazenar e disponibilizar esta água para uso em área externa ou interna, de acordo com as recomendações da Norma 15527 da ABNT.
- b) **Bacias de detenção e retenção:** A bacia de detenção é um tanque com espelho d'água permanente, construído com os objetivos de reduzir o volume das enxurradas, sedimentar cerca de 80% dos sólidos em suspensão e o controle biológico dos nutrientes.
- c) **Pisos permeáveis:** Seu principal objetivo é aumentar a área permeável nos centros urbanos e assim reduzir o impacto das enchentes. São os pisos em terra, cascalho, grama, perfil com materiais drenantes, com blocos permeáveis de cerâmica ou concreto e concreto permeável.
- d) **Áreas Verdes:** Seu principal benefício é, sem dúvida, a retenção de parte das águas da chuva, diminuindo o escoamento superficial e alimentando o lençol freático.
- e) **Bacias de infiltração:** Tem a finalidade de reduzir o volume das enxurradas, remover alguns poluentes e promover a recarga da água subterrânea.

2.2.4 Planejamento em Drenagem Urbana

A falta de visão sistêmica no planejamento da micro e macrodrenagem, que predomina por diversas razões, é a grande responsável pelo estado caótico do controle das enchentes nas áreas urbanas brasileiras.

Nesse cenário, destaca-se a necessidade inadiável de planificar ações preventivas, onde ainda forem possíveis, e corretivas, onde o problema já se encontra instalado. No entanto, essas ações devem ser realizadas de maneira integrada, abrangendo toda a bacia hidrográfica, esteja ela inserida num ou em vários municípios. Tais são, em resumo, a abordagem e o principal objetivo do plano diretor de macrodrenagem que muitas cidades e regiões metropolitanas do Brasil e de outros países vêm adotando sistematicamente.

Para Tavares et al. (2015), um planejamento de drenagem bem elaborado possibilita:

- a) Estudar a bacia como um todo, e conseqüentemente, chegar a soluções de longo prazo, evitando medidas que apenas deslocam e mesmo agravam as inundações em locais a jusante da área de intervenção;
- b) Consolidar normas e critérios de dimensionamento uniforme para a bacia, ou conjunto de bacias;
- c) Identificar as áreas que possuem ser preservadas ou adquiridas pelo poder público antes que sejam ocupadas ou seus preços tornem-se proibitivos;
- d) Efetuar o zoneamento das áreas sujeitas a inundação;
- e) Estabelecer o escalonamento da implantação das medidas necessárias de forma tecnicamente correta e de acordo com os recursos disponíveis;
- f) Possibilitar o desenvolvimento urbano de forma harmônica, pela articulação do plano de drenagem com outros planos setoriais da região;
- g) Esclarecer a comunidade a respeito da magnitude dos problemas naturais e formas de soluções de propostas;
- h) Fornecer respaldos técnicos e políticos à solicitação de recursos;
- i) Privilegiar a adoção de medidas preventivas de menor custo e maior alcance.

De acordo com Sousa (2015), um dos principais mecanismos estudados de planejamento que busca a sustentabilidade das cidades quanto aos aspectos da

drenagem urbana é o princípio de elaboração de um Plano Diretor de Drenagem Urbana.

2.2.4.1 Plano Diretor de Drenagem Urbana

Segundo Campos (2003), o Plano Diretor de Drenagem Urbana (PPDU) é o conjunto de diretrizes que determinam a gestão do sistema de drenagem, minimizando o impacto ambiental devido ao escoamento das águas pluviais. Na elaboração do PDDU deve ser mantida a sua coerência com as outras normas urbanísticas do município, com os instrumentos da Política Urbana e da Política Nacional de Recursos Hídricos.

Um dos principais objetivos de um Plano Diretor de Drenagem é prover diretrizes que auxiliem na regulamentação da implantação de novos empreendimentos, utilizando-se de uma série de medidas, tanto de ordem estrutural como não estrutural, de forma a mitigar os efeitos das inundações. O plano deverá levar em conta os prazos e suas magnitudes e as ações pertinentes a cada prazo, de modo a encontrar a melhor solução do ponto de vista econômico. Também deverão constar os meios de supervisão, fiscalização e coordenação das atividades a serem implantadas (Tucci, 2003 apud Sousa, 2016).

Para Tucci (2005), a elaboração de um Plano Diretor de Drenagem consiste nos seguintes princípios:

- a) Plano de Drenagem Urbana faz parte do Plano de Desenvolvimento Urbano e Ambiental da cidade;
- b) Cada usuário urbano não deve ampliar a cheia natural;
- c) Os impactos de quaisquer medidas não devem ser transferidos;
- d) O Plano deve prever a minimização do impacto ambiental devido ao escoamento pluvial através da compatibilização com o planejamento do saneamento ambiental, controle do material sólido e a redução da carga poluente nas águas pluviais que escoam para o sistema fluvial externo a cidade;
- e) Plano Diretor de Drenagem Urbana, na sua regulamentação, deve contemplar o planejamento das áreas a serem desenvolvidas e a densificação das áreas atualmente loteadas;

- f) O controle deve ser realizado considerando a bacia como um todo e não trechos isolados;
- g) Valorização dos mecanismos naturais de escoamento na bacia hidrográfica, preservando, quando possível os canais naturais;
- h) Integrar o planejamento setorial de drenagem urbana, esgotamento sanitário e resíduo sólido;
- i) Os meios de implantação do controle de enchentes são o Plano Diretor Urbano, as Legislações Municipal/Estadual e o Manual de Drenagem;
- j) O controle permanente: o controle de enchentes é um processo permanente; não basta que se estabeleçam regulamentos e que se construam obras de proteção; é necessário estar atento as potenciais violações da legislação na expansão da ocupação do solo das áreas de risco;
- k) A educação: a educação de engenheiros, arquitetos, agrônomos e geólogos, entre outros profissionais, da população e de administradores públicos é essencial para que as decisões públicas sejam tomadas conscientemente por todos;
- l) Os custos da implantação das medidas estruturais e da operação e manutenção da drenagem urbana devem ser transferidos aos proprietários dos lotes, proporcionalmente a sua área impermeável, que é a geradora de volume adicional, com relação as condições naturais;
- m) O conjunto destes princípios prioriza o controle do escoamento urbano na fonte distribuindo as medidas para aqueles que produzem o aumento do escoamento e a contaminação das águas pluviais.

Na Figura 13, temos um esquema contendo as etapas de elaboração de um Plano Diretor de Drenagem.

Figura 13 - Etapas do Plano Diretor de Drenagem



Fonte: www.pha.poli.usp.br (Acesso em 30/03/2018)

2.3 INUNDAÇÕES URBANAS

Segundo Oliveira (1998), as inundações são fenômenos que fazem parte da dinâmica fluvial, atingindo periodicamente as várzeas, também denominadas planícies da inundação. Correspondem ao extravasamento das águas de um curso de água para as áreas marginais, quando a vazão é superior à capacidade de descarga da calha.

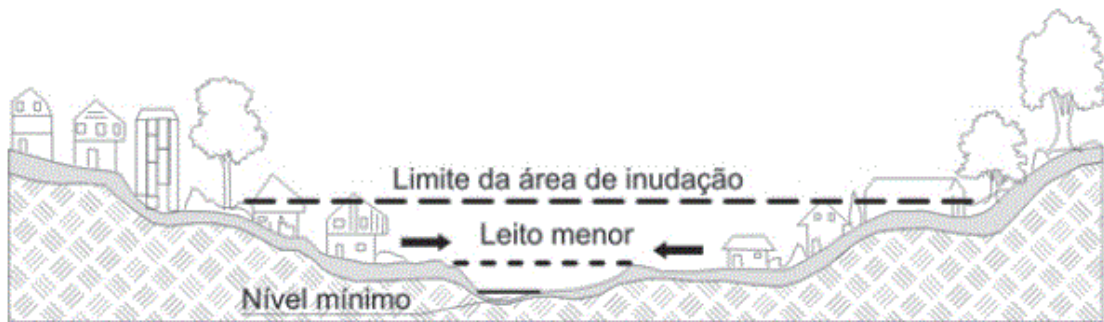
A inundação ocorre quando as águas dos rios, riachos e galerias pluviais saem do leito de escoamento devido à falta de capacidade de transporte de um destes sistemas e ocupam áreas onde a população utiliza para moradia, transporte (ruas, rodovias e passeios), recreação, comércio, indústria, entre outros (TUCCI, 2003). Uma inundação acontece devido à um excedente de precipitação que não foi suficientemente absorvido pelo solo e pela malha pluvial, sendo intensificada pela ação do homem (COELHO, 2011).

A inundação urbana é um evento tão antigo quanto às cidades ou aglomerações urbanas. Este evento acontece devido ao comportamento natural dos rios, quando o excesso do volume da chuva que não consegue ser drenando ocupa a

várzea e inunda, de acordo com a topografia, as áreas próximas aos rios, ou pode ocorrer pelo efeito da alteração produzida pelo homem da urbanização devido a impermeabilização das superfícies e canalização dos rios (BARBOSA, 2006).

Esse tipo de inundação ocorre geralmente em grandes bacias, maiores que 1000 km² e seus impactos são causados principalmente, pela ocupação inadequada do espaço urbano, conforme apresentado, na figura 14.

Figura 14 - Representação de ocupação ribeirinhas



Fonte: www.ebah.com.br/search?q=ocupação+irregular&start=50 (Acesso em 30/03/2018)

Baptista (2005, apud COELHO, 2011), acrescenta que esta ocupação desordenada ocorre sobretudo, quando os municípios não incluem no Plano Diretor, zoneamentos que contemplem uma análise de áreas de risco de inundação. Essas áreas são, normalmente ocupadas por população de baixa renda que, por falta de opção, adquirem uma maior vulnerabilidade aos efeitos trazidos pela inundação.

Nessa ótica, fica evidente que as inundações urbanas ocorrem em razão da ação antrópica no meio ambiente, e sobretudo, devido à ineficiência dos sistemas de drenagem urbanos, que por muitas vezes apresentam má disposição e/ou má execução num aspecto macroscópico. Logo, é crucial entender como se processa o mecanismo das inundações urbanas para que se intervenha da melhor forma possível no combate a essa mazela.

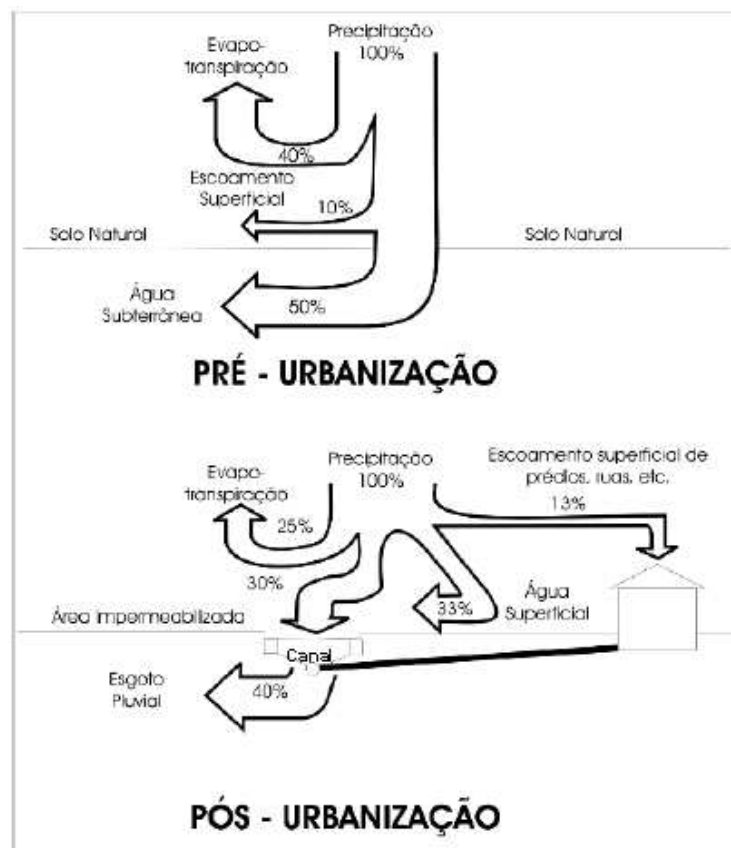
2.3.1 Impactos devido à Urbanização

O processo de urbanização das grandes cidades tem provocado impactos significativos para a população e para o meio ambiente. Este desenvolvimento se deu de forma desordenada o que desencadeou um aumento significativo na frequência e

nos níveis das inundações, refletindo na qualidade de vida da população e nos prejuízos associado a estes eventos. De fato, com o desenvolvimento urbano, as alterações hidrológicas correspondentes são inevitavelmente observadas: aumento considerável nos volumes escoadas e alterações nos hidrogramas de cheias, principalmente devido ao crescimento de áreas impermeáveis. A filosofia de escoar água precipitada o mais rápido possível da área em questão através de canalização, apenas transfere o problema para jusante afetando outra parte da população. O volume que escoava lentamente e através da superfície do solo e que era retido pela vegetação ou tinha sua velocidade reduzida pela própria rugosidade do solo, com a urbanização passa a escoar no canal, exigindo maior capacidade de escoamento das seções, gerando um maior custo de manutenção para redução dos picos de vazão. A figura 15 representa o efeito sobre as variáveis do ciclo hidrológico devido a urbanização.

Diversas causas podem estar associadas ao processo de urbanização. A Tabela 9 apresenta algumas destas causas e seus impactos.

Figura 15 - Características do balanço hídrico numa bacia urbana



Fonte: Tucci e Bertoni (2003). Adaptado

Tabela 9 – Causas e efeitos da urbanização sobre a bacia metropolitana

| Causas | Impactos |
|---|---|
| Impermeabilização | Maiores picos de cheia e vazões em rios |
| Redes de drenagem | Maiores picos de cheia a jusante |
| Lixo | Degradação da qualidade da água |
| Redes de esgotos sanitários deficientes | Entupimento de bueiros e galerias pluviais |
| | Degradação da qualidade da água |
| | Doenças de veiculação hídrica |
| | Maiores picos de cheia e volumes escoados |
| Desmatamento e desenvolvimento indisciplinado | Maior erosão |
| | Assoreamento em canais e galerias |
| | Maiores prejuízos ao patrimônio por enchentes |
| Ocupação de várzeas | Maiores picos de cheias |
| | Maiores custos de utilizadas públicas |

Fonte: Bollmann (2014)

2.3.2 Medidas de Controle de Inundações

As medidas para o controle das inundações podem ser classificadas em estruturais, quando o homem modifica o rio, e em não-estruturais quando o homem convive com o rio. No primeiro caso, estão as medidas de controle através de obras hidráulicas como barragens, diques e canalização entre outros. No segundo caso, encontram-se medidas do tipo preventivas, tais como zoneamento de áreas de inundação, sistema de alerta ligada a Defesa Civil e seguros. Não se pode achar que as medidas poderão controlar totalmente as inundações; as medidas sempre visam minimizar as suas consequências. Para o controle de inundação de forma eficiente torna-se necessária a associação de medidas estruturais e não-estruturais de modo que garanta à população o mínimo de prejuízo possível, além de convivência é fundamental para evitar perdas materiais e até, em alguns casos, perdas humanas.

As construções de barragens, diques, canalizações e muitos dos casos são necessários, porém, as ações de cunho social, econômico e administrativo também têm seu papel decisivo, através da educação e principalmente da conscientização por parte da população e do poder público. A tomada de decisão é definida em função das características do rio, do benefício da redução das enchentes, além dos aspectos sociais do seu impacto.

No Brasil não existe programa sistemático de controle de enchentes que envolvam seus diferentes aspectos. O que se observa são ações isoladas por parte de algumas cidades.

a) Medidas Estruturais

As medidas estruturais são medidas físicas de engenharia desenvolvidas pela sociedade para reduzir o risco de enchentes. Essas medidas podem ser extensivas ou intensivas. As medidas extensivas são aquelas que agem na bacia, procurando modificar as relações entre precipitação e vazão, com a modificação da cobertura vegetal no solo, que reduz e retarda os picos de enchente e controla a erosão da bacia. As medidas intensivas são aquelas que agem no rio e podem ser de três tipos: (I) medidas que aceleram o escoamento; (II) medidas que retarda o escoamento; (III) desvio do escoamento.

b) Medidas Não Estruturais

As medidas não-estruturais defendem na sua concepção a melhor convivência da população com as cheias. Não são projetadas para dar proteção completa, já que para isso teria que prever o maior evento possível o que não é uma tarefa fácil e nem confiável. Para que estas medidas se tornem, de fato, eficazes, a participação conjunta entre o poder público e a comunidade local é fundamental, de modo que garanta uma convivência tranquila sem prejuízos materiais e, principalmente, perdas humanas.

Segundo Canholi (2015), as medidas não estruturais de inundações podem ser agrupadas em: ações de regulamentação do uso e ocupação do solo; educação ambiental voltada ao controle da poluição difusa, erosão e lixo; seguro-enchente e sistemas de alerta e previsão de inundações.

A Tabela 10 mostra algumas medidas não-estruturais:

Tabela 10 – Medidas não-estruturais para controle de inundações

| Medida | Características | Objetivo |
|--------------------|--|--|
| Plano Diretor | Planejamento das áreas a serem desenvolvidas e a densificação das áreas atualmente lotadas | Evitar ocupação sem prevenção |
| Educação Ambiental | Para ser realizado junto à população. A conservação das margens dos rios, sua vegetação típica e taludes são essenciais. | Conscientizar a população que sofre ou poderá sofrer com as inundações |

(Continuação)

| | | |
|---|---|--|
| Medida de apoio a população | Lugares seguros para preservar a pessoa e a sua família, e construção de abrigos temporários, meios de evacuação, patrulhas de segurança. | Inserir na população que poderá ser atingida pela inundação um senso de proteção |
| Distribuição de informação sobre as enchentes | Programa de orientação da população sobre as previsões de enchentes para que ela aprenda a se prevenir contra as cheias. | Aprimorar a qualidade da assistência externa e a reduzir falhas como a falta de informações a má avaliação das necessidades e formas inadequadas de ajuda. |
| Reassentamento | Reassentamento de residentes ilegais ocupantes das margens de rios, e de residentes legais nas áreas de enchente. | Retirar a população dos locais de risco. |
| Solução de mitigação | Promover o aumento das áreas de infiltração e percolação e armazenamento temporário. | Aumentar a eficiência do sistema de drenagem a jusante e da capacidade de controle de enchentes dos sistemas. |
| Construções a prova de enchentes | Pequenas adaptações nas construções | Reduzir as perdas em construções localizadas nas várzeas de inundação |
| Sistemas hidrológicos | Histórico hidrológico da bacia e modelos que mostram o comportamento hidráulico e hidrológico do sistema do rio. | Fornecer subsídios para os estudos de comportamento da bacia, assim como previsão de cenários futuros. |

Fonte: Enomoto (2004) – Adaptado

Para Tucci (2003), a combinação destas medidas permite reduzir os impactos das inundações e melhorar o planejamento urbano das cidades. Como o zoneamento de inundação pressupõe a ocupação com risco, torna-se necessário que exista um sistema de alerta para avisar a população dos riscos durante a inundação. O seguro e a proteção individual são medidas complementares, importantes para minimizar os prejuízos sobre a economia da população.

3 ÁREA DE ESTUDO

Este capítulo apresenta à caracterização da área, bem como sua localização, hidrologia, geologia, topografia e algumas particularidades da bacia.

3.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA

A Avenida Guajajaras, fica localizada entre o Bairro São Cristóvão e o Jardim São Cristóvão na cidade de São Luís, onde fica situada a capital do Estado Maranhão. A área a ser estudada compreende a mesma área da bacia de contribuição hidrográfica, totalizando uma área de aproximadamente 75 ha que está em destaque em preto na Figura 16.

Figura 16 - Área de contribuição hidrográfica (Destaque em preto)



Fonte: Google Earth Pro (2017) – Modificado pelo autor

O trecho em estudo apresenta uma extensão aproximada de 1000 metros, que está compreendido entre a rotatória da Av. São Cristóvão e o retorno que dá acesso a Av. Santos Dumont.

A Avenida Guajajaras é uma das avenidas mais importantes de São Luís, pois se trata na principal entrada de acesso para a cidade, por onde trafegam centenas de veículos por dia, sendo uma das mais prejudicadas em épocas de chuva devido a

sua alta taxa de impermeabilização, logo aumentando o escoamento superficial e inviabilizando o sistema de drenagem existente.

Outros problemas existentes e que agravam a situação de alagamentos no local estão anexos a falta de limpeza e manutenção dos acessórios de drenagem, como bocas de lobo e poços de visita, além da carência dos serviços de esgotamento sanitário.

A área de estudo se caracteriza por apresentar padrão tipicamente estrutura residencial e existência de forte percentual de setores dedicado ao comércio ao eixo principal de tráfego.

