

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO MARANHÃO
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLÓGICAS
COORDENAÇÃO DE ENGENHARIA CIVIL**

LUCAS FRANCO CORREA SCHALCHER

**ANÁLISE DA MACRODRENAGEM URBANA: UM ESTUDO DE CASO
DO CANAL DO PORTINHO EM SÃO LUÍS - MA**

**SÃO LUÍS
2018**

LUCAS FRANCO CORREA SCHALCHER

**ANÁLISE DA MACRODRENAGEM URBANA: UM ESTUDO DE CASO DO CANAL
DO PORTINHO EM SÃO LUÍS - MA**

Trabalho de conclusão de curso apresentado como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil, da coordenação de Engenharia Civil, da Universidade Federal do Maranhão.

Orientador: Prof. Msc. Daniel de Lima Nascimento Sírío.

**SÃO LUÍS
2018**

Trabalho de Conclusão de Curso de Engenharia Civil avaliado e aprovado em sua versão final pela banca examinadora constituída pelos docentes abaixo:

Aprovada em / /

BANCA EXAMINADORA

Prof. Msc. Daniel de Lima Nascimento Sírrio (Orientador)
Universidade Federal do Maranhão

Prof^a. Ma. Ana Beatriz Pereira Segadilha dos Santos
Universidade Federal do Maranhão

Prof. Msc. Mikhail Luczysnki
Universidade Federal do Maranhão

Dedico este trabalho, primeiramente, a Deus, que me dá graça. Ao Tio Julinho (*in memoriam*), o grande “Velho Brega”, homem simples e muito querido por todos da família.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a Deus. Posso dizer *Ebenézer*. Nos ganhos e nas perdas Ele é glorificado, a Deus minha gratidão. *Soli Deo gloria*.

Agradeço ao meu orientador, Prof. Daniel, pela sabedoria e dedicação que me conduziu a realização deste trabalho.

Agradeço a Lyssa, minha namorada, por todo o suporte, cuidado, carinho e dedicação que demonstra a mim desde que nos conhecemos. Por toda força e auxílio que me deu durante a caminhada acadêmica, pessoal e na realização deste trabalho.

Agradeço a meus familiares, meus pais, meus irmãos, Áquila e Wescley por todo o esforço e suporte que me dão sempre.

Agradeço aos meus amigos de longa data e ao Clube do Livro, nas pessoas de Luís Jorge, Cláudio Jr, Bruno, Thalita, Larissa, Thiago, Gigante, Fabiano, Sergielso, Guga e João, ao Pr. Celso e tia Sergiane.

Agradeço a todos da Congregação Presbiteriana da Cohama, em especial, aos participantes dos encontros da terça pelas conversas e orações, dentre eles, ao Pr. Allen e Ivonete, Pr. Tarcízio, Cauê e Bia, Edie, Lucas e Kátia, Thiago e Camila. A todos do grupo de música.

Agradeço aos engenheiros da SEMOSP por concederem informações e dados necessários à realização deste trabalho.

Ressalto que são muitas as pessoas que me ajudaram durante a caminhada acadêmica, pessoal e profissional. Devo a elas todos os agradecimentos merecidos e peço desculpas aos que não recordei de mencionar nesta lista.

"Não há um único centímetro quadrado,
em todos os domínios de nossa existência,
sobre os quais Cristo, que é soberano
sobre tudo, não clame: É meu!"
(Abraham Kuyper)

RESUMO

SCHALCHER, Lucas Franco Correa. **ANÁLISE DA MACRODRENAGEM URBANA**: um estudo de caso do Canal do Portinho em São Luís – MA. 2018. 62 f. Trabalho de Conclusão de Curso do Bacharelado em Engenharia Civil – Universidade Federal do Maranhão. São Luís, 2018.

A ocorrência de inundações urbanas é um fenômeno recorrente no território brasileiro. Tal acontecimento provoca inúmeros prejuízos, os quais abrangem problemas sociais, econômicos e ambientais de uma determinada região urbanizada. Assim, planejamentos e projetos de drenagem que visem a sustentabilidade tornam-se essenciais na prática urbana. O presente trabalho versa acerca da drenagem urbana, com ênfase no estudo da macrodrenagem, nos estudos hidrológicos e hidráulicos para seu dimensionamento, bem como trata sobre o desenvolvimento de planejamento e projetos adequados de drenagem urbana, abordando também a problemática das inundações urbanas, suas causas, consequências, novas técnicas de análise e soluções para sua mitigação. Para isso, o trabalho conta uma revisão bibliográfica a fim de fornecer embasamento teórico e um estudo de caso, o qual apresenta o projeto de drenagem do Canal do Portinho, incluindo sua análise da área em estudo, estudos hidrológicos e dimensionamento da canalização, a partir de levantamentos de dados espaciais, dados de projetos e dados bibliográficos, com o intuito de desenvolver uma análise do projeto fundamentada na revisão da literatura. A análise evidenciou que, em geral, o projeto em estudo apresenta procedimentos adequados de análise do problema em questão e de melhoria do sistema de macrodrenagem da região, promovendo planejamento correto e implementações que trazem benefícios sociais, econômicos e ambientais.

Palavras-chave: Drenagem urbana. Sistema de macrodrenagem. Planejamento urbano. Urbanização sustentável. Canal do Portinho.

ABSTRACT

SCHALCHER, Lucas Franco Correa. **ANALYSIS OF URBAN MACRODRENAGE**: a case study of the Portinho Channel in São Luís - MA. 2018. 62 f. Work of Conclusion Course of Graduation in Civil Engineering – Federal University of Maranhão. São Luís, 2018.

The occurrence of urban floods is a recurring phenomenon in Brazilian territory. This event causes numerous damages, which cover social, economic and environmental problems of a given urbanized region. Thus, drainage projects and projects that aim at sustainability become essential in urban practice. The present work deals with urban drainage, with emphasis on the study of macrodrainage, hydrological and hydraulic studies for its design, as well as the development of adequate urban drainage planning and projects, also addressing the problems of urban floods, their causes, consequences, new techniques of analysis and solutions for their mitigation. For this, the work includes a literature review to provide a theoretical background and a case study, which presents the Portinho Channel drainage project, including its analysis of the study area, hydrological studies and channeling design, from of spatial data surveys, project data and bibliographic data, with the purpose of developing a project analysis based on the literature review. The analysis showed that, in general, the project under study presents adequate procedures to analyze the problem in question and to improve the region's macrodrainage system, promoting correct planning and implementations that bring social, economic and environmental benefits.

Keywords: Urban drainage. Macrodraining system. Urban planning. Sustainable urbanization. Portinho Channel.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Característica dos leitos dos rios.....	21
Figura 2 – Papel hidrológico da bacia hidrográfica.....	29
Figura 3 – Divisores de águas.....	30
Figura 4 – Exemplo de MDE.....	40
Figura 5 – Planta de Localização.....	43
Figura 6 – Bacia de contribuição.....	46
Figura 7 – Fotografia do Mercado Central.....	53
Figura 8 – Início do Canal do Portinho.....	53
Figura 9 – Poluição presente no canal.....	54
Figura 10 – Estreitamento do canal.....	54
Figura 11 – Células de canalização da macrodrenagem.....	55

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Equações de tempo de concentração.....	32
Tabela 2 – Períodos de Retorno.....	33
Tabela 3 – Parâmetros da equação IDF da chuva de São Luís – MA.....	34
Tabela 4 – Resultados do projeto de drenagem do Canal do Portinho.....	50
Tabela 5 – Dados obtidos por meio do GPS.....	51

LISTA DE SIGLAS

CAD	Desenho Assistido por Computador
DBO	Demanda Biológica de Oxigênio
ETE	Estação de Tratamento de Esgoto
IDF	Intensidade-Duração-Frequência
MA	Maranhão
MDE	Modelo Digital de Elevação
MNT	Modelo Numérico de Terreno
PDDU	Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano
SEMOSP	Secretaria Municipal de Obras e Serviços Públicos
SIG	Sistema de Informação Geográfica
TR	Tempo de Retorno

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	13
1.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS.....	13
1.2 JUSTIFICATIVA.....	14
1.3 OBJETIVOS.....	15
1.3.1 Objetivo Geral.....	15
1.3.2 Objetivos Específicos.....	15
1.4 METODOLOGIA.....	16
1.5 ESTRUTURA DO TRABALHO.....	17
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	18
2.1 ÁGUAS URBANAS.....	18
2.1.1 Histórico do Desenvolvimento.....	18
2.1.2 Águas Pluviais.....	20
2.1.3 Inundações Causadas Pela Urbanização.....	22
2.1.4 Cenário Atual.....	22
2.2 DRENAGEM URBANA.....	23
2.2.2 Planejamento Dos Sistemas de Drenagem.....	26
2.2.1 Medidas de Controle.....	28
2.3 ESTUDOS HIDROLÓGICOS.....	28
2.3.1 Bacia Hidrográfica.....	28
2.3.2 Tempo de Concentração.....	31
2.3.3 Dados da Chuva.....	32
2.3.4 Vazão Máxima.....	35
2.4 DIMENSIONAMENTO DA MACRODRENAGEM.....	37
2.4.1 Dimensionamento Hidrológico.....	37
2.4.1 Dimensionamento Hidráulico.....	37
2.5 GEOPROCESSAMENTO E DRENAGEM URBANA.....	38
3. ESTUDO DE CASO.....	42
3.1 CARACTERIZAÇÃO DO LOCAL.....	42
3.2 ESTUDOS HIDROLÓGICOS DO LOCAL.....	44
3.2.1 Bacia de Contribuição.....	45
3.2.2 Vazão de Projeto.....	47
3.3 CANALIZAÇÃO DO CANAL DO PORTINHO.....	48
3.4 RESULTADOS OBTIDOS NO PROJETO.....	50
3.6 ANÁLISE DO PROJETO.....	51
4. CONCLUSÃO.....	57
REFERÊNCIAS.....	59

1. INTRODUÇÃO

1.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Dentre inúmeros problemas presentes no sistema de saneamento brasileiro, encontra-se a problemática de planejamento e implementações inadequadas de sistemas de drenagem urbana. Em muitas áreas urbanizadas, a população e o meio ambiente são acometidos comumente pela ocorrência de inundações urbanas, as quais promovem prejuízos, sociais, econômicos e ambientais.

O fenômeno da inundação pode ocorrer de forma natural, quando o rio ocupa seu leito maior, afetando assim, as áreas ribeirinhas. Pode ocorrer também devido à urbanização, a qual aumenta a área de terreno impermeável, impossibilitando a infiltração de grande parte do volume de água e aumentando o escoamento superficial, inundando as áreas a jusante do escoamento. (TUCCI, 2003)

O aumento da frequência e magnitude das enchentes decorre da impermeabilização, ocupação do solo e a construção de rede de condutos pluviais ineficientes. Outra causa que pode acarretar em obstruções ao escoamento é o desenvolvimento urbano, como na construção de pontes e aterros, podendo produzir também drenagens inadequadas e obstruções a partir de condutos e assoreamento. (TUCCI, 2003)

Tais causas citadas podem ser observadas no município de São Luís, capital do Maranhão, onde a problemática que envolve a drenagem urbana é evidente. Para a resolução desses problemas, necessita-se de uma adequada política de saneamento, o qual inclui a drenagem urbana de maneira eficiente, evitando inundações, impactos ambientais e problemas sociais. Então, tornam-se essenciais instalações adequadas de drenagem no município de São Luís para que a água pluvial seja escoada e infiltrada na zona urbana e rural de maneira sustentável.

A ocorrência de inundações em uma determinada região é influenciada por fatores físicos característicos da área, como o relevo, o clima, o uso do solo e as áreas impermeáveis, os quais devem ser analisados.

Tanto no Brasil como em diversos países, ao longo de muito tempo, a drenagem urbana das grandes cidades foi tratada de modo secundário, sem a devida atenção, no contexto da divisão do solo para seu específico uso urbano, como afirma Canholi (2005). O aumento das áreas urbanas nessas cidades ocorreu de modo

acelerado e, em poucos desses locais, foi levada em consideração como fator preeminente no planejamento da expansão urbana a abordagem da drenagem urbana. Tal expansão ocorreu a partir das zonas mais baixas, próximas a rios e mares, até às zonas mais altas, o que ocasionou o aumento de áreas impermeabilizadas (CANHOLI, 2005)

O presente trabalho vem tratar acerca do planejamento e projeto de sistema de drenagem urbana que seja adequada à área a ser implantada e que traga benefícios à população, ao comércio e ao meio ambiente.

Para isso, esta pesquisa conta com um estudo de caso do projeto de drenagem do canal do Portinho, localizado nas redondezas do Mercado Central no centro de São Luís – MA. Além disso, será apresentado a fundamentação teórica por meio de uma revisão da literatura de autores renomados.

1.2 JUSTIFICATIVA

As inundações urbanas são problemas recorrentes no Brasil. A cada ano, muitas notícias são veiculadas sobre tal assunto, porém medidas que visam mitigar esse problema não são tomadas ou são aplicadas de maneira errônea. Assim, tais ocorrências continuam em grandes proporções e trazem consequências muito prejudiciais à população urbana.

