



UNIVERSIDADE ESTADUAL DA PARAÍBA
CAMPUS I
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL
CURSO DE BACHARELADO EM ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL

MARIARITA DOS SANTOS SILVA

SISTEMA SUSTENTÁVEL DE DRENAGEM URBANA:
UMA PROPOSTA PARA O MUNICÍPIO DE LAGOA SECA - PB

CAMPINA GRANDE - PB
NOVEMBRO DE 2023

MARIARITA DOS SANTOS SILVA

**SISTEMA SUSTENTÁVEL DE DRENAGEM URBANA:
UMA PROPOSTA PARA O MUNICÍPIO DE LAGOA SECA - PB**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da Universidade Estadual da Paraíba como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Sanitária e Ambiental.

Área de concentração: Drenagem Urbana

Orientadora: Prof. Dra. Ruth Silveira do Nascimento

CAMPINA GRANDE - PB

NOVEMBRO DE 2023

É expressamente proibido a comercialização deste documento, tanto na forma impressa como eletrônica. Sua reprodução total ou parcial é permitida exclusivamente para fins acadêmicos e científicos, desde que na reprodução figure a identificação do autor, título, instituição e ano do trabalho.

S586s Silva, Mariarita dos Santos.
Sistema sustentável de drenagem urbana [manuscrito] :
uma proposta para o município de Lagoa Seca - PB / Mariarita
dos Santos Silva. - 2023.
54 p. : il. colorido.

Digitado.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em
Engenharia Sanitária e Ambiental) - Universidade Estadual da
Paraíba, Centro de Ciências e Tecnologia, 2023.

"Orientação : Profa. Dra. Ruth Silveira do Nascimento,
Coordenação do Curso de Engenharia Sanitária e Ambiental -
CCT. "

1. Drenagem urbana. 2. Meio ambiente. 3. Storm Water
Management Model - SWMM. I. Título

21. ed. CDD 628

MARIARITA DOS SANTOS SILVA

**SISTEMA SUSTENTÁVEL DE DRENAGEM URBANA:
UMA PROPOSTA PARA O MUNICÍPIO DE LAGOA SECA - PB**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da Universidade Estadual da Paraíba como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Sanitária e Ambiental.

Aprovada em: 24/11/2023.

BANCA EXAMINADORA



Prof. Dra. Ruth Silveira do Nascimento (Orientadora)
Universidade Estadual da Paraíba (UEPB)



Prof. Dra. Ysa Helena Diniz Morais de Luna
Universidade Estadual da Paraíba (UEPB)



Prof. Dr. Whelton Brito dos Santos
Universidade Estadual da Paraíba (UEPB)

**CAMPINA GRANDE – PB
NOVEMBRO DE 2023**

*“Combati o bom combate, terminei a corrida,
guardei a fé.”*

(2 Timóteo 4, 7-8)

RESUMO

O manejo e drenagem de águas pluviais no Brasil apresentam graves problemas frente ao cenário atual em decorrência de falhas na gestão e fiscalização dos sistemas de drenagem. O aumento descontrolado de áreas impermeáveis nos centros urbanos, além de acarretar impactos negativos ao meio ambiente, pode provocar grandes transtornos à população, causados por alagamentos e inundações, caso não seja acompanhado de um processo de planejamento urbano que contemple fundamentos interdisciplinares, dentre eles a drenagem urbana. Considerando o efeito do processo de urbanização desordenado na região central do município de Lagoa Seca - PB, no período de chuva, ocorrem problemas decorrentes da deficiência de um sistema individual e eficiente de drenagem urbana. Todavia, esses problemas englobam, também, ações que potencializam o acúmulo e o escoamento de águas pluviais. O presente trabalho buscou propor um sistema de microdrenagem urbana e, em seguida, simulou a aplicação das medidas LIDs, com inserção de pavimentos permeáveis e cisternas. Verifica-se que a adoção das medidas sustentáveis resulta na redução do escoamento superficial. O uso do software SWMM mostrou-se adequado para os objetivos deste projeto, com resultados satisfatórios nas simulações.

Palavras-chave: Drenagem urbana; Meio ambiente; Storm Water Management Model - SWMM.

ABSTRACT

The management and drainage of rainwater in Brazil presents serious problems in the current scenario due to failures in the management and supervision of drainage systems. The uncontrolled increase in impervious areas in urban centers, in addition to negative consequences for the environment, can cause major disruptions to the population, caused by flooding and floods, if it is not accompanied by an urban planning process that encompasses interdisciplinary foundations, among them urban change. Considering the effect of the disorderly urbanization process in the central region of the municipality of Lagoa Seca - PB, during the rainy season, problems arise resulting from the deficiency of an individual and efficient system of urban change. However, these problems also include actions that increase the accumulation and runoff of rainwater. The present work sought to propose an urban microdrainage system and then simulated the application of LIDs measures, with the insertion of permeable pavements and cisterns. It can be seen that the adoption of sustainable measures results in a reduction in surface runoff. The use of SWMM software proved to be suitable for the objectives of this project, with overwhelming results in the simulations.

Keywords: urban drainage;Environment;Storm Water Management Model - SWMM.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	8
2. OBJETIVOS.....	9
2.1. Objetivo Geral.....	9
2.2. Objetivos Específicos.....	9
3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	9
3.1. Efeitos da urbanização no escoamento superficial.....	9
3.2. Sistema de drenagem urbana.....	12
3.2.1. Gestão de drenagem urbana.....	13
3.3. Sistemas Sustentáveis de Drenagem Urbana - SUDS.....	15
3.3.1. Técnicas de Desenvolvimento de Baixo Impacto – LID.....	16
3.4. Modelagem matemática dos sistemas de drenagem urbana.....	17
3.4.1. Storm Water Management Model - SWMM.....	18
4. METODOLOGIA.....	19
4.1. Caracterização da área de estudo.....	19
4.2. Dimensionamento da microdrenagem.....	24
4.2.1. Coeficiente de Runoff - C.....	24
4.2.2. Determinação da declividade do trecho.....	25
4.2.3. Tempo de concentração (Tc).....	26
4.2.4. Tempo de retorno (Tr).....	26
4.2.5. Intensidade da chuva.....	26
4.2.6. Área de contribuição (Acont).....	27
4.2.7. Vazão do trecho.....	28
4.2.8. Sarjetas.....	29
4.2.8.1. Coeficiente de Manning.....	29
4.2.8.2. Lâmina d'água teórica da sarjeta.....	29
4.2.8.3. Declividade da sarjeta.....	29
4.2.8.4. Fator de redução.....	29
4.2.8.5 Lâmina d'água de projeto da sarjeta.....	30
4.2.9. Bocas coletoras.....	30
4.2.10. Poços de visita (PVs).....	31