3.1.1 Pedologia

De acordo com o Atlas Do Estado Do Maranhão (1984), as classes de solos predominantes na região de estudo, em São Luís, são:

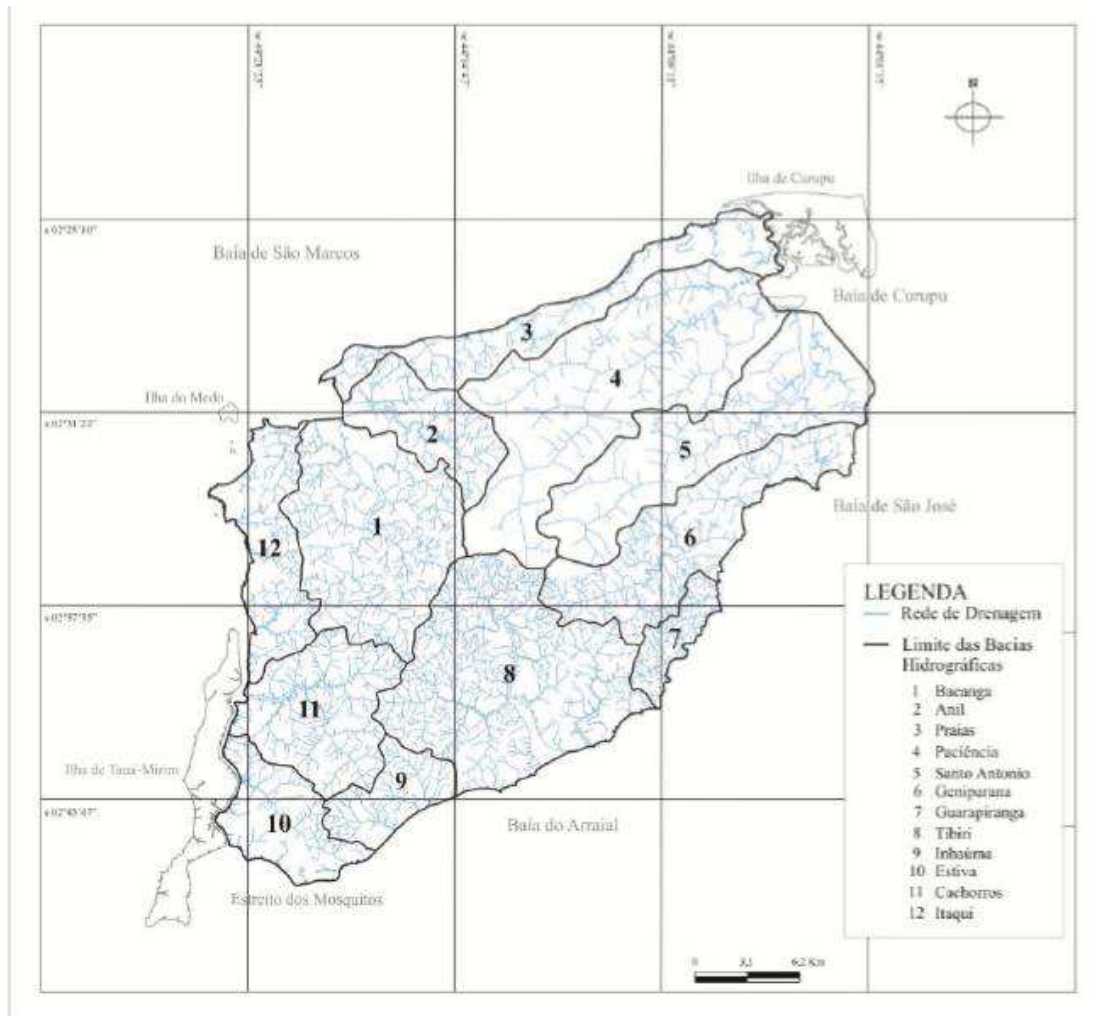
- a) Latossolo Amarelo: são solos derivados dos Latossolos, que de maneira geral são solos profundos a muito profundos, bem drenados a acentuadamente drenados, de textura variando de média a muito argilosa. São ácidos ou muito ácidos, porosos, friáveis, com cores variando de vermelho ao amarelo ou bruno forte.
- b) Podzólio Vermelho Amarelo Concrecionário, este tipo de solo é uma derivação dos Podzólicos Vermelho-Amarelo que são solos profundos a moderadamente profundos, raramente rasos, com textura variando de média a argilosa, geralmente bem drenados e porosos. Tem perfis bem diferenciados, com presença de horizonte subsuperficial de acumulação de argilas, saturação de bases baixa e de média e alta.
- c) Solos Indiscriminados de Mangue: são solos muito mal drenados, com alto conteúdo em sais minerais provenientes da água do mar e de composto de enxofre e com textura variando desde argilosa até arenosa

3.1.2 Hidrologia

A ilha de São Luís fica limitada no Golfão Maranhenses, com destaque para a Ilha do Maranhão ou Upaon-Açu, com uma área de 874,45 km². Para a Ilha do Maranhão, onde fica localizada São Luís, foram delimitadas 12 (doze) bacias

hidrográficas, onde a área de estudo fica localizada entre o limite da bacia do Santo Antônio (26,05 km) e a bacia do Paciência (27,82km), justamente onde há canais principais com mais representatividade. (NUGEO, 2016)

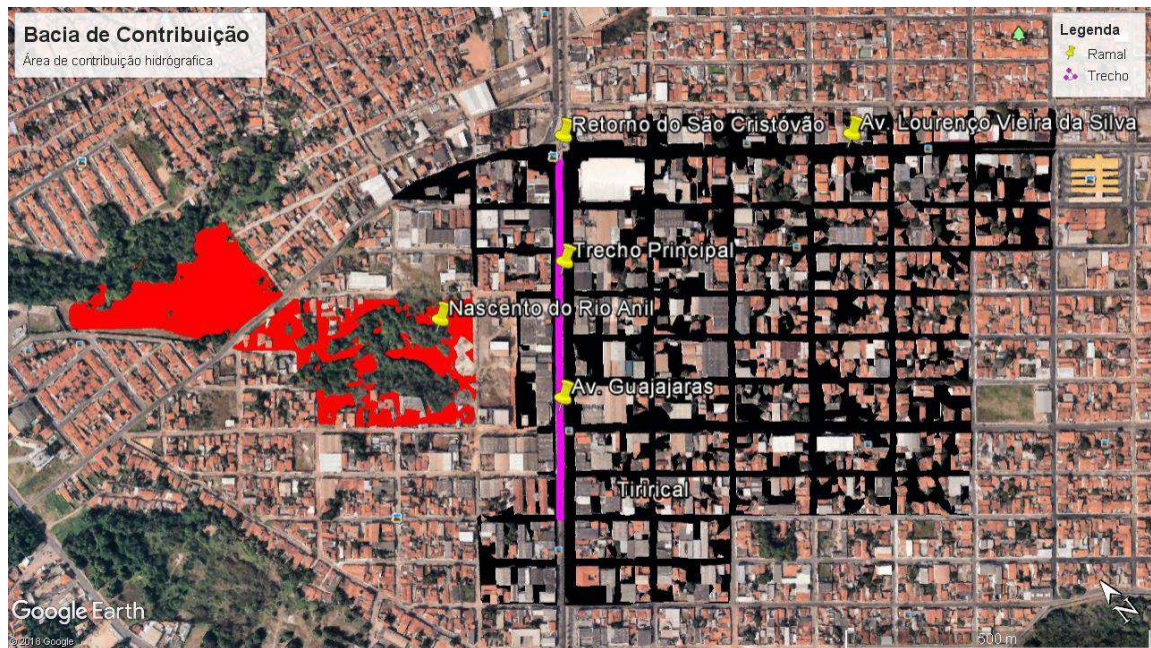
Figura 17 - Bacias Hidrográficas de São Luís



Fonte: NUGEO (2016)

A área em estudo, localiza-se quase na sua totalidade urbanizada. O local determinado para o despejo da bacia, é um talvegue que fica localizado no Jardim São Cristóvão II, local de umas das nascentes do Rio Anil, um dos rios responsáveis por drenar áreas do perímetro urbano da região. Em destaque de vermelho na Figura 18 a localização do exutório da bacia.

Figura 18 - Localização de exutório da área estudada (Destaque em vermelho)



Fonte: Google Earth Pro (2017) – Modificado pelo autor

O local foi escolhido devido a sua facilidade de escoamento promovida pela sua topografia. Hoje, a nascente do Rio Anil corre grande perigo devido a poluição e o assoreamento. Em visita ao local, o talvegue vai se tornando em um depósito de lixo a céu aberto, em que moradores vão jogando todos os tipos de lixo diariamente e caminhões despejando restos de materiais de construção civil, como mostra nas Figura 19 e 20.

Figura 19 - Local de saída da bacia tomado pelo lixo



Fonte: Autor (2018)

Figura 20 - Outra vista do local do exutório da bacia coberto de restos materiais de construção



Fonte: Autor (2018)

3.1.3 Topografia

A topografia descreve de forma minuciosa uma região da Terra contendo informações de todos os detalhes existentes como estradas, casas, vales, talvegue, rios e etc.

A planta de localização da área de estudo foi doada pela professora Maria Teresinha contendo todas curvas de níveis, pontos cotados e informações detalhadas

para determinação da bacia e sub-bacias de contribuição. O Mapa 2, apresentado em anexo mostra apenas uma demonstração próximo ao exutório da bacia.

Como pode observar no mapa, alguns trechos da bacia apresentam declividades acentuadas enquanto que o trecho da Avenida São Crisóvão exibe baixa declividade.

3.2 SISTEMA DE DRENAGEM EXISTENTE

O sistema de drenagem que atende a Avenida São Crisóvão, se encontra hoje ineficiente, devido alguns fatores como a falta de manutenção dos dispositivos existentes e galerias que não suprem mais a alta demanda de escoamento devido ao crescimento que houve na região. Em virtude disso, a água fica acumulada nas ruas e avenida causando alagamentos e grandes transtornos para a população que mora e trafega pelo local, como mostra a Figura 21 e 22.

Figura 21 - Avenida Guajajaras alagada



Fonte: imirante.com/sao-luis/noticias (Acessado em 17/05/2018)

Figura 22 – Posto de Combustível na Av. Guajajaras alagado



Fonte: <http://g1.globo.com/ma/maranhao/noticia/2016/02/> (Acessado em 17/05/2018)

Uma pesquisa realizada por Coelho e Nogueira (2017), detectou que um dos problemas que causam alagamentos na região é a rede coletora estar subdimensionada. Trechos no quais as tubulações deveriam estar com seções celulares de 1,50 x 1,50, apresentam tubulações com diâmetro de apenas 0,80m. O que acaba não suprimindo a demanda daquele trecho.

Ainda de acordo com Coelho e Nogueira (2017), outro aspecto relevante são as quantidades de boca de lobo serem insuficientes e mal distribuídas para a captação da água superficial, além das existentes apresentarem más condições de uso, devido à falta de manutenção nos mesmos. A boca de lobo vista na Figura 23, encontra-se próximo ao Supermercado Mateus, na Avenida Guajajaras. Além da quantidade ser insuficiente para o local, pode se observar que o dispositivo está com a entrada obstruída, o que dificulta a entrada da água dentro da boca de lobo que é ligada por uma tubulação que se conecta com a galeria principal, tal fato é preponderante para ocasionar as inundações na avenida, vivenciadas em períodos de chuva.

Figura 23 - Boca de lobo danificada



Fonte: Autor (2018)

4 METODOLOGIA

4.1 TIPO DE PESQUISA

O atual trabalho caracteriza-se como uma pesquisa analítico-explicativa que irá fazer uma análise e propor soluções para os problemas de drenagem existentes na região a partir de um dimensionamento com todos os acessórios que uma rede de drenagem possui, de acordo com as Normas existentes. Além, que será feito uma verificação da rede dimensionada através de uma simulação computacional. Este trabalho se distingue em um estudo de caso pois visa propor soluções e futuras intervenções no sistema de drenagem da área correspondente.

4.2 COLETA E ANÁLISE DE DADOS

As coletas dos dados necessários foram feitas a partir da planta planialtimétrica disponibilizada pela professora Maria Teresinha Coelho. A planta de localização da área de estudo contém todas as curvas de níveis, pontos cotados e informações detalhadas para determinação da bacia e sub-bacias de contribuição.

A partir das curvas de níveis, foi possível fazer uma análise e delimitação da bacia e suas sub-bacias, além de verificar os sentidos de escoamentos nos cruzamentos de rua e colocar acessórios para facilitar o escoamento. Essas limitações físicas das sub-bacias são fundamentais para o dimensionamento dos componentes que fazem parte da drenagem.

4.3 ESTUDOS HIDROLOGICOS

Os estudos hidrológicos têm como finalidade a caracterização pluviométrica da região e a determinação das informações necessárias para avaliação da capacidade de vazão dos dispositivos de drenagem existente e ao dimensionamento das novas obras que se faz necessária.

A sistemática adotada para a execução deste estudo abrange:

- 1) Coleta de dados pluviométricos e/ou pluviográficos da área de abrangência do projeto;
- 2) Determinação das características da bacia hidrográfica

- 3) Determinação da vazão do projeto;
- 4) Seleção dos métodos de dimensionamento apropriados a serem empregados.

4.3.1 Coleta de dados

Para o desenvolvimento dos estudos hidrológicos e visando a caracterização da região em estudo foram colhidas informações em órgãos e consultados estudos e publicações julgadas de interesse ao projeto. Foram analisados os dados referentes ao posto de São Luís, disponível na web site da ANA (Agencia Nacional de Águas) que são mostrados na tabela 11, com o objetivo de atualizar os conteúdos das publicações sobre dados hidrológicos.

Tabela 11 – Posto de São Luís

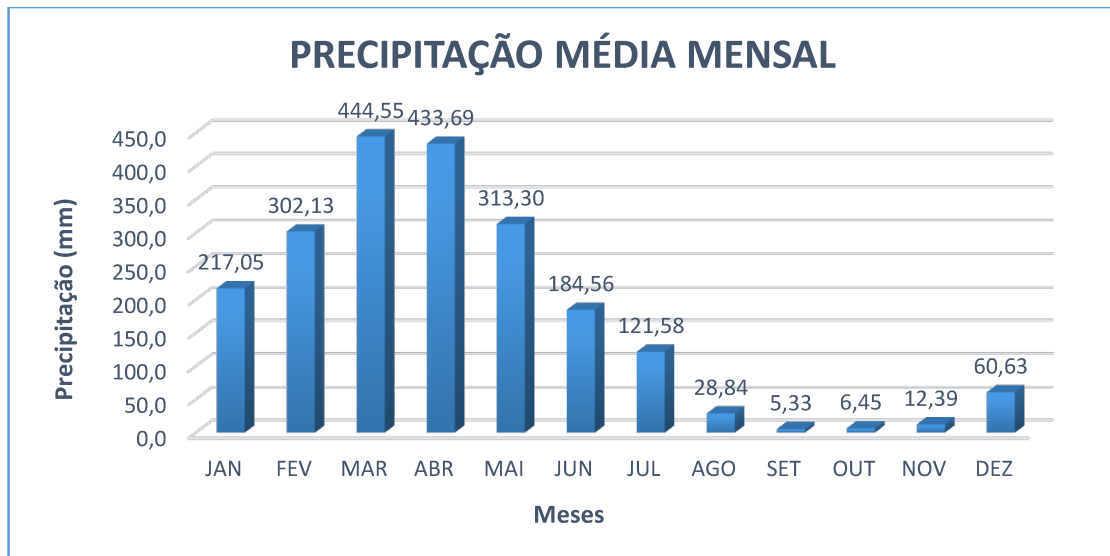
| Dados do Posto | |
|-----------------------|-------------|
| Código | 244006 |
| Nome | São Luís |
| Código Adicional | 82280 |
| Estado | Maranhão |
| Município | São Luís |
| Operadora | INMET |
| Período de Observação | 1986 a 2015 |
| Nº de anos | 30 |

Fonte: Agencia Nacional de Águas – ANA (2017)

Para a determinação das curvas de intensidade (altura – duração – frequência) e a das precipitações a serem adotadas no presente estudo, seguiu-se uma análise das informações pluviométricas obtidas de postos cedidos pela ANA.

O gráfico 1 apresenta a precipitação total mensal média dos 30 anos de dados coletados, referentes aos anos de 1986 a 2015.

Gráfico 1 – Precipitação média mensal do Posto de São Luís – 1986 a 2015



Fonte: Agencia Nacional de Aguas – ANA (2017)

Através do histograma acima, pode ser observado os meses que mais choveram na capital em um período de 30 anos, caracterizando os meses de março e abril os mais chuvosos durante o ano, com 444,55 mm e 433,69 mm respectivamente

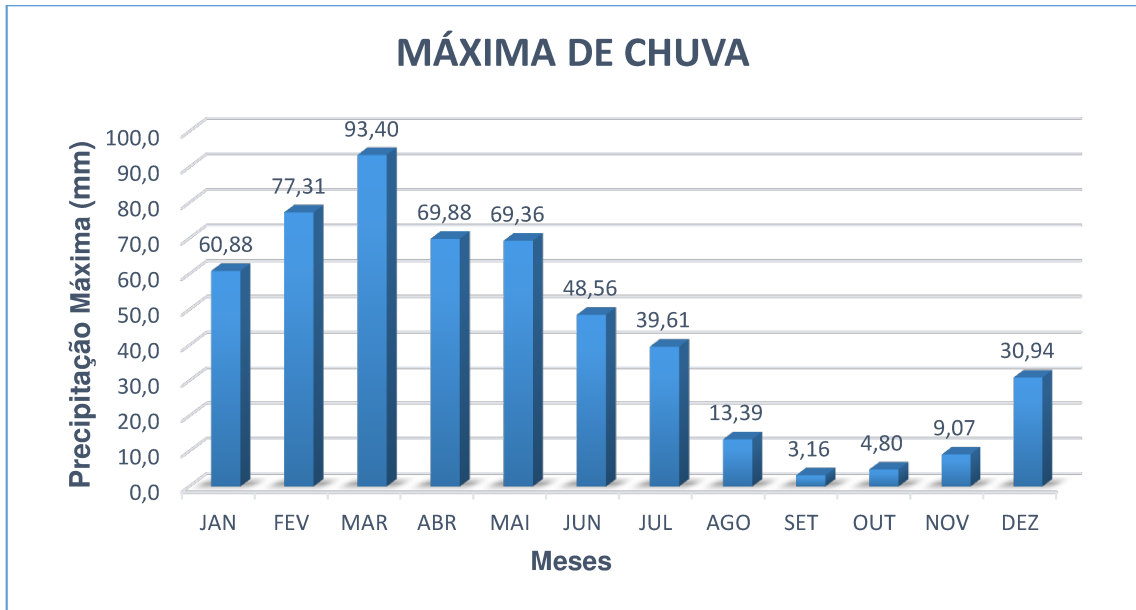
O período chuvoso, que acontece durante o ano, fica entre os meses de janeiro a julho, variando pouco durante os meses seguintes.

4.3.2 Determinação da Precipitação Máxima

Para o estudo deste trabalho, será utilizado o Método das Izosonas para a determinação das precipitações máximas, de acordo com o método do Jaime Taborga Torrico.

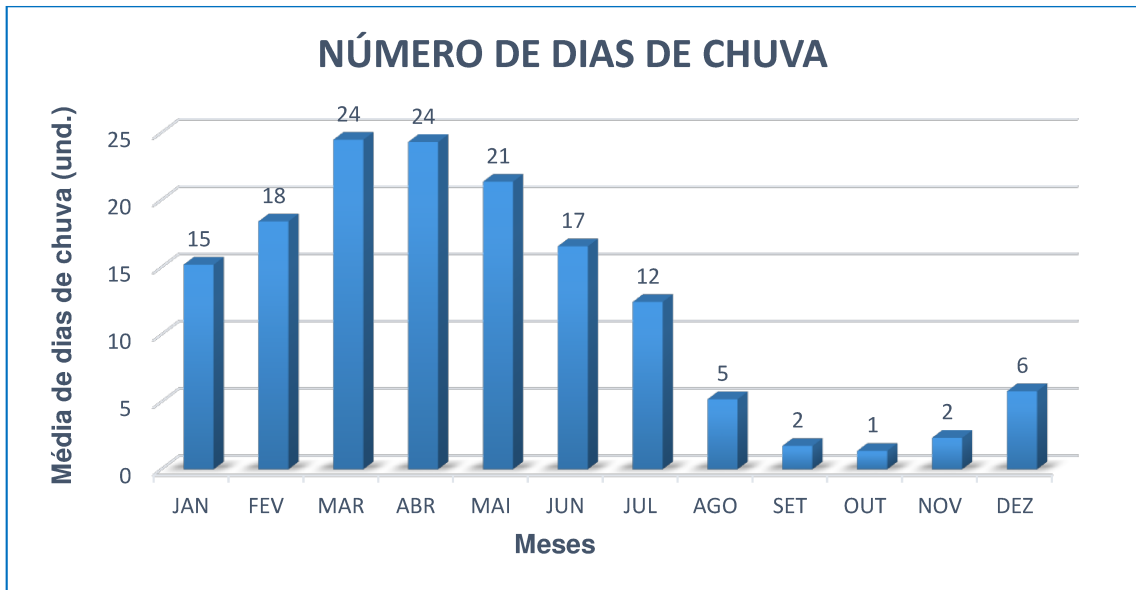
Com os dados pluviométricos obtidos pelo posto de São Luís (Tabela 11), foram gerados os histogramas com as precipitações máximas médias durante o período de 30 anos (Gráfico 2), que corrobora o mês de março como o mês que mais precipitou ao máximo, e os números de dias com chuva onde os meses de março e abril apresentaram os maiores números de dias com chuva (Gráfico 3).

Gráfico 2 – Média de Precipitação Máxima – 1986 a 2015



Fonte: Agencia Nacional de Aguas – ANA (2017)

Gráfico 3 – Números de dias de chuva anual – 1986 a 2015



Fonte: Agencia Nacional de Aguas – ANA (2017)

Na Tabela 12 são mostrados o resumo da série histórica entre os anos de 1986 a 2015.