Ocorrências de inundação na zona urbana podem ser observadas, em específico, no município de São Luís – MA, onde evidenciam-se práticas inadequadas de saneamento, acarretando problemas de saúde pública, danos à pavimentação, dificuldades na mobilidade urbana, impactos ambientais, entre outros problemas visíveis na cidade.

Em especial, a ocorrência dessa problemática era vista nas proximidades da região do Mercado Central, no centro de São Luís. Então, foi desenvolvido um projeto para melhoria do sistema de drenagem desta região, o qual será apresentado e estudo no presente trabalho.

A análise de regiões propícias a inundações, bem como a instalação de um sistema de drenagem adequado justifica-se devido ao acarretamento de mobilidade urbana dificultada, danos a pavimentação e problemas de saúde pública.

O estudo de caso proporciona uma boa ilustração de como é realizado um projeto de drenagem urbana, evidenciando a caracterização da área, os estudos hidrológicos e o dimensionamento hidráulico e, ainda, é possível ser analisado a partir de um embasamento teórico correto a fim de verificar a adequação do sistema de drenagem proposto à área a ser implantada.

Sendo assim, percebendo-se a importância da resolução dos problemas provenientes da ocorrência de inundações no município de São Luís – MA, observa-se a necessidade do estudo do canal do Portinho, que corresponde ao projeto de macrodrenagem da região do Mercado Central, onde eram observados inúmeros problemas de drenagem pluvial. Dessa forma, fundamenta-se o estudo para identificação da região e análise da solução proposta para o problema da região.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo Geral

Demonstrar relevância e a necessidade de tomada de decisões eficientes para a resolução da problemática que envolve a drenagem urbana no município de São Luís - MA, a partir do estudo do canal do Portinho, localizado no Centro da cidade.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Realizar o levantamento de dados espaciais e a análise da bacia hidrográfica da região identificada, com o auxílio de equipamentos e softwares especializados;
- Descrever os procedimentos tomados para a realização do projeto do sistema de drenagem, enfatizando os estudos hidrológicos e a macrodrenagem
- Realizar a análise da solução tomada para a resolução do problema, considerando toda a área de influência, dimensionamento, estudo hidrológico e impactos ambientais.

1.4 METODOLOGIA

O presente trabalho foi desenvolvido fundamentado em uma revisão da literatura disponível e baseado em um estudo de caso a fim de apresentar conceitos, exemplificações e análise acerca da problemática de inundações e do desenvolvimento de um projeto de drenagem urbana, dando ênfase ao estudo da macrodrenagem

Para o desenvolvimento da pesquisa bibliográfica utilizou-se a classificação de Vergara (2008) que caracteriza a pesquisa quanto aos fins e aos meios. Quanto aos meios caracteriza-se como bibliográfica, pois a pesquisa foi fundamentada com base em autores de destaque no cenário nacional. E quanto aos fins em descritiva, pois busca descrever como se dá o problema das inundações urbanas, o planejamento e os estudos realizados para a elaboração de um sistema de drenagem.

Com o intuito de exemplificar e analisar um projeto de drenagem urbana, este trabalho conta com um estudo de caso, o qual pode ser classificado, quanto aos fins da pesquisa, como explicativo, pois serão estabelecidas relações entre o referencial teórico pesquisado e a realidade percebida no projeto analisado.

O estudo de caso consiste em uma apresentação e análise do projeto de drenagem do canal do Portinho em São Luís do Maranhão, localizado nas proximidades do Mercado Central. Para sua realização foram coletados dados junto a Secretaria de Obras e Serviços Públicos (SEMOSP) do Estado do Maranhão. Os dados correspondem a informações sobre a área de estudo, estudos hidrológicos, dimensionamento da canalização, resultados obtidos e relatórios fotográficos, os quais são apresentados e analisados.

Para a análise do projeto em questão foram realizadas visita 'in loco', levantamento de dados espaciais por meio do auxílio do GPS *Garmin*, modelo *GPSmap 76Cx*, para fins de análise da planta da bacia hidrográfica, verificando dados de elevação e georreferenciamento, auxiliado pelo *software ArcGis*. Foram levantados dados de locais inseridos nas proximidades do Mercado Central.

Por fim, os procedimentos de cálculos hidrológicos e dimensionamento da macrodrenagem, presentes no projeto em estudo, são analisados com base na fundamentação teórica proporcionada pela pesquisa bibliográfica, auxiliado pelo acervo fotográfico da área de estudo.

1.5 ESTRUTURA DO TRABALHO

A estrutura do trabalho compreende a introdução, onde são apresentados a justificativa, os objetivos e a metodologia, apontando onde se quer chegar e os procedimentos para a realização dos fins.

Após a introdução é exposta a revisão bibliográfica, a qual trata sobre a temática das águas urbanas, abordando sobre seu histórico, sua gestão e seus impactos. Compreende também conceitos sobre a drenagem urbana, seu planejamento, suas medidas para controle de enchentes, além de apresentar fundamentações sobre estudos hidrológicos e sobre o dimensionamento da macrodrenagem. A revisão finaliza apresentando o auxílio que o geoprocessamento pode conceder nas análises da drenagem urbana, configurando uma nova tecnologia e forma de estudo.

Sucedendo a revisão bibliográfica, apresenta-se o estudo de caso do projeto de drenagem, o qual é exposto, explicado e analisado a partir da relação de caso prático com o embasamento teórico. Isso tudo culmina em discussões e na conclusão que são apresentados ao fim do trabalho.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 ÁGUAS URBANAS

O grupo de estudos que compreende a drenagem urbana, o sistema de abastecimento de água e esgotos sanitários, as inundações ribeirinhas e a gestão de sólidos totais é nomeado de águas urbanas, como afirma Tucci (2007b). Segundo o autor, pode-se afirmar que a principal meta deste grupo se consolida na esfera da saúde e da conservação ambiental.

Para Collischonn e Dornelles (2013), entre os usos principais da água pelos humanos, destacam-se: o abastecimento humano, geração de energia elétrica, navegação, irrigação, dessedentação animal, pesca, diluição de efluentes, recreação e paisagismo. Sendo que, os usos da água podem ser classificados, comumente, em consuntivos e não consuntivos. O uso consuntivo modifica consideravelmente a quantidade de água acessível a outros usuários, já o uso não consuntivo modifica pouco a quantidade de água, no entanto, pode alterar sua qualidade.

2.1.1 Histórico do Desenvolvimento

A necessidade do uso de água para uma população é evidente à medida em que se caracteriza como de indispensável importância para a sobrevivência, além de auxiliar no processo de dispensação de resíduos, de maneira que se consiga, como afirma Tucci (2007b), conservar as funções ambientais para as futuras gerações, prevenindo-se de inundações e doenças ao passo em que se torna possível o descarte adequado de esgoto e sólidos.

Esse manejo de contingências se torna necessário quando se visa, principalmente, a conservação de funções ambientais para as futuras gerações. De acordo com Tucci (2007b), esses objetivos são básicos quando se pensa em uma sociedade em processo de modernização.

Com o crescimento das cidades brasileiras, nota-se a recorrência cada vez maior de problemas diretamente relacionados ao planejamento urbano que, por sua vez, possuem sérias consequências, como afirma Cruz et al. (2007). Como exemplo, pode-se citar os impactos no ambiente decorrentes de enchentes naturais, bem como

a própria ampliação de sua frequência, tendo ainda como resultado a criação de novos pontos de alagamentos espalhados por todo o território (CRUZ *et al.*, 2007).

O desenvolvimento das águas urbanas, nesse contexto, foi se dando de forma gradual, passando por diversas fases. Inicialmente, as sociedades eram limitadas a pequenos grupos que viviam no ambiente rural, que, posteriormente, convergiam para as cidades atuais. Nesse período, a principal preocupação era a de "evitar a proliferação de doenças, devido principalmente às condições sanitárias dos efluentes da própria população que contaminava suas fontes de abastecimento" (TUCCI, 2007b), o que tinha como consequência direta a proliferação de doenças infecciosas.

Diante desse contexto, fundamentaram-se assim articulações para um melhor abastecimento de água a partir de fontes seguras, bem como o despejo a jusante do manancial da cidade (BAPTISTA; NASCIMENTO; BARRAUD, 2005). A intervenção, no entanto, à medida em que apresentava por finalidade evitar doenças e seus efeitos, acabava apenas por "transferir os impactos para outras comunidades a jusante do despejo" (TUCCI, 2007b). Essa fase foi denominada de higienista.

O crescimento urbano tornou-se ainda mais evidente, principalmente no período posterior ao da Segunda Guerra Mundial, apresentando o fenômeno popularmente conhecido como Baby Boomer, que tornou ainda mais emergente o crescimento urbano e mais precárias as condições de saneamento.

Por essa ocasião, passam a ser desenvolvidos planos como o Clean Water Act, conhecido como lei da água limpa, nos Estados Unidos, que definia que todos os efluentes deveriam, necessariamente, passar por um processo adequado de tratamento, à medida em que seriam disponibilizadas boas tecnologias para recuperação e conservação de rios. Esse momento, como explica Tucci (2007b) é conhecido por ser a fase corretiva das águas urbanas.

No entanto, mesmo com todo esse movimento em busca de melhorias de saneamento e condições básicas de vida, foi possível verificar a persistência, ainda, de inundações urbanas e rurais, chamadas, segundo Tucci (2007b) de poluição de fontes difusas (BAPTISTA; NASCIMENTO; BARRAUD, 2005).

A partir da década de 90, tornou-se efetivo a possibilidade de ver um aumento de investimentos em prol de uma política de desenvolvimento sustentável, baseado no tratamento de águas urbanas e rurais, de origem pluvial. Como aponta Tucci (2007b) esta fase tem sido caracterizada como desenvolvimento sustentável.

Tucci (2007b) explica que, a partir do momento em que ocorre o desenvolvimento urbano, a tendência geral é a criação de unidades separadas de sistemas sanitários, como também afirmam Baptista, Nascimento e Barraud (2005), onde uma dessas vias é destinada para o esgoto e outra via passa a ser destinada para a drenagem.

Vale destacar, no entanto, que cada caso deve ser melhor analisado para que se chegue à um consenso sobre o modelo que se deve utilizar. Tucci (2007b) aponta que, até um dado momento do século XX, o sistema de esgoto era do tipo combinado, por exemplo (BAPTISTA E NASCIMENTO, 1996). Vale ressaltar também que em cada um desses respectivos sistemas existem vantagens e desvantagens.

Tucci (2007b) aponta que nos países em desenvolvimento ocorreram duas características marcantes durante a passagem de fases do pré-higienismo para o higienismo, como o fato de algumas cidades optarem pelo uso de uma rede de esgoto, mas abstendo-se de rede de drenagem. Essa opção teve como benefício a redução da poluição doméstica, ao passo em que, por outro lado, resultou em inundações frequentes.

No contexto brasileiro, a principal opção vêm sendo a de construção de drenagem, porém sem rede de esgoto doméstico, o que produz como consequência direta a contaminação de fontes de água a partir da poluição doméstica e industrial. Tucci (2007b) destaca que esse fator é responsável pela "redução de qualidade de vida e comprometimento da saúde, além de risco para a população" (TUCCI, 2007b)

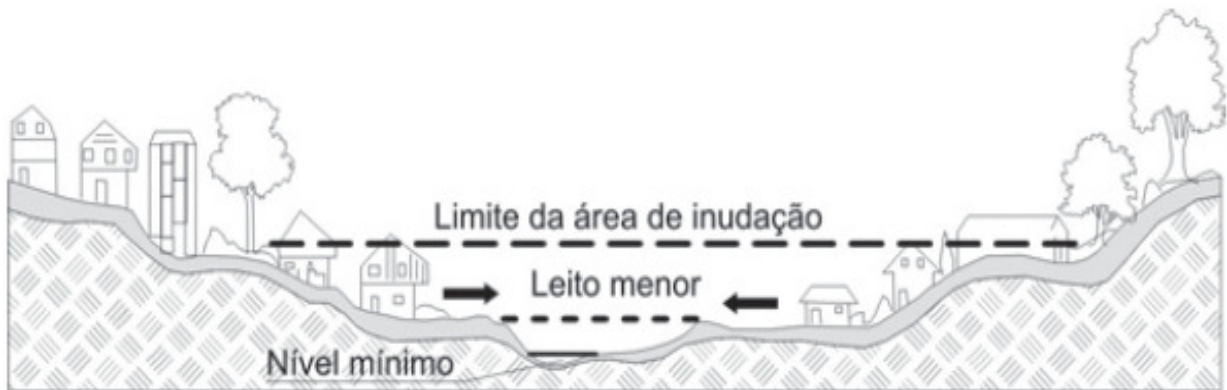
2.1.2 Águas Pluviais

Existem, dentro do plano de escoamento pluvial, dois processos que podem possibilitar a produção de inundações e impactos nas áreas urbanas, ocorrendo de maneira isolada ou combinada, conforme sinaliza Tucci (2007b). Esses processos são:

- Inundações de áreas ribeirinhas: gerada a partir de causas naturais, acontecem geralmente no leito maior dos rios
- Inundações causadas pela urbanização: ocorrem na drenagem urbana por conta, principalmente, dos efeitos da impermeabilização do solo, obstruções ao escoamento, etc.