4.2.11. Galerias.....	31
4.2.11.1. Diâmetro das galerias.....	31
4.2.11.2. Profundidade da galeria.....	31
4.2.11.3. Cotas inferiores.....	31
4.2.11.4. Declividade inferior da galeria (Sg).....	32
4.2.11.5. Relação lâmina de água-diâmetro (h/D).....	32
4.2.12. Reservatório.....	34
4.3. SWMM.....	34
4.3.1. Caracterização das sub-bacias.....	35
4.3.1.1. Infiltração.....	38
4.3.1.2. Condutos.....	38
4.3.1.3. Nós.....	38
4.3.2. Dados hidrológicos.....	39
4.3.3. Escolha dos LIDs.....	40
4.3.3.1. Valores dos parâmetros aplicados.....	40
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	42
5.1. Cenários com o uso de LIDs.....	42
5.2. Medidas não estruturais.....	46
6. CONCLUSÃO.....	47
REFERÊNCIAS.....	48
APÊNDICE A – SISTEMA DE MICRODRENAGEM PROPOSTO.....	51
APÊNDICE B – DIMENSIONAMENTO DAS SARJETAS E BOCAS COLETORAS.....	52
APÊNDICE C - DIMENSIONAMENTO DAS GALERIAS.....	53
APÊNDICE D - PARÂMETROS DE ENTRADA PARA O SWMM.....	54

1. INTRODUÇÃO

A partir da Lei nº 9.433, de janeiro de 1997, que institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, a discussão e a implantação de novos conceitos sobre a gestão das águas no país, possibilitou avanços em diversas áreas, principalmente por propor incorporar os princípios do desenvolvimento sustentável e a participação social nas deliberações sobre o uso e a conservação das águas.

No entanto, o planejamento urbano, embora envolva fundamentos interdisciplinares, na prática é realizado dentro de um âmbito mais restrito do conhecimento. O planejamento da ocupação do espaço urbano no Brasil, através do Plano Diretor Urbano, por vezes, não tem considerado aspectos de drenagem urbana e qualidade da água, que trazem grandes transtornos e custos para a sociedade e para o ambiente.

Atualmente, as cheias urbanas são um dos principais problemas enfrentados pelas cidades, este transtorno é agravado pelo processo de urbanização desordenado. Os prejuízos causados pelas cheias acarretam perdas econômicas e sociais das mais diversas, além de interferir nos setores de transporte, saneamento e saúde pública. Destacam-se os danos em infraestrutura e nas habitações, a degradação do ambiente natural e a desvalorização do ambiente construído, a propagação de doenças de veiculação hídrica, o empobrecimento da população com perdas sucessivas, entre outros.

Nesse contexto, os sistemas de drenagem urbana visam controlar os possíveis impactos causados pela impermeabilização do solo, portanto, tem-se que a drenagem urbana diz respeito às medidas de infraestrutura responsáveis por captar e conduzir as águas das chuvas nas cidades. Desta forma, ao analisar os projetos de engenharia desenvolvidos para as cidades verifica-se que, apesar de tecnicamente corretos, eles não têm conseguido atender ao crescimento das demandas urbanas por infraestrutura durante o seu tempo de vida, sendo frequentemente atropelados pela dinâmica social, além de estarem sujeitos a intervenções cada vez mais onerosas para a continuidade do seu funcionamento. Tais acontecimentos impulsionaram então o surgimento de tecnologias compensatórias para a drenagem urbana.

Este estudo é estimulado pela problemática de recorrentes casos de inundações na região central do município de Lagoa Seca. Dessa maneira, sugere-se a implantação de um sistema sustentável de drenagem urbana para esse recorte territorial, visando a determinação de um método que possua alta eficiência para a alocação e transporte das águas pluviais precipitadas na região.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo Geral

Desenvolver um sistema de drenagem de águas pluviais para uma área do bairro central do município de Lagoa Seca - Paraíba, com a implementação de soluções de desenvolvimento sustentáveis de baixo impacto.

2.2. Objetivos Específicos

- Apresentar um sistema de microdrenagem urbana de acordo com o cenário encontrado;
- Propor cenários com o uso de técnicas de desenvolvimento urbano de baixo impacto na área de estudo;
- Analisar os efeitos da introdução de técnicas LID (Técnicas de Desenvolvimento de Baixo Impacto) sobre o escoamento superficial da área de drenagem em estudo.

3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1. Efeitos da urbanização no escoamento superficial

O processo de urbanização traz consigo inúmeras alterações ao ambiente natural das cidades, uma vez que modifica o funcionamento do ciclo hidrológico, provocando frequentes enchentes, decorrentes da diminuição da infiltração de água no solo (Agostinho;Poletto, 2012). Dessa forma, à medida que se expandem as cidades o próprio homem vê suas possibilidades de existência ameaçadas pela forma desordenada pela qual traduz a sua ocupação.

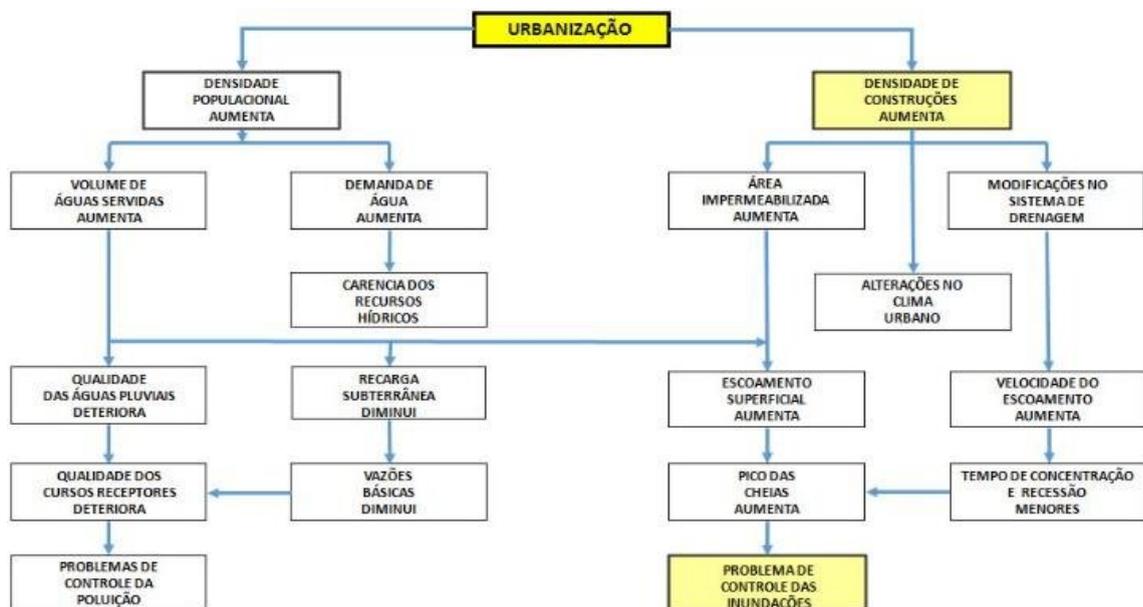
Uma das transformações mais notadas, tanto pelo aspecto de mudança da paisagem como pelo fato dos efeitos gerados a partir dessa modificação do estado original, é a redução da capacidade de infiltração do solo urbano. O solo das cidades possui uma parcela considerável de sua superfície impermeabilizada pelas edificações, pavimentação de vias e calçadas. A transformação de áreas anteriormente permeáveis em áreas impermeáveis induz a um desequilíbrio hidrológico, caracterizado pelo aumento do escoamento superficial e pela antecipação dos picos de vazão, o que está diretamente relacionado com as enchentes em áreas urbanas (Tucci, 2007).