Tabela 12 – Série Histórica do período de 1986 a 2015

| DADOS PLUVIOMÉTRICOS - SÉRIE HISTÓRICA | | | | | | | | | | | | | | |
|--|---------------|------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------------------------|------|------|------|------|-------|--------------------------|
| POSTO: São Luís | | Número: 00244006 | | | | | | Latitude: - 02°53'0" | | | | | | Longitude: - 44°21'0" |
| | | Município: São Luís | | | | | | Estado: Maranhão | | | | | | Fonte: ANA |
| ANO | INFORMAÇÕES | JAN | FEV | MAR | ABR | MAI | JUN | JUL | AGO | SET | OUT | NOV | DEZ | TOTAL |
| 1986 | Prec. Total | 343,4 | 328 | 732,4 | 749,2 | 172,4 | 225,3 | 155,6 | 21,4 | 23,2 | 37,8 | 1,2 | 33,3 | 2823,2 |
| | Prec. Máxima | 108,9 | 34,6 | 99 | 100,6 | 36,3 | 28,4 | 56,4 | 9,4 | 11,8 | 32 | 1 | 10,1 | 108,9 |
| | Dias de chuva | 16 | 0 | 29 | 28 | 22 | 20 | 8 | 5 | 4 | 3 | 2 | 9 | 146,0 |
| 1987 | Prec. Total | 104,5 | 278 | 689,2 | 183,5 | 333,4 | 130,8 | 32,5 | 53,2 | 0 | 28 | 0 | 0,3 | 1833,2 |
| | Prec. Máxima | 41,2 | 122,2 | 102,9 | 51,6 | 75,8 | 42,5 | 12 | 45,2 | 0 | 28 | 0 | 0,3 | 122,2 |
| | Dias de chuva | 13 | 12 | 25 | 22 | 14 | 17 | 10 | 5 | 0 | 1 | 0 | 1 | 120,0 |
| 1988 | Prec. Total | 364,5 | 530 | 382,2 | 423,4 | 406,4 | 190,1 | 313,5 | 81,5 | 0 | 3 | 3,2 | 145,7 | 2843,4 |
| | Prec. Máxima | 67,6 | 86,8 | 82 | 45,6 | 109,7 | 52,1 | 75,1 | 28,4 | 0 | 3 | 1,8 | 42,3 | 109,7 |
| | Dias de chuva | 22 | 18 | 25 | 0 | 27 | 17 | 20 | 8 | 0 | 1 | 5 | 13 | 156,0 |
| 1989 | Prec. Total | 205,9 | 229 | 280,8 | 562,7 | 389,1 | 322,4 | 235,9 | 60,7 | 33,3 | 29,3 | 71,8 | 335,2 | 2755,6 |
| | Prec. Máxima | 114,4 | 97,9 | 65,4 | 87,9 | 58,7 | 96,2 | 72 | 21 | 19,5 | 22,2 | 56,2 | 130,3 | 130,3 |
| | Dias de chuva | 11 | 18 | 0 | 29 | 27 | 21 | 15 | 10 | 4 | 5 | 4 | 13 | 157,0 |
| 1990 | Prec. Total | 109,2 | 502 | 198,3 | 285,9 | 146,6 | 154,3 | 228,4 | 35,1 | 33,4 | 1 | 3,1 | 56,8 | 1753,6 |
| | Prec. Máxima | 23,1 | 150 | 32,4 | 59,6 | 30,3 | 41,8 | 85,1 | 13,8 | 17,8 | 1 | 2 | 47 | 149,8 |
| | Dias de chuva | 12 | 21 | 22 | 21 | 19 | 17 | 18 | 7 | 4 | 1 | 4 | 6 | 152,0 |
| 1991 | Prec. Total | 280,1 | 169 | 587,9 | 428 | 341,4 | 244,1 | 94,2 | 19,3 | 0,3 | 3,4 | 0 | 0 | 2167,6 |
| | Prec. Máxima | 62,4 | 56,4 | 152,5 | 62,4 | 31,5 | 108,5 | 37,5 | 11 | 0,3 | 2,2 | 0 | 0 | 152,5 |
| | Dias de chuva | 21 | 19 | 27 | 26 | 29 | 21 | 13 | 2 | 1 | 5 | 0 | 0 | 164,0 |
| 1992 | Prec. Total | 307,1 | 166 | 438,9 | 94,4 | 94,2 | 49,3 | 46,6 | 0,2 | 0,1 | 0,6 | 1,1 | 0,2 | 1198,4 |
| | Prec. Máxima | 78,7 | 40,1 | 126,5 | 24,4 | 59,6 | 37,1 | 33,1 | 0,2 | 0,1 | 0,6 | 1,1 | 0,1 | 126,5 |
| | Dias de chuva | 14 | 17 | 24 | 20 | 13 | 10 | 10 | 7 | 0 | 0 | 1 | 9 | 125,0 |
| 1993 | Prec. Total | 102,7 | 264 | 406,7 | 189,8 | 199,6 | 96,4 | 102,6 | 12,2 | 0 | 0 | 0,6 | 262,8 | 1637,5 |
| | Prec. Máxima | 40 | 85,3 | 120,8 | 30,9 | 67,4 | 32,8 | 39,6 | 5,3 | 0 | 0 | 0,6 | 159,7 | 159,7 |
| | Dias de chuva | 14 | 17 | 24 | 20 | 13 | 10 | 10 | 7 | 0 | 0 | 1 | 9 | 125,0 |
| 1994 | Prec. Total | 400,9 | 293 | 712,4 | 405,3 | 404,1 | 235,9 | 161,5 | 33,4 | 16,2 | 0,2 | 0 | 48 | 2711,2 |
| | Prec. Máxima | 62,8 | 66 | 134,4 | 76,2 | 125,3 | 49,1 | 39 | 9,6 | 9,3 | 0,2 | 0 | 14,8 | 134,4 |
| | Dias de chuva | 24 | 22 | 27 | 23 | 22 | 19 | 13 | 7 | 5 | 1 | 0 | 8 | 171,0 |
| 1995 | Prec. Total | 51,3 | 415 | 367,2 | 605 | 457 | 312,3 | 142,9 | 6,5 | 0 | 2,9 | 81,4 | 28,2 | 2470,1 |
| | Prec. Máxima | 16,3 | 74,4 | 60,4 | 91,5 | 80,1 | 65,4 | 49,7 | 3 | 0 | 1,8 | 67,3 | 14,4 | 91,5 |
| | Dias de chuva | 16 | 24 | 22 | 26 | 28 | 22 | 13 | 6 | 0 | 2 | 3 | 4 | 166,0 |
| 1996 | Prec. Total | 252,2 | 175 | 548,5 | 592,3 | 412,7 | 90,4 | 127,7 | 88,1 | 14,4 | 0,8 | 2,6 | 6,1 | 2310,3 |
| | Prec. Máxima | 76,6 | 34 | 79,4 | 117,8 | 124,3 | 19,4 | 40,1 | 34,4 | 10 | 0,4 | 2,6 | 6,1 | 124,3 |
| | Dias de chuva | 16 | 19 | 28 | 24 | 25 | 15 | 12 | 11 | 4 | 3 | 1 | 1 | 159,0 |
| 1997 | Prec. Total | 107,1 | 113 | 403,2 | 422 | 267,4 | 16,1 | 20,7 | 0 | 0 | 0,3 | 41,4 | 29,6 | 1421,2 |
| | Prec. Máxima | 33,5 | 43,7 | 64,2 | 71,3 | 55,8 | 9,6 | 7,5 | 0 | 0 | 0,2 | 28,5 | 26 | 71,3 |
| | Dias de chuva | 15 | 11 | 22 | 23 | 17 | 6 | 4 | 0 | 0 | 2 | 5 | 6 | 111,0 |

(Continuação)

| | | | | | | | | | | | | | | |
|------|---------------|-------|------|-------|-------|-------|-------|-------|------|------|------|------|-------|--------|
| 1998 | Prec. Total | 306,7 | 58,8 | 366,1 | 246,6 | 144,4 | 128,2 | 152,4 | 2,7 | 0 | 0 | 0,3 | 53,6 | 1459,8 |
| | Prec. Máxima | 80,3 | 19,4 | 66,7 | 41 | 26,4 | 28,2 | 69,5 | 1,8 | 0 | 0 | 0,3 | 20,3 | 80,3 |
| | Dias de chuva | 22 | 7 | 22 | 23 | 18 | 16 | 11 | 3 | 0 | 0 | 1 | 8 | 131,0 |
| 1999 | Prec. Total | 135,7 | 375 | 660,8 | 474,4 | 241,9 | 171 | 131 | 44,1 | 0,1 | 1,1 | 0 | 131,1 | 2366,2 |
| | Prec. Máxima | 72,2 | 57,3 | 130,3 | 95,2 | 27,5 | 34 | 22,1 | 25 | 0,1 | 1 | 0 | 57 | 130,3 |
| | Dias de chuva | 11 | 22 | 30 | 22 | 27 | 19 | 13 | 5 | 1 | 2 | 0 | 8 | 160,0 |
| 2000 | Prec. Total | 267,1 | 392 | 606 | 609,6 | 422,2 | 146,1 | 202,1 | 63,9 | 12,6 | 0 | 0,2 | 43,3 | 2765,2 |
| | Prec. Máxima | 94 | 110 | 159,8 | 76 | 46,8 | 36,9 | 55,6 | 18,7 | 5 | 0 | 0,2 | 33,4 | 159,8 |
| | Dias de chuva | 19 | 24 | 27 | 27 | 29 | 16 | 21 | 10 | 5 | 0 | 1 | 6 | 185,0 |
| 2001 | Prec. Total | 336,2 | 445 | 370,7 | 590,1 | 201,8 | 327,2 | 150,2 | 0,5 | 7,4 | 0 | 6,1 | 44 | 2479,6 |
| | Prec. Máxima | 65,4 | 80,3 | 104,6 | 84,8 | 46,6 | 72,9 | 53,2 | 0,3 | 5,8 | 0 | 5,8 | 18,8 | 104,6 |
| | Dias de chuva | 22 | 25 | 23 | 27 | 16 | 24 | 16 | 2 | 3 | 0 | 3 | 4 | 165,0 |
| 2002 | Prec. Total | 345,6 | 83,4 | 314,1 | 489,3 | 295,4 | 237 | 42,3 | 4,6 | 0 | 0 | 29,3 | 47,4 | 1888,4 |
| | Prec. Máxima | 66,9 | 19,3 | 61,7 | 75 | 76,4 | 41,8 | 22,1 | 2,5 | 0 | 0 | 29,2 | 24,2 | 76,4 |
| | Dias de chuva | 20 | 17 | 23 | 26 | 18 | 17 | 10 | 5 | 0 | 0 | 2 | 7 | 145,0 |
| 2003 | Prec. Total | 359,1 | 491 | 570,2 | 428,8 | 207,7 | 148 | 64,6 | 34,4 | 5,9 | 0,2 | 4,7 | 55,8 | 2370,5 |
| | Prec. Máxima | 65,2 | 144 | 121,7 | 64,4 | 55,8 | 30 | 17 | 13,6 | 3,7 | 0,2 | 3 | 38 | 144,4 |
| | Dias de chuva | 15 | 24 | 28 | 26 | 18 | 18 | 13 | 4 | 3 | 1 | 3 | 7 | 160,0 |
| 2004 | Prec. Total | 445,7 | 485 | 388 | 452,9 | 183,5 | 213,1 | 233 | 83,9 | 1,5 | 0 | 3,2 | 6,6 | 2496,8 |
| | Prec. Máxima | 118 | 82,8 | 94,6 | 80,8 | 29,5 | 36,6 | 43,4 | 43,6 | 1,4 | 0 | 2,4 | 4 | 118,0 |
| | Dias de chuva | 21 | 24 | 23 | 22 | 18 | 18 | 19 | 8 | 2 | 0 | 3 | 3 | 161,0 |
| 2005 | Prec. Total | 33,1 | 231 | 350,4 | 371,4 | 219,6 | 256,5 | 166,4 | 12,8 | 0 | 0,2 | 4 | 158,1 | 1803,3 |
| | Prec. Máxima | 15,2 | 59 | 65,6 | 42,4 | 39,6 | 58,3 | 48,6 | 5,5 | 0 | 0,2 | 2 | 56,2 | 65,6 |
| | Dias de chuva | 6 | 18 | 26 | 23 | 23 | 23 | 12 | 5 | 0 | 1 | 3 | 8 | 148,0 |
| 2006 | Prec. Total | 189,9 | 278 | 369,2 | 537,3 | 636,1 | 261,9 | 63,2 | 67 | 2,3 | 0 | 9,3 | 40,5 | 2454,2 |
| | Prec. Máxima | 66,8 | 70,2 | 107,9 | 83,2 | 116 | 108,2 | 22,6 | 45,8 | 1,5 | 0 | 6,8 | 24 | 116,0 |
| | Dias de chuva | 12 | 14 | 23 | 26 | 24 | 18 | 10 | 5 | 4 | 0 | 5 | 7 | 148,0 |
| 2007 | Prec. Total | 16,3 | 545 | 457,4 | 348,6 | 286,1 | 61,4 | 136,3 | 0,2 | 2,2 | 1 | 2,4 | 42 | 1899,0 |
| | Prec. Máxima | 4,6 | 124 | 54 | 55,6 | 71,1 | 17,6 | 56,4 | 0,2 | 2 | 1 | 1,2 | 18,8 | 123,9 |
| | Dias de chuva | 9 | 25 | 30 | 22 | 18 | 8 | 11 | 1 | 2 | 1 | 3 | 4 | 134,0 |
| 2008 | Prec. Total | 124,4 | 414 | 584,5 | 607 | 314,2 | 380 | 104,9 | 51,4 | 0,4 | 0,4 | 0,6 | 18,5 | 2599,8 |
| | Prec. Máxima | 27 | 65,3 | 83,4 | 102,2 | 92 | 133 | 54 | 21,7 | 0,3 | 0,3 | 0,6 | 10 | 133,0 |
| | Dias de chuva | 17 | 17 | 28 | 25 | 25 | 23 | 12 | 9 | 2 | 2 | 1 | 8 | 169,0 |
| 2009 | Prec. Total | 375,8 | 367 | 565,4 | 767,1 | 467,7 | 207,6 | 71,8 | 12,3 | 0 | 0 | 2,6 | 10,3 | 2847,8 |
| | Prec. Máxima | 98,6 | 77,4 | 82,7 | 93,6 | 154,9 | 39,6 | 18 | 6,4 | 0 | 0 | 2,6 | 5,1 | 154,9 |
| | Dias de chuva | 16 | 12 | 14 | 25 | 24 | 13 | 15 | 2 | 1 | 0 | 3 | 6 | 131,0 |
| 2010 | Prec. Total | 108,2 | 122 | 316,9 | 393,7 | 377,5 | 218,3 | 105,2 | 7 | 0,4 | 0 | 16,2 | 90,7 | 1755,6 |
| | Prec. Máxima | 18,6 | 71,3 | 162,2 | 50,4 | 62,7 | 58,8 | 27,2 | 5 | 0,4 | 0 | 7,5 | 73,3 | 162,2 |
| | Dias de chuva | 16 | 12 | 14 | 25 | 24 | 13 | 15 | 2 | 1 | 0 | 3 | 6 | 131,0 |
| 2011 | Prec. Total | 490,3 | 457 | 430,9 | 621,7 | 310,8 | 166,8 | 128 | 38,7 | 0 | 61,6 | 6,5 | 0,6 | 2713,3 |
| | Prec. Máxima | 187,8 | 132 | 89,2 | 133,9 | 42,4 | 37,2 | 51 | 14,8 | 0 | 30,6 | 6 | 0,5 | 187,8 |
| | Dias de chuva | 17 | 21 | 25 | 28 | 26 | 15 | 12 | 8 | 0 | 4 | 2 | 2 | 160,0 |
| 2012 | Prec. Total | 100,2 | 238 | 331,7 | 249,5 | 86,4 | 50,8 | 60,5 | 11,2 | 0,2 | 0 | 1,6 | 0,8 | 1131,0 |
| | Prec. Máxima | 48 | 108 | 76,1 | 40,8 | 28,2 | 14,6 | 18,8 | 5,8 | 0,2 | 0 | 1,4 | 0,4 | 108,3 |

| | | | | | | | | | | | | | | |
|------|---------------------------------|-------|------|-------|-------|-------|-------|-------|------|------|------|------|-------|--------|
| | Dias de chuva | 9 | 17 | 20 | 23 | 14 | 13 | 13 | 3 | 1 | 0 | 2 | 4 | 119,0 |
| 2013 | Prec. Total | 60 | 279 | 319,1 | 267,8 | 186,3 | 203,4 | 53 | 15 | 4,4 | 0 | 13,8 | 40,5 | 1442,5 |
| | Prec. Máxima | 29 | 145 | 113,6 | 60,6 | 30,2 | 55,2 | 21,2 | 7,6 | 4,2 | 0 | 11 | 39,6 | 145,0 |
| | Dias de chuva | 14 | 14 | 22 | 25 | 17 | 12 | 4 | 4 | 2 | 0 | 5 | 3 | 122,0 |
| | Prec. Total | 149,2 | 251 | 161,6 | 245,9 | 784,3 | 185,5 | 44,3 | 3,8 | 0,5 | 2,2 | 0 | 29,6 | 1857,9 |
| 2014 | Prec. Máxima | 33,2 | 40,4 | 32 | 47,2 | 181,6 | 51,1 | 14,2 | 2 | 0,5 | 2,2 | 0 | 25,2 | 181,6 |
| | Dias de chuva | 17 | 20 | 21 | 25 | 26 | 16 | 8 | 6 | 1 | 1 | 0 | 2 | 143,0 |
| | Prec. Total | 30,2 | 0,3 | 425,9 | 367,5 | 299,7 | 106,7 | 76,1 | 0,1 | 1,2 | 19,4 | 64,5 | 59,3 | 1450,9 |
| 2015 | Prec. Máxima | 19 | 23,6 | 76 | 49,6 | 98,2 | 19,8 | 26,4 | 0,1 | 1 | 17 | 31 | 28,4 | 98,2 |
| | Dias de chuva | 4 | 14 | 22 | 26 | 22 | 17 | 14 | 1 | 2 | 4 | 6 | 11 | 143,0 |
| | Nº de Anos com Dados | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | |
| | Precipitação Total Mensal Média | 217,1 | 303 | 444,6 | 433,7 | 313,3 | 184,6 | 121,6 | 28,8 | 5,33 | 6,45 | 12,4 | 60,63 | 2131,5 |
| | Precipitação Máxima Mensal | 60,88 | 77,3 | 93,4 | 69,88 | 69,36 | 48,56 | 39,61 | 13,4 | 3,16 | 4,8 | 9,07 | 30,94 | 520,4 |
| | Número Médio de Dias | 15 | 18 | 24 | 24 | 21 | 17 | 12 | 5 | 2 | 1 | 2 | 6 | 147,0 |

Fonte: Agencia Nacional de Águas – Ana (2017)

A análise estatística foi feita a partir do método de Chow-Gumbel. Inicialmente foram colhidas informações das maiores precipitações diárias que ocorreram nos anos em estudo. A Tabela 13 expõem o tratamento estatístico para a determinação desses valores.

Para análise estatística das informações, os arranjos são caracterizados pelas ordens das informações, logo os valores das precipitações máximas deverão estar em ordem decrescente (SOUSA, 2016).

Diante disso, são calculadas a precipitação média máxima (Pmed), desvio padrão (σ) e Período de Retorno, com os valores das máximas precipitações diárias anuais na análise estatística. Para o cálculo dessas variáveis foram utilizadas as equações 3,4 e 5 respectivamente. E para a determinação das precipitações diárias referentes a cada período de retorno foi empregada a formula de Ven Te Chow

Os valores de k utilizado na expressão de Ven Te Chow são retirados a partir da Tabela 3 e seus respectivos valores referentes ao período de dados analisados, no total de 30 anos, podem ser vistos na tabela 14.

Em posse da precipitação diária é necessário a transformação para as chuvas de 24 horas. De acordo com Jaime Taborga, recomenda-se o coeficiente de 1,095 para converter as chuvas de 1 dia para 24 horas.

Para a escolha da Isozona adequada ao posto de São Luis, utilizou-se a Figura 2 e verificou que o posto se encontra na faixa da Isozona C, em que o seu valor correspondente foi retirado da Tabela 4 e multiplicado pelo valor da chuva diária para obtenção das chuvas correspondentes a 1 hora e 6 minutos.

Os valores da respectiva Isozona no qual o posto de São Luís se encontra, Isozona C, podem ser visualizados na Tabela 14. Além de apresentar os valores encontrados para as precipitações de 24 horas, 1 hora e 6 minutos, correspondentes a cada período de recorrência.

Tabela 13 – Tabela dos valores Estatísticos

| ANO | MÁXIMA PRECIPITAÇÃO ANUAL (mm) | ARRANJO EM ORDEM DECRESCENTE | | (P- Pmed) | (P- Pmed) ² | PERÍODO DE RETORNO |
|-------|--------------------------------------|------------------------------------|----------------|--------------|---------------------------|--------------------------|
| | | ORDEM | MÁXIMA (mm) | | | |
| 1986 | 108,9 | 1 | 187,80 | 62,09 | 3854,75 | 0,9677 |
| 1987 | 122,2 | 2 | 181,60 | 55,89 | 3123,32 | 0,9375 |
| 1988 | 109,7 | 3 | 162,20 | 36,49 | 1331,28 | 0,9091 |
| 1989 | 130,3 | 4 | 159,80 | 34,09 | 1161,90 | 0,8824 |
| 1990 | 149,8 | 5 | 159,70 | 33,99 | 1155,09 | 0,8571 |
| 1991 | 152,5 | 6 | 154,90 | 29,19 | 851,86 | 0,8333 |
| 1992 | 126,5 | 7 | 152,50 | 26,79 | 717,53 | 0,8108 |
| 1993 | 159,7 | 8 | 149,80 | 24,09 | 580,17 | 0,7895 |
| 1994 | 134,4 | 9 | 145,00 | 19,29 | 371,98 | 0,7692 |
| 1995 | 91,5 | 10 | 144,40 | 18,69 | 349,19 | 0,7500 |
| 1996 | 124,3 | 11 | 134,40 | 8,69 | 75,46 | 0,7317 |
| 1997 | 71,3 | 12 | 133,00 | 7,29 | 53,10 | 0,7143 |
| 1998 | 80,3 | 13 | 130,30 | 4,59 | 21,04 | 0,6977 |
| 1999 | 130,3 | 14 | 130,30 | 4,59 | 21,04 | 0,6818 |
| 2000 | 159,8 | 15 | 126,50 | 0,79 | 0,62 | 0,6667 |
| 2001 | 104,6 | 16 | 124,30 | -1,41 | 2,00 | 0,6522 |
| 2002 | 76,4 | 17 | 123,90 | -1,81 | 3,29 | 0,6383 |
| 2003 | 144,4 | 18 | 122,20 | -3,51 | 12,34 | 0,6250 |
| 2004 | 118,0 | 19 | 118,00 | -7,71 | 59,50 | 0,6122 |
| 2005 | 65,6 | 20 | 116,00 | -9,71 | 94,35 | 0,6000 |
| 2006 | 116,0 | 21 | 109,70 | -16,01 | 256,43 | 0,5882 |
| 2007 | 123,9 | 22 | 108,90 | -16,81 | 282,69 | 0,5769 |
| 2008 | 133,0 | 23 | 108,30 | -17,41 | 303,22 | 0,5660 |
| 2009 | 154,9 | 24 | 104,60 | -21,11 | 445,77 | 0,5556 |
| 2010 | 162,2 | 25 | 98,20 | -27,51 | 756,98 | 0,5455 |
| 2011 | 187,8 | 26 | 91,50 | -34,21 | 1170,55 | 0,5357 |
| 2012 | 108,3 | 27 | 80,30 | -45,41 | 2062,37 | 0,5263 |
| 2013 | 145,0 | 28 | 76,40 | -49,31 | 2431,80 | 0,5172 |
| 2014 | 181,6 | 29 | 71,30 | -54,41 | 2960,81 | 0,5085 |
| 2015 | 98,2 | 30 | 65,60 | -60,11 | 3613,61 | 0,5000 |
| Pmed= | 125,71 | | | | | |
| σ= | 31,14 | | | | | |

Fonte: Autor (2018)

Tabela 14 – Precipitações para 1 dia, 24 horas, 1 hora e 6 minutos

| Tempo de Recorrência (anos) | K | Precipitação | | | |
|-----------------------------------|------|--------------|----------|---------|--------|
| | | 1 dia | 24 horas | 1 hora | 6 min |
| 5 | 0,87 | 152,682 | 167,187 | 67,042 | 16,384 |
| 10 | 1,54 | 173,702 | 190,204 | 75,511 | 18,640 |
| 15 | 1,92 | 185,412 | 203,026 | 80,195 | 19,897 |
| 25 | 2,39 | 200,235 | 219,257 | 85,949 | 21,487 |
| 50 | 3,03 | 219,948 | 240,843 | 93,447 | 23,603 |
| 100 | 3,65 | 239,473 | 262,223 | 100,694 | 25,698 |

Fonte: Autor (2018)

Para a determinação dos valores da intensidade das precipitações referentes a 24 horas, 1 hora e 6 minutos, foi utilizado a equação 8 e os resultados gerados são demonstrados na Tabela 15.