Tucci e Genz (1994) explicam que as inundações de áreas ribeirinhas são decorrentes do momento em que acontece um aumento no escoamento do rio, passando a atingir o leito maior, tendo como principal impacto destas inundações o fato de haverem, em alguns casos, a ocupação destes espaços por populações ribeirinhas (BAPTISTA, NASCIMENTO e BARRAUD, 2005). A Figura 1 ilustra esse acontecimento.

Figura 1 – Característica dos leitos dos rios



Fonte: Tucci (2007a)

Sendo assim, entende-se que estas inundações constituem um processo previamente esperado em decorrência do próprio ciclo natural das águas, mas que encontra agravantes ao passo em que o ambiente do leito maior se torna local de habitações humanas.

Vale destacar que essas ações de ocupação territorial são resultadas de problemas específicos, como a falta de restrições quanto ao uso dessas áreas para fins de moradia através do PDDU (Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano) das cidades, além de invasões destas áreas por parte de populações socialmente desfavorecidas.

As principais consequências desta ação sobre a população são destacadas por Tucci (2007b) como os prejuízos materiais e humanos decorrente dos acidentes gerados, diminuição da qualidade de vida ao passo em que ocorre uma maior exposição a doenças de veiculação hídrica como a leptospirose e cólera (BAPTISTA, NASCIMENTO e BARRAUD, 2005), além da própria contaminação da água por meio de depósitos irregulares por parte da população do local.

2.1.3 Inundações Causadas Pela Urbanização

À medida em que ocorrem os processos de desenvolvimento e urbanização das cidades, destacam-se também o aumento significativo de enchentes (BAPTISTA, NASCIMENTO e BARRAUD, 2005). Esses eventos possuem causas bem definidas, como afirma Tucci (2007b), sendo fatores principais a impermeabilização do solo e as redes de condutos pluviais construídos neste processo de urbanização.

Outros fatores destacados na literatura são a presença de obstruções ao escoamento, identificados pela presença de pontes, aterros, drenagens inadequadas, assoreamento, entre outros.

2.1.4 Cenário Atual

O impacto decorrente dos processos de urbanização configura-se em um dos principais problemas e desafios para o contexto atual no Brasil. Isso porque, à medida em que se torna inviável o crescimento nas áreas metropolitanas por já serem áreas desenvolvidas, resta a ocupação de espaços periféricos, onde em sua maioria encontram-se os mananciais, tornando mais grave o problema, como explica Tucci (2007b).

Nesse sentido, a via de solução consiste em buscar novos mananciais para utilização, que por sua vez são mais distantes e trazem consigo um maior custo. Estas soluções, no entanto, apresentam questões bastante controversas e problemáticas como aponta Tucci (2007b), que consistem no fato de que há um nível bastante razoável de perda de água tratada nas redes de distribuição urbana, o que torna questionável o uso de novos mananciais quando as perdas se configuram em níveis altos, além do fato das ETE's (Estações de Tratamento de Esgotos) funcionarem abaixo do nível de capacidade instalada por não haver coleta de esgoto suficiente, etc.

Em contraste com outros contextos, mais especificamente a relação entre países em desenvolvimento e os que já se encontram desenvolvidos, algumas mudanças podem ser observadas no que tange as condições de infraestrutura urbana relacionadas com água.

Nos países desenvolvidos, há uma clara estabilidade em relação ao abastecimento de água, ao controle quantitativo do escoamento na drenagem urbana

e do tratamento de esgoto, como explica Tucci (2007b). Em contrapartida, também é possível verificar ainda aspectos a serem desenvolvidos que privilegiem uma melhor abordagem acerca de questões como o controle da poluição difusa devido às águas pluviais.

Em um outro cenário se encontram os países classificados como em desenvolvimento, que se revelam ainda ancorados em problemáticas que envolvem tratamento de seus esgotos, como indica Tucci (2007b). Especificamente no contexto brasileiro, estudos deste autor indicam que o abastecimento de água se configura como um grande problema à medida em que existe uma forte contaminação de mananciais, em decorrência de uma baixa cobertura de coleta de esgoto tratado.

Um outro ponto a ser destacado e que participa da realidade de países em desenvolvimento diz respeito ao controle quantitativo da água da drenagem urbana, que ainda se revela bastante limitada (TUCCI, 2007b, p. 79).

Restam ainda grandes desafios não só no contexto brasileiro, mas em relação a muitos países que compõem a América do Sul, como aponta os estudos de Tucci (2007b). O principal ponto a ser trabalhado diz respeito, principalmente, ao controle dos impactos quantitativos da drenagem pluvial, que ainda necessitam de ajustes específicos.

Além de uma análise adequada do escoamento pluvial, é de fundamental importância o estudo da qualidade da água pluvial. Uma grande problemática se estabelece no campo da qualidade da água do Pluvial, uma vez que a quantidade da água nesta drenagem apresenta-se com uma alta taxa poluente, por conta das vazões envolvidas no processo.

Desta maneira, é essencial a realização de uma avaliação acerca da qualidade da água urbana. Uma possibilidade, sinalizada por Tucci (2007b) dá-se através da utilização de parâmetros bem definidos que caracterizem a poluição orgânica, bem como seja capaz de aferir a quantidade de metais disponibilizados ali.

2.2 DRENAGEM URBANA

Uma das possíveis causas para a problemática da drenagem urbana é explicada por Tucci e Genz (1995), que afirmam ser estes impactos provenientes da impermeabilização do solo que se torna cada vez mais crescente em decorrência do aumento do volume pluvial escoado e da redução do amortecimento, o que apresenta

por consequência o aumento nas vazões máximas, que segundo os autores, chegam a representar até seis vezes a vazão de pré-urbanização.

Entra em contexto o termo Drenagem Urbana, caracterizada por Tucci (2007a) como todo o conjunto de medidas que possuem como objetivo principal a minimização de riscos a que as populações são submetidas, buscando também diminuir os prejuízos causados por inundações, além de possibilitar o desenvolvimento urbano de forma harmônica, não ultrapassando os limites considerados saudáveis, de forma articulada e sustentável.

Também é possível atribuir à ampliação dos danos relativos aos problemas de drenagem, como apontam Cruz *et al.* (2007), aos próprios projetos que são concebidos e executados para atuar como solução para o referido problema. Os autores relatam que, em maior parte dos casos estudados, os projetistas responsáveis se usam de abordagens ultrapassadas que ao invés de servirem como solução, apenas transferem um ponto de alagamento para outro local, o que por sua vez demandará futuramente de novos projetos e execuções.

Isso acontece, porque, segundo Tucci (2007a), o objetivo fundamental da drenagem urbana, ao longo de muitos anos, foi centrado na possibilidade de remoção de águas pluviais em excesso da forma mais eficiente possível, de modo que fosse possível evitar maiores transtornos, prejuízos e riscos de inundações.

Vale ressaltar que um outro ponto problemático apresentado a partir dos estudos de Cruz *et al.* (2007) refere-se ao próprio sistema de drenagem implantado nas cidades brasileiras, uma vez que se faz uso na maior parte das vezes do tipo combinado, onde o sistema recebe tanto o esgoto cloacal advindo das residências quanto de águas pluviais, o que torna o problema dos alagamentos uma questão também de saúde pública.

Fora isso, também se somam as grandes quantidades de resíduos sólidos presentes nas ruas que são levados às redes de esgotos, provocando obstrução no sistema e contribuindo também para a questão dos alagamentos. Diante do apresentado, é possível perceber a complexidade do problema que envolve o contexto da drenagem urbana no Brasil e a necessidade de buscar alternativas viáveis que minimizem os impactos ambientais e que andem em conformidade com os recursos financeiros disponíveis para a questão.

Dessa perspectiva, Tucci (2007a) defende que melhores soluções para esses problemas só são possíveis de serem alcançadas a partir de uma compreensão

holística do ambiente urbano, além das relações entre os sistemas que estão diretamente envolvidos com este.

É necessário que se desenvolva também uma atuação mais abrangente por parte dos profissionais que estão gerindo este setor, que, obrigatoriamente precisa levar em conta tanto aspectos legais quanto institucionais, tecnológicos e sociológicos, o que permite dizer que o conceito de drenagem urbana ultrapassa o campo da engenharia, tornando-se presente em outros contextos à medida em que passa a ser, como afirma Tucci (2007a), um problema de ordem gerencial, atrelado a componentes políticos, além de sociológicos.

Portanto, a busca por soluções eficazes para os problemas que envolvem drenagem urbana deve ser encorajada, e conforme Tucci (2007a), vão neste sentido, segundo estes fatores, resumidamente:

- Necessidade de existência de uma política clara sobre objetivos a serem alcançados e meios a serem utilizados para serem destinados ao setor responsável;
- Promoção de uma política de ocupação do solo urbano alinhada com projetos que contemplem a drenagem urbana;
- Realização de processos de planejamento que estabeleçam medidas de curto, médio e longo prazo em toda a bacia;
- Viabilização de existência de uma entidade eficiente para se apropriar e fazer uso das tecnologias necessárias, trabalhando para a implantação de obras e medidas estabelecidas, desenvolvendo também atividades de comunicação social e informações a todos os públicos, promovendo participação populacional no processo de tomada de decisões e reflexões, estabelecendo critérios, aplicando e fiscalizando o cumprimento de leis e normas e exerça com responsabilidade sua devida participação neste contexto;
- Apresente domínio das tecnologias necessárias e adequadas para haver um planejamento eficaz, bem como projetos, construções e operações das obras; e, por fim,
- Atue na promoção e organização de campanhas de educação e esclarecimento da opinião pública.

2.2.2 Planejamento Dos Sistemas de Drenagem

Para Canholi (2005), as medidas adotadas para solucionar os problemas de alagamentos ocorridos nos sistemas viários que ocuparam várzeas de corpos hídricos apresentam caráter localizado, de maneira geral. Os trechos de canais ampliados atenuam o prejuízo da área onde ocorre a inundação, porém agrava esse problema a jusante, devido a transferência de vazões. Assim, as várzeas suprimidas pelas obras de urbanização utilizadas pelos córregos ou rios nas cheias serão sempre demandas a jusante.

Para Braga (1994), países em desenvolvimento como o Brasil, em sua maioria, vivenciaram grande expansão urbana com infraestrutura de drenagem com muitas deficiências nas últimas décadas. Promoveu-se, então, problemas de inundação acarretados devido principalmente à acelerada expansão urbana, à baixa percepção do nível do problema, falta de planejamento a longo prazo, inadequada manutenção dos sistemas de drenagem e controle de enchentes, bem como o uso precário de medidas não estruturais de drenagem. Porém, observa-se um crescente interesse pela problemática das inundações e seus resultados relacionados ao saneamento e à saúde pública, motivado pelo crescimento da consciência ambiental.

Segundo Canholi (2005), devido a apropriação comercial e tráfego intenso em muitos desses locais que receberam a expansão da urbanização, as ampliações de sistemas de drenagem tornam-se muitas vezes inviáveis e custosas. Sendo assim, novas medidas que visam solucionar problemas com águas pluviais urbanas precisam ser estudadas e implementadas, principalmente no que se refere às medidas estruturais de sistema de drenagem.

Devido a esses fatores, torna-se necessário haver estudos profundos em relação a gestão das águas pluviais, o controle de inundações e medidas sustentáveis de drenagem urbana, os quais, atualmente, é visto de maneira negligente no território brasileiro. Isso acarreta em sérios problemas, observados nas grandes capitais, como danos ao pavimento, dificuldades de tráfego, danos ao comércio e à mobilidade urbana, proliferação de doenças, entre outras problemáticas facilmente observadas.

De acordo com Canholi (2005):

A análise das soluções para tal flagelo deve, portanto, ser multidisciplinar e pragmática, dado o enorme impacto social. É necessária a realização de estudos de planejamento global de drenagem urbana, por meio dos planos diretores de drenagem, em que todos os aspectos voltados às obras de infraestrutura e de planejamento urbano sejam analisados de forma integrada. (CANHOLI, 2005, p. 17)

Ainda para Canholi (2005), com o intuito de proporcionar a consolidação de políticas adequadas de planejamento de drenagem urbana, é necessário estabelecer critérios gerais de projeto, operação e manutenção. Bem como são de grande importância os dados físicos da bacia, estudos hidráulicos, hidrológicos, dados de qualidade da água, de uso e opção de solo, regulamentação para aprovar projetos na área da bacia em estudo, planos de financiamento e políticas fiscais que visem incentivos e melhorias para tais práticas.

Tais critérios são necessários para nortear os projetos de drenagem urbana, bem como orientar na operação e manutenção dos sistemas implementados para o controle da drenagem. Conforme Canholi (2005), as diretrizes relacionadas aos aspectos hidrológicos envolvem:

- A determinação do volume de deflúvio a ser utilizado no dimensionamento das estruturas para controle de enchentes. Por exemplo: duração da chuva igual a 24 horas e tempo de recorrência igual a 100 anos. As relações de intensidade, duração e frequência de precipitação, chamadas de IDF, podem ser resultado dessa determinação;
- Os picos de vazão dos locais que ainda serão urbanizados não devem ultrapassar os valores naturais;
- Os sedimentos e a demanda biológica de oxigênio (DBO) presentes nas águas drenadas devem ser reduzidos na fonte em um valor equivalente ao de fontes pontuais (80%, por exemplo);
- Bacias de retenção precisam ser capazes de armazenar o deflúvio que corresponde à altura de precipitação determinada e, também, a liberação deve acontecer em um determinado período de tempo previsto.
- O deflúvio equivalente aos instantes iniciais de chuva deve ser conduzido a um reservatório *off-line*.