Considerando as modificações pelas quais passam as regiões que se encontram em processo de urbanização, é válido lembrar que a ocupação urbana mal planejada provoca

mudanças nas características físicas das bacias hidrográficas e conseqüentemente de todo o ciclo hidrológico de uma região, e também que a relação ambiente natural e ambiente construído é interativa e quando qualquer uma das partes sofre impactos, seja de ordem ambiental, estrutural ou socioeconômica, os efeitos ocorrerão também sobre os demais segmentos urbanos.

Na Figura 1, apresenta-se o fluxograma que esquematiza os efeitos decorrentes da urbanização para o meio ambiente, e as conseqüências que podem surgir quando não há preocupação com a manutenção da sustentabilidade com o ciclo hidrológico.

Figura 1 - Fluxograma dos processos decorrentes da urbanização e seus impactos



Fonte: Porto (1995 apud Benini, 2005, p.6).

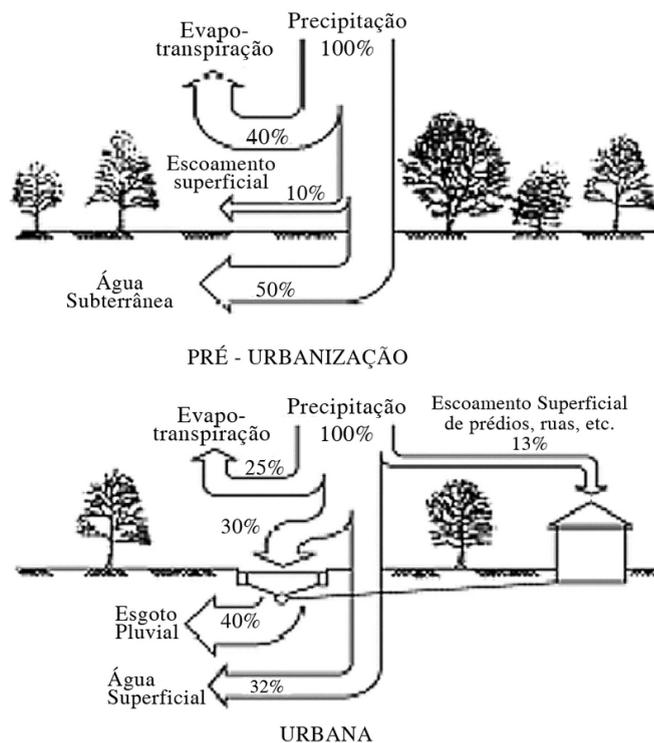
O desenvolvimento urbano modifica a cobertura vegetal provocando vários efeitos que alteram os componentes do ciclo hidrológico natural. Com a urbanização, a cobertura da bacia é alterada para pavimentos impermeáveis e são introduzidos condutos para escoamento pluvial gerando alterações no referido ciclo, das quais podem-se citar (Tucci, 1998):

- a) Redução da infiltração do solo;
- b) Aumento do escoamento superficial;
- c) Redução do escoamento subterrâneo
- d) Redução da evapotranspiração.

Na figura 2, observa-se o efeito da urbanização sobre as variáveis do ciclo hidrológico, sendo possível identificar dois cenários (Tucci, 2007). O primeiro cenário pode ser

considerado como um período de pré-urbanização, no qual, dos 100% precipitados: 40% são perdidos por evapotranspiração; 10% escoam superficialmente; 50% irá se infiltrar no solo. Estes percentuais de distribuição da precipitação caracterizam uma boa distribuição das águas do ciclo hidrológico. Em contrapartida, no segundo cenário, considerado como sendo de uma área urbanizada, observa-se que dos 100% precipitados: 25% se perdem por evapotranspiração, pois devido a redução da camada vegetal, há também uma redução na evapotranspiração; dos 75% restantes que chegam até o meio urbano, 45% são coletados pelas redes pluviais (quando existem e são corretamente dimensionadas); 30% infiltram. Há, portanto, uma redução de 20% no percentual de infiltração com relação ao cenário pré-urbanizado. Vale ressaltar que, quando as redes de condutos pluviais não são dimensionadas da maneira correta, o percentual das águas pluviais, que deveriam escoar pela canalização, escoam superficialmente, gerando as inundações urbanas em diversos pontos.

Figura 2 - Características de um balanço hídrico numa bacia urbana



Fonte: Tucci (2007).

A falta de um manejo adequado das águas pluviais (planejamento - avaliação - diagnóstico), desde o início do processo de ocupação local, resulta, em geral, em sistemas de drenagem bastante onerosos e de eficiência limitada. Torna-se, portanto, imprescindível, a avaliação continuada da capacidade do sistema, frente ao avanço de ocupação do espaço

urbano, ao uso e ocupação do solo, à impermeabilização de terrenos, à inexistência de medidas compensatórias, entre outros fatores (Righetto et al., 2009).

3.2. Sistema de drenagem urbana

Para Pinto e Pinheiro (2006), um sistema de drenagem deve ser entendido como o conjunto da infraestrutura existente em uma cidade para realizar a coleta, o transporte e o lançamento final das águas superficiais, incluindo ainda a hidrografia e os talwegues. É constituído por uma série de medidas que visam a minimizar os riscos a que estão expostas as populações, diminuindo os prejuízos causados pelas inundações e possibilitando o desenvolvimento urbano de forma harmônica, articulada e ambientalmente sustentável. Os sistemas de drenagem urbana são sistemas preventivos de inundações, principalmente nas áreas mais baixas das comunidades sujeitas a alagamentos ou marginais aos cursos d'água.

Os sistemas de drenagem urbana incluem a coleta e afastamento das águas superficiais ou subterrâneas através de pequenas e médias galerias e destinação final das águas escoadas superficialmente, fazendo ainda parte do sistema todos os componentes do projeto para que tal ocorra. A drenagem subterrânea funciona a partir de tubulações e sistemas de captação que estão vinculados a meio-fio e guias, sarjeta, sarjetões, boca-de-lobo, galerias e poços de visitas, condutos forçados e estações de bombeamento. Itens esses que serão descritos abaixo. (Canholi, 2005).