Tabela 15 – Intensidades para 6 minutos, 1 hora e 24 horas

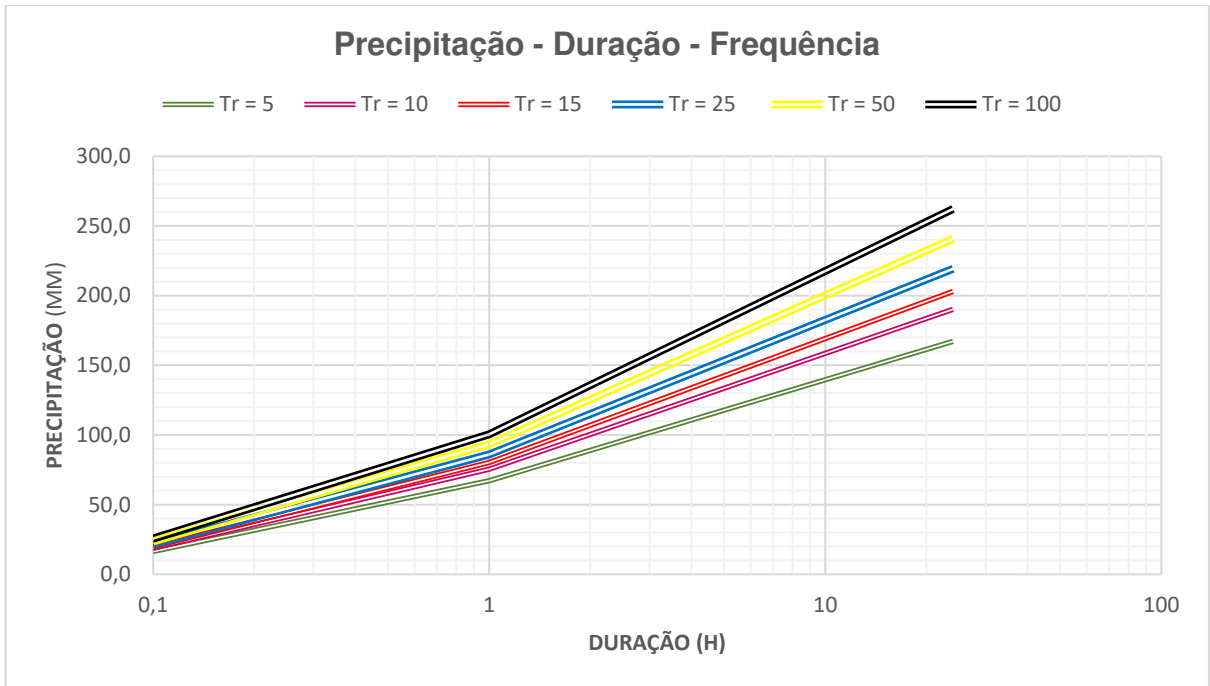
| Tempo (horas) | Intensidades (cm/h) | | | | | |
|------------------|---------------------|---------|---------|---------|---------|----------|
| | Tr = 5 | Tr = 10 | Tr = 15 | Tr = 25 | Tr = 50 | Tr = 100 |
| 0,1 | 16,384 | 18,640 | 19,897 | 21,487 | 23,603 | 25,698 |
| 1 | 6,704 | 7,551 | 8,020 | 8,595 | 9,435 | 10,043 |
| 24 | 0,697 | 0,793 | 0,846 | 0,914 | 1,004 | 1,093 |

Fonte: Autor (2018)

As precipitações máximas são retratadas pontualmente pelas curvas de Intensidade x Duração x Frequencia, que relaciona a duração, a intensidade e o risco da precipitação ser igualada ou superada. Correlacionando intensidade e durações das chuvas, verifica-se que quanto mais intensa for uma precipitação, menor será a duração. (TUCCI e BERTONI, 2007, apud SOUSA, 2016)

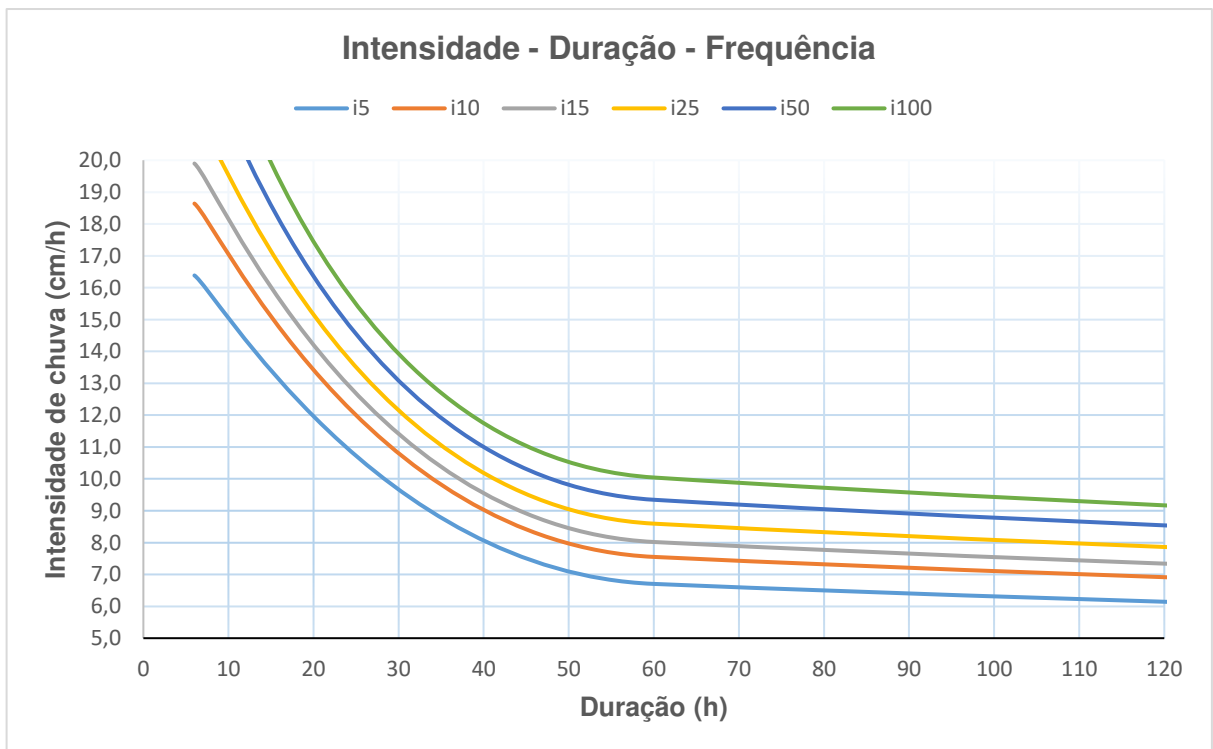
As curvas de Intensidade x Duração x Frequencia – IDF, foram obtidas através das relações entre as retas de precipitação com os tempos de recorrência utilizadas neste trabalho, representadas nos Gráficos 4 e 5.

Gráfico 4 – Curvas de Precipitação – Duração – Frequência



Fonte: Autor (2018)

Gráfico 5 – Curvas de Intensidade – Duração – Frequência - IDF



Fonte: Autor (2018)

4.4 DIMENSIONAMENTO HIDRÁULICO

4.4.1 Dimensionamento das Galerias de Águas Pluviais

Para o dimensionamento de uma rede de drenagem, é necessário o uso de alguns critérios e parâmetros determinados pelo projetista e que esteja dentro do admissível pelas normas.

No dimensionamento hidráulico das galerias foi utilizado a fórmula de Manning associada a equação da continuidade.

$$V = \frac{\sqrt[3]{RH^2} \times \sqrt{I}}{n} \quad (19)$$

$$Q = S \times V \quad (20)$$

Onde:

Q = Capacidade de escoamento da galeria;

S = Seção de escoamento da galeria;

V = Velocidade de escoamento da galeria;

RH = Raio hidráulico;

I = Declividade da galeria;

n = Coeficiente de Manning.

O coeficiente de rugosidade de Manning, utilizado na equação 19, é determinado de acordo com o tipo de superfície do dispositivo escolhido, no qual o valor adotado foi de 0,015. Valor este que se encontra na Tabela 08.

Para a aplicação deste estudo, a velocidade adotada nas galerias não poderá ter menos de 0,75 m/s, pois implicaria na dificuldade da sua autolimpeza e velocidade máxima de 4,5 m/s pois levaria a um desgaste a abrasão nos acessórios de drenagem. Foi empregado um recobrimento mínimo de 0,80 metros.

Foram adotadas outras características para o processo de dimensionamento, detalhadas nas seguintes etapas:

a) Delimitação da bacia de contribuição;

A bacia de contribuição foi delimitada a partir da análise de pontos cotados de acordo com a planta planialtimétrica, em que foram destacados os pontos mais altos e identificado o sentido do escoamento da água nas ruas.

b) Lançamentos da rede de drenagem;

As galerias de drenagem foram designadas pelo autor, seguindo orientações e recomendações por profissionais gabaritados com experiências na área.

Os poços de visita foram locados em distancias iguais ou inferior a 75 metros entre si, com a finalidade de proporcionar a limpeza das tubulações.

Após a locação dos poços, foram determinadas as sub-bacias de contribuição referentes a cada poço de visita e retiradas o valor das áreas correspondentes com o auxílio do AutoCad.

Para determinar a declividade do terreno, foi utilizado as cotas topográficas de jusante a montante de cada poço de visita. Os valores das declividades são possíveis de retirar a partir da equação 21.

$$St = \left(\frac{CM - CJ}{L} \right) \times 100 \quad (21)$$

Onde:

St = Declividade do terreno no trecho, em percentagem (%);

CM = Cota do terreno no poço de visita a montante, em metros;

CJ = Cota do terreno no poço de visita a jusante, em metros;

L = Comprimento da galeria, em metros.

c) Determinação do período de retorno;

Para o dimensionamento da vazão dos dispositivos de drenagem, adota-se os valores de período retorno igual a 15 anos para tubulações de até 1,20 metro de diâmetro e período de retorno igual a 25 anos para tubulações a partir de 1,50 metros de diâmetro.

d) Parâmetros da planilha de dimensionamento

Além dos parâmetros mencionados, é necessário analisar outros parâmetros, tais como: tempo de concentração, intensidade e precipitação, coeficiente do escoamento superficial e vazão de contribuição.

Para os poços de visita iniciais foi adotado um tempo de concentração de 10 minutos, enquanto para os demais, os tempos são determinados pelos acúmulos

dos trechos correspondente a um poço de visita a outro. Há alguns trechos em que existem mais de um trecho de galeria chegando em um poço de visita, foi adotado para este PV o maior tempo de concentração dentre os trechos.

A intensidade de precipitação foi obtida através de equações geradas a partir das curvas de Intensidade, Duração e Frequência retiradas do Quadro 2, que corresponde a uma intensidade de 180,90 mm/h ou 3,01 mm/min.

O coeficiente de escoamento foi escolhido de acordo com a Tabela 7, no qual é considerado que a área em estudo apresenta cerca de 90% de sua área impermeável, adotando o valor do escoamento de 0,80.

Para a determinação da vazão de contribuição de projeto, indica-se utilizar o Método Racional, pois a área em estudo é menor que 250 hectares. É calculado as vazões de contribuição de cada trecho que chega ao poço de visita correspondente, sendo esta acumulativa ao longo da galeria.

A tabela 16, em Anexos, apresenta o dimensionamento das galerias pluviais proposta para o sistema de drenagem no trecho da Avenida São Cristóvão.

4.4.2 Dimensionamento das Bocas de Lobo

Para o dimensionamento das bocas de lobo, foram utilizados alguns parâmetros necessários, assim como foi feito para o dimensionamento das galerias pluviais.

Para encontrar a capacidade de escoamento da boca de lobo foi utilizado a Equação 22.

$$Q = \frac{C \times I \times A}{360} \quad (22)$$

Onde:

Q = vazão de contribuição, (m³/s);

C = coeficiente de escoamento;

I = índice de precipitação, (mm/h);

A = área de contribuição, (m²).

O coeficiente de escoamento foi retirado da Tabela 7, no qual foi adotado o valor de 0,80, valor no qual se usa para revestimento em concreto armado. O índice

de precipitação foi obtido através da equação gerada das curvas de intensidade mostradas no Quadro 2 e as áreas de contribuições foi retirada a partir da planta planialtimétrica.

Neste trabalho foram utilizados 3 tipos de bocas de lobo: Boca de Lobo Simples (BLS), Bocas de Lobo Dupla (BLD) e Bocas de Lobo Tripla (BLT).

De acordo com recomendações do DNIT e projetistas em drenagem urbana, foi calculado o número de bocas em cada trecho dividindo-se o valor da área de contribuição pelo valor de 0,1 m³/s e classificando-o de acordo com a Tabela 17.

Tabela 17 – Classificação para determinar Boca de Lobo

| Vazão (m ³ /s) | Tipos de Boca de Lobo |
|---------------------------|-----------------------|
| < 1,0 | Boca de Lobo Simples |
| >1,0 | Boca de Lobo Dupla |
| > 2,0 | Boca de Lobo Tripla |

Fonte: Autor (2018)

A Tabela 18 apresenta a quantidade de bocas de lobo necessárias para que atenda a área de contribuição do projeto. As bocas de lobo podem ser vistas na planta baixa de drenagem de águas pluviais, presente nos Anexos deste relatório.

4.5 APLICAÇÃO DO MODELO SWMM

4.5.1 Plataforma SWMM

Desenvolvido em 1971 pela U.S. EPA – Environmental Protection Agency, o *Storm Water Management Model* – SWMM vem sendo submetido a diversas melhorias e é amplamente utilizado por pesquisadores e estudiosos pelo mundo todo.

Trata-se de um modelo hidrológico dinâmico, que, permite a entrada de dados para a área de estudo simular o comportamento hidrológico, hidráulico, estimar a qualidade da água e visualizar os resultados da modelagem em uma grande variedade de formatos (HUBER & DICKINSON, 1992).

O SWMM foi criado para sua aplicação em áreas urbanas, com objetivo de auxiliar no planejamento, análise e concepção de projetos de escoamentos superficiais das águas pluviais, operando com um conjunto de sub-bacias hidrográficas que recebem precipitações e geram escoamentos e cargas poluidoras. O modelo faz simulação de fenômenos hidrológicos e hidráulicos, com modelo dinâmico chuva-vazão para um único evento ou contínuo, gerado a partir do sistema de galerias para a previsão de vazões, pontos de inundação e de poluentes (Rossman, 2010 apud Junior, 2016).

O SWMM pode ser utilizado para diferentes aplicações, como: sistemas de drenagem para controle de inundações, análise e projetos de sistema de drenagem de águas pluviais em áreas urbanas, entre outras.

A simulação do escoamento superficial é realizada considerando que as sub-bacias se comportam como reservatórios não lineares, representados pela combinação das equações de Manning e da continuidade, determinada pela Equação 23.

$$\frac{dd}{dt} = i x - \frac{W}{A x n} (d - dp)^{\frac{5}{3}} x S^{\frac{1}{2}} \quad (23)$$

Onde:

W – Largura representativa da sub-bacia;

n – Coeficiente de rugosidade de Manning;

A – Área da sub-bacia;

S – Declividade da sub-bacia;

dp – Altura do armazenamento por depressão;

i – Precipitação efetiva;

d – Profundidade de água no reservatório;

t – Tempo.

A equação diferencial não linear é, então, solucionada pelo processo iterativo de Newton-Raphson. A propagação do escoamento pela rede de drenagem, por sua vez, é calculada pelas equações completas de Saint Venant, através de um esquema explícito, segundo o método de Euler modificado (GARCIA & PAIVA, 2006 apud COLLODEL, 2009).

4.5.2 Método para Infiltração

O modelo hidrológico SWMM oferece três diferentes possibilidades para modelagem da infiltração da água no solo. Equações de Horton, Método de Green-Ampt e Método SCS. O modelo está relacionado com o uso do solo e grupo hidrológico predominante na bacia e a condição de umidade do solo. Durante um evento de precipitação a capacidade total de infiltração do solo é função da chuva acumulada e da capacidade de infiltração remanescente.

A literatura mostra a preferência dos especialistas pelo Método SCS, motivo pelo qual se optou por sua utilização no presente trabalho e no qual considera que a capacidade de infiltração do solo pode ser obtida pela Curva Número (CN).

O número da curva CN varia de 0 a 100 e retrata as condições de cobertura e solo, variando desde uma cobertura muito impermeável (limite superior) até uma cobertura completamente permeável (limite inferior). Este fator varia para diferentes tipos de solos que pode ser observado na tabela 19.

Tabela 19 – Solos em capacidade de infiltração

| Classificação | Definição | Tipo |
|---------------|--|---|
| Solo A | Solos que produzem muito baixo escoamento superficial e muito alta infiltração | Solos arenosos com baixo teor de argila total, inferior a 8%; não há rocha nem camadas argilosas e nem mesmo densificadas até a profundidade de 1,5m. O teor de húmus é muito baixo, não atingindo 1%. |
| Solo B | Solos que produzem baixo escoamento superficial e alta infiltração. | Solos arenosos menos profundos que os do grupo A e com maior teor de argila total, porém ainda inferior a 15%. No caso de terras roxas este limite pode subir a 20%, graças a maior porosidade. Os dois teores de húmus podem subir, respectivamente, a 1,2 e 1,5%. Não pode haver pedras nem camadas argilosas até 1,5m, mas é quase sempre presente uma camada mais densificada que a camada superficial. |
| Solo C | Solos que geram escoamento superficial pouco acima da média e com capacidade de infiltração pouco abaixo da média. | Solos barrentos com teor de argila de 20 a 30%, mas sem camadas de argilas impermeáveis ou contendo pedras até a profundidade de 1,2m. No caso de terras roxas estes dois limites podem ser de 40% e 1,5m. Nota-se a cerca de 60cm de profundidade a camada mais densificada que no grupo B, mas ainda longe das condições de impermeabilidade. |
| Solo D | Solos com baixa capacidade de infiltração. | Há duas possibilidades: - solos argilosos (30 a 40% de argila total) e ainda com camada densificada a cerca de 50cm de profundidade - solos arenosos como B, mas com camada argilosa quase impermeável ou horizonte de seixos rolado. |

(Continuação)

| | | |
|--------|--|---|
| Solo E | Solos com muito baixa capacidade de infiltração. | Há duas possibilidades: - solos barrentos como C, mas com camada argilosa impermeável ou com pedras - solos barrentos como C, sem camada argilosa impermeável, mas com teor de argila superior a 40%. |
|--------|--|---|

Fonte: Paraná (2002)

De acordo com a classificação do solo, é possível determinar a infiltração em conformidade com o tipo de solo, apresentadas na tabela 20.

Tabela 20 - Valores de CN

| Utilização ou Cobertura do Solo | | A | B | C | D | E |
|-----------------------------------|-----------------------------------|----|----|----|----|----|
| Pastagens ou terrenos baldios | Más condições | 68 | 79 | 86 | 89 | 89 |
| | Boas condições | 39 | 61 | 74 | 80 | 80 |
| Prado em boas condições | | 30 | 58 | 71 | 78 | 78 |
| Bosques ou zonas florestais | Cobertura Ruim | 45 | 66 | 77 | 83 | 83 |
| | Cobertura Boa | 25 | 55 | 70 | 77 | 77 |
| Zonas comerciais e de escritórios | | 89 | 92 | 94 | 95 | 95 |
| Arruamentos e estradas | Asfaltadas e com drenagem pluvial | 98 | 98 | 98 | 98 | 98 |
| | Paralelepípedos | 76 | 85 | 89 | 91 | 91 |
| | Terra | 72 | 82 | 87 | 89 | 89 |

Fonte: Paraná (2002)

O parâmetro de infiltração foi determinado de acordo com a predominância do tipo do solo da área de estudo. Como se trata de uma região predominante pavimentada situada em uma zona comercial, foi escolhida o solo C4 com CN de 94.

4.5.3 Método de Propagação de Deflúvio

O transporte de água em um conduto está regido pelas equações de conservação de massa e da quantidade de movimento. O usuário do SWMM pode optar por três modelos hidráulicos de transporte existentes:

- O Fluxo em Regime Uniforme;
- A Onda Cinemática;
- A Onda Dinâmica.

O modelo escolhido neste trabalho foi o modelo de transporte da Onda Dinâmica que resolve as equações completas unidimensionais e gera resultados mais precisos.

De acordo com Rossman (2010), com este modelo de transporte é possível representar o fluxo pressurizado quando um conduto fechado se encontra completamente cheio, de forma que a vazão que circula pelo mesmo pode ultrapassar o valor de vazão do tubo completamente cheio, obtido através da equação de Manning. Inundações ocorrem no sistema quando a profundidade da água nos nós excede o valor máximo disponível nos mesmo.

Considerando que o modelo calcula, de forma simultânea, os valores dos níveis de água nos nós e as vazões nos condutos, ele pode ser aplicado para qualquer tipo de traçado de rede de drenagem, mesmo aquele que contém nós com múltiplos divisores de fluxo a jusante ou às redes malhadas (Rossman, 2010).

4.5.4 Comportamento de Módulo de Fluxos de Água

De acordo com Rossman (2010), o SWMM representa o comportamento de um sistema de drenagem através de uma série de fluxos de água e matéria entre os principais módulos descritores do ambiente. Os módulos e seus respectivos objetos podem ser visualizados na tabela 21.