2.2.1 Medidas de Controle

Para a realização adequada do planejamento de sistemas de drenagem urbana, é necessário tomar conhecimento acerca dos tipos das medidas de controle de inundação para a aplicação da medida mais cabível. As medidas de controle são classificadas, por meio de sua natureza, em medidas estruturais e medidas não estruturais.

De acordo com Canholi (2005), as medidas estruturais estão relacionadas às obras de engenharia executadas a fim de possibilitar a prevenção e/ou correção de problemas decorrentes de inundações.

Ainda segundo o mesmo autor, as medidas não estruturais consistem em medidas que visa atenuar as consequências ou danos das inundações, sem que haja necessidade de obras, mas a partir da aplicação de normas, regulamentos e programas que objetivem, como exemplo, o disciplinamento da ocupação e utilização do solo, implementação de sistemas de alerta e promoção da consciência da população para a manutenção dos dispositivos e sistemas de drenagem urbana.

2.3 ESTUDOS HIDROLÓGICOS

2.3.1 Bacia Hidrográfica

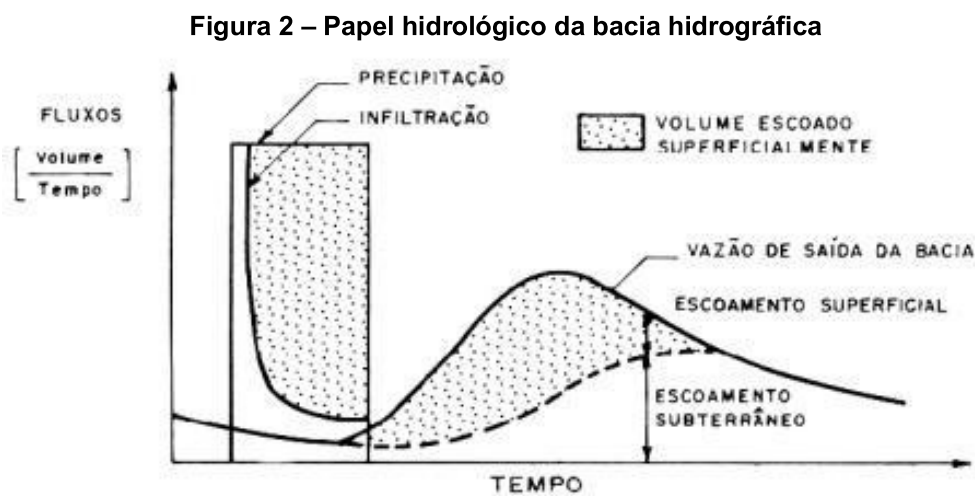
Para fins de estudos aplicados na engenharia, na maioria das vezes o ciclo hidrológico é analisado com mais afinco na fase terrestre e com o elemento principal da análise sendo a bacia hidrográfica. Para Collischonn e Dornelles (2013) define-se a bacia hidrográfica como:

A bacia hidrográfica é a área de captação natural dos fluxos de água originados a partir da precipitação, que faz convergir os escoamentos para um único ponto de saída, denominado exutório. A bacia hidrográfica pode ser considerada como um sistema físico sujeito a entradas de água (eventos de precipitação) que geram saídas de água (escoamento e evapotranspiração). A bacia hidrográfica transforma uma entrada concentrada no tempo (precipitação) em uma saída relativamente distribuída no tempo (escoamento). (COLLISCHON E DORNELLES, 2013, p. 21).

Para Tucci (2007a), a bacia hidrográfica pode ser entendida como um sistema físico, cujo volume de água precipitado corresponde a entrada e o volume de água

escoado pelo exutório corresponde a saída, sendo que são considerados como perdas intermediárias os volumes de água transpirados e evaporados, bem como os volumes profundamente infiltrados. Em certos casos que correspondem a eventos isolados, é possível desconsiderar tais perdas e realizar a análise da transformação da chuva em vazão proporcionada pela bacia.

A Figura 2 demonstra bem o papel hidrológico da bacia hidrográfica, onde são representados o hietograma, correspondente a entrada, e o hidrograma, o qual corresponde a saída.

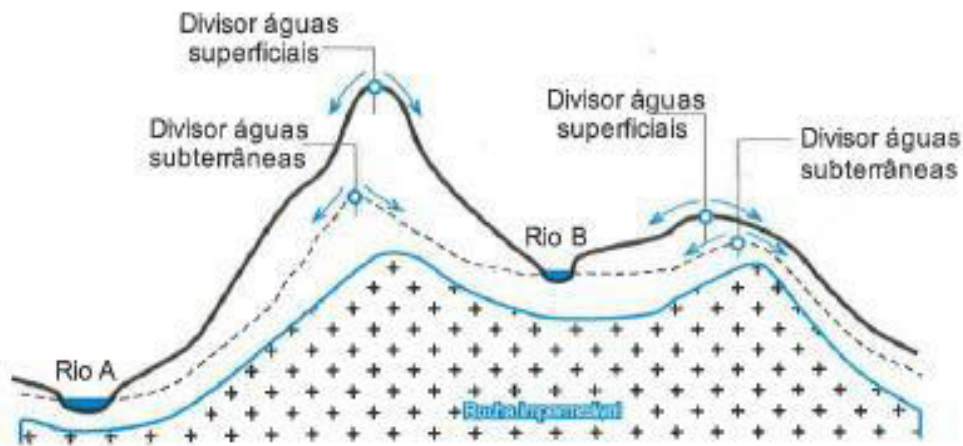


Fonte: Tucci (2007a)

Os elementos que, normalmente, definem uma bacia hidrográfica são um curso de água, uma seção transversal ou ponto desse curso de água denominado exutório e informações de relevo que, em geral, são obtidas por meio de um mapa topográfico. A partir dessas informações topográficas torna-se possível identificar os divisores de água, os quais consistem em linhas imaginárias sobre o relevo que separam o escoamento das águas da chuva, sendo traçados analisando a direção do escoamento sobre a superfície, que vai dos pontos mais altos aos mais baixos. (COLLISCHON E DORNELLES, 2013)

Ainda conforme Collischonn e Dornelles (2013), o divisor de águas superficiais, obtido a partir das informações de altitudes, está apoiado na ideia que a água pluvial escoar sobre a superfície do solo. No entanto, a água que infiltra no solo pode seguir uma direção de escoamento dependendo das rochas impermeáveis presentes no subsolo, os quais podem dar origem a um divisor de águas subterrâneas. Demonstrado pela Figura 3, a seguir.

Figura 3 – Divisores de águas



Fonte: Collischon e Dornelles (2013)

A delimitação de uma bacia hidrográfica é definida pelo traçado dos divisores de água, os quais restringem a área onde serão escoadas as águas pluviais e a separa do restante da área do mapa. O escoamento das águas é conduzido até o exutório, que é o único local em que o divisor cruza o curso da água.

Segundo Collischonn e Dornelles (2013), a delimitação de bacias hidrográficas pode ser realizada de forma manual, traçando seus limites em mapas de papel, ou de forma automática com a utilização de computadores. De forma automática, representa-se o relevo digitalmente ou numericamente.

Para esse método de representação automática, podem ser utilizadas técnicas de geoprocessamento tanto para a delimitação da bacia quanto para a análise de suas características e aquisição de dados para fins de estudos hidrológicos.

Uma das características que pode ser analisada de forma digital é a área de drenagem da bacia hidrográfica. Com o auxílio de softwares de Sistemas de Informação Geográfica (SIG), é possível obter dados que podem ser processados para dar suporte a uma análise mais adequada da bacia. Para Collischonn e Dornelles (2013):

A área de drenagem é a característica mais importante de uma bacia hidrográfica. A área é um dado fundamental para definir a potencialidade hídrica de uma bacia, uma vez que a bacia é a região de captação da água da chuva. Assim, a área da bacia multiplicada pela lâmina precipitada ao longo de um intervalo de tempo define o volume de água recebido ao longo desse intervalo de tempo. (COLLISCHON E DORNELLES, 2013, p. 23).

A área da bacia hidrográfica, projetada sobre o plano, costumava ser medida através de um instrumento mecânico denominado planímetro. Atualmente, a área de drenagem é calculada utilizando representações digitais da bacia em programas computacionais de auxílio ao desenho (CAD) ou em Sistemas de Informação Geográfica (SIG). (COLLISCHON E DORNELLES, 2013, p. 23).

2.3.2 Tempo de Concentração

Para ser realizado o estudo hidrológico em uma determinada área, é essencial o conhecimento e análise do tempo de concentração da bacia hidrográfica em questão. Para a determinação do tempo de concentração existem diversas equações obtidas de modo empírico e cada equação apresenta um desempenho específico e uso recomendado. De acordo com Collischon e Dornelles (2013):

O tempo de concentração de uma bacia hidrográfica é um conceito relativamente abstrato, definido como o tempo de viagem da gota de água da chuva que atinge a região mais remota da bacia, desde o início de seu escoamento, até o momento em que atinge o exutório. Esse tempo depende tanto da distância total que a água deve percorrer, como da velocidade com que a água escoar. Assim, o tempo de concentração é maior em bacias grandes, em que a água deve percorrer dezenas ou centenas de km, e é menor em bacias pequenas. Além disso, o tempo de concentração é menor em bacias montanhosas e maior em bacias planas. (COLLISCHON E DORNELLES, 2013, p. 27).

Embora possa ser medido utilizando métodos baseados em traçadores radioativos ou químicos, o tempo de concentração normalmente estimado a partir da análise das características geomorfométricas da bacia hidrográfica. Para isto existem diversas equações empíricas, obtidas a partir de dados experimentais. (COLLISCHON E DORNELLES, 2013, p. 27).

Para Tucci, Porto, Barros (1995), o tempo de concentração é um dos parâmetros de importância essencial, junto ao coeficiente de escoamento superficial, para a utilização do Método Racional, suscetível a imprecisões e incertezas. Várias formulações foram e vêm sendo desenvolvidas para determinar esse parâmetro tendo em vista as características físicas da bacia, sua ocupação, bem como considerando a intensidade da chuva.

A maioria dessas fórmulas foram obtidas de maneira empírica e são apresentadas de maneira resumida na Tabela 1, conforme Collischon e Dornelles (2013) e avaliações de utilização segundo Silveira (2005):

Tabela 1 – Equações de tempo de concentração

Equação	Fórmula	Utilização
Equação de Kirpich	$t_c = 57. \left(\frac{L^3}{\Delta h} \right)^{0,385}$	Bacias rurais de médio e grande porte
Equação do Corpo de Engenheiros do Exército dos EUA	$t_c = 11,46. \frac{L^{0,76}}{S^{0,19}}$	Bacias rurais de médio e grande porte
Equação de Watt e Chow	$t_c = 7,68. \left(\frac{L}{S^{0,5}} \right)^{0,79}$	Bacias rurais de médio porte
Equação de Carter	$t_c = 5,96. \frac{L^{0,6}}{S^{0,3}}$	Bacias urbanas de pequeno e médio porte
Equação de Dooge	$t_c = 21,88. \frac{A^{0,41}}{S^{0,17}}$	Bacias rurais de médio porte
Método cinemático	$t_c = \sum_{i=1}^N \left(\frac{100 \cdot L_i}{60 \cdot v_i} \right)$	Bacias de pequeno porte

De acordo com Silveira (2005), os melhores resultados para bacias urbanas foram apresentados pela Equação de Carter. Onde t_c é o tempo de concentração em minutos; L é o comprimento do curso d'água principal em km; e S é a declividade do curso de água principal, sendo adimensional.

2.3.3 Dados da Chuva

Outro aspecto de fundamental importância a ser considerado em um projeto de drenagem urbana são os dados da chuva e sua análise. Esse estudo permite determinar variáveis essenciais para os estudos hidrológicos e o dimensionamento de canais de drenagem

De acordo com Collischon e Dornelles (2013), as variáveis que caracterizam a chuva são a sua altura, a intensidade, a duração e a frequência. A altura consiste na espessura média da lâmina d'água que, caso a região atingida fosse impermeável e plana, cobriria toda a área. A intensidade é definida pela altura precipitada dividida pela duração da precipitação, representando ao longo do tempo uma taxa de

ocorrência de chuva. A duração refere-se ao período de tempo o qual ocorre a precipitação. Por fim, a frequência consiste na quantidade de ocorrências de ocasiões iguais ou superiores ao da chuva considerada, sendo assim, chuvas muito intensas tem baixa frequência.

Essa relação de ocorrência de eventos com chuvas muito intensas está ligada ao Tempo de Recorrência ou Tempo de Retorno (TR), o qual configura uma variável fundamental para estudos hidrológicos e a determinação do seu valor deve ser realizada dentro dos parâmetros adequados.