- Meio-fio: São constituídos de blocos de concreto ou de pedra, situados entre a via pública e o passeio, com sua face superior nivelada com o passeio, formando uma faixa paralela ao eixo da via pública;
- Sarjetas: São as faixas formadas pelo limite da via pública com os meios-fios, formando uma calha que coleta as águas pluviais oriundas da rua;
- Sarjetões: São formados pela própria pavimentação nos cruzamentos das vias públicas, formando calhas que servem para orientar o fluxo das águas que escoam pelas sarjetas;
- Boca-de-lobo: São dispositivos de captação das águas das sarjetas;
- Galerias: São as canalizações públicas destinadas a escoar as águas pluviais oriundas das ligações privadas e das bocas-de-lobo;
- Poços de visita: São dispositivos colocados em pontos convenientes do sistema, para permitir sua manutenção;

- Conduitos forçados e estações de bombeamento: Quando não há condições de escoamento por gravidade para a retirada da água de um canal de drenagem para um outro, recorre-se aos conduitos forçados e às estações de bombeamento.

3.2.1. Gestão de drenagem urbana

De acordo com Tucci e Genz (1995, apud Agra, 2001), o controle das enchentes é uma ação permanente e que cabe à sociedade como um todo. Além disso, os autores apontam a importância de não se pensar em uma solução pontual, mas sim de forma contínua e com a participação da população. Nesse contexto, Agra (2001) destaca alguns dos princípios de controle para uma drenagem urbana consistente, sendo eles:

- Bacia vista como um sistema, onde se deve pensar nos impactos referentes à toda ela, e não somente num ponto crítico isolado;
- Avaliação dos cenários futuros;
- Plano Diretor de Drenagem Urbana;
- Não ampliação da cheia natural;
- Controle permanente;
- Educação ambiental.

De acordo com Tucci (2012), no Brasil não é implantada a ideia de um programa sistemático de controle das inundações, sendo observadas apenas ações isoladas por parte de alguns municípios. O autor ainda aponta que a atenção é voltada às enchentes somente após as suas ocorrências. Tal fato ocorre justamente pela ausência de alguns dos princípios citados por Agra (2001).

Para a gestão da drenagem urbana, tem-se dois aspectos. O primeiro se dá no âmbito da bacia hidrográfica, o qual diz respeito aos impactos externos à cidade, portanto, controlados pelo estado ou pela Federação. Já o segundo se trata dos efeitos internos do município, sendo domínio e responsabilidade do mesmo. No Brasil, não existe uma política de esfera federal que trate do assunto, novamente sendo observadas apenas ações isoladas em determinadas regiões (Tucci, 2012).

Nos municípios, o instrumento legal de gestão das águas pluviais é o Plano Diretor de Drenagem Urbana, que é preparado de acordo com os demais planos da cidade, como o Plano Municipal de Saneamento e o Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano. Conforme Tucci (2012, p. 26), sua estrutura é dividida em:

- Política de águas pluviais: define o conjunto de objetivos, princípios, metas e estratégias que são ajustadas para o plano da cidade;
- Medidas: estruturais e não estruturais;
- Produtos: são os resultados obtidos pelas medidas tomadas, isto é, compreende a legislação, os planos de bacia, a definição dos programas e o manual de drenagem urbana que orienta os planejadores urbanos;
- Programas: são ações a longo prazo que visam complementar as medidas;
- Informações: são a base de conhecimentos que possibilitam a criação dos tópicos anteriores. Dizem respeito aos dados hidrológicos, dados físicos e legislação relacionada com os sistemas de infraestrutura.

3.2.2. Legislações associadas à drenagem urbana

As ferramentas legais que tratam do planejamento e gestão das cidades existem para impulsionar o poder público a atuar em defesa do interesse coletivo, assegurando que todos os cidadãos possam ter acesso aos serviços, aos equipamentos urbanos e a toda e qualquer melhoria exercida pela administração pública. Dessa forma, o Estado pode desempenhar o seu papel de fornecedor do bem estar social e mediador dos conflitos urbanos. Quanto às normas de planejamento e gestão das cidades, possui papel de destaque o Estatuto da Cidade, que regulamenta os artigos 182 e 183 da Magna Carta, tratando da política urbana no Brasil.

De acordo com Oliveira (2001), o Estatuto da Cidade surgiu para diminuir as distorções de investimentos públicos em determinadas áreas da cidade, em contraposição a outras que, em geral, já não se realizavam investimentos e coincidem com os setores urbanos ocupados pela população pobre, que permanecem, muitas vezes, “abandonadas” pelo poder público. E ainda aponta que o Estatuto da Cidade confere aos municípios novas possibilidades e oportunidades de gestão e financiamento de seu desenvolvimento.

Portanto, as principais leis que regem o uso e ordenamento do solo, estão expressas na forma de Plano Diretor, Leis de Uso e Ocupação do Solo e Códigos de Obras. Estas são compostas, dentre outros princípios, de prescrições urbanísticas (Bonates, 2010).

Segundo Tucci (1997), um Plano Diretor de Drenagem Urbana deve buscar:

- Planejar a distribuição da água no tempo e no espaço, com base na tendência de ocupação urbana compatibilizando esse desenvolvimento e a infraestrutura para evitar prejuízos econômicos e ambientais;

- Controlar a ocupação de áreas de risco de inundação através de restrições nas áreas de alto risco e;
- Convivência com as enchentes nas áreas de baixo risco.

A Lei 11.445/2007 (Brasil 2007) estabelece, ainda, que a prestação do serviço de saneamento observe o Plano de Saneamento do município, que deve apresentar o diagnóstico da situação, metas e objetivos, programas e projetos para atingir as metas, ações emergenciais e os mecanismos de avaliação do plano. Os planos diretores de saneamento são importantes ferramentas de planejamento em que podem ser avaliados e priorizados problemas e necessidades específicas para cada localidade.

No município de Lagoa Seca - Paraíba, ainda não existe o Plano Municipal de Saneamento Básico. Entre outras vertentes, o plano, quando implantado, precisa buscar um planejamento de curto, médio e longo prazo do serviço de drenagem das águas pluviais urbanas e apontar os mecanismos e procedimentos para a avaliação sistemática da eficiência das ações propostas, sugerindo os indicadores de desempenho como instrumentos de avaliação dos serviços.

3.3. Sistemas Sustentáveis de Drenagem Urbana - SUDS

A utilização de uma parcela de área permeável no terreno nem sempre é suficiente para propiciar a adequada infiltração. Assim, com o intuito de amenizar o escoamento superficial e aproximar as características hidrológicas do local para uma condição anterior à urbanização, são adotadas estratégias alternativas voltadas para infiltração da água pluvial no solo denominadas de sistemas sustentáveis de drenagem urbana (SUDS), que se aproveitou da força do desenvolvimento urbano de baixo impacto.

O desenvolvimento urbano de baixo impacto surgiu na década de 80 como uma estratégia de manejo de águas pluviais e água servidas. Este se baseia no emprego de planejamento multidisciplinar integrado a práticas de tratamento e controle em pequena escala para mimetizar o comportamento hidrológico natural em configurações residenciais, comerciais e industriais. A estratégia avançou principalmente no manejo de águas pluviais, apresentando ênfase na utilização de ecossistemas naturais como base para o melhoramento das suas características hidrológicas, por meio de conservação e aproveitamento de características de solo e vegetação (Tucci, 2007).