Tabela 21 – Tipos de comportamentos para modelagem

| Módulo | Objetivos |
|--------------------|---|
| Atmosférico | Ocorre precipitação e depósito dos poluentes sobre a superfície do solo, representados no módulo de Superfície do Solo. O SWMM utiliza o objeto Pluviômetro para representar as entradas de chuva no sistema. |
| Superfície do Solo | Representado por meio de um ou mais objetivos da Sub-bacia. Ele recebe a precipitação do módulo Atmosférico sob a forma de chuva ou neve; exporta o fluxo de água por meio da infiltração para o módulo de Águas Subterrâneas e, também, por meio de escoamento superficial e carreamento de poluentes para o módulo de Transporte. |
| Águas Subterrâneas | Recebe a infiltração para o módulo de Superfície do Solo e transfere uma parte da mesma, como fluxo de entrada, para o módulo de Transporte. O módulo de Águas Subterrâneas é modelado utilizando os objetos Aquíferos. |

(Continuação)

| | |
|------------|---|
| Transporte | Contém uma rede com elementos de transporte (canais, tubulações, bombas e elementos de regulação) e unidade de armazenamento e tratamento, que transportam a água para os nós exutórios ou para as estações de tratamento. Os fluxos de entrada deste módulo podem advir do escoamento superficial, da interação com o fluxo subterrâneo, de escoamento de águas residuais, ou de hidrogramas de entrada definidos pelo usuário. Os componentes do módulo de Transporte são modelados com os objetos Nós e Trechos. |
|------------|---|

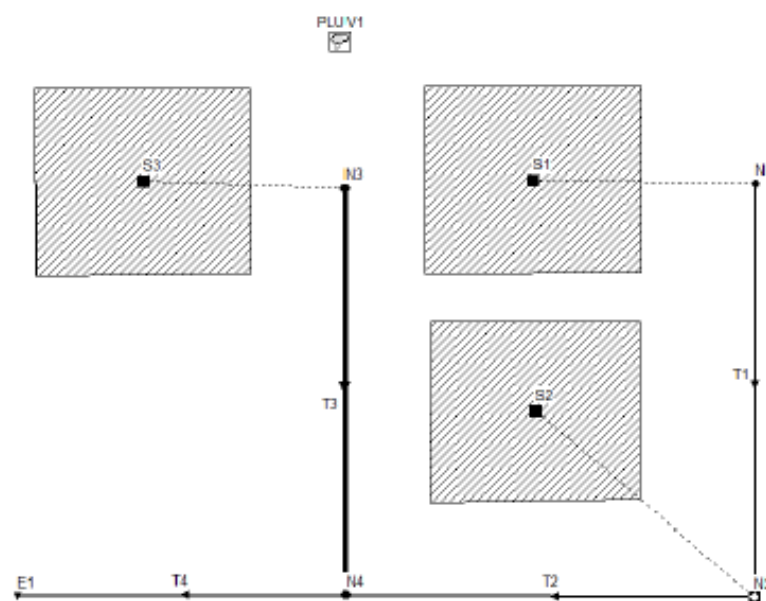
Fonte: Rossman (2010)

Para uma determinada modelagem no SWMM, não é necessário que apareçam todos os módulos descritos na Tabela 18. Como um dos objetivos deste trabalho é analisar o comportamento da vazão nas galerias, o que melhor se identifica para este estudo é o módulo de Transporte, pois envolve uma análise de todos os acessórios envolvidos.

4.5.5 Representação de Acessórios de um Sistema de Drenagem

Na Figura 24, mostra alguns dos componentes que organizados formam um sistema de drenagem de águas pluviais. Alguns destes objetos podem ser representados no mapa da área de estudo do SWMM.

Figura 24 – Exemplo de um sistema de drenagem no SWMM



Fonte: ROSSMAN (2010)

a) Pluviômetro

O pluviômetro fornece os dados de entrada das precipitações que ocorrem sobre uma ou mais áreas das sub-bacias definidas na região de estudo. Os dados de chuva podem ser definidos pelo usuário mediante séries temporais de dados ou podem advir de um arquivo externo ao programa (Rossman, 2010).

As principais propriedades do objeto pluviômetro a serem fornecidas são:

- Tipos de dados de chuva;
- Intervalos de tempo dos dados;
- Origem dos dados de chuva;
- Nome dado ao objeto a partir do qual se acessam os dados de chuva.

b) Sub-Bacias

Segundo Rossman (2010), os objetos sub-bacias são unidades hidrológicas de terreno cuja topografia e elementos do sistema de drenagem conduzem o escoamento diretamente para um único ponto de descarga. As sub-bacias são caracterizadas pelos parâmetros apresentados na Tabela 22.

Tabela 22 – Parâmetros das Sub-bacias

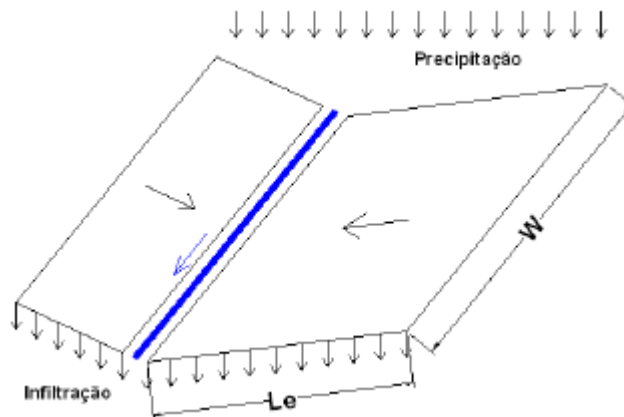
| Parâmetro | Sigla | Und. |
|---|--------------|-------------|
| Área | A | ha |
| Largura | W | m |
| Declividade | S | % |
| Áreas Impermeáveis | AI | % |
| Coefficiente de rugosidade de Manning - Superfícies impermeáveis | NI | - |
| Coefficiente de rugosidade de Manning - Superfícies permeáveis | NP | - |
| Capacidade de armazenamento em depressões - Superfícies impermeáveis | DI | mm |
| Capacidade de armazenamento em depressões - Superfícies permeáveis | DP | mm |
| Áreas impermeáveis não conectadas | AINC | % |

Fonte: ROSSMAN (2010)

As áreas, declividades e os perímetros da sub-bacia foram determinados com o suporte da planta planialtimétrica.

O manual do modelo SWMM (ROSSMAN, 2010 apud COLLODEL, 2009) sugere que as larguras das sub-bacias sejam calibradas, e as define, como estimativa inicial, como uma relação entre a área e o valor médio dos comprimentos máximos de escoamento superficial. Dessa forma, optou-se por representar esse parâmetro de acordo com a Figura 25, na qual “W” representa a largura de escoamento das sub-bacias e “Le” a largura do retângulo equivalente. O valor de W deve ser o resultado da divisão entre a área da sub-bacia e o maior comprimento de fluxo, sendo esse representado pela medida entre o exutório e o vértice mais distante da área.

Figura 25 – Representação das larguras da sub-bacia



Fonte: COLLODEL (2009)

Os valores de Le foram calculados pelo método do retângulo equivalente (Equação 24 e Equação 25), que, por utilizar somente características físicas das sub-bacias, é de fácil determinação (GARCIA, 2005).

$$Le = \frac{kc\sqrt{A}}{1,12} x \left[1 - \sqrt{1 - \left(\frac{1,128}{kc} \right)^2} \right] \quad (\text{Equação 24})$$

$$K_c = 0,282x \frac{P}{\sqrt{A}} \quad (\text{Equação 25})$$

Onde:

Le = largura do retângulo equivalente (m);

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

K_c = coeficiente de compacidade (adimensional), definido como a relação entre o perímetro da bacia e a circunferência de um círculo de área igual à da bacia;

P = perímetro da bacia hidrográfica ou sub-bacia (m).

A partir desses valores, foram calculadas as larguras de escoamento das sub-bacias, pela equação 26.

$$W = \frac{A}{Le} \quad (\text{Equação 26})$$

Onde:

W = largura de escoamento das sub-bacias (m);

Le = largura do retângulo equivalente (m);

A = área da bacia hidrográfica ou sub-bacia (m²).

Os valores das larguras de escoamento das sub-bacias podem ser visualizados na Tabela 23.

Tabela 23 – Valores da largura de escoamento

| Bacia | W (m) | Bacia | W (m) |
|--------------|--------------|--------------|--------------|
| BA01 | 440,907 | BA20 | 304,282 |
| BA02 | 67,215 | BA21 | 77,242 |
| BA03 | 115,614 | BA22 | 280,728 |
| BA04 | 69,455 | BA23 | 70,34 |
| BA05 | 111,92 | BA24 | 76,395 |
| BA06 | 66,461 | BA25 | 69,057 |
| BA07 | 597,498 | BA26 | 191,837 |
| BA08 | 490,955 | BA27 | 72,345 |
| BA09 | 452,968 | BA28 | 345,961 |
| BA10 | 2017,75 | BA29 | 448,649 |
| BA11 | 52,436 | BA30 | 404,728 |
| BA12 | 162,997 | BA31 | 668,355 |
| BA13 | 66,95 | BA32 | 327,65 |
| BA14 | 322,571 | BA33 | 459,124 |
| BA15 | 235,313 | BA34 | 175,723 |
| BA16 | 994,976 | BA35 | 414,994 |
| BA17 | 62,043 | BA36 | 282,656 |
| BA18 | 107,742 | BA37 | 131,663 |
| BA19 | 68,158 | BA38 | 50,733 |

Fonte: Autor (2018)

Outros parâmetros principais da sub-bacia a serem fornecidos são:

- A porcentagem de área impermeável;
- A largura característica do fluxo superficial;
- O valor do coeficiente de Manning “n” para o fluxo superficial, tanto para áreas permeáveis, como para áreas impermeáveis;
- O armazenamento em depressão para áreas permeáveis e impermeáveis;
- A porcentagem de solo impermeável isenta de armazenamento em depressão.

c) Nós de Conexão

Os Nós de Conexão são objetos do sistema de drenagem onde se conectam diferentes trechos entre si. Fisicamente, podem representar a confluência de canais superficiais naturais, poços de visita do sistema de drenagem, ou elementos de conexão de tubulações (ROSSMAN, 2010).

Os parâmetros principais de entrada de um nó de conexão são:

- Cota do radier da estrutura física representada pelo nó;
- Profundidade do radier em relação ao terreno;
- Área superficial da água empoçada acima do nó de conexão quando há transbordamento. É um parâmetro opcional de entrada;
- Dados das contribuições externas de fluxo. É também um parâmetro opcional.

d) Nós Exutórios

Os objetos Nós Exutórios são nós terminais do sistema de drenagem, utilizados para definir as condições de contorno finais a jusante do sistema, que é o caso deste trabalho pois se utiliza o modelo de propagação de Onda Dinâmica.

Os parâmetros principais de um nó exutório são:






















- A cota do radier da estrutura física representada pelo nó;
- O tipo e a descrição da condição de contorno;
- A presença de um dispositivo de retenção (comporta de contenção) para prevenir o fluxo inverso no exutório.

e) Trechos ou Conduitos

O manual do modelo SWMM (ROSSMAN, 2010) afirma que os objetos condutos são tubulações ou canais que transportam a água de um nó para o outro.

As seções transversais dos condutos podem ser selecionadas a partir de diversas geometrias, abertas ou fechadas, apresentadas na Figura 26.

Figura 26 – Tipos de seção dos condutos

| Nome | Parâmetros | Forma | Nome | Parâmetros | Forma |
|------------------------|--|---|-------------------------|--|---|
| Circular | Profundidade |  | Circular Preenchimento | Profundidade, profundidade do escoamento |  |
| Retangular Fechado | Profundidade, largura |  | Retangular Aberto | Profundidade, largura |  |
| Trapezoidal | Profundidade, largura na parte superior, declividade lateral |  | Triangular | Profundidade, largura na parte superior |  |
| Elipse Horizontal | Profundidade |  | Elipse Vertical | Profundidade |  |
| Arco | Profundidade |  | Parabólica | Profundidade, largura na parte superior |  |
| Potencial | Profundidade, Largura na parte superior, expoente |  | Retangular – Triangular | Profundidade, largura |  |
| Retangular Arredondada | Profundidade, largura |  | Cesta de mão modificada | Profundidade, largura |  |
| Oval | Profundidade |  | Colada de cavalo | Profundidade |  |
| Gótico | Profundidade |  | Catenária | Profundidade |  |
| Semi-elíptica | Profundidade |  | Cesta de mão | Profundidade |  |
| Semicircular | Profundidade |  | | | |

Fonte: ROSSMAN (2010)

A maioria das seções transversais de condutos de drenagem de águas pluviais são circulares, quadradas ou trapezoidais tendo a sua forma definida pelo usuário.

Os principais parâmetros a serem fornecidos ao modelo para os condutos são:

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

- Coeficiente de perdas, tanto para a entrada, como para a saída do conduto (opcional).

4.5.6 Dados de Entrada

Como todo programa de modelação, é necessário alimentar o software com elementos para que ele execute de maneira que seja o mais próximo da realidade. Todas as informações inseridas no mesmo foram retiradas da planta planialtimétrica, pesquisas bibliográficas, de agências, e a partir do dimensionamento que faz parte deste estudo.

4.5.6.1 Parâmetros Hidrológicos

Assim como foram utilizados dados hidrológicos da bacia para o dimensionamento dos dispositivos de drenagem, os mesmos parâmetros serão utilizados para a simulação no SWMM. Existem alguns parâmetros no SWMM, que não serão necessários para a realização deste trabalho, como águas subterrâneas e uso e ocupação do solo que são utilizados para realização da modelagem de bacias e sub-bacias. Os parâmetros hidrológicos utilizados neste trabalho, serão:

- Índice de precipitação;
- Número de Manning para a área impermeável e permeável;
- Declividade;
- Área da bacia;
- Largura do escoamento;
- Tempo de concentração;
- Permeabilidade do solo.

Para determinar o índice de precipitação, foram colhidas informações do Posto de São Luís em uma série histórica de 30 anos, como consta na Tabela 11. Na Tabela 14, foi retirado o valor da precipitação utilizado na simulação. Foi uma média da chuva de 1h com tempo de retorno de 15 e 25 anos, resultando no valor de 83,072 mm. Para a modelagem, foi simulado uma chuva de 1 hora de duração, no qual foi necessário criar uma serie temporal que conteve as intensidades de chuva em cada um dos intervalos horários definidos para esta chuva.

Os valores de Manning foram retiradas da Tabela 24, com valor de 0,015 para área impermeável e 0,40 para área permeável.

Tabela 24 – Parâmetros para rugosidade e armazenamento

| Tipos de Superfície | Coef. Manning | Armazenamento em depressões (mm) |
|----------------------------|----------------------|---|
| Impermeáveis | 0,015 | 1,27 - 2,54 |
| Permeáveis | 0,40 | 5,08 |

Fonte: Adaptado de Rossman et al. (2010)

As áreas e declividades foram retiradas da Tabela 16, que foram coletadas da planta planialtimétrica.

Os valores da largura de escoamento foram calculados utilizando a Equação 25 e assim retirados da Tabela 23.

O tempo de concentração foi calculado a partir da formula da Onda Cinemática, expressa na Equação 14, em que o tempo total leva em consideração o tempo de percurso no trecho somando ao momento de entrada. Os valores calculados dos mesmos estão na Tabela 16.

Para a caracterização da bacia de contribuição, levou-se em consideração a homogeneidade da ocupação do solo. Por imagens via satélite e visitas pela área, a grande parte da região é pavimentada, o que aumenta sua taxa de impermeabilização. Para sub-bacias com vegetação será adotado um valor de 25% para parcela permeável e 90% para as ruas e avenidas.

4.5.6.2 Parâmetros Hidráulicos

De acordo com Almeida (2015), entendem-se como parâmetros hidráulicos aqueles atribuídos na definição dos nós da rede de drenagem, e os elementos de condução do escoamento superficial (bueiros, galerias, canais, entre outros).

Os parâmetros hidráulicos descobertos neste trabalho, que se encontra na Tabela 16, serão os mesmos parâmetros que será utilizado para a modelagem. Alguns parâmetros como:

- Diâmetro ou seção transversal da tubulação;
- Comprimento da tubulação;

- Cota e profundidade dos nós;
- Coeficiente de rugosidade;
- Offset de saída.

As seções transversais, comprimento da tubulação, cotas e profundidades dos nós que serão utilizados para a simulação, são as mesmas utilizadas no dimensionamento, como consta na Tabela 16.

O coeficiente de rugosidade ou coeficiente de Manning, foi retirado da Tabela 08, com o valor adotado de 0,015.

É possível calcular o offset de saída na interseção das galerias com os nós, através da Equação 27 e representada graficamente pela figura 27. O recobrimento mínimo adotado para rede de galerias pluviais foi de 0,80 metros, segundo Coelho (2015).

$$h_{\text{off}} = h_{\text{max}} - 0,80 - \varnothing \quad (\text{Equação 27})$$

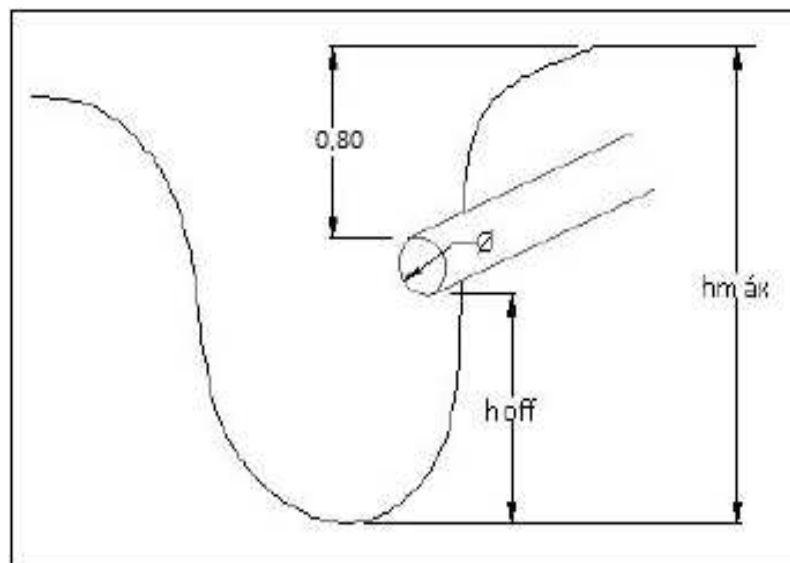
Onde:

h_{off} = Offset de saída (m);

h_{max} = Profundidade máxima (m), definida pela diferença entre a cota da rua e a cota do fundo do nó;

\varnothing = Seção da galeria (m)

Figura 27 – Esquema gráfico do offset de saída



Fonte: COLLODEL (2009)

4.5.7 Unidades de Medida

As unidades escolhidas para a modelagem foram as do Sistema Internacional (SI). As vazões estão representadas em MCS (metros cúbicos por segundo) e a área em hectares (ha).

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste capítulo será tratado o dimensionamento proposto e mostrado os resultados da modelagem dos acessórios que fazem parte da bacia estudada.

A Tabela 25 apresenta um resumo das dimensões das galerias encontradas a partir do dimensionamento do sistema de drenagem.

Tabela 25 – Resumo das galerias dimensionadas

| Trecho | Comprimento (m) | Vazão de Contribuição (m ³ /s) | Tipo do Dispositivo | Seção Transversal | Vazão de Capacidade (m ³ /s) |
|-------------------|-----------------|---|---------------------|-------------------|---|
| RAMAL 01 | | | | | |
| PV01-PV02 | 68,00 | 1,231 | Seção Circular | 0,80 | 1,952 |
| PV02-PV03 | 67,00 | 1,369 | Seção Circular | 0,80 | 1,985 |
| PV03-PV04 | 64,00 | 1,615 | Seção Circular | 0,80 | 1,812 |
| PV04-PV05 | 69,00 | 1,757 | Seção Circular | 1,00 | 2,938 |
| PV05-PV06 | 71,00 | 2,040 | Seção Circular | 1,00 | 2,276 |
| PV06-PV28 | 75,00 | 2,184 | Seção Circular | 1,00 | 2,458 |
| RAMAL 02.1 | | | | | |
| PV07-PV08 | 73,00 | 1,33 | Seção Circular | 1,00 | 1,738 |
| PV08-PV10 | 72,00 | 4,52 | Seção Circular | 1,50 | 5,126 |
| RAMAL 02.2 | | | | | |
| PV09-PV10 | 72,00 | 1,304 | Seção Circular | 1,00 | 1,858 |
| RAMAL 03 | | | | | |
| PV10-PV11 | 71,00 | 5,56 | Seção Circular | 1,50 | 6,711 |
| PV11-PV12 | 66,00 | 5,68 | Seção Circular | 1,50 | 6,711 |
| PV12-PV13 | 72,00 | 6,03 | Seção Circular | 1,50 | 6,985 |
| PV13-PV31 | 74,00 | 6,12 | Seção Circular | 1,50 | 6,985 |
| RAMAL 04.1 | | | | | |
| PV14-PV16 | 72,00 | 0,70 | Seção Circular | 0,80 | 0,959 |
| RAMAL 04.2 | | | | | |
| PV15-PV16 | 75,00 | 0,67 | Seção Circular | 0,80 | 0,959 |
| RAMAL 05 | | | | | |
| PV16-PV17 | 69,00 | 3,537 | Seção Circular | 1,20 | 4,138 |
| PV17-PV18 | 66,00 | 3,67 | Seção Circular | 1,20 | 4,274 |
| PV18-PV19 | 72,00 | 3,92 | Seção Circular | 1,20 | 4,533 |
| PV19-PV20 | 59,00 | 4,02 | Seção Circular | 1,20 | 4,533 |
| PV20-PV21 | 64,00 | 4,86 | Seção Trapezoidal | 1,50x1,20 | 5,769 |
| PV21-PV34 | 72,00 | 4,97 | Seção Trapezoidal | 1,50x1,20 | 5,769 |
| RAMAL 06 | | | | | |
| PV22-PV23 | 69,00 | 0,74 | Seção Circular | 0,80 | 1,202 |
| PV23-PV24 | 69,00 | 0,88 | Seção Circular | 0,80 | 1,146 |

(Continuação)

| | | | | | |
|-------------------|-------|-------|-------------------|-----------|--------|
| PV24-PV25 | 69,00 | 1,01 | Seção Circular | 0,80 | 1,202 |
| PV25-PV26 | 70,00 | 1,13 | Seção Circular | 0,80 | 1,307 |
| PV26-PV27 | 72,00 | 1,53 | Seção Circular | 1,00 | 1,858 |
| PV27-PV36 | 75,00 | 1,65 | Seção Circular | 1,00 | 1,971 |
| RAMAL 07.1 | | | | | |
| PV36-PV35 | 72,00 | 3,13 | Seção Circular | 1,20 | 3,544 |
| PV35-PV34 | 75,00 | 3,81 | Seção Circular | 1,20 | 4,138 |
| PV34-PV33 | 74,00 | 9,31 | Seção Trapezoidal | 1,50x1,50 | 10,170 |
| PV33-PV32 | 70,00 | 10,46 | Seção Trapezoidal | 2,0x1,50 | 11,923 |
| PV32-PV31 | 72,00 | 10,82 | Seção Trapezoidal | 2,0x1,50 | 12,453 |
| RAMAL 07.2 | | | | | |
| PV28-PV29 | 75,00 | 2,97 | Seção Circular | 1,20 | 3,379 |
| PV29-PV30 | 73,00 | 4,09 | Seção Circular | 1,50 | 5,479 |
| PV30-PV31 | 74,00 | 5,10 | Seção Circular | 1,50 | 5,479 |
| RAMAL 08 | | | | | |
| PV31-PV37 | 75,00 | 24,76 | Seção Trapezoidal | 2,50x2,50 | 27,242 |
| PV37-PV38 | 53,00 | 24,68 | Seção Trapezoidal | 2,50x2,50 | 27,242 |
| PV38-E1 | 60,00 | 24,56 | Seção Trapezoidal | 2,50x2,50 | 27,242 |

Fonte: Autor (2018)

O Anexo I apresenta a planilha completa do cálculo de dimensionamento da rede de drenagem, juntamente com os resultados de dimensionamento da rede de drenagem das seções de galeria. A planta de drenagem com os dispositivos de drenagem está apresentada no Mapa 1.