Segundo Tucci (2007a):

Período de retorno é o inverso da probabilidade de um determinado evento hidrológico ser igualado ou excedido em um ano qualquer. Ao decidir-se, portanto, que uma determinada obra será projetada para uma vazão com período de retorno de T anos, automaticamente decide-se o grau de proteção conferido à população ou, em outras palavras, o risco a que esta população ainda está sujeita, mesmo depois da construção da obra. Trata-se, portanto, de escolher qual o risco aceitável pela comunidade. Evidentemente este é um critério a ser definido em esferas políticas, uma vez que, pelo menos teoricamente, é a própria comunidade e seus representantes que deverão decidir o grau de proteção desejável e o quanto estão dispostos a pagar por ele. (TUCCI, 2007a, p. 813).

A escolha de um período de retorno adequado requer várias considerações. Na Tabela 2, a seguir, encontram-se alguns valores que o tempo de retorno pode assumir de acordo com o tipo de obra e da área. Essas definições possuem uma certa concordância no âmbito internacional, como assinala DAEE/CETESB (1980) *apud* Tucci (2007a).

Tabela 2 – Períodos de Retorno

Tipo de Obra	Tipo de ocupação da área	T (anos)
Microdrenagem	Residencial	2
	Comercial	5
	Áreas com edifícios de serviços ao público	5
	Aeroportos	2 – 5
	Áreas comerciais e artérias de tráfego	5 – 10
Macrodrenagem	Áreas comerciais e residenciais	50 – 100
	Áreas de importância específica	500

Fonte: DAEE/CETESB (1980) - Adaptado

Devido aos grandes impactos causados pelas chuvas intensas, é de fundamental importância o conhecimento e análise da intensidade das precipitações no local de estudo para o desenvolvimento do projeto de drenagem. Tal conhecimento

é adquirido por meio da curva de intensidade-duração-frequência, ou curva IDF da chuva, que varia de acordo com o local analisado.

São consideradas chuvas intensas, aquelas que, segundo Santos et al. (2010) e Cecilio et al. (2009) são capazes de causar diversos prejuízos, entre eles, as inundações, tanto em áreas urbanas quanto em áreas agrícolas.

Dessa perspectiva, fundamenta-se a necessidade de realização de estudos que possibilitem a quantificação temporal e espacial dessas chuvas intensas, como explica Moruzzi et al. (2009) de maneira que seja possível a realização de um dimensionamento de projetos hidráulicos a fim de que se possa aproveitar este recurso e minimizar seus impactos, como afirma Rodrigues et al. (2008).

Essa quantificação de chuvas intensas pode ser realizada, de acordo com Damé et al. (2008), a partir do emprego de modelos matemáticos empíricos, que também são conhecidos como curvas de intensidade-duração-frequência, denominadas também como curvas ou equações IDF.

A partir desse dimensionamento, são realizados os ajustes das equações de forma empírica, que vão de acordo com o ajustamento de parâmetros extraídos de dados pluviométricos bem definidos para cada estação e local específico (OLIVEIRA et al., 2005).

No contexto brasileiro, Pfafstetter (1957) e Denardin e Freitas (1982) foram pioneiros no desenvolvimento de ajustes de equações IDF, realizando o ajustamento para estações distribuídas em todo o país, consolidando-se em um total de 80. De acordo com os estudos de Campos *et al.* (2015), é possível obter parâmetros para a equação IDF da chuva de São Luís – MA, observados na Tabela 3.

Tabela 3 – Parâmetros da equação IDF da chuva de São Luís - MA

Município	Latitude	Longitude	K	A	b	c	r²
São Luís	-2,883	-44,350	1205,310	0,163	10	0,742	0,993
São Luís	-2,533	-44,300	1089,680	0,138	10	0,742	0,995

Fonte: CAMPOS et al. (2015) - Adaptado

Tais parâmetros definem a intensidade máxima média de precipitação, de acordo com Campos *et al.* (2015), por meio da utilização da equação a seguir:

$$I = \frac{(K \cdot Tr)^a}{(t + b)^c}$$

Onde,

I – intensidade máxima média de precipitação, em $mm \cdot h^{-1}$;

Tr – período de retorno, em anos;

t – duração da precipitação, em min.;

K, a, b, c – parâmetros ajustados com base nos dados pluviométricos da localidade.

2.3.4 Vazão Máxima

A vazão máxima, juntamente ao hidrograma, são de grande necessidade para a contenção e o controle de inundações em uma determinada área, bem como para o dimensionamento de obras hidráulicas de drenagem urbana, conforme sinaliza Tucci (2007a). Sendo assim, o estudo dessa variável tem importância significativa na qualidade, segurança e economia do projeto de drenagem.

Com o intuito de analisar e desenvolver um projeto de drenagem urbana adequado, é necessário entender alguns conceitos relacionados à vazão máxima. Segundo Tucci (2007a):

A vazão máxima de um rio é entendida como sendo o valor associado a um risco de ser igualado ou ultrapassado. O hidrograma de projeto ou hidrograma tipo é uma sequência temporal de vazões relacionadas a um risco de ocorrência. Esta sequência se caracteriza pelo seu volume, distribuição temporal e valor máximo (pico do hidrograma). A vazão máxima é utilizada na previsão de enchentes e no projeto de obras hidráulicas tais como condutos, canais, bueiros, entre outras. O hidrograma de projeto é necessário quando o volume, a distribuição temporal e o pico são importantes no funcionamento da obra hidráulica, como no caso de reservatórios e enseadeiras. (TUCCI, 2007a, p. 527).

De acordo com Collischon e Dornelles (2013), bacias hidrográficas de pequeno porte, como as que estão localizadas em áreas urbanas, dificilmente possuem dados de vazão e nível de água que podem ser observados. Então, a estimativa de vazões máximas nesse tipo de bacia não pode ser obtida por meio de métodos estatísticos embasados em dados observados, sendo assim, comumente utiliza-se métodos de estimativa de vazões máximas por meio das características locais das chuvas intensas.

O tamanho da bacia, em geral, determina a escolha do método para a estimativa das vazões máximas a partir da chuva. Ainda para Collischon e Dornelles (2013), em bacias muito pequenas pode ser utilizado o chamado método racional. Este método possibilita a estimativa da vazão de pico em função do coeficiente de escoamento da bacia e do tempo de concentração, os quais correspondem a características da bacia. O uso do método racional restringe-se a bacias de pequeno porte devido o método não possibilitar a obtenção de informações mais detalhadas sobre o hidrograma de cheia causado por uma chuva intensa.

Segundo Tucci (2007a), o método racional é amplamente utilizado para determinar a vazão máxima de projeto para bacias de até 2 km², consideradas pequenas. Tal método é marcado pelos seguintes princípios:

- a) A duração da precipitação intensa de projeto deve ser considerada igual ao tempo de concentração. A partir dessa consideração, admite-se que a bacia é pequena o suficiente para a ocorrência dessa situação, pois a duração é inversamente proporcional à intensidade;
- b) Um coeficiente único de perdas é adotado, o qual é denominado C, sendo estimado com base nas características da bacia estudada;
- c) A distribuição temporal das vazões e o volume da cheia não são avaliados.

Proposto por Mulvany (1851), o método racional baseia-se na seguinte equação:

$$Q_{max} = 0,278 \cdot C \cdot I \cdot A$$

Onde,

Q = Vazão máxima (m³/s);

C = Coeficiente de escoamento superficial;

I = intensidade da chuva de projeto (mm/hora);

A = área da bacia hidrográfica.

2.4 DIMENSIONAMENTO DA MACRODRENAGEM

2.4.1 Dimensionamento Hidrológico

De acordo com Canholi (2005), os dados necessários à elaboração do estudo hidrológicos englobam essencialmente as características geomorfológicas e hidráulicas da bacia hidrográfica, a análise de sua impermeabilização, os tempos de concentração e, ainda, as precipitações ou chuvas de projeto.

Para o desenvolvimento dos projetos de canalização, aponta Canholi (2005), o parâmetro mais importante a ser estudado é a vazão de projeto, a qual corresponde ao pico do dos deflúvios associado a uma precipitação crítica, chuva intensa, atrelado a um risco específico assumido. Sendo assim, picos de vazão menores de precipitações são escoados pelo sistema de drenagem com segurança.

O dimensionamento da canalização projetada, conforme Tucci (2007a), deve ser capaz de escoar a denominada vazão de projeto. Os critérios fundamentais para a determinação dessa vazão consistem na ideia de que os cálculos hidrológicos devem considerar a ocupação futura da bacia e o período de retorno é de 100 anos, de acordo com recomendações de grande parte dos estudos.

2.4.1 Dimensionamento Hidráulico

O dimensionamento hidráulico dos canais corresponde a uma atividade fundamentalmente importante no projeto dos sistemas de macrodrenagem, como afirma Canholi (2005). Ainda de acordo com o autor, para a readequação correta dos sistemas de drenagem, a avaliação da capacidade de vazão das canalizações presente na área estudada é de considerável importância, de modo que seja realizada a identificação dos pontos de estrangulamentos eventuais, também denominados de gargalos.

Segundo Tucci (2007a), a realização do dimensionamento hidráulico da macrodrenagem deve ocorrer, considerando os regimes do escoamento, subdivididos em: regime fluvial e uniforme, regime fluvial gradualmente variado, regime não-permanente. Segundo o autor:

O primeiro tipo de regime não permite considerar as possíveis influências do nível de água a jusante e os efeitos de singularidades sobre a linha de água. Como esse regime só se estabelece em trechos longos e uniformes, é necessário certificar-se de que essas condições são válidas e que não existem efeitos de remanso, o que é raro em áreas urbanas. Usualmente utiliza-se o regime uniforme na fase de projeto preliminar. (TUCCI, 2007a, p. 838).

O regime gradualmente variado é o mais utilizado, pois permite determinar a linha de água, considerando a presença de singularidades e mudanças de vazão ao longo do trecho, além do remanso causado por condições de contorno a jusante. É fundamental sua utilização em casos de galerias cobertas, pois elevações da linha de água poderão causar afogamento com consequências graves. (TUCCI, 2007a, p. 838).

O regime não-permanente, sinaliza Tucci (2007a), possibilita considerar mudanças das variáveis de interesse no tempo e no espaço. O estudo matemático desse regime é mais complexo. Sendo opção assumida em casos especiais, por exemplo, para levar em conta efeitos de maré, prever afogamentos de rede de galerias sujeitas a efeitos hidrodinâmicos, considerar operação de comportas, etc.

Para Canholi (2005), um dos aspectos hidráulicos mais necessários na aplicação de medidas que visam modificar a macrodrenagem para uma readequação está relacionado a definição das capacidades de vazão das canalizações existentes. Em relação aos canais, evidencia-se a importância do seu dimensionamento, bem como o amortecimento das cheias na calha são relevantes para o estudo hidráulico do sistema de macrodrenagem.

Com o intuito de verificar as capacidades de vazão em canais, que proporcionam escoamentos gradual ou bruscamente variados, e definir as linhas d'água, a análise do ressalto hidráulico e das curvas de remanso é de grande relevância, ressalta Canholi (2005). O autor prossegue afirmando que, no campo da drenagem urbana, o escoamento permanente uniforme é comumente considerando no dimensionamento e na verificação da capacidade da vazão dos canais.

2.5 GEOPROCESSAMENTO E DRENAGEM URBANA

Para a identificação de áreas potencialmente inundáveis, o uso de técnicas de geoprocessamento mostra-se uma ferramenta poderosa, pois permite o estudo do relevo, hidrografia e visualização espacial para uma análise mais eficiente. Assim, é

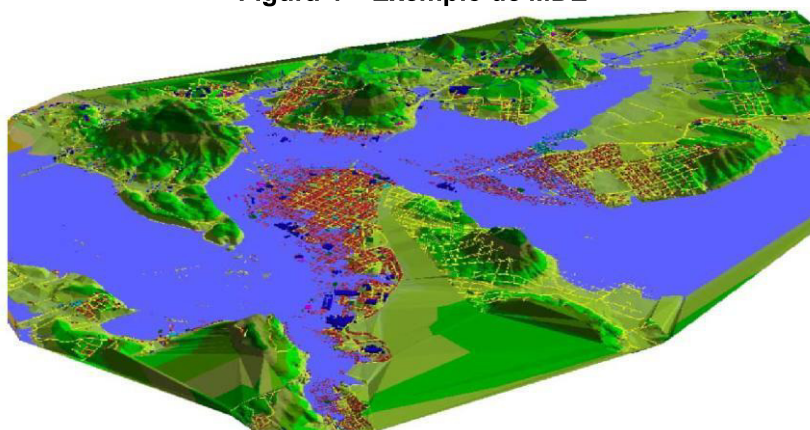
possível realizar a representação digital de uma bacia hidrográfica com o auxílio de tais técnicas.

De modo tradicional os estudos hidrológicos eram realizados sempre embasados em mapas topográficos, que permitiam a caracterização de bacias hidrográficas, como afirma Collischonn (2008). A partir da década de 1970 a acessibilidade aos computadores permitiu a criação de formas de representação de relevo de maneira digital, facilitando a armazenagem e o processamento de dados topográficos de modo mais prático para uma melhor análise hidrológica.