A filosofia geral aplicada ou esperada dos SUDS pode ser, assim, resumida (Woods-Ballard et al., 2007):

- a) Reduzir as vazões e taxas de escoamento;
- b) Reduzir os volumes adicionais consequentes da urbanização;
- c) Promover a recarga natural dos aquíferos;
- d) Reduzir a concentração de poluentes e atuar como zona de amortecimento em caso de acidentes com derramamento de contaminantes;
- e) Prover habitats para os animais e agregar o valor estético para as áreas urbanas.

O planejamento dos sistemas de drenagem sustentável deve seguir uma combinação de diferentes dispositivos em série (conhecidos na literatura como management train ou treatment train), que se caracteriza por determinar a sequência das alternativas de controle de forma a minimizar os impactos inerentes a urbanização (Woods-Ballard et al., 2007). Essa associação de dispositivos objetiva manter a condição hidrológica o mais próximo possível das condições iniciais pré-urbanização. Outra característica é minimizar a descarga para jusante, ou seja, os impactos devem ser contidos o mais próximo possível da fonte e, conseqüentemente, pelo proprietário da área. O controle de quantidade se baseia nos seguintes princípios: infiltração; detenção/retenção; transporte e captação de água.

3.3.1. Técnicas de Desenvolvimento de Baixo Impacto – LID

As abordagens de Desenvolvimento de Baixo Impacto (LID) fornecem ferramentas eficazes para resolver problemas de gerenciamento de inundações urbanas, mantendo e/ou restaurando as condições hidrológicas naturais e melhorando as condições ambientais em uma determinada bacia (Lee et al., 2012). Para alcançar os objetivos pretendidos de gerenciamento de águas pluviais, as abordagens LID se baseiam no balanço hídrico, concentrando-se em práticas que promovem maior evapotranspiração, infiltração e recarga de água subterrânea além de menores volumes de escoamento superficial e taxas de fluxo (Movahedinia et al., 2019).

De acordo com Chen et al. (2018) diferentes tipos de técnicas LIDs foram desenvolvidas visando propiciar o aumento da área de cobertura permeável. Dentre as mais conhecidas, tem-se as zonas de biorretenção, jardins de chuva, telhados verdes, trincheiras de infiltração, pavimentos permeáveis etc. O processo de planejamento com essas técnicas pode ser potencializado por novas regras de zoneamento e uso do solo. Para Pazwash (2011), os principais benefícios desse tipo de intervenção são:

- a) diminuição da terraplanagem e limpeza do terreno de forma a reduzir a erosão e assoreamento;

- b) minimização de áreas com revestimentos superficiais majorados pela implantação de áreas com revestimentos impermeáveis, como ruas, calçadas e estacionamentos. Essas medidas possibilitam a utilização de vias com menor largura, o emprego de asfaltamento convencional em menor escala e também um número menor de vias no empreendimento;
- c) diminuição das áreas conectadas (impermeabilidade efetiva) à rede de drenagem, com telhados e pisos drenando para superfícies permeáveis ou vegetação;
- d) aumento do caminho das águas de forma a aumentar o tempo de concentração. Devem ser mantidas ao máximo a rugosidade e a declividade de pré-desenvolvimento;
- e) minimização da área impermeável com, por exemplo, o emprego de telhados não convencionais.

Lin et al. (2015) avaliaram a performance de pavimentos permeáveis através do Storm Water Management Model (SWMM) e perceberam bons índices de reduções de escoamentos. No Japão, o pavimento permeável é integrado a programas que incluem todas as técnicas de infiltração. Tais técnicas são utilizadas principalmente nos quarteirões das grandes cidades, em lugares disponíveis e que podem ser inundados, tais como quadras de esporte de universidades, pátios de escolas, etc. (Alves, 2017).

As práticas supracitadas atualmente podem ser estudadas e simuladas por meio de modelos hidrológicos de gerenciamento de águas pluviais a fim de promover a ampla adoção das abordagens sustentáveis levando em consideração o ciclo hídrico por engenheiros, planejadores e outros profissionais da indústria de desenvolvimento.

3.4. Modelagem matemática dos sistemas de drenagem urbana

De acordo com Batista e Boldrin (2018) atualmente os principais conceitos necessários para descrever a dinâmica de drenagem de uma área urbana são conhecidos e aplicáveis em modelos hidrológicos que podem simular o comportamento do sistema de água urbano, servindo como uma ferramenta útil para o planejamento e análise de sistemas de drenagem urbana.

O avanço dos modelos matemáticos como ferramentas para design e operação acompanharam um desenvolvimento histórico de acordo com a finalidade para o qual foram criados, como redes de drenagem, estações de tratamento e meios receptores (David, 2005). Segundo Camelo (2019) existem diversos modelos matemáticos hidrológicos que objetivam simular o comportamento quantitativo e qualitativo das águas urbanas.

3.4.1. Storm Water Management Model - SWMM

Os softwares em geral existem para facilitar a vida das pessoas flexibilizando processos. Na área de recursos hídricos não é diferente pois existem diversos softwares que simulam ou modelam processos do ciclo hidrológico, como é o caso do Storm Water Management Model – SWMM (Modelo de Gestão de Drenagem Urbana – SWMM), da U. S. Environmental Protection Agency (USEPA), bastante utilizado para modelar os processos hidrológicos em áreas urbanas e assim auxiliar os projetistas e tomadores de decisão sobre melhores alternativas de tratamento das águas urbanas. (Rossman, 2008)

O SWMM é um modelo chuva-vazão, utilizado para gerir a drenagem urbana, que simula quantidade e qualidade do escoamento superficial, principalmente em áreas urbanas. Pode ser utilizado para a simulação de um único evento chuvoso, para uma simulação contínua de longo prazo, bem como para a drenagem de águas residuais.

Conforme descrito por Aprígio (2012), as informações mínimas de entrada no modelo são: precipitação, área, largura do escoamento superficial, declividade, porcentagem de área impermeável, coeficiente de rugosidade de Manning, profundidade de armazenamento em depressões, além de dados para o modelo de infiltração escolhido.