Além do dimensionamento da rede de drenagem, em Anexo II, está o dimensionamento e a quantidade de bocas de lobo propostas para a bacia que foi estudada.

Realizado o dimensionamento, serão avaliados o comportamento da capacidade nos trechos. O critério adotado para o uso do tempo de retorno, foi de tubulações de até 1,50m de diâmetro adotar tempo de 15 anos e a partir de seção de 1,50m adotar tempo de retorno de 25 anos.

A Figura 28, mostra a bacia de contribuição, com suas respectivas sub-bacias, nós e trechos dos condutos desenvolvidos no SWMM.

Figura 28 – Bacia de Contribuição desenvolvida no SWMM

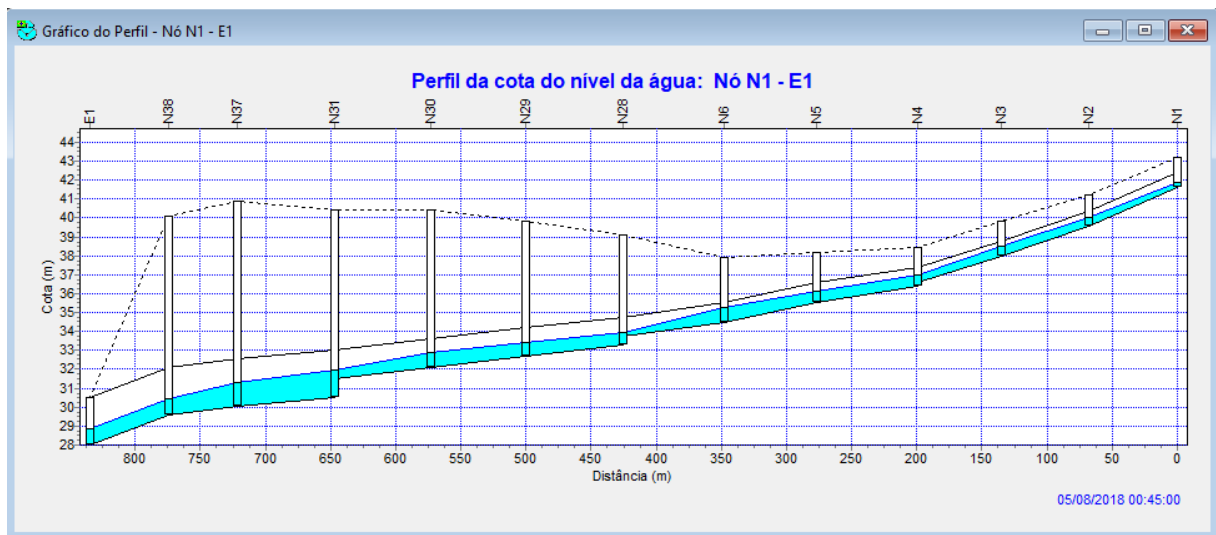


Fonte: SWMM – Modificado pelo autor (2018)

Os condutos inseridos fazem parte do sistema de drenagem e nesta parte será mostrado o comportamento do fluxo nos mesmos. As galerias foram divididas em ramais para um melhor entendimento, como podem ser visualizadas na Figura 28. Todos os trechos serão mostrados no momento em que a precipitação for máxima, com a finalidade de mostrar o momento crítico do conduto e se atende para a precipitação em que foi dimensionada. Os trechos serão analisados sempre dos nós mais distante para o exutório.

- Trecho N1-E1

Figura 29 – Trecho N1-E1- Avenida Lourenço ao lançamento



Fonte: SWMM – Adaptador pelo Autor (2018)

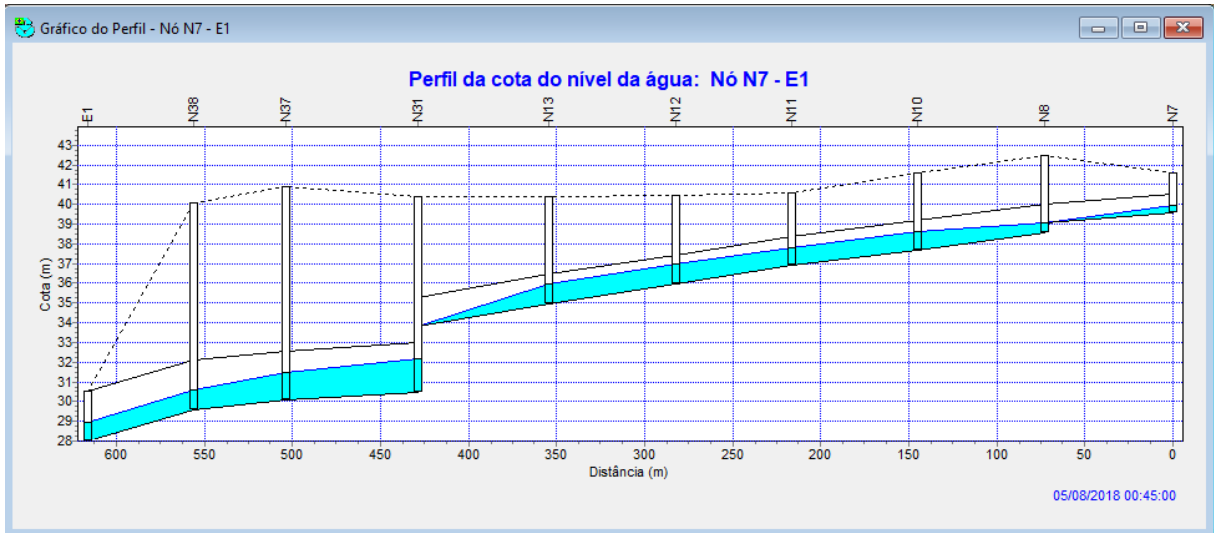
O trecho N1-E1 mostrado na figura 29, mostra o comportamento da capacidade do fluxo na galeria.

Analisando o trecho pelo SWMM, observa-se que a capacidade do trecho varia de acordo com o subtrecho, valores que podem ser analisados na Tabela 26. Em todo o ramal, trabalham com mais de 50% da sua capacidade.

Todos os ramais da bacia vão de encontro para o N31, resultando como o ramal que leva ao exutório da bacia como pode ser visto na Figura 28. Logo, em todas as figuras com resultado da simulação, será mostrado que do N31 ao exutório da bacia os subtrechos trabalham com capacidade maior do 50%, corroborando que o dimensionamento está nos limites aceitáveis e atende à demanda sem causar problemas.

- Trecho N7-E1

Figura 30 – Trecho N7-E1

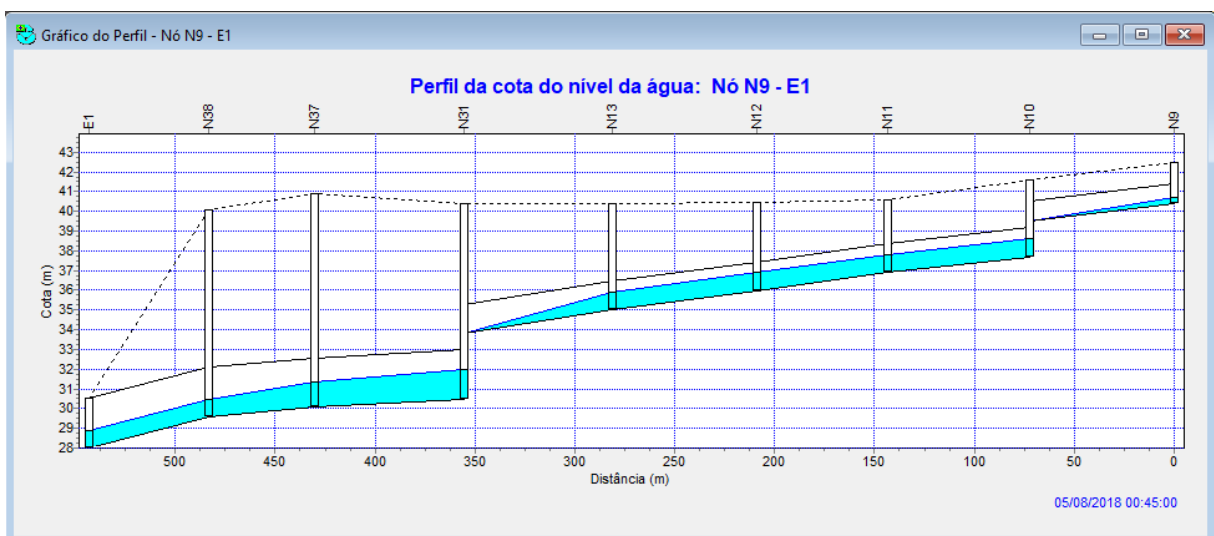


Fonte: SWMM – Adaptador pelo Autor (2018)

No trecho N7-E1 mostrado na figura 30, apresenta nos subtrechos N10-N13 sendo usado na faixa de 75 a 100% de sua capacidade, como pode ser observado na Figura 28. Somente o subtrecho N7-N8 está trabalhando com menos de 50%.

- Trecho N9-E1

Figura 31 – Trecho N9-E1

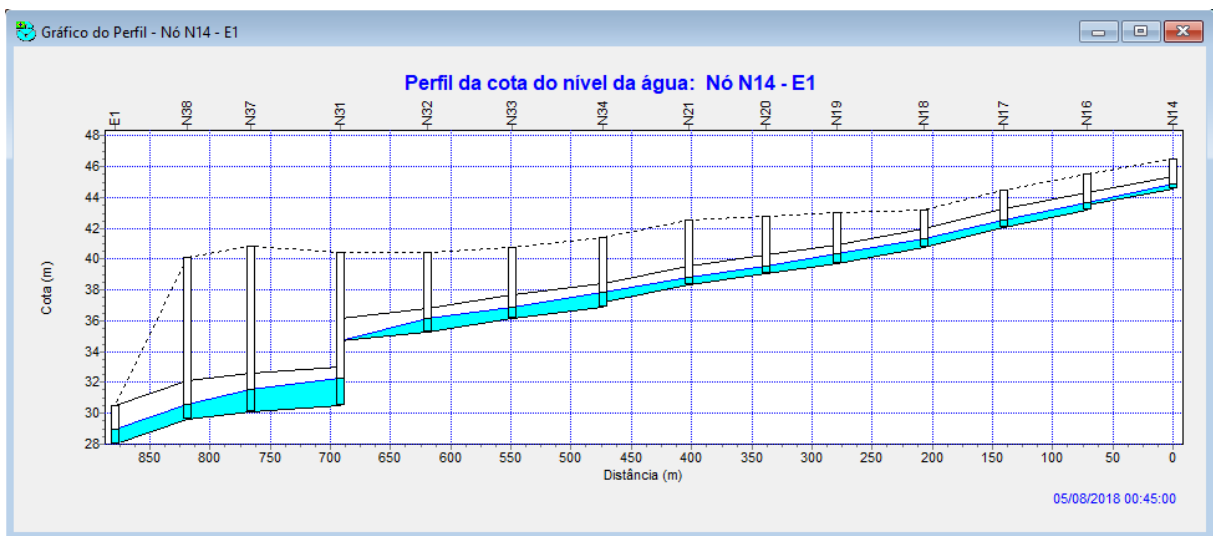


Fonte: SWMM – Adaptador pelo Autor (2018)

Apresentado pela Figura 31, o Trecho N9-E1 se assemelha ao Trecho N7-E1, muito pela razão de utilizar o mesmo trecho a partir do N10. A diferença se dá pelo subtrecho N9-10 que mostra sua capacidade atuando entre 25 e 50%, atendendo de forma satisfatória.

- Trecho N14-E1

Figura 32 – Trecho N14-E1

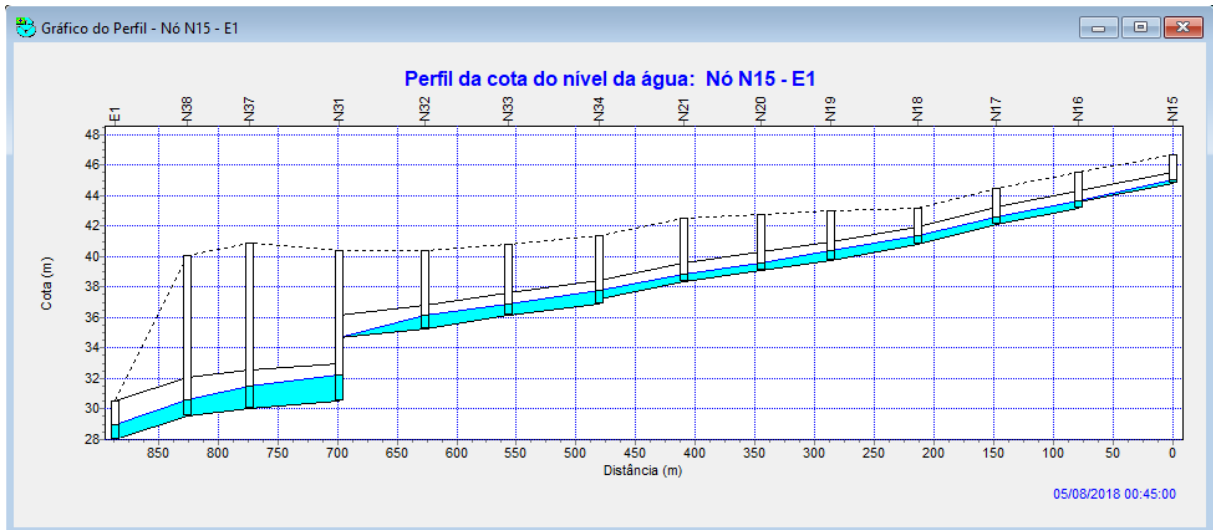


Fonte: SWMM – Adaptador pelo Autor (2018)

A Figura 32 apresenta o Trecho N14-E1, mostrando a variação nos seus subtrechos. No subtrecho N14-N18, está trabalhando com uma capacidade de 25 a 50% juntamente com N20-N21, devido também a mudança de seção circular para seção trapezoidal neste caso, enquanto que no restante dos subtrechos trabalham de 50 a 75%, mostrando o ramal está dentro do que foi proposto.

- Trecho N15-E1

Figura 33 – Trecho N15-E1

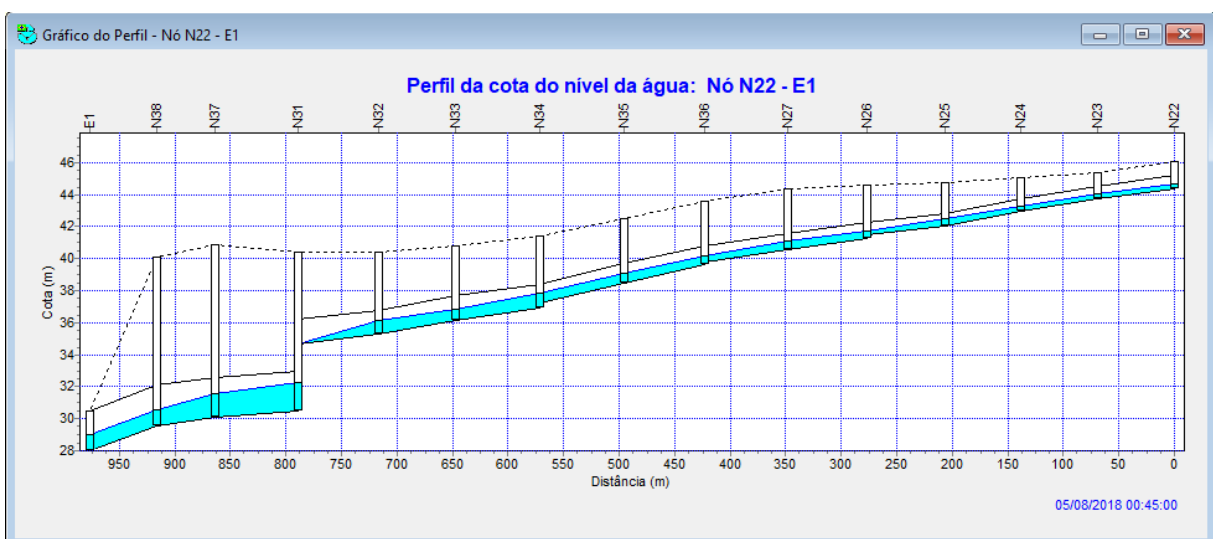


Fonte: SWMM – Adaptador pelo Autor (2018)

O Trecho N15-E1 mostrado na Figura 33, se diferencia do Trecho N14-E1 somente no início do ramal, no subtrecho N15-N16, o restante segue o mesmo ramal da Figura 32. O subtrecho N15-N16 se mostra trabalhando com uma variação de 25 a 50%. O ramal por completo vai despontando dentro do admissível que foi proposto a ele, corroborando com a Figura 32.

- Trecho N22-E1

Figura 34 – Trecho N22-E1



Fonte: SWMM – Adaptador pelo Autor (2018)

A Figura 34 exibe o Trecho N22-E1 como o maior ramal imposto no trabalho. Ele se apresenta variando em seus subtrechos, do N22-N24 apresenta sua capacidade de 25 a 50%. Do N25 ao final do ramal, mostra trabalhando na faixa de 50 a 75%, característica da cor amarela que pode ser vista na Figura 28. No momento onde a precipitação se encontra no pico, as galerias vão garantindo bom desempenho e segurança para via.

Ainda de acordo com a Figura 28, todos os nós se apresentam atuando com capacidade mínima para o que foi projetado, sem risco de causar alagamentos. Estão representados pelo tom de azul escuro.

Com a implicação da simulação, os resultados dos dimensionamentos das galerias e das bocas de lobo apresentados no Anexo I, se mostraram bem aceitáveis e capazes de cumprir com a demanda da bacia de contribuição. A aplicação da modelagem computacional contribui com a simulação do fluxo nos trechos e nos nós como auxílio de estudo vindo a confirmar o que foi proposto, sempre utilizando os mesmos parâmetros, cotas e níveis do real para uma melhor simulação.

A partir dos resultados obtidos pelos dois métodos utilizados neste estudo é possível fazer uma análise das capacidades em cada trecho. A tabela 26 mostra um comparativo entre a capacidade proposta pelo método tradicional e gerados pelo SWMM.

Tabela 26 – Comparativo das capacidades geradas

| Trecho | Método Tradicional | | SWMM | |
|-------------------|------------------------------|----------------------------|-------------------|----------------|
| | Vazão de Contribuição (m3/s) | Vazão de Capacidade (m3/s) | Capacidade de (%) | Capacidade (%) |
| RAMAL 01 | | | | |
| PV01-PV02 | 1,231 | 1,952 | 63 | 50,0 |
| PV02-PV03 | 1,369 | 1,985 | 69 | 75,0 |
| PV03-PV04 | 1,615 | 1,812 | 89 | 75,0 |
| PV04-PV05 | 1,757 | 2,938 | 60 | 75,0 |
| PV05-PV06 | 2,040 | 2,276 | 90 | 75,0 |
| PV06-PV28 | 2,184 | 2,458 | 89 | 75,0 |
| RAMAL 02.1 | | | | |
| PV07-PV08 | 1,33 | 1,738 | 76 | 50,0 |
| PV08-PV10 | 4,52 | 5,126 | 88 | 75,0 |
| RAMAL 02.2 | | | | |
| PV09-PV10 | 1,304 | 1,858 | 70 | 50,0 |
| RAMAL 03 | | | | |
| PV10-PV11 | 5,56 | 6,711 | 83 | 75,0 |
| PV11-PV12 | 5,68 | 6,711 | 85 | 75,0 |

| | | | | |
|-------------------|-------|--------|----|------|
| PV12-PV13 | 6,03 | 6,985 | 86 | 75,0 |
| PV13-PV31 | 6,12 | 6,985 | 88 | 75,0 |
| RAMAL 04.1 | | | | |
| PV14-PV16 | 0,70 | 0,959 | 73 | 50,0 |
| RAMAL 04.2 | | | | |
| PV15-PV16 | 0,67 | 0,959 | 70 | 50,0 |
| RAMAL 05 | | | | |
| PV16-PV17 | 3,537 | 4,138 | 85 | 50,0 |
| PV17-PV18 | 3,67 | 4,274 | 86 | 50,0 |
| PV18-PV19 | 3,92 | 4,533 | 86 | 75,0 |
| PV19-PV20 | 4,02 | 4,533 | 89 | 75,0 |
| PV20-PV21 | 4,86 | 5,769 | 84 | 50,0 |
| PV21-PV34 | 4,97 | 5,769 | 86 | 75,0 |
| RAMAL 06 | | | | |
| PV22-PV23 | 0,74 | 1,202 | 62 | 50,0 |
| PV23-PV24 | 0,88 | 1,146 | 77 | 50,0 |
| PV24-PV25 | 1,01 | 1,202 | 84 | 75,0 |
| PV25-PV26 | 1,13 | 1,307 | 86 | 75,0 |
| PV26-PV27 | 1,53 | 1,858 | 82 | 75,0 |
| PV27-PV36 | 1,65 | 1,971 | 84 | 75,0 |
| RAMAL 07.1 | | | | |
| PV36-PV35 | 3,13 | 3,544 | 88 | 75,0 |
| PV35-PV34 | 3,81 | 4,138 | 92 | 75,0 |
| PV34-PV33 | 9,31 | 10,170 | 92 | 75,0 |
| PV33-PV32 | 10,46 | 11,923 | 88 | 75,0 |
| PV32-PV31 | 10,82 | 12,453 | 87 | 75,0 |
| RAMAL 07.2 | | | | |
| PV28-PV29 | 2,97 | 3,379 | 88 | 75,0 |
| PV29-PV30 | 4,09 | 5,479 | 75 | 75,0 |
| PV30-PV31 | 5,10 | 5,479 | 93 | 75,0 |
| RAMAL 08 | | | | |
| PV31-PV37 | 24,76 | 27,242 | 91 | 75,0 |
| PV37-PV38 | 24,68 | 27,242 | 91 | 75,0 |
| PV38-E1 | 24,56 | 27,242 | 90 | 50,0 |

Fonte: Autor (2018)

Os valores gerados pela modelagem hidráulica computacional, mostraram que os resultados das capacidades em alguns trechos ficaram próximos ao método tradicional, se mostrando ser uma ferramenta útil na modelagem de bacia, mostrando ainda que os parâmetros adotados para o dimensionamento da galeria no método tradicional estão coerentes com a realidade.