De acordo com Collischonn (2008), a modelagem digital do terreno torna-se uma ferramenta útil para a análise de ocorrência de inundação e o estudo da drenagem de uma região, possibilitando identificação de causas e soluções para a tomada de decisões em um planejamento urbano.

Existem ainda, segundo Collischonn (2008), três formas principais de representação de um relevo de maneira computacional. É possível representar o relevo em um computador utilizando curvas de nível, as quais são representadas por linhas digitalizadas. Tal representação apresenta-se muito útil para a geração de mapas.

Existe também a forma de representação baseada na utilização de uma matriz ou grade que engloba elementos que contém um valor correspondente à altitude da região. Tal representação, ainda conforme Collischonn (2008), permite o armazenamento de dados topográficos, recebe a denominação de Modelo Digital de Elevação (MDE) e constitui o modo de representação de relevo mais utilizado para extrair informações para estudos hidrológicos muito úteis. As altitudes são transformadas em cores ou níveis de cinza, para melhor visualização. Podendo ser observado na Figura 4.

Figura 4 – Exemplo de MDE

Fonte: Krüger e Dziedzic (2004)

Para a aquisição das imagens a serem processadas para os fins desejados, utiliza-se as informações obtidas por sensoriamento remoto, que constituem imagens digitais as serem manipuladas por meio dos Sistemas de Informações Geográficas (CÂMARA E DAVIS, 2001).

Esses Sistemas de Informações Geográficas (SIG's) surgem como principal tecnologia aliada às pesquisas que envolvem o campo do geoprocessamento, sendo definido por Câmara e Davis (2001) como ferramentas computacionais que possibilitam a realização de análises complexas, ao passo em que integram dados de diversas fontes e possibilitam a criação de dados georreferenciados.

Essas ferramentas computacionais tornam-se muito úteis para integrar uma análise hidrológica de uma determinada região, bem como o estudo das variáveis que determinam a ocorrência de enchentes e o vislumbre de soluções para tal problema.

Por meio das imagens de satélite, além do processamento desses dados, torna-se possível visualizar as características de uso do solo em bacias hidrográficas, possibilitando a absorção dessas características de uso de solo como fatores explicativos nos modelos para estimar o escoamento superficial, conforme indicam os estudos de Alcoforado *et al*, (2003). Então, necessita-se classificar a imagem a partir da análise de como os alvos distintos ou materiais refletem a radiação solar. (ALCOFORADO *et al*, 2003)

Conforme Ávila *et al* (1999) *apud* Alcoforado *et al* (2003), o uso das imagens de satélites, podendo-se citar o satélite americano LANDSAT-TM e o satélite francês

SPOT, possibilitou uma evolução tecnológica significativa, abrangendo possibilidades de aplicações hidrológicas do geoprocessamento, os quais pode-se citar:

- Caracterização do uso do microbacias hidrográficas: os maiores avanços na avaliação do uso da terra foram obtidos por meio dos classificadores de imagens. Tal classificação consiste em delimitar regiões que possuem um comportamento espectral homogêneo. Esse nível de detalhamento possibilita a identificação dos níveis variados de deterioração de pastagens, que ocasiona a erosão, afetando diretamente na oferta de água superficial.
- Caracterização da precipitação pluviométrica: a partir de dados da pluviometria de estações de uma determinada região, pode-se interpolar esses valores para a obtenção de um mapa de distribuição espacial da precipitação.
- Mapeamento da rede de drenagem: torna-se possível a delimitação automática dos lagos e rios de uma bacia hidrográfica por meio do modelo numérico de terreno (MNT).

3. ESTUDO DE CASO

No presente trabalho, foi realizado um estudo de caso do projeto de drenagem o qual abrange as redondezas do Mercado Central no centro de São Luís – MA, contemplando a melhoria da macrodrenagem do canal do Portinho, que dá nome ao projeto.

Os dados de projeto foram coletados junto a Secretaria Municipal de Obras e Serviço Públicos (SEMOSP), com o intuito de evidenciar a metodologia de execução do projeto de drenagem do canal do Portinho, expondo os estudos hidrológicos e hidráulicos, e então, realizadas suas devidas análises, com atenções maiores ao estudo da macrodrenagem da área.

A partir do estudo do projeto de drenagem do Canal do Portinho, é possível aplicar a fundamentação teórica, realizada neste trabalho por meio da revisão bibliográfica, visualizando como é desenvolvido este tipo de projeto na prática, por meio deste estudo de caso.

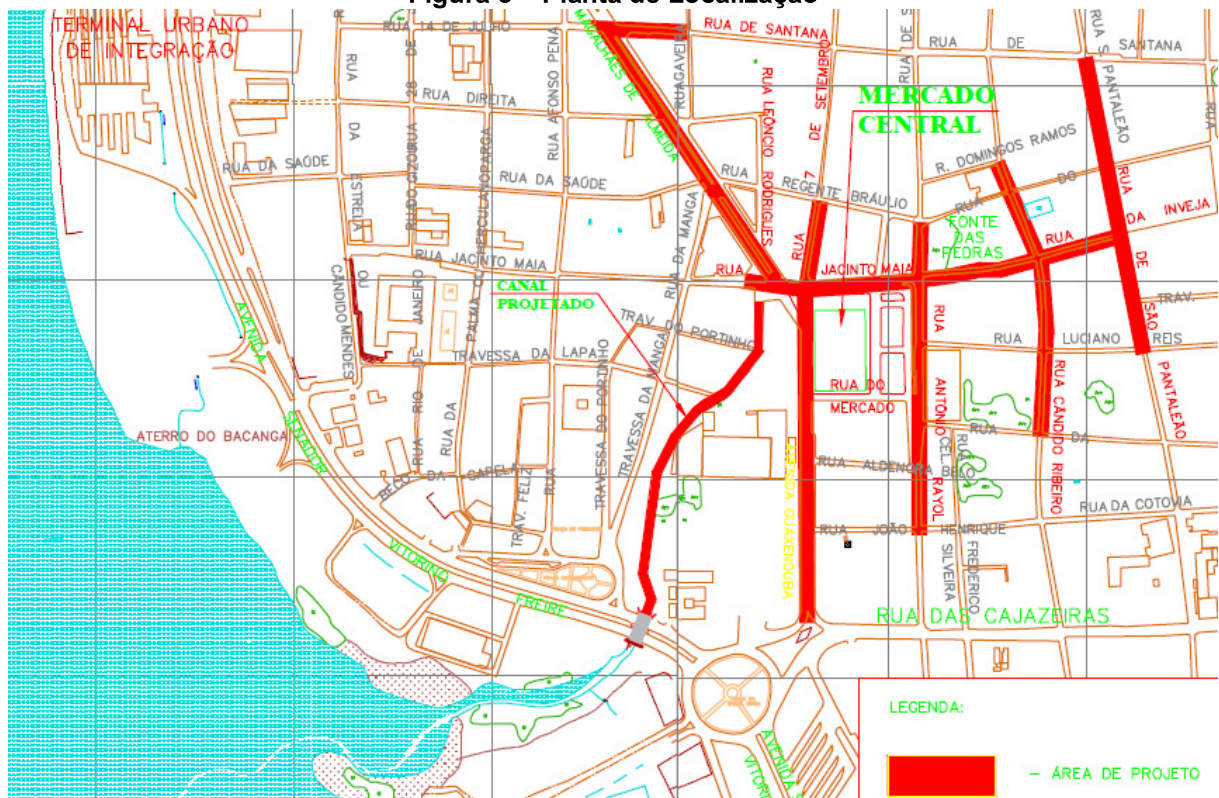
3.1 CARACTERIZAÇÃO DO LOCAL

A série de problemas que acompanham as áreas do Mercado Central em São Luís - MA demandaram das autoridades locais que projetos fossem elaborados tendo em vista, de maneira efetiva, a resolução dos casos de inundações de maneira que se possa garantir à população melhorias em sua qualidade de vida.

Segundo dados da SEMOSP (2017), uma das causas para esses transtornos configura-se na ineficiência do Canal do Portinho, principal responsável pelo encaminhamento das águas que chegam ao Mercado Central e seguem em direção à jusante na costa marítima.

A despeito de sua localização, a SEMOSP (2017) aponta que o Mercado Central e o Canal do Portinho encontram-se inseridos na área histórica e central da cidade de São Luís, envolvidos pelos bairros Praia Grande, Apicum, Madre Deus e Desterro, em um espaço privilegiadamente próximo à orla marítima. A área possui caracteristicamente grande tendência ao comércio ao longo de suas vias principais. Como pode ser observado em um recorte da planta de localização na Figura 5.

Figura 5 – Planta de Localização



Fonte: SEMOSP (2017) - Adaptado

Conforme a SEMOSP (2017), nas proximidades do mercado, existe uma caracterização densa da área, restando poucos espaços urbanos disponíveis. Em contrapartida, no local próximo ao canal, existem variedades de espaços urbanos disponíveis, o que acarreta bastante na propiciação de ocupações irregulares. Também é importante destacar que nesta área a existência de um sistema viário composto de avenidas e vias secundárias, tais como as Avenidas Magalhães de Almeida e Guaxenduba, bem como a Avenida Senador Vitorino Freire, parte integrante do anel viário da área central da cidade.

Inicialmente, a área do Mercado Central estava diretamente ligada ao Portinho, ambiente de onde eram trazidos pescados através de barcos de pesca artesanais e comercializados, sendo, depois, substituído pelo Canal do Portinho. O desenvolvimento se deu com a nova abrangência de produtos comercializados, a implantação de novas indústrias como fábricas de gelo, etc.

O Canal do Portinho atualmente, segundo a SEMOSP (2017) possui largura variando entre 2,30 a 3,00 metros, com uma profundidade de aproximadamente 1,50 metros. É mantido a céu aberto e recebe também águas de chuva e esgotos,

juntamente com lixos e detritos, líquidos e sólidos que são lançados pela população local.

A SEMOSP (2017) destaca ainda que apenas os imóveis situados na Rua da Manga, localizada ao lado direito do canal possui sistema de captação conveniente de esgoto, enquanto que os espaços situados no início do canal e ao lado esquerdo, com frente para a Avenida Guaxenduba não possuem, lançando seus esgotos sem tratamento algum no local.

Entretanto, algumas obras de melhoria já foram realizadas no local, como o revestimento com telas de gabiões preenchidas com pedras durante a construção da avenida Senador Vitorino Freire, tendo em vista a possibilidade de transpor as águas de um lado ao outro da avenida (SEMOSP, 2017). Atualmente, este revestimento encontra-se totalmente danificado e em alguns locais, fora substituído por muros mais resistentes para providenciar sustentação à novas construções lindeiras, sugerindo falta de fiscalização, manutenção e abandono.

Desta forma, percebe-se que a ampliação da capacidade do Canal do Portinho, além de atender a demanda atual para escoamento das águas pluviais, está associada aos objetivos de recuperação e restauração da área central da cidade, para a qual estão previstos outros projetos, como afirma a SEMOSP (2017).

3.2 ESTUDOS HIDROLÓGICOS DO LOCAL

A partir de informações coletadas junto a SEMOSP (2017), dados mostram que foram realizadas vistorias técnicas com a finalidade de determinar a bacia de contribuição da área e cadastrar o sistema de drenagem de águas pluviais existente em toda a área de estudo e com isso passar a ter uma compreensão dos problemas existentes e da necessidade de implantação de novas obras.

A insuficiência da capacidade do canal do portinho reflete em toda a área de estudo, nitidamente notada pelo grande acúmulo de águas nas partes baixas, que se estende por diversas ruas ao redor.

Então, além da necessidade de implantação de galerias de águas pluviais em várias vias situadas na bacia de contribuição deve-se dar especial atenção ao Canal do Portinho, que deve ter sua capacidade ampliada.

Os projetos de drenagem implicam necessariamente na elaboração de estudos hidrológicos tanto para a caracterização das condições em que ocorre o escoamento superficial, como também, e principalmente, para a estimativa das descargas de pico. Em bacias urbanas, as estimativas de vazões de projeto são utilizadas no dimensionamento hidráulico de galerias, bueiros e canais.