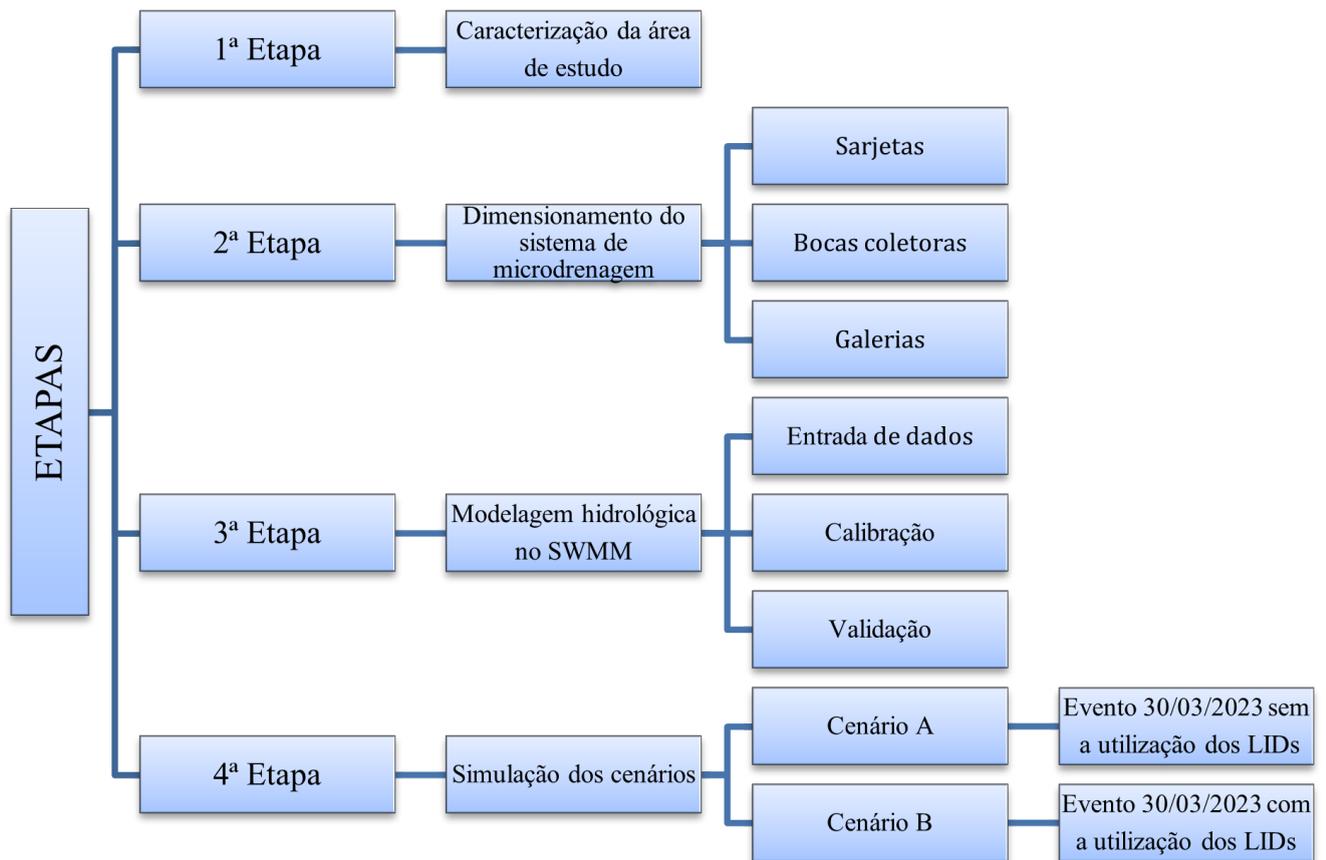
De acordo com Cabral (2009), alguns dos objetivos da utilização do SWMM são:

- Dimensionamento do sistema de drenagem urbana para controle de alagamentos;
- Avaliação de uso de sistemas de retenção de cheias e proteção da qualidade das águas;
- Mapeamento de áreas inundáveis;
- Análise do efeito de medidas compensatórias;
- Efeito qualitativo no sistema devido ao carreamento de poluentes;
- Entradas de esgoto e de outras fontes pontuais externas ao sistema de águas pluviais;
- Redução da concentração de poluentes no tratamento das águas em reservatórios e por meio de processos naturais em galerias e canais;
- Sensibilidade quanto aos componentes do ciclo hidrológico de bacias, como infiltração, evaporação e escoamento superficial.

Para este estudo, o SWMM foi escolhido como ferramenta de modelagem por apresentar uma boa aceitação no meio científico, ser um software de livre acesso além de ser uma ferramenta importante para análise de viabilidade e aplicação de tecnologias LID.

4. METODOLOGIA

Figura 3 – Fluxograma das etapas metodológicas da pesquisa



Fonte: Elaborado pela autora (2023)

4.1. Caracterização da área de estudo

O município de Lagoa Seca encontra-se localizado no Brejo do Estado da Paraíba e está entre as coordenadas Latitudinais 27°17'09" S e Longitudinais 48°55'17" W. A cidade é marcada pela proximidade com o centro comercial de Campina Grande, onde possui uma distância de 7 km, sua distância da capital João Pessoa é de 126 km. A cidade possui quatro distritos, sendo eles, Chã do Marinho, Jenipapo, São Pedro e Floriano, e é limitada por Campina Grande (Sul), São Sebastião de Lagoa de Roça (ao norte), Massaranduba e Matinhas (ao leste), Puxinanã e Montadas (ao oeste). O município desenvolve-se no centro às margens da BR 104 e ao longo do tempo foi se expandindo para outras partes do município. De acordo com o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), no censo demográfico de 2022, a cidade possui 27.730 pessoas e uma densidade média de 256,24 hab/km².

Figura 4 - Localização do Município de Lagoa Seca – PB



Fonte: Elaborado pela autora (2023)

O estudo urbano de Lagoa Seca tem ganhado cada vez mais relevância, uma vez que a cidade não conta com um sistema próprio para drenagem das águas pluviais, o sistema existente é do tipo unitário ou combinado. Considerando o efeito do processo de urbanização desordenado na região central do município, e, além disso, a falta de investimento do poder público na instalação do sistema de drenagem urbana, a cidade tem manifestado graves problemas nos períodos de chuvas (figura 4). Tal falha implica em danos às propriedades e à saúde das pessoas atingidas.