A folga de capacidade obtida no método tradicional é um fator positivo pois apresenta uma segurança no funcionamento do mesmo, tendo em vista a pouca manutenção que é comum em redes urbanas.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Durante o desenvolvimento deste estudo, foram realizadas pesquisas bibliográficas e em sites específicos, levantamento de dados e usos de softwares necessários para realizar o dimensionamento do sistema de drenagem e a sua modelagem computacional. O dimensionamento proposto teve como função mostrar que os alagamentos que acontecem na Avenida Guajajaras em períodos de chuva, podem ser resolvidas a partir da implantação de um sistema de drenagem tecnicamente viável como foi mostrado neste trabalho e a modelagem computacional tem como papel realizar simulações e verificações do que foi dimensionado atende à demanda e pode ser executado com maior precisão e assim podendo evitar custos.

A ausência ou falta da manutenção nos dispositivos existentes são problemas corriqueiros que afetam diretamente o escoamento da água superficial, fato que as quantidades de bocas de lobo existentes não são capazes de atender a vazão que atinge as sub-bacias, o que ficou claro que é um dos motivos dos alagamentos que afetam a região.

Para tornar possível a realização deste trabalho determinou-se as características físicas da bacia. Foram feitas análises hidrológicas da região em estudo, com a intenção de determinar as precipitações que ocorreram nos últimos 30 anos na cidade de São Luís. A partir da sua determinação foi possível propor uma rede de drenagem e realizar simulações no software SWMM.

Na simulação do software, mostrou que o funcionamento hidráulico está em torno de 50 a 75%, variando em cada trecho. Comparando com o método tradicional, a capacidade dos ramais fica em torno de 60 a 95%. Destaque para alguns trechos, que diferencia um pouco sobre os valores encontrados pelos dois métodos, porém, sem causar prejuízos. Entretanto, o SWMM se mostrou útil para modelagem com simulações de alagamentos, todavia, é importante um aprofundamento no estudo e na adoção das precipitações, dando uma maior atenção no requisito da mesma, pois é de grande importância para a modelagem.

A utilização desses modelos computacionais é muito empregada para a gestão das águas pluviais urbanas. Podendo ser utilizado na fase de planejamento e detalhamento de projetos ou para simular cenários sobre o comportamento do sistema de drenagem submetido a determinadas condições de precipitação pluviométrica.

O resultado do dimensionamento se apresentou satisfatório com diâmetros circulares de 0,80m para vazões mínimas chegando até tubulações celulares com seções de 2,50 x 2,50m para atender a grandes vazões. Esse dimensionamento pode ser usado como ponto de partida para o problema, além de que proporcionou realizar uma simulação nos ramais da bacia mostrando que a capacidade das galerias desempenha a atribuição que foi dada, sem causar alagamentos em seus respectivos poços de visita.

Muitas das vezes, a implantação de galerias de grande porte, acaba ficando oneroso devido à falta de espaço urbano, sendo necessário utilizar de métodos construtivos especiais para execuções de grandes galerias em ruas estreitas, o que as vezes o inviabiliza sua execução por falta de recursos.

Além das medidas estruturais apresentadas neste trabalho, as medidas não-estruturais são importantes no que tange um sistema de drenagem. Seria importante a elaboração de um Plano Diretor de Drenagem Urbana para a cidade de São Luís, que possibilita um planejamento de desenvolvimento urbano minimizando potenciais custos futuros com o aumento da vazão na bacia, com ações que regulamentam o uso e ocupação do solo nas áreas de várzea de canais naturais e artificiais.

Fica evidente que a carência de um sistema de drenagem eficiente para a avenida em estudo tem ocasionado transtornos para os que trafegam por ela e para a população que trabalha na Avenida Guajajaras. Este trabalho tem como intuito, chamar atenção para uma maior discussão a respeito desse problema, envolvendo a comunidade acadêmica e órgãos públicos responsáveis.

Por fim, este estudo não tem o intuito de esgotar pesquisas sobre o tema, mas apenas a contribuir com alguns elementos que sirvam como referência para um maior aprofundamento no assunto, que com certeza é de se grande valia quando se utiliza softwares com a certeza de maximizar e melhorar qualquer trabalho.

REFERÊNCIAS

ATLAS DO ESTADO DO MARANHÃO. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Rio de Janeiro: Atlas, 1984.

BARBOSA, Francisco de Assis Reis. **Medidas de proteção e controle de inundações urbanas na bacia do rio Mamanguape/PB**. Dissertação de mestrado apresentado a Universidade Federal da Paraíba, 2006.

CANHOLI, Aluísio Pardo. **Drenagem Urbana e Controle de Enchentes**. 2ª ed. ampliada e atualizada. São Paulo: Oficina de Textos, 2014.

COELHO, Maria Teresinha de Medeiros. **Risco de inundação devido a fragilidade do sistema de drenagem na região metropolitana de São Luís, MA**. 2011. 375f. Dissertação (Doutorado em Urbanismo) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2011.

COELHO, Maria Teresinha de Medeiros; NOGUEIRA, Daniel de Andrade. **Efeitos da ineficiência do sistema de drenagem na patologia dos pavimentos asfálticos**. Programa de Bolsas de Iniciação Científica apresentando junto a Universidade Estadual do Maranhão, 2017.

COLLISHONN, Walter; DORNELES, Fernando. **Hidrologia para Engenharia e Ciências Ambientais**. Editora ABRH (Associação Brasileira de Recursos Hídricos), 2013.

COLLODEL. Milena Gardai. **Aplicação do modelo hidrológico SWMM na avaliação de diferentes níveis de detalhamento da bacia hidrográfica submetida ao processo de transformação chuva-vazão**. Dissertação (Mestrado em Hidráulica e Saneamento), 2009.

Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. Diretoria de Planejamento e Pesquisa. Coordenação Geral de Estudos e Pesquisa. Instituto de Pesquisas Rodoviárias. **Manual de Drenagem de Rodovias**. 2 ed. Rio de Janeiro. 2006.

Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. Diretoria de Planejamento e Pesquisa. Coordenação Geral de Estudos e Pesquisa. Instituto de Pesquisas Rodoviárias. **Manual de Hidrologia Básica para Estruturas de Drenagem**. 2 ed. Rio de Janeiro. 2005.

Espirito Santo, José Marcelo (Org.). **São Luís: uma leitura da cidade**. Prefeitura de São Luís / Instituto de Pesquisa e Planificação da cidade. São Luís: Instituto da Cidade, 2006.

FENDRICH, Roberto. **Coleta, armazenamento, utilização e infiltração das águas pluviais na drenagem urbana**. Dissertação (Doutorado em Geologia Ambiental) – Universidade Federal do Paraná, 2002.

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

GERCO, GOVERNO DO ESTADO DO MARANHÃO, SECRETARIA DE ESTADO DO MEIO AMBIENTE E RECURSOS HIDRICOS. **Macrozoneamento do Golfão Maranhense – diagnostico ambiental da microrregião da aglomeração urbana de São Luis**: estudo socioeconômico e cultural. São Luis: Coordenadora de Programas Especiais/Programa Estadual de Gerenciamento Costeiro, 1998.

HUBER, WC.; DICKINSON, R.E. 1992. **Storm Water Management Model, Version 4: User's Manual**. U.S. Environmental Protect Agency. Athens, Georgia.

JUNIOR, Ésio W. L. de Araújo. **Avaliação da influência do uso e cobertura do solo em parâmetros quantitativos e de qualidade da água na sub-bacia Tamanduá (DF)**. Trabalho de monografia apresentado junto Universidade de Brasília, 2016.

MARTINS, José Augusto. Escoamento Superficial. In: ____ **Hidrologia básica**, 15. reimpr. São Paulo: Blucher, 2014.

OLIVEIRA, L. M. **Guia de prevenção de acidentes geológicos urbanos**. Curitiba: Mineropar, 1998.

PAZ, Adriano Rolim. **Apostila de Hidrologia Aplicada**. Caxias do Sul: Universidade Estadual do Rio Grande do Sul, 2004.

PARANÁ (Governo). Secretaria de Estado do Meio Ambiente e Recursos Hídricos. Superintendência de Desenvolvimento de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental – **SUDERHSA. MANUAL DE DRENAGEM URBANA REGIÃO METROPOLITANA DE CURITIBA-PR**. PARANÁ, 2002. 150 p.

PREFEITURA DE SÃO LUIS. INSTITUTO DE PESQUISA E PLANEJAMENTO DO MUNICIPIO. **São Luis do Maranhão: Planejamento e conservação integrada**. São Luís: IPLAM, 2003.

PORTO, Rubem La Laina. Escoamento Superficial Direto. In: TUCCI, Carlos Eduardo Morelli; PORTO, Rubem La Laina; BARROS, Mario Thadeu Leme de. (Orgs). **Drenagem Urbana**. Porto Alegre: Ed. Universidade/UFRGS: ABRH, 1995.

RAMOS, Catarina. **Perigos naturais devido a causas meteorológicas: O caso das cheias e inundações**. Centro de Estudos Geográficos, Instituto de Geografia e Ordenamento do Território, Universidade de Lisboa, 2009.

RIBEIRO JUNIOR, Jose Reinaldo Barros. **Formação do espaço urbano de São Luis**. São Luis: Edições FUNC, 1999.

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

ROSSMAN, L.A (2010) *Storm Water Management Model User's manual Version 5.0*. Cincinnati: U.S. Environmental Protection Agency. 285 p.

SANTOS, K. R. **Inundações Urbanas: um passeio pela literatura**. Artigo científico, apresentado junto a Universidade Estadual de Goiás, 2012.

SILVEIRA, André Luiz Lopes da. Ciclo Hidrológico e Bacia hidrográfica. In: TUCCI, Carlos Eduardo Morelli. (Org.). **Hidrologia: Ciência e Aplicação**. 4. ed. Porto Alegre. Ed. Universidade/UFRGS: ABRH, 2007.

SOUSA, Amanda D'Fatima Mendes. **Drenagem Pluvial Urbana: Estudo de caso da sub bacia do bairro da cidade operaria, em São Luís – MA**. Trabalho de monografia apresentado junto a Universidade Estadual do Maranhão, 2015.

TAVARES, Luiz Ronaldo Starling et al. **Drenagem, Pavimentação e Urbanização de vias**. 280p. Brasília: CONFEA-CREA/DF; ABEPv, 2015.

TOMAS, Plinio. **Cálculos hidrológicos e hidráulicos para obras municipais**. São Paulo: Navegar Editora, 2011 – 2ª Edição.

TORRICO, José Jaime Taborga. **Praticas hidrológicas**. 2.ed. Rio de Janeiro: TRANSCON II, 1975.

TUCCI, C.E.M. **Drenagem Urbana e Controle de Inundações**. In:CAMPOS, Heraldo & CHASSOT, Attico (Org). *Ciências da Terra e meio ambiente*. São Leopoldo: Ed. Unisinos, 1999.

TUCCI, Carlos Eduardo Morelli; BERTONI, Juan Carlos. Precipitação. In: TUCCI, Carlos Eduardo Morelli (Org.) **Hidrologia: Ciência e Aplicação**. 4. ed. Porto Alegre: Ed. Universidade/UFRGS: ABRH, 2007.

UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAIBA, UFPB, BRASIL. Laboratório de Eficiência Energética e Hidráulica em Saneamento. **Manual do usuário. EPA SWMM 5.0: Modelo de Gestão de Drenagem Urbana**. João Pessoa, Paraíba, 2012.

ZAHED FILHO, Kamel; MARCELLINI, S S. **Precipitações Máximas**. In: *Drenagem Urbana*[S.l: s.n.], 1995.

ANEXOS

| Anexo I - Tabela 16 - Dimensionamento das Galeriais Pluviais | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--|------------------------|-------|-----------|-----------------|-----------------|-----------------------------------|-------------|--------|-----------|-------------|---------------------|-----------|---------------------------------|-------------------|---------------------------|------|-------------|-----------------------------|-------------------|--------------|---------------------|------|-----------------------------|-----------------|-------------|
| Trecho | Rua | | | | Declividade (%) | Área tributária a montante | | | | | Tempo de escoamento | | Intensidade precipitação (cm/h) | Defluvio Q (m³/s) | GALERIA | | | | | | | | | | OBSERVAÇÕES |
| | Cotas Topográficas (m) | | | Comprimento (m) | | Zonas Contribuintes Incrementadas | | | Soma C.A. | Soma A (ha) | Até Montante | No trecho | | | Seção D(m) ou BxH (m x m) | Tipo | Decliv. (%) | Velocidade Seção Plena(m/s) | Capacidade (m³/s) | Desnível (m) | Cota da Soleira (m) | | Profundidade da Soleira (m) | | |
| | M | J | Diferença | | | Coef. Médio C | Área (ha) A | C.A. | | | | | | | | | | | | | M | J | M | J | |
| RAMAL 01 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| PV-01 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 45,18 | 43,20 | 1,980 | 68 | 2,90 | 0,70 | 3,50 | 2,450 | 2,450 | 3,50 | 10,00 | 0,29 | 18,090 | 1,231 | 0,80 | 2,90 | 3,882 | 1,952 | 1,982 | 43,580 | 41,598 | 1,60 | 1,60 | | |
| PV-02 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 43,20 | 41,23 | 1,970 | 67 | 2,94 | 0,70 | 0,42 | 0,294 | 2,744 | 3,92 | 10,29 | 0,28 | 17,960 | 1,369 | 0,80 | 3,00 | 3,949 | 1,985 | 2,012 | 41,598 | 39,585 | 1,60 | 1,64 | | |
| PV-03 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 41,23 | 39,84 | 1,390 | 64 | 2,17 | 0,70 | 0,74 | 0,517 | 3,261 | 4,66 | 10,58 | 0,32 | 17,836 | 1,615 | 0,80 | 2,20 | 3,382 | 1,700 | 1,409 | 39,585 | 38,176 | 1,64 | 1,66 | | |
| PV-04 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 39,84 | 38,45 | 1,390 | 69 | 2,02 | 0,80 | 0,39 | 0,313 | 3,573 | 5,05 | 10,89 | 0,31 | 17,698 | 1,757 | 1,00 | 2,00 | 3,741 | 2,938 | 1,378 | 37,976 | 36,598 | 1,86 | 1,85 | Degrau = 0,2 m | |
| PV-05 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 38,45 | 38,17 | 0,280 | 71 | 0,40 | 0,80 | 0,76 | 0,608 | 4,181 | 5,81 | 11,20 | 0,41 | 17,565 | 2,040 | 1,00 | 1,20 | 2,898 | 2,276 | 0,848 | 36,598 | 35,750 | 1,85 | 2,42 | | |
| PV-06 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 38,17 | 37,90 | 0,270 | 75 | 0,36 | 0,80 | 0,42 | 0,339 | 4,521 | 6,23 | 11,61 | 0,40 | 17,391 | 2,184 | 1,00 | 1,40 | 3,130 | 2,458 | 1,050 | 35,750 | 34,700 | 2,42 | 3,20 | | |
| PV-28 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| RAMAL 02.1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| PV-07 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 41,85 | 41,61 | 0,240 | 73 | 0,33 | 0,80 | 3,31 | 2,646 | 2,646 | 3,31 | 10,00 | 0,65 | 18,090 | 1,329 | 1,00 | 0,50 | 1,871 | 1,469 | 0,365 | 40,050 | 39,685 | 1,80 | 1,93 | | |
| PV-08 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 41,85 | 42,48 | -0,630 | 72 | -0,87 | 0,80 | 7,31 | 5,846 | 8,491 | 10,61 | 10,65 | 0,39 | 19,153 | 4,517 | 1,50 | 0,80 | 3,101 | 5,479 | 0,576 | 39,185 | 38,608 | 2,67 | 3,87 | Degrau = 0,50 m | |
| PV-10 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| RAMAL 02.2 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| PV-09 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 42,75 | 42,48 | 0,270 | 72 | 0,37 | 0,80 | 3,24 | 2,595 | 2,595 | 3,24 | 10,00 | 0,72 | 18,090 | 1,304 | 1,00 | 0,40 | 1,673 | 1,314 | 0,288 | 40,950 | 40,662 | 1,80 | 1,82 | | |
| PV-10 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| RAMAL 03 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| PV-10 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 42,48 | 41,58 | 0,900 | 71 | 1,27 | 0,80 | 13,19 | 10,554 | 10,554 | 27,05 | 11,04 | 0,30 | 18,971 | 5,562 | 1,50 | 1,30 | 3,953 | 6,985 | 0,924 | 38,608 | 37,684 | 3,87 | 3,90 | | |
| PV-11 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 41,58 | 40,56 | 1,020 | 66 | 1,55 | 0,80 | 0,38 | 0,302 | 10,857 | 27,43 | 11,34 | 0,26 | 18,831 | 5,679 | 1,50 | 1,50 | 4,246 | 7,503 | 0,986 | 37,684 | 36,698 | 3,90 | 3,86 | | |
| PV-12 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 40,56 | 40,48 | 0,080 | 72 | 0,11 | 0,80 | 0,93 | 0,744 | 11,601 | 28,36 | 11,60 | 0,35 | 18,711 | 6,030 | 1,50 | 1,00 | 3,467 | 6,126 | 0,724 | 36,698 | 35,974 | 3,86 | 4,51 | | |
| PV-13 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 40,48 | 40,41 | 0,070 | 74 | 0,09 | 0,80 | 0,35 | 0,281 | 11,882 | 28,71 | 11,94 | 0,36 | 18,552 | 6,123 | 1,50 | 1,00 | 3,467 | 6,126 | 0,742 | 35,974 | 35,232 | 4,51 | 5,18 | | |
| PV-31 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| RAMAL 04.1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| PV-14 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 46,69 | 46,51 | 0,180 | 72 | 0,25 | 0,80 | 1,75 | 1,396 | 1,396 | 1,75 | 10,00 | 0,63 | 18,090 | 0,701 | 0,80 | 0,70 | 1,907 | 0,959 | 0,502 | 45,090 | 44,588 | 1,60 | 1,92 | | |
| PV-16 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| RAMAL 04.2 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| PV-15 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 46,90 | 46,69 | 0,210 | 75 | 0,28 | 0,80 | 1,66 | 1,326 | 1,326 | 1,66 | 10,00 | 0,66 | 18,090 | 0,667 | 0,80 | 0,70 | 1,907 | 0,959 | 0,525 | 45,300 | 44,775 | 1,60 | 1,92 | | |
| PV-16 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Degrau = 0,40 m | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