3.2.1 Bacia de Contribuição

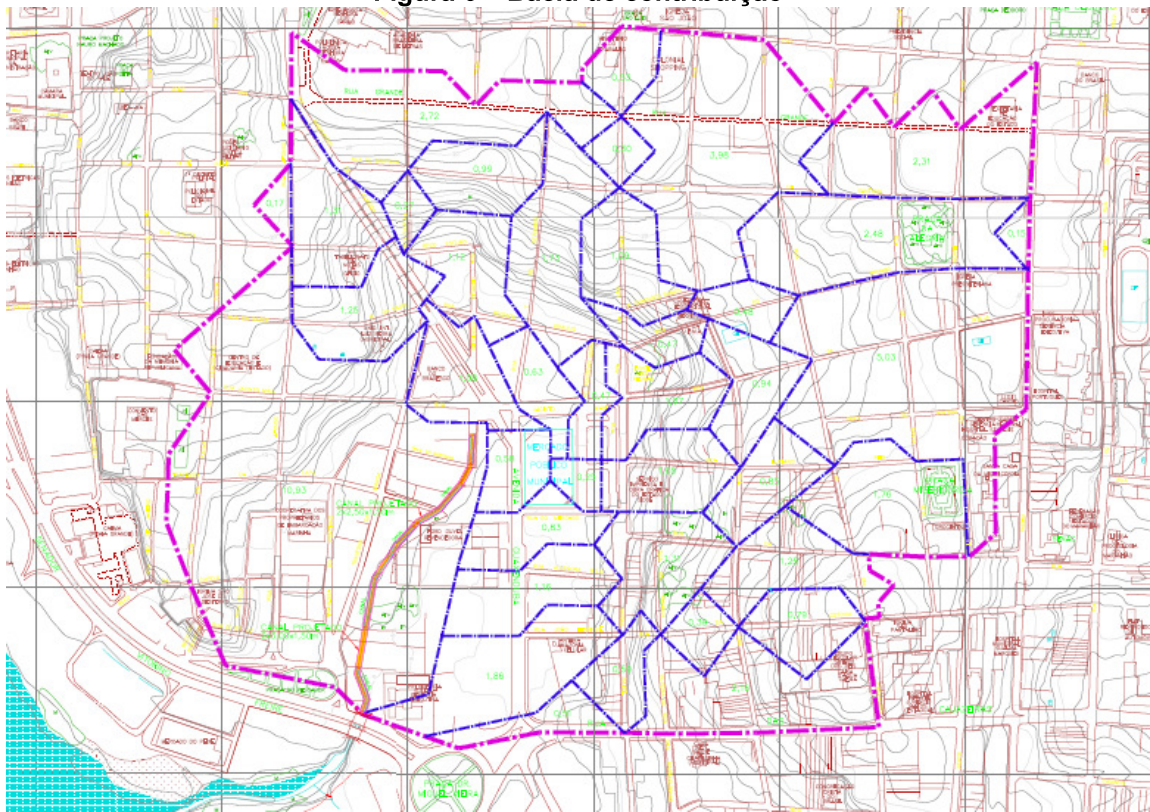
Os dados coletados na SEMOSP (2017) mostram que a partir da delimitação da bacia de contribuição, elaborada em cartografia disponível e apoiada em verificação de campo, determinaram-se as vazões de projeto que possibilitaram o dimensionamento dos dispositivos projetados.

A partir de estudos topográficos, com a utilização de estação total, foram levantadas as curvas de nível para, então, tornar possível a delimitação da bacia de contribuição ou bacia hidrográfica.

A planta da bacia de contribuição foi obtida junto a SEMOSP (2017). Na Figura 6 é possível perceber a delimitação da bacia (em roxo) e das sub-bacias (em azul), a partir de um recorte da planta.

A partir das curvas de nível e da planta baixa da circunvizinhança do local inseridas em um *software* CAD é possível traçar a bacia e a georreferenciar. Tal procedimento permite que a bacia hidrográfica tenha uma localização espacial bem definida e que, assim, sua análise possa ser realizada de maneira mais adequada.

Figura 6 – Bacia de contribuição



Fonte: SEMOSP (2017) - Adaptado

Fez-se um estudo para a delimitação da bacia utilizando um levantamento planialtimétrico na escala 1:2000, percorrendo todo o seu limite, de cotas mais elevadas, e verificando os sentidos preferenciais de escoamentos em todos os cruzamentos de ruas. A partir daí pode traçar as delimitações das sub-bacias que foram utilizadas para o dimensionamento de todos os ramais de galerias de águas pluviais.

A bacia de contribuição da área do Mercado Central ficou assim delimitada: início da Rua das Cajazeiras (proximidades da Praça Dr. Miguel Vieira) até a Rua São Pantaleão, daí a sua esquerda até a Rua da Palha, daí à sua direita até as proximidades da Rua do Passeio, daí a sua esquerda até a Rua Gomes de Castro, seguindo alternando entre essa rua e a Rua do Passeio, até a Rua da Paz (esquina com a Rua dos Craveiros) e por esta, até a esquina com a Rua São João. Daí alternando entre a Rua da Paz e a Rua Grande até a Rua Afonso Pena, descendo até a Rua Direita, seguindo entre a Rua da Palma e a Rua Rio de Janeiro, até atingir a Avenida Vitorino Freire, até a Praça Dr. Miguel Vieira, e fechando no início da Rua das Cajazeiras.

A região de estudo compreende uma área de 56,86 ha, contendo as sub-bacias e a área que localiza próximo ao Canal do Portinho.

3.2.2 Vazão de Projeto

Para a determinação das descargas do projeto foi utilizado o Método Racional por se tratar de pequenas bacias, que se resume na fórmula empírica:

$$Q = \frac{C \times I \times A}{6}$$

Onde:

- Q = Vazão (m³/s);
- C = Coeficiente de deflúvio superficial;
- I = Intensidade de precipitação (mm/min);
- A = Área da bacia contribuinte (ha).

Os dados coletados mostram que os períodos de recorrência adotados na determinação das descargas foram estabelecidos de acordo com o tipo de obra, ou seja, para as galerias de águas pluviais tubulares adotou-se T = 15 anos e, para as galerias celulares e para o canal foi considerado T = 25 anos.

Segundo a SEMOSP (2017), a determinação da intensidade de precipitação foi realizada a partir do conhecimento da duração da chuva que produzirá o maior pico. Esta duração é igual ao tempo de concentração que será calculado utilizando a fórmula do Califórnia Highway And Public Works, denominada também de Equação de Kirpich:

$$T_c = 57 \times \left(\frac{L^3}{H} \right)^{0,385}$$

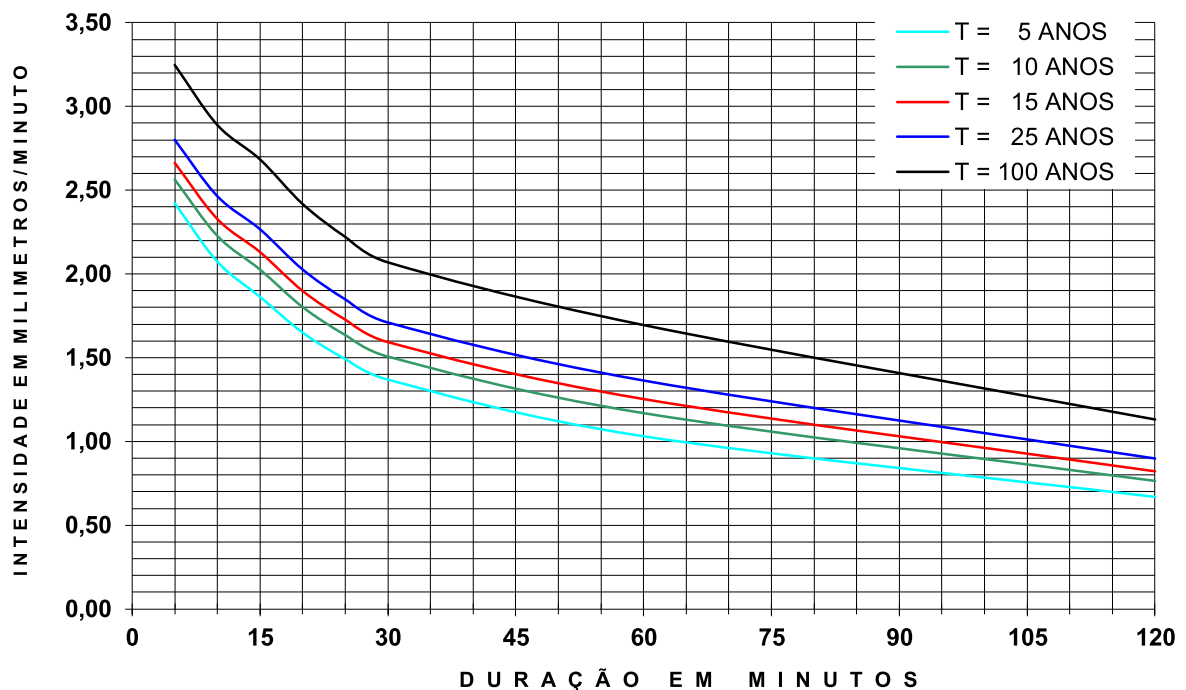
Onde:

- T_c = Tempo de concentração (min);
- L = Comprimento do talvegue principal (km);
- H = Desnível do talvegue principal (m).

A partir do cálculo do tempo de concentração é possível obter a intensidade de precipitação através da equação de chuvas válida para a área em estudo. No projeto estudado foram considerados os estudos publicados pelo DNOS no trabalho intitulado “Chuvas Intensas no Brasil” do Prof. Otto Pfafstetter (1957).

A curva da chuva utilizada no projeto estudado encontra-se no Gráfico 1, a seguir.

Gráfico 1 – Curva da chuva para a área de estudo



Fonte: SEMOSP (2017)

3.3 CANALIZAÇÃO DO CANAL DO PORTINHO

Segundo dados da SEMOSP (2017), a partir do estabelecimento do balanço das vazões e a verificação do escoamento pelas áreas de contribuição foi possível efetuar o dimensionamento do canal do portinho. Para isso foi utilizada a fórmula de Manning associada à equação da continuidade.

- Fórmula de Manning:

$$V = \frac{R_H^{2/3} \times I^{1/2}}{n}$$

- Equação da Continuidade:

$$Q = S \times V$$

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 rugosidade ou coeficiente de Manning

Conhecida a vazão “Q” de contribuição do trecho de estudo, determina-se a dimensão, a declividade “I” e a velocidade “V”, com valores convenientes ao bom funcionamento das obras. No caso de tubulações a dimensão se define pelo diâmetro, e para as galerias celulares determinam-se as medidas geométricas, ou seja, altura e largura; ambas necessárias à vazão de contribuição. O coeficiente de rugosidade (n) adotado no projeto analisado foi de 0,013.

Dados da SEMOSP (2017) mostram que para a execução do Canal do Portinho foi proposto a solução em galeria celular de concreto armado, fechada, iniciando próximo à Rua Jacinto Maia com dimensão de 2 × 2,50 × 1,50 m até a Travessa do Portinho, numa extensão de 49,00 metros. A partir daí o canal passa a ter dimensão de 2 × 3,00 × 1,50 m, numa extensão de 311,00 m, até o lançamento por baixo da ponte em concreto, localizada na Avenida Senador Vitorino Freire.

Deve-se ressaltar que a maré máxima observada para este período do ano registrou uma cota de 3,400 m. Considerando que a cota de lançamento do canal projetado tem uma cota de fundo igual a 1,769 m, resulta que a mesma funcionará toda afogada, nestes dias, nos intervalos de tempo em que ocorrer esta maré.

De acordo com a SEMOSP (2017), o caminhamento do canal procurou seguir o existente adequando-o às novas medidas. Para a implantação deste canal será

necessário a desapropriação de alguns imóveis, pois se trata de um lugar onde a urbanização é notória, inclusive com moradores antigos, alguns, donos de casas comerciais local.

3.4 RESULTADOS OBTIDOS NO PROJETO

Os resultados obtidos no projeto analisado consistem nos estudos e cálculo hidrológicos e no dimensionamento hidráulico da canalização da macrodrenagem, encontrados na Tabela 4.

Tabela 4 – Resultados do projeto de drenagem do Canal do Portinho

Canal do Portinho		Trecho	
		PVE- 17 até Estaca 02	Estaca 02 até Lançamento
Cotas (m)	Montante	4,000	-
	Jusante	-	-
	Diferença	4,000	-
Comprimento (m)		49,00	311,00
Coeficiente Médio C		0,80	0,80
Área tributária a montante	Área incrementada	45,93	10,93
	C x A	36,744	8,744
	Soma C x A (ha)	36,744	45,488
	Soma A (ha)	45,93	56,86
Tempo de escoamento	Até Montante	11,81	12,19
	No trecho	0,37	2,31
Intensidade de precipitação (mm/h)		143,52	142,58
Deflúvio Q (m ³ /s)		14,649	18,016
Canal	Seção Tipo D (m)	2x2,50x1,50	2x3,00x1,50
	Declividade (%)	0,14	0,13
	Vel. Seção Plena (m/s)	2,18	2,24

	Capacidade (m ³ /s)	15,28	18,78
	Desnível	0,069	0,404

Fonte: SEMOSP (2017) - Adaptado

3.6 ANÁLISE DO PROJETO

Após a realização da coleta dos dados do projeto de drenagem do Canal do Portinho, ressaltando que o estudo está concentrado na macrodrenagem, é possível realizar ponderações e análises, a partir da fundamentação teórica proporcionada pela revisão da literatura.

Para fins de análise do traçado da bacia e sua localização espacial, foi realizado um levantamento de dados de localização de alguns pontos localizados na área de estudo. A partir desta coleta de dados é possível analisar o georreferenciamento da planta da bacia, que representa sua localização espacial a partir de referências.