Figura 5 - Enchente no Centro de Lagoa Seca no ano de 2022

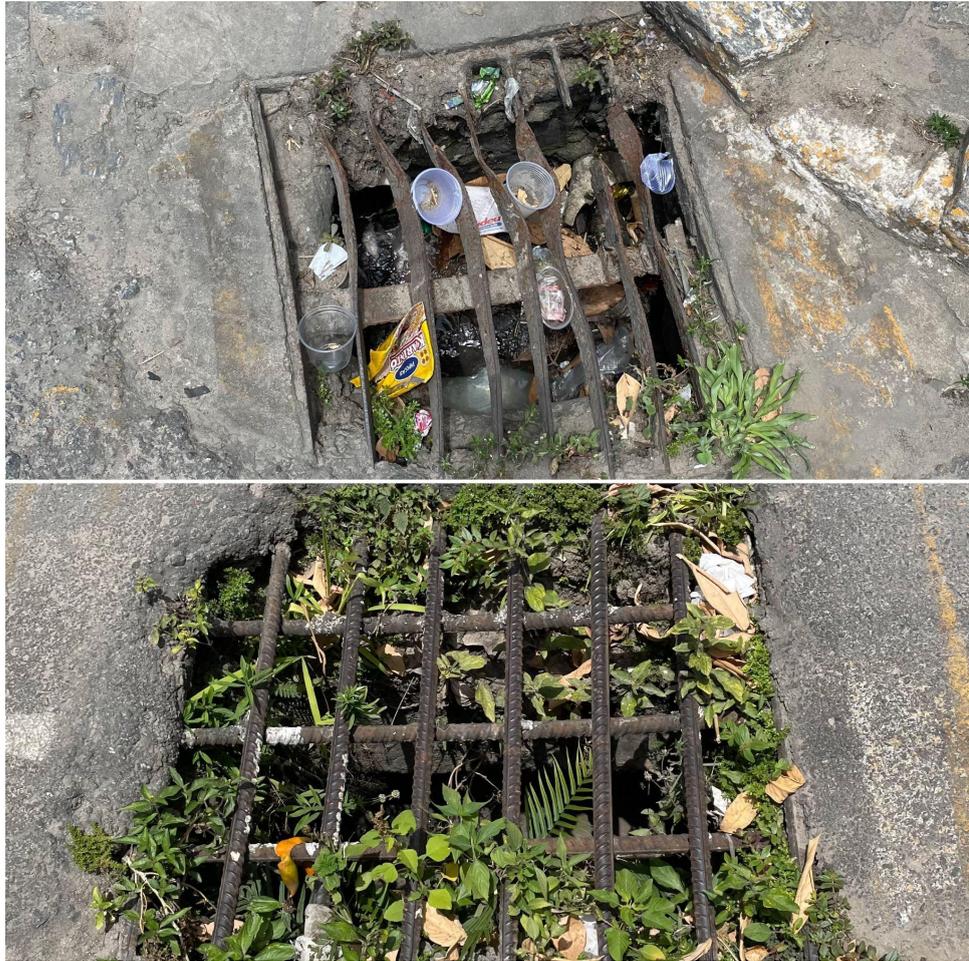


Fonte: Márcio Rangel (2022)

A grande quantidade de resíduos sólidos, dispostos de forma irregular em vias públicas, que chegam nas bocas coletoras existentes pelo escoamento superficial ou pelo descarte direto nas vias, contribuem diretamente para a obstrução das bocas de lobo. Assim, vale destacar que fatores externos (resíduos sólidos, lançamento de esgoto, pavimentação de ruas), colaboram com as enchentes nos períodos de chuvas intensas. O poder público precisa ter uma visão holística nas buscas de alternativas para controlar os alagamentos, enchentes, inundações e, não se pode atuar somente nos trechos críticos e não considerar o todo, seja por falta de recursos ou falta de uma visão integrada da problemática.

Figura 6 - Bocas coletoras existentes com presença excessiva de resíduos

sólidos em Lagoa Seca (PB)



Fonte: Registrado pela autora (2023)

Para o desenvolvimento do projeto, a princípio, determinou-se uma área de aproximadamente 14 hectares no Centro de Lagoa Seca, a mesma serviu como local para o dimensionamento do projeto de drenagem urbana. A área de estudo é composta por 13 quadras densamente povoadas, como mostra a Figura 7.

Figura 7 - Área de Estudo (Região central de Lagoa Seca - PB)



Fonte: Google Earth Pro

Fazendo uso do *Google Maps* e do *software AutoCAD 2022 versão estudante*, foi possível desenhar a planta de situação da área estudada, e a partir das cotas topográficas obtidas por meio da ferramenta “mostrar perfis de elevação” disponível no *software Google Earth Pro*, deu-se o sentido de escoamento da água nas ruas. A cota nos pontos mais altos foi em torno de 633 m já nos pontos mais baixos teve-se cotas em torno de 614 m. A região de estudo contém um corpo hídrico e as águas provenientes do escoamento superficial convergem para o mesmo. A projeção foi feita com a utilização do *AutoCAD 2022* e está disponível no Apêndice C.

A cidade de Lagoa Seca está situada entre as bacias hidrográficas do Rio Paraíba e do Rio Mamanguape, diante disso, tornou-se necessário um estudo mais aprofundado para verificar a bacia que estaria contribuindo para a área de estudo.

Para delimitação da bacia de contribuição, utilizou-se o TOPODATA - Banco de Dados Geomorfométricos do Brasil. O projeto Topodata oferece o Modelo Digital de Elevação (MDE) e suas derivações locais básicas em cobertura nacional, ora elaborados a partir dos dados SRTM disponibilizados pelo USGS na rede mundial de computadores. Posteriormente, o arquivo extraído no Topodata foi inserido no *software QGIS 3.16* e, por último, foi aplicado no *Google Earth Pro*.

Figura 8 - Bacia contribuinte para área de estudo - região central de Lagoa Seca (PB)



Fonte: Google Earth Pro

4.2. Dimensionamento da microdrenagem

4.2.1. Coeficiente de Runoff - C

Para o cálculo do coeficiente de Runoff (C) foi estabelecido que a área escolhida tinha 1 ha de área livre em relação aos 14 ha de área total. A área construída é composta por 10 ha e, por fim, a área revestida com asfalto possui 3 ha. Para a área livre foi determinado na cota superior de 633 m e na cota inferior de 614 m e com declividade de 2 %. Logo, com os valores citados acima pode-se calcular o coeficiente de Runoff.

Tabela 1 - Características principais da área de projeto, na região central de Lagoa Seca (PB)

	m^2	ha
Área total	140.000	14
Área construída	100.000	10
Área asfaltada	30.000	3
Área livre	10.000	1

Fonte: Elaborado pela autora (2023)

O coeficiente de escoamento depende das características superficiais. Os valores do coeficiente C para as superfícies urbanas estão apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 - Coeficiente de Runoff para áreas urbanas.

Superfície		Coeficiente de Runoff	
		Intervalo	Valor esperado
<i>Pavimento</i>	Asfalto	0,70 - 0,95	0,83
	Concreto	0,80 - 0,95	0,88
	Calçadas	0,75 - 0,85	0,80
	Telhados	0,75 - 0,95	0,85
<i>Cobertura: grama em solo arenoso</i>	Pequena declividade (2%)	0,05 - 0,10	0,08
	Declividade média (2 a 7%)	0,10 - 0,15	0,13
	Forte declividade (7%)	0,15 - 0,20	0,18
<i>Cobertura: grama solo pesado</i>	Pequena declividade (2%)	0,13 - 0,17	0,15
	Declividade média (2 a 7%)	0,18 - 0,22	0,20
	Forte declividade (7%)	0,25 - 0,35	0,30

Fonte: ASCE (1969).

Com base nas Tabelas 01 e 02 foi possível calcular o coeficiente de Runoff a partir da média ponderada entre os dados, como expressado na Equação 1:

$$C = \frac{(10 \times 0,88) + (3 \times 0,83) + (1 \times 0,13)}{10 + 3 + 1} = 0,82$$

(1)

4.2.2. Determinação da declividade do trecho

Para obter a declividade do trecho, calcula-se baseando pela Equação 2, a seguir:

$$S_t = \frac{Cota_{montante} - Cota_{jusante}}{L_{trecho}}$$

(2)

Onde:

S_t = Declividade trecho (m/m);

Cota = Nível topográfico (m);

L_{trecho} = Comprimento do trecho (m).