| Anexo I - Tabela 16 - Dimensionamento das Galerias Pluviais | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|------------------------|-------|-----------|-----------------|-----------------|----------------------------|-----------------------------------|----------|-------------|--------------|---------------------|---------------------------|---------------------------------|-------------------|-----------|-------------|-----------------------------|-------------------|--------------|---------------------|--------|-----------------------------|------|--|-------------|
| Trecho | Rua | | | | Declividade (%) | Área tributária a montante | | | | | Tempo de Escoamento | | Intensidade precipitação (cm/h) | Defluvio Q (m³/s) | GALERIA | | | | | | | | | | OBSERVAÇÕES |
| | Cotas Topográficas (m) | | | Comprimento (m) | | Coef. Médio C | Zonas Contribuintes Incrementadas | Soma C.A | Soma A (ha) | Até Montante | No trecho | Seção D(m) ou BxH (m x m) | | | Tipo | Decliv. (%) | Velocidade Seção Plena(m/s) | Capacidade (m³/s) | Desnível (m) | Cota da Soleira (m) | | Profundidade da Soleira (m) | | | |
| | M | J | Diferença | | | | | | | | | | | | | | | | | M | J | M | J | | |
| RAMAL 05 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| PV-16 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 46,69 | 45,56 | 1,130 | 69 | 1,63 | 0,80 | 5,54 | 4,430 | 7,152 | 8,94 | 10,66 | 0,30 | 17,801 | 3,537 | 1,20 | 1,70 | 3,895 | 4,405 | 1,178 | 44,188 | 43,010 | 2,50 | 2,55 | | |
| PV-17 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 45,56 | 44,46 | 1,100 | 66 | 1,67 | 0,80 | 0,40 | 0,321 | 7,473 | 9,34 | 10,95 | 0,29 | 17,672 | 3,668 | 1,20 | 1,60 | 3,779 | 4,274 | 1,052 | 43,010 | 41,958 | 2,55 | 2,50 | | |
| PV-18 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 44,46 | 43,18 | 1,280 | 72 | 1,77 | 0,80 | 0,70 | 0,560 | 8,033 | 10,04 | 11,24 | 0,32 | 17,547 | 3,915 | 1,20 | 1,60 | 3,779 | 4,274 | 1,158 | 41,958 | 40,799 | 2,50 | 2,38 | | |
| PV-19 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 43,18 | 43,01 | 0,170 | 59 | 0,29 | 0,80 | 0,36 | 0,286 | 8,319 | 10,40 | 11,56 | 0,25 | 17,410 | 4,023 | 1,20 | 1,70 | 3,895 | 4,405 | 0,998 | 40,799 | 39,801 | 2,38 | 3,21 | | |
| PV-20 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 43,01 | 42,76 | 0,250 | 64 | 0,39 | 0,80 | 1,34 | 1,074 | 9,393 | 11,74 | 11,81 | 0,37 | 18,612 | 4,856 | 1,50x1,20 | 0,70 | 2,866 | 5,159 | 0,449 | 39,801 | 39,353 | 3,21 | 3,41 | | |
| PV-21 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 42,76 | 42,51 | 0,250 | 72 | 0,35 | 0,80 | 0,38 | 0,303 | 9,6960 | 12,12 | 12,19 | 0,42 | 18,442 | 4,967 | 1,50x1,20 | 0,70 | 2,866 | 5,159 | 0,501 | 39,353 | 38,852 | 3,41 | 3,66 | | |
| PV-34 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Degrau = 0,30 m | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| RAMAL 06 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| PV-22 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 46,76 | 46,05 | 0,710 | 69 | 1,02 | 0,80 | 1,84 | 1,475 | 1,475 | 1,84 | 10,00 | 0,48 | 18,090 | 0,741 | 0,80 | 1,10 | 2,391 | 1,202 | 0,762 | 45,160 | 44,398 | 1,60 | 1,65 | | |
| PV-23 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 46,05 | 45,34 | 0,710 | 69 | 1,03 | 0,80 | 0,37 | 0,298 | 1,773 | 2,22 | 10,48 | 0,50 | 17,877 | 0,880 | 0,80 | 1,00 | 2,280 | 1,146 | 0,688 | 44,398 | 43,710 | 1,65 | 1,63 | | |
| PV-24 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 45,34 | 45,05 | 0,290 | 69 | 0,42 | 0,80 | 0,36 | 0,284 | 2,057 | 2,57 | 10,99 | 0,50 | 17,657 | 1,009 | 0,80 | 1,00 | 2,280 | 1,146 | 0,688 | 43,710 | 43,022 | 1,63 | 2,03 | | |
| PV-25 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 45,05 | 44,76 | 0,290 | 70 | 0,42 | 0,80 | 0,34 | 0,270 | 2,326 | 2,91 | 11,49 | 0,51 | 17,441 | 1,127 | 0,80 | 1,00 | 2,280 | 1,146 | 0,697 | 43,022 | 42,325 | 2,03 | 2,44 | | |
| PV-26 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 44,76 | 44,58 | 0,180 | 72 | 0,25 | 0,80 | 1,09 | 0,870 | 3,197 | 4,00 | 12,00 | 0,59 | 17,225 | 1,530 | 1,00 | 0,60 | 2,049 | 1,609 | 0,432 | 42,125 | 41,693 | 2,64 | 2,89 | | |
| PV-27 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 44,58 | 44,40 | 0,180 | 75 | 0,24 | 0,80 | 0,38 | 0,307 | 3,504 | 4,38 | 12,58 | 0,56 | 16,980 | 1,653 | 1,00 | 0,70 | 2,213 | 1,738 | 0,523 | 41,693 | 41,169 | 2,89 | 3,23 | | |
| PV-36 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Degrau = 0,20 m | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| RAMAL 07.1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| PV-36 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 44,40 | 43,56 | 0,840 | 72 | 1,17 | 0,80 | 3,98 | 3,186 | 6,690 | 8,36 | 13,15 | 0,37 | 16,749 | 3,112 | 1,20 | 1,20 | 3,273 | 3,701 | 0,861 | 40,969 | 40,108 | 3,43 | 3,45 | | |
| PV-35 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 43,56 | 42,51 | 1,050 | 75 | 1,40 | 0,80 | 1,92 | 1,533 | 8,222 | 10,28 | 13,51 | 0,33 | 16,601 | 3,792 | 1,20 | 1,60 | 3,779 | 4,274 | 1,200 | 40,108 | 38,908 | 3,45 | 3,60 | | |
| PV-34 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 42,51 | 41,39 | 1,120 | 74 | 1,51 | 0,80 | 1,16 | 0,930 | 18,848 | 23,56 | 13,84 | 0,29 | 17,710 | 9,272 | 1,50x1,50 | 1,50 | 4,240 | 9,553 | 1,110 | 38,552 | 37,442 | 3,96 | 3,95 | | |
| PV-33 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 41,39 | 40,79 | 0,600 | 70 | 0,86 | 0,80 | 3,08 | 2,466 | 21,314 | 26,64 | 14,13 | 0,31 | 17,585 | 10,411 | 2,0x1,50 | 1,00 | 3,789 | 11,368 | 0,699 | 37,442 | 36,744 | 3,95 | 4,05 | | |
| PV-32 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 40,79 | 40,41 | 0,380 | 72 | 0,53 | 0,80 | 1,12 | 0,894 | 22,208 | 27,76 | 14,44 | 0,32 | 17,454 | 10,767 | 2,0x1,50 | 1,00 | 3,789 | 11,368 | 0,719 | 36,744 | 36,025 | 4,05 | 4,39 | | |
| PV-31 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Degrau = 4,45 m | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| RAMAL 07.2 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| PV-28 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 38,36 | 39,11 | -0,750 | 75 | -1,00 | 0,80 | 2,11 | 1,686 | 6,206 | 8,34 | 12,01 | 0,42 | 17,222 | 2,969 | 1,20 | 1,00 | 2,987 | 3,379 | 0,747 | 34,700 | 33,952 | 3,66 | 5,16 | | |
| PV-29 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 39,11 | 39,81 | -0,700 | 73 | -0,96 | 0,80 | 3,03 | 2,422 | 8,628 | 11,37 | 12,42 | 0,49 | 17,048 | 4,086 | 1,50 | 0,50 | 2,451 | 4,332 | 0,364 | 33,652 | 33,289 | 5,46 | 6,52 | | |
| PV-30 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 39,81 | 40,41 | -0,600 | 74 | -0,81 | 0,80 | 2,84 | 2,275 | 10,904 | 14,21 | 12,92 | 0,40 | 16,843 | 5,102 | 1,50 | 0,80 | 3,101 | 5,479 | 0,590 | 33,289 | 32,699 | 6,52 | 7,71 | | |
| PV-31 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Degrau = 1 m | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| RAMAL 08 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| PV-31 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 40,98 | 40,41 | 0,570 | 75 | 0,76 | 0,80 | 7,83 | 6,261 | 51,254 | 78,51 | 14,76 | 0,29 | 17,321 | 24,661 | 2,50x2,50 | 0,80 | 4,359 | 27,242 | 0,600 | 32,699 | 32,099 | 8,28 | 8,31 | | |
| PV-37 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 41,30 | 40,98 | 0,320 | 53 | 0,61 | 0,80 | 0,23 | 0,186 | 51,440 | 78,74 | 15,04 | 0,20 | 17,202 | 24,579 | 2,50x2,50 | 0,80 | 4,359 | 27,242 | 0,421 | 32,099 | 31,678 | 9,20 | 9,30 | | |
| PV-38 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | 0,000 | 60 | 0,00 | 0,80 | | 0,000 | 51,440 | 78,74 | 15,25 | 0,23 | 17,119 | 24,461 | 2,50x2,50 | 0,80 | 4,359 | 27,242 | 0,000 | | | | | | |
| Lançamento Exutorio | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

| Anexo II - Tabela 18 - Dimensionamento das Bocas de Lobo | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--|---------------|------|------|----|--------------|------|------|----|-------------|----------|---------------|------|------|----|--------------|------|------|----|------------------------------|------|------|----|--------------|------|------|----|----------------------|-------|-------|----|---------------|-------|-------|----|----|----|----|----|----|
| LOCALIZAÇÃO | Área (ha) | | | | | | | | Coef. Médio | I (mm/h) | Q (m³/s) | | | | | | | | Quantidades de Bocas de Lobo | | | | | | | | Tipo de Boca de Lobo | | | | | | | | | | | | |
| | Lado Esquerdo | | | | Lado Direito | | | | | | Lado Esquerdo | | | | Lado Direito | | | | Lado Esquerdo | | | | Lado Direito | | | | Lado Esquerdo | | | | Lado Direito | | | | | | | | |
| | E1 | E2 | E3 | E4 | D1 | D2 | D3 | D4 | | | E1 | E2 | E3 | E4 | D1 | D2 | D3 | D4 | E1 | E2 | E3 | E4 | D1 | D2 | D3 | D4 | E1 | E2 | E3 | E4 | D1 | D2 | D3 | D4 | E1 | E2 | E3 | E4 | D1 |
| RAMAL 01 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| PV-01 | 1,78 | 0,16 | 0,16 | - | 0,83 | - | - | - | 0,70 | 180,90 | 0,63 | 0,05 | 0,05 | - | 0,29 | - | - | - | 6,3 | 0,55 | 0,55 | - | 2,92 | - | - | - | 2 BLT + 1 BLS | 1 BLS | 1 BLS | - | 1 BLT | - | - | - | | | | | |
| PV-02 | 0,21 | - | - | - | 0,20 | - | - | - | 0,70 | 180,90 | 0,07 | - | - | - | 0,07 | - | - | - | 0,74 | - | - | - | 0,70 | - | - | - | 1 BLS | - | - | - | 1 BLS | - | - | - | | | | | |
| PV-03 | 0,19 | 0,16 | 0,16 | - | 0,19 | - | - | - | 0,70 | 180,90 | 0,07 | 0,06 | 0,06 | - | 0,07 | - | - | - | 0,67 | 0,56 | 0,56 | - | 0,67 | - | - | - | 1 BLS | 1 BLS | 1 BLS | - | 1 BLS | - | - | - | | | | | |
| PV-04 | 0,20 | - | - | - | 0,21 | - | - | - | 0,70 | 180,90 | 0,07 | - | - | - | 0,07 | - | - | - | 0,70 | - | - | - | 0,74 | - | - | - | 1 BLS | - | - | - | 1 BLS | - | - | - | | | | | |
| PV-05 | 0,22 | 0,16 | 0,16 | - | 0,20 | - | - | - | 0,70 | 180,90 | 0,08 | 0,06 | 0,06 | - | 0,07 | - | - | - | 0,77 | 0,56 | 0,56 | - | 0,70 | - | - | - | 1 BLS | 1 BLS | 1 BLS | - | 1 BLS | - | - | - | | | | | |
| PV-06 | 0,21 | - | - | - | 0,22 | - | - | - | 0,70 | 180,90 | 0,07 | - | - | - | 0,08 | - | - | - | 0,74 | - | - | - | 0,77 | - | - | - | 1 BLS | - | - | - | 1 BLS | - | - | - | | | | | |
| RAMAL 02.1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| PV-07 | 1,51 | 0,16 | 0,16 | - | 1,12 | - | - | - | 0,70 | 180,90 | 0,53 | 0,06 | 0,06 | - | 0,39 | - | - | - | 5,31 | 0,56 | 0,56 | - | 3,94 | - | - | - | 2 BLT | 1 BLS | 1 BLS | - | 1 BLT + 1 BLS | - | - | - | | | | | |
| PV-08 | 1,48 | 0,17 | 0,17 | - | 2,08 | - | - | - | 0,70 | 180,90 | 0,52 | 0,06 | 0,06 | - | 0,73 | - | - | - | 5,21 | 0,60 | 0,60 | - | 7,32 | - | - | - | 2 BLT | 1 BLS | 1 BLS | - | 2 BLT + 1 BLD | - | - | - | | | | | |
| RAMAL 02.2 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| PV-09 | 1,67 | 0,17 | 0,17 | - | 1,41 | - | - | - | 0,70 | 180,90 | 0,59 | 0,06 | 0,06 | - | 0,50 | - | - | - | 5,87 | 0,60 | 0,60 | - | 4,96 | - | - | - | 2 BLT | 1 BLS | 1 BLS | - | 1 BLT + 1 BLD | - | - | - | | | | | |
| PV-10 | 1,43 | 0,16 | 0,16 | - | 1,04 | - | - | - | 0,70 | 180,90 | 0,50 | 0,06 | 0,06 | - | 0,37 | - | - | - | 5,03 | 0,56 | 0,56 | - | 3,66 | - | - | - | 2 BLT | 1 BLS | 1 BLS | - | 1 BLT + 1 BLS | - | - | - | | | | | |
| RAMAL 03 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| PV-11 | 0,20 | - | - | - | 0,20 | - | - | - | 0,70 | 180,90 | 0,07 | - | - | - | 0,07 | - | - | - | 0,70 | - | - | - | 0,70 | - | - | - | 1 BLS | - | - | - | 1 BLS | - | - | - | | | | | |
| PV-12 | 0,21 | 0,47 | 0,16 | - | 0,21 | - | - | - | 0,70 | 180,90 | 0,07 | 0,17 | 0,06 | - | 0,07 | - | - | - | 0,74 | 1,65 | 0,56 | - | 0,74 | - | - | - | 1 BLS | 1 BLD | 1 BLS | - | 1 BLS | - | - | - | | | | | |
| PV-13 | 0,19 | - | - | - | 0,19 | - | - | - | 0,70 | 180,90 | 0,07 | - | - | - | 0,07 | - | - | - | 0,67 | - | - | - | 0,67 | - | - | - | 1 BLS | - | - | - | 1 BLS | - | - | - | | | | | |
| RAMAL 04.1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| PV-14 | 0,56 | 0,18 | 0,18 | - | 0,72 | - | - | - | 0,70 | 180,90 | 0,20 | 0,06 | 0,06 | - | 0,25 | - | - | - | 1,97 | 0,63 | 0,63 | - | 2,53 | - | - | - | 1 BLD | 1 BLS | 1 BLS | - | 1 BLT | - | - | - | | | | | |
| RAMAL 04.2 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| PV-15 | 0,60 | - | - | - | 0,90 | - | - | - | 0,70 | 180,90 | 0,21 | - | - | - | 0,32 | - | - | - | 2,11 | - | - | - | 3,17 | - | - | - | 1 BLT | - | - | - | 1 BLT + 1 BLS | - | - | - | | | | | |
| RAMAL 05 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| PV-16 | 0,62 | 0,18 | 0,18 | - | 0,95 | - | - | - | 0,70 | 180,90 | 0,22 | 0,06 | 0,06 | - | 0,33 | - | - | - | 2,18 | 0,63 | 0,63 | - | 3,34 | - | - | - | 1 BLT | 1 BLS | 1 BLS | - | 1 BLT + 1 BLS | - | - | - | | | | | |
| PV-17 | 0,22 | - | - | - | 0,22 | - | - | - | 0,70 | 180,90 | 0,08 | - | - | - | 0,08 | - | - | - | 0,77 | - | - | - | 0,77 | - | - | - | 1 BLS | - | - | - | 1 BLS | - | - | - | | | | | |
| PV-18 | 0,21 | 0,17 | 0,17 | - | 0,21 | - | - | - | 0,70 | 180,90 | 0,07 | 0,06 | 0,06 | - | 0,07 | - | - | - | 0,74 | 0,60 | 0,60 | - | 0,74 | - | - | - | 1 BLS | 1 BLS | 1 BLS | - | 1 BLS | - | - | - | | | | | |
| PV-19 | 0,19 | - | - | - | 0,19 | - | - | - | 0,70 | 180,90 | 0,07 | - | - | - | 0,07 | - | - | - | 0,67 | - | - | - | 0,67 | - | - | - | 1 BLS | - | - | - | 1 BLS | - | - | - | | | | | |
| PV-20 | 0,20 | 0,74 | 0,16 | - | 0,20 | - | - | - | 0,70 | 180,90 | 0,07 | 0,26 | 0,06 | - | 0,07 | - | - | - | 0,70 | 2,60 | 0,56 | - | 0,70 | - | - | - | 1 BLS | 1 BLT | 1 BLS | - | 1 BLS | - | - | - | | | | | |
| PV-21 | 0,21 | - | - | - | 0,21 | - | - | - | 0,70 | 180,90 | 0,07 | - | - | - | 0,07 | - | - | - | 0,74 | - | - | - | 0,74 | - | - | - | 1 BLS | - | - | - | 1 BLS | - | - | - | | | | | |
| RAMAL 06 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| PV-22 | 0,61 | - | - | - | 0,65 | 0,17 | 0,17 | - | 0,70 | 180,90 | 0,21 | - | - | - | 0,23 | 0,06 | 0,06 | - | 2,15 | - | - | - | 2,29 | 0,60 | 0,60 | - | 1 BLT | - | - | - | 1 BLT | 1 BLS | 1 BLS | - | | | | | |
| PV-23 | 0,19 | - | - | - | 0,19 | - | - | - | 0,70 | 180,90 | 0,07 | - | - | - | 0,07 | - | - | - | 0,67 | - | - | - | 0,67 | - | - | - | 1 BLS | - | - | - | 1 BLS | - | - | - | | | | | |
| PV-24 | 0,20 | - | - | - | 0,20 | - | - | - | 0,70 | 180,90 | 0,07 | - | - | - | 0,07 | - | - | - | 0,70 | - | - | - | 0,70 | - | - | - | 1 BLS | - | - | - | 1 BLS | - | - | - | | | | | |
| PV-25 | 0,21 | - | - | - | 0,21 | - | - | - | 0,70 | 180,90 | 0,07 | - | - | - | 0,07 | - | - | - | 0,74 | - | - | - | 0,74 | - | - | - | 1 BLS | - | - | - | 1 BLS | - | - | - | | | | | |
| PV-26 | 0,20 | 0,63 | 0,17 | - | 0,20 | - | - | - | 0,70 | 180,90 | 0,07 | 0,22 | 0,06 | - | 0,07 | - | - | - | 0,70 | 2,22 | 0,60 | - | 0,70 | - | - | - | 1 BLS | 1 BLT | 1 BLS | - | 1 BLS | - | - | - | | | | | |
| PV-27 | 0,19 | - | - | - | 0,19 | - | - | - | 0,70 | 180,90 | 0,07 | - | - | - | 0,07 | - | - | - | 0,67 | - | - | - | 0,67 | - | - | - | 1 BLS | - | - | - | 1 BLS | - | - | - | | | | | |

| Anexo II - Tabela 18 - Dimensionamento das Bocas de Lobo | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--|-----------------------------------|------|------|------|--------------|------|----|----|-------------|----------|---------------|------|------|------|--------------|------|----|----|------------------------------|------|------|------|--------------|------|----|----|----------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|-------|----|----|
| LOCALIZAÇÃO | Área (ha) | | | | | | | | Coef. Médio | I (mm/h) | Q (m³/s) | | | | | | | | Quantidades de Bocas de Lobo | | | | | | | | Tipo de Boca de Lobo | | | | | | | |
| | Lado Esquerdo | | | | Lado Direito | | | | | | Lado Esquerdo | | | | Lado Direito | | | | Lado Esquerdo | | | | Lado Direito | | | | | | | | | | | |
| | E1 | E2 | E3 | E4 | D1 | D2 | D3 | D4 | | | E1 | E2 | E3 | E4 | D1 | D2 | D3 | D4 | E1 | E2 | E3 | E4 | D1 | D2 | D3 | D4 | E1 | E2 | E3 | E4 | D1 | D2 | D3 | D4 |
| RAMAL 07.1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| PV-36 | 0,20 | 0,94 | 1,41 | 0,47 | 0,20 | 0,30 | - | - | 0,70 | 180,90 | 0,07 | 0,33 | 0,50 | 0,17 | 0,07 | 0,11 | - | - | 0,70 | 3,31 | 4,96 | 1,65 | 0,70 | 1,06 | - | - | 1 BLS | 1 BLT + 1 BLS | 1 BLT + 1 BLD | 1 BLD | 1 BLS | 1 BLD | - | - |
| PV-35 | 1,55 | 0,18 | 0,18 | - | - | - | - | - | 0,70 | 180,90 | 0,55 | 0,06 | 0,06 | - | - | - | - | - | 5,45 | 0,63 | 0,63 | - | - | - | - | - | 2 BLT | 1 BLS | 1 BLS | - | - | - | - | - |
| PV-34 | 0,19 | 0,48 | 0,19 | - | 0,19 | - | - | - | 0,70 | 180,90 | 0,07 | 0,17 | 0,07 | - | 0,07 | - | - | - | 0,67 | 1,69 | 0,67 | - | 0,67 | - | - | - | 1 BLS | 1 BLD | 1 BLS | - | 1 BLS | - | - | - |
| PV-33 | 1,55 | 0,19 | 0,21 | - | 0,87 | - | - | - | 0,70 | 180,90 | 0,55 | 0,07 | 0,07 | - | 0,31 | - | - | - | 5,45 | 0,67 | 0,74 | - | 3,06 | - | - | - | 2 BLT | 1 BLS | 1 BLS | - | 1 BLT + 1 BLS | - | - | - |
| PV-32 | 1,00 | 0,20 | 0,30 | - | 0,32 | - | - | - | 0,70 | 180,90 | 0,35 | 0,07 | 0,11 | - | 0,11 | - | - | - | 3,52 | 0,70 | 1,06 | - | 1,13 | - | - | - | 1 BLT + 1 BLS | 1 BLS | 1 BLD | - | 1 BLD | - | - | - |
| PV-31 | 0,21 | 0,20 | 0,21 | 0,17 | 0,22 | 0,21 | - | - | 0,70 | 180,90 | 0,07 | 0,07 | 0,07 | 0,06 | 0,08 | 0,07 | - | - | 0,74 | 0,70 | 0,74 | 0,60 | 0,77 | 0,74 | - | - | 1 BLS | 1 BLS | 1 BLS | 1 BLS | 1 BLS | 1 BLS | - | - |
| RAMAL 07.2 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| PV-28 | 0,22 | 0,19 | 0,18 | 1,32 | 0,20 | - | - | - | 0,70 | 180,90 | 0,08 | 0,07 | 0,06 | 0,46 | 0,07 | - | - | - | 0,77 | 0,67 | 0,63 | 4,64 | 0,70 | - | - | - | 1 BLS | 1 BLS | 1 BLS | 1 BLT + 1 BLD | 1 BLS | - | - | - |
| PV-29 | 0,94 | 0,21 | 0,18 | 0,46 | 0,56 | 0,30 | - | - | 0,70 | 180,90 | 0,33 | 0,07 | 0,06 | 0,16 | 0,20 | 0,11 | - | - | 3,31 | 0,74 | 0,63 | 1,62 | 1,97 | 1,06 | - | - | 1 BLT + 1 BLS | 1 BLS | 1 BLS | 1 BLD | 1 BLD | 1 BLD | - | - |
| PV-30 | 0,95 | 0,20 | 0,19 | 0,27 | 0,58 | 0,28 | - | - | 0,70 | 180,90 | 0,33 | 0,07 | 0,07 | 0,09 | 0,20 | 0,10 | - | - | 3,34 | 0,70 | 0,67 | 0,95 | 2,04 | 0,98 | - | - | 1 BLT + 1 BLS | 1 BLS | 1 BLS | 1 BLS | 1 BLT | 1 BLS | - | - |
| RAMAL 08 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| PV-37 | 0,21 | - | - | - | 0,21 | - | - | - | 0,70 | 180,90 | 0,07 | - | - | - | 0,07 | - | - | - | 0,74 | - | - | - | 0,74 | - | - | - | 1 BLS | - | - | - | 1 BLS | - | - | - |
| PV-38 | 0,18 | - | - | - | 0,18 | - | - | - | 0,70 | 180,90 | 0,06 | - | - | - | 0,06 | - | - | - | 0,63 | - | - | - | 0,63 | - | - | - | 1 BLS | - | - | - | 1 BLS | - | - | - |
| Legenda | BLS - Boca de Lobo Simples | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | BLD - Boca de Lobo Dupla | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | BLT - Boca de Lobo Tripla | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

| Quadro Resumo | |
|---------------|-----|
| BLS = | 101 |
| BLD = | 13 |
| BLT = | 37 |
| Total = | 151 |

MAPA 1

MAPA 2