Para a realização do levantamento de dados utilizou-se o GPS *Garmin*, modelo *GPSmap 76Cx*, o qual apresentou dados de referência espacial e de elevação de cada local capturado. Os dados espaciais e de elevação podem ser observados na Tabela 5, a seguir:

Tabela 5 – Dados obtidos por meio do GPS

Ponto	X	Y	Elevação (m)
1	0577599	9719544	6
2	0577501	9719596	8
3	0577171	9719840	6
4	0577946	9719530	14
5	0577673	9719843	5
6	0578157	9719631	25
7	0578552	9719542	15
8	0577527	9720124	6
9	0577019	9720284	1
10	0578137	9720103	23
11	0577442	9720461	27
12	0577456	9720471	27
13	0578571	9720096	10
14	0578164	9720442	27
15	0578594	9720421	28

O GPS foi utilizado na configuração de projeção em UTM 23S, com o *Datum* em WGS 84, configurações próximas as recomendáveis para estudos topográficos no território brasileiro.

Por meio da inserção da planta da bacia hidrográfica do projeto estudo em um *software* SIG, percebeu-se que o objeto estava localizado dentro da área de estudo, portanto já, corretamente, georreferenciado no CAD.

No que se refere aos estudos hidrológicos, seria recomendado que o projeto de macrodrenagem do canal do Portinho usasse a equação de Carter para determinar o tempo de concentração, ao invés da equação de Kirpich, pois a pesquisa bibliográfica aponta para a utilização da equação de Carter, devido apresentar os melhores resultados para bacias urbanas.

Ainda no tocante aos estudos hidrológicos, o projeto analisado utiliza os dados de chuvas intensas estudados por Pfafstetter. O levantamento bibliográfico evidencia que foram realizadas pesquisas mais recentes no município de São Luís a fim de obter dados atuais e adequados com relação a chuvas intensas.

Sendo assim, de acordo com os estudos de Campos *et al.* (2015), é possível obter parâmetros mais atuais e adequados para a equação IDF da chuva de São Luís – MA.

Para a determinação das vazões de projeto, o projeto de drenagem analisado utilizou-se do método mais adequado, que configura o método racional. Dessa forma, o dimensionamento do canal do Portinho encontrou-se dentro de limites adequados tendo em vista o problema que se tem o objetivo de solucionar e as variantes que envolvem o planejamento de sistemas de drenagem.

Para a análise do planejamento de drenagem urbana do Mercado Central, foi possível coletar fotografias junto a SEMOSP, facilitando a visualização de problemas e avaliação das soluções propostas no projeto em estudo para a melhoria do sistema de drenagem na área de estudo.

Na Figura 7 é possível perceber o Mercado Central e duas proximidades que configuram pontos de baixa elevação e conseqüentemente suscetíveis a inundações. Este local consiste em uma área de comércio, de intenso tráfego e intensa ocupação. Sendo assim, os efeitos da urbanização são bastante evidentes no local, proporcionando uma região com grande grau de impermeabilização e com sistema de drenagem ineficiente.

Figura 7 – Fotografia do Mercado Central



Fonte: SEMOSP (2017)

Pode-se observar, na Figura 8, o local onde o Canal do Portinho recebe todas as águas das bacias de contribuição. Também é possível perceber a ocupação de um estabelecimento comercial construído acima do canal. Isso traz grandes prejuízos ao sistema de drenagem presente, o grau de poluição do canal acentua-se, a manutenção do canal é dificultada, bem como aumenta o risco de alagamento no estabelecimento observado, colocando a risco a segurança de pessoas.

Figura 8 – Início do Canal do Portinho



Fonte: SEMOSP (2017)

Nas Figuras 9 e 10, nota-se presença de resíduos sólidos poluentes no canal e a danificação de suas paredes laterais, bem como o estreitamento da sua calha de estreitamento, devido falta de manutenção. Isso acarreta na diminuição da capacidade de vazão do canal, aumentando ainda mais as chances de inundação quando ocorrer o aumento de volume de água pluvial, trazendo inúmeros malefícios a vizinhança e ao meio ambiente.

Figura 9 – Poluição presente no canal



Fonte: SEMOSP (2017)

Figura 10 – Estreitamento do canal



Fonte: SEMOSP (2017)

A partir da observação da Figura 11, nota-se a canalização do canal do Portinho já executado. O projeto propôs a melhoria do sistema de macrodrenagem, por meio da construção da canalização dimensionada adequadamente pelos cálculos hidrológicos e hidráulicos.

Com as dimensões citadas no projeto e observadas na Figura 11, espera-se que a canalização suporte a vazão de projeto estimada e assim possua maior eficiência no escoamento das águas provenientes das bacias contribuintes. Através das células de concreto projetadas e executadas, o canal torna-se mais protegido à poluição de resíduos sólidos, bem como evita no estreitamento da calha de escoamento.

Figura 11 – Células de canalização da macrodrenagem



Fonte: SEMOSP (2017)

Dessa forma, com os parâmetros adequados para a análise de um sistema de drenagem nas redondezas do Mercado Central, é possível proporcionar a atenuação das possibilidades de inundação, segurança e qualidade de vida aos moradores, comerciantes, conservação da infraestrutura das proximidades, além de promover qualidade e conservação ao meio ambiente.

Todas as esferas que compõem o tripé da sustentabilidade, os quais são o social, o econômico e o meio ambiente são beneficiados com planejamentos e projetos adequados de drenagem urbana, evidenciado por meio da presente análise proposta.

4. CONCLUSÃO

A partir da fundamentação teórica proporcionada pela revisão da literatura de autores de destaque nacional e do estudo de caso que promoveu a exposição e análise do projeto de drenagem urbana de uma determinada área, foi possível perceber que a aplicação prática de planejamento e projeto de drenagem deve estar aliada a uma forte revisão bibliográfica, a fim de que sejam adotados parâmetros adequados para os estudos hidrológicos e hidráulicos da área a ser implementado o projeto.

A revisão bibliográfica permitiu a visualização e o conhecimento de variados métodos para promover a gestão adequada das águas urbanas. O conhecimento do histórico de como eram observadas as águas urbanas proporcionou a análise de como a gestão de água é observada hoje no Brasil e em São Luís.

As informações que a literatura trouxe acerca do planejamento urbano evidenciam que todos os aspectos de causas e soluções devem ser analisados em um projeto de drenagem urbana. Os quais podem ser citados a qualidade de vida da população, o comércio da região, a mobilidade urbana, a segurança das habitações e, não menos importante, os impactos ambientais que uma inundação urbana pode acarretar.

Os estudos hidrológicos realizados de maneira adequada são de fundamental importância para determinar a vazão que o sistema de drenagem deverá escoar e, assim, ser realizado o dimensionamento adequado das estruturas de drenagem. O dimensionamento deve atender às vazões de pico promovidas por chuvas intensas com segurança, sem trazer prejuízos à população e ao meio ambiente. Para isso os métodos de cálculo devem ser desenvolvidos com atenção e adequados à área de estudo.

O projeto de drenagem do Canal do Portinho, o qual configurou o objeto de estudo, apresentou, em geral, uma análise adequada do problema de alagamento recorrente nas proximidades do Mercado Central, o qual trazia inúmeros problemas aos moradores, ao comércio, ao tráfego e ao meio ambiente.

As soluções propostas pelo projeto analisado, já em fase de execução, mostram uma grande melhoria no sistema de macrodrenagem do canal do Portinho,

trazendo à canalização uma maior capacidade de escoamento, segurança e benefícios a sua manutenção.

Espera-se que, após completamente realizada a execução do projeto, o sistema de drenagem do Mercado Central atendas às demandas previstas no projeto, bem como seja realizada a manutenção do canal para que sua eficiência não diminua e não resulte na retomada dos problemas de inundação da área.

Para a análise da bacia hidrográfica, os métodos de georreferenciamento mostraram-se importantes, pois permitiu a análise espacial mais próxima ao caso real de implantação do sistema de drenagem.

Entende-se, então, que o desenvolvimento de uma análise adequada da área de estudo para a implantação ou melhoria de um sistema de drenagem urbana, assim como seu correto planejamento e manutenção são de fundamental importância no contexto do desenvolvimento urbano. Dessa forma, é possível assegurar segurança e qualidade de vida à população, promover melhoria à economia da região por meio da conservação da sua infraestrutura e, ainda, conservar o meio ambiente, resultando em uma prática urbana sustentável.

REFERÊNCIAS

- ALCANTARA, L. H; ZEILHOFER, P. Aplicação de técnicas de geoprocessamento para avaliação de enchentes urbanas: estudo de caso – Cáceres, MT. In: Anais.. **1º Simpósio de Geotecnologias no Pantanal**. Campo Grande, Brasil, Embrapa Informática Agropecuária/INPE, p.18-27, 2006.
- ALCOFORADO, R. G; GÓES, V. C; ESCARIÃO, J. A.C. Aplicações do Geoprocessamento ao Estudo da Macrodrenagem da Zona Costeira de Recife. In: **II Congresso sobre Planejamento e Gestão das Zonas Costeiras dos Países de Expressão Portuguesa**. Recife, 2003.
- ÁVILA, C. J. C. P; ASSAD, E. D; VERDESIO, J. J; EID, N. J; SOARES, W; FREITAS, M. A. V. **Geoprocessamento da Informação Hidrológica: o estado da água no Brasil**. ANEEL, p. 187-196, 1999.
- BAPTISTA, M.B; NASCIMENTO, N.O; BARRAUD, S. **Técnicas compensatórias em drenagem urbana**. Porto Alegre: ABRH, 2005.
- BAPTISTA, M.B; NASCIMENTO, N.O. Sustainable Development and urban stormwater management in the context of tropical developing countries. In: **Congreso Interamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental**. México: AIDIS, 1996.
- CAMPOS, A.R; SANTOS, G.G; ANJOS, J.C.R; ZAMBONI, D.C.S; MORAES, J.N.F. Equações de intensidades de chuvas para o Estado do Maranhão. In: **Revista Engenharia na Agricultura**, Viçosa-MG, v.23, n.5, p.435-447, 2015.
- CANHOLI, A. P. **Drenagem Urbana e Controle de Enchentes**. São Paulo: Oficina de Textos, 2005.

CECÍLIO, R.A.; XAVIER, A.C.; PRUSKI, F.F.; HOLLANDA, M.P.; PEZZOPANE, J.E.M. Avaliação de interpoladores para os parâmetros das equações de chuvas intensa no Espírito Santo. In: **Revista Ambi-Agua**, v.4, n.3 p.82-92, 2009.

COLLISCHONN, W.; DORNELLES, F. **Hidrologia para Engenharia e Ciências Ambientais**. Editora ABRH, 2013.

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

DAMÉ, R.C.F; TEIXEIRA, C.F.A; TERRA, V.S.S. Comparação de diferentes metodologias para estimativa de curvas intensidade-duração-frequência para pelotas – RS. In: **Revista Engenharia Agrícola**, v.28, n.2, p.245-255, 2008.

DENARDIN, J; FREITAS, P.L. Características fundamentais da chuva no Brasil. In: **Revista Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.17, n.1, p.1409-1416, 1982.

MORUZZI, R.B; OLIVEIRA, S.C. Relação entre intensidade, duração e frequência de chuvas em Rio Claro, SP: métodos e aplicação. In: **Revista Teoria e Prática da Engenharia Civil**, v.9, n.13, p.59-68, 2009.

MULVANY, T. J. On the use of self-registering rain and flood gages in making observations of the relations of rain fall and of flood discharges in a given catchment. In: **Proceedings of the Institution of Civil Engineers of Ireland**, 18-33, 1851.

OLIVEIRA, L.F.C; CORTÊS, F.C; WEHR, T.R.; BORGES, L.B; SARMENTO, P.H.P; GRIEBELER, N.P. Intensidade-duração-frequência de chuvas intensas para algumas localidades no estado de Goiás e Distrito Federal. In: **Revista Pesquisa Agropecuária Tropical**, v.35, n.1, p.13-18, 2005.

PPAFSTETTER, O. **Chuvas intensas no Brasil**. Brasília: Departamento Nacional de Obras e Saneamento, 1957.

RODRIGUES, J.O; ANDRADE, E.M.; OLIVEIRA, T.S; LOBATO, F.A. Equações de intensidade-duração-frequência de chuvas para as localidades de Fortaleza e Pentecoste, Ceará. In: **Revista Scientia Agraria**, v.9, p.511-519, 2008.

SANTOS, G.G; NORI, P.G; OLIVEIRA, L.F.C. Chuvas intensas relacionadas à erosão hídrica. In: **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.14, n.2, p.115-123, 2010.

SÃO LUÍS (Cidade). Secretaria Municipal de Obras e Serviços Públicos. **Projeto de Drenagem do Mercado Central**. São Luís: SEMOSP, 2017.

SILVEIRA, A L. L. Desempenho de fórmulas de tempo de concentração em bacias urbanas e rurais. In: **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v 10 n. 1 Jan/Mar 2005, 05-24. DAEE/CETESB, *Drenagem Urbana 2* ed. São Paulo, 1980.

TUCCI, C. E. M. **Drenagem Urbana. Ciência e Cultura**. Vol. 55 no. 4. São Paulo, 2003.

TUCCI, C. E. M. **Hidrologia: ciência e aplicação**. - 4.ed. – Porto Alegre: Editora da UFRGS/ABRH, 2007a.

TUCCI, C. E. M. **Inundações Urbanas**. Porto Alegre: ABRH/RHAMA, 2007b.

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

VERGARA, S. C. **Métodos de pesquisa em administração**. 3. ed. São Paulo: Atlas, 2008.