4.2.3. Tempo de concentração (T_c)

É o tempo gasto para que toda bacia contribua para o escoamento superficial na seção considerada.

- Quando o trecho analisado é o trecho inicial, t_c será igual a 5 minutos.
- Quando não é o inicial, utiliza-se a seguinte Equação 3:

$$T_c = \frac{0,0078 \times \left(\frac{L}{0,3}\right)^{0,77}}{S^{0,385}} \quad (3)$$

Onde:

T_c = Tempo de concentração (min);

L = Comprimento do trecho (m);

S_t = Declividade do trecho (m/m).

4.2.4. Tempo de retorno (Tr)

É o período de tempo médio em que um determinado evento, neste caso a vazão, é igualado ou superado pelo menos uma vez. Para o presente projeto, foi adotado o tempo de retorno recomendado de 2 anos.

4.2.5. Intensidade da chuva

A intensidade da precipitação foi determinada utilizando a Equação 4 de precipitação do município de Campina Grande - PB, obtida por Aragão et al. (2000), por ser a cidade mais próxima de Lagoa Seca.

$$i = \frac{334 \times Tr^{0,227}}{(5 + t_c)^{0,596}} \quad (4)$$

Onde:

i = Intensidade da chuva (mm/h);

T_c = Tempo de concentração (min);

T_r = Tempo de retorno (anos).

4.2.6. Área de contribuição (Acont)

Para se determinar a vazão da sarjeta, é necessário que se estabeleça as áreas de contribuição à direita e à esquerda da rua. Deve-se levar em conta as curvas de nível, examinando detalhadamente a declividade do terreno. As áreas de contribuição foram desenhadas através da ferramenta “hachuras” do *software AutoCAD 2022 versão estudante* e estão informadas na Tabela 3 e nos Apêndices A, B e C.

Tabela 3 – Áreas de contribuição de acordo com cada trecho

Trechos	Áreas de contribuição		
	m ²	km ²	Total (km ²)
1 - 2	3203,74	0,00320	0,0032
2 - 3	3026,86	0,00303	0,0062
3 - 4	3096,63	0,00310	0,0093
4 - 5	4057,60	0,00406	0,0134
5 - 6	4100,00	0,00410	0,0175
6 - C	4550,00	0,00455	0,0220
7 - 8	3061,75	0,00306	0,0031
8 - 6	4180,54	0,00418	0,0072
8 - D	2667,00	0,00267	0,0099
9 - 10	3717,94	0,00372	0,0037
10 - E	5880,00	0,00588	0,0096
11 - 12	1312,50	0,00131	0,0013
12 - F	2372,12	0,00237	0,0037
14 - 17	4430,00	0,00443	0,0044
17 - 21	3570,20	0,00357	0,0080
21 - 23	2001,70	0,00200	0,0100
23 - 25	2698,00	0,00270	0,0127

25 - 26	3882,20	0,00388	0,0166
26 - 27	3791,40	0,00379	0,0204
15 - 16	1270,00	0,00127	0,0013
16 - C	960,00	0,00096	0,0022
18 - 19	1063,00	0,00106	0,0011
19 - D	580,00	0,00058	0,0016
20 - 22	4004,50	0,00400	0,0040
22 - 24	3303,71	0,00330	0,0073
24 - 28	4974,22	0,00497	0,0123
28 - 29	4312,65	0,00431	0,0166
13 - A	1358,73	0,00136	0,0014
A - B	2464,10	0,00246	0,0038
B - C	4053,81	0,00405	0,0079
C - D	5000,68	0,00500	0,0129
D - E	800,00	0,00080	0,0137
E - F	3080,70	0,00308	0,0168
F - G	1281,10	0,00128	0,0180
G - H	1255,00	0,00126	0,0193
H - K	2448,00	0,00245	0,0217
K - L	1300,00	0,00130	0,0230
L - M	980,00	0,00098	0,0240

Fonte: Elaborado pela autora (2023).

4.2.7. Vazão do trecho

Após determinação das áreas de contribuição para os trechos, utilizou-se o método racional para calcular as vazões teóricas de projeto. O método racional estabelece uma relação entre a chuva e o escoamento superficial (deflúvio), como demonstrado na Equação 5.

$$Q = 0,278 \cdot C \cdot i \cdot A_{Cont} \quad (5)$$

- Para o primeiro ponto do trecho, utiliza-se a Equação 6:

$$Q_c = Q_{tr}$$

(6)

- Para demais pontos, fez-se o uso da Equação 7:

$$Q_{tr} = Q + Q_{ant}$$

(7)

Onde:

Q = Vazão em m³/s;

A = Área drenada em ha;

C = Coeficiente de Escoamento Superficial ou Coeficiente de Deflúvio (Runoff);

i = Intensidade da precipitação, em mm/h, para uma duração de chuva igual ao tempo de concentração (t_c) da bacia.

4.2.8. Sarjetas

4.2.8.1. Coeficiente de Manning

Os valores de "n" são estimados em função do material e do acabamento superficial das sarjetas. As sarjetas projetadas no presente projeto são de revestimento asfáltico com textura áspera, logo, n = 0,015.

4.2.8.2. Lâmina d'água teórica da sarjeta

O projeto das sarjetas foi realizado de modo que a lâmina de água nessas unidades, não ultrapassasse 0,13 m, já que comumente a guia ou o meio fio tem uma altura de 0,15m, e assim, não ocorra, o transbordamento para as calçadas, logo, Y = 0,13.

4.2.8.3. Declividade da sarjeta

É recomendado que a declividade da sarjeta se encontre entre 1% e 3%. Entretanto, no presente projeto, adotou-se uma declividade de 2%, (I = 0,02). Logo o inverso da declividade será Z = 50.

4.2.8.4. Fator de redução

Com o auxílio da Tabela 4, foi possível determinar o fator de redução de escoamento das sarjetas, de acordo com a declividade igual a 2%.

Tabela 4 - Fatores de redução de escoamento das sarjetas

Declividade da Sarjeta	Fator de Redução
0,40	0,50
1 a 3	0,80
5,0	0,50
6,0	0,40
8,0	0,27
10	0,20

Fonte: CETESB (1980)

4.2.8.5 Lâmina d'água de projeto da sarjeta

A lâmina d'água de projeto será calculada através da equação 8, a seguir:

$$Y_0 = \left(\frac{Q_0}{0,375 \times \sqrt{I} \times \left(\frac{Z}{n}\right)} \right)^{\frac{3}{8}} \quad (8)$$

Onde:

Q_0 = Vazão local (m³/s);

I = Declividade longitudinal (m/m);

Z = Inverso da declividade transversal;

n = Coeficiente de Manning.

4.2.9. Bocas coletoras

Foram utilizadas bocas coletoras do tipo simples, que são indicadas para sarjetas com pequena declividade longitudinal ($I < 5\%$). De posse da vazão de projeto a ser captada e da lâmina de água junto à guia, foi possível calcular a quantidade necessária de bocas coletoras em cada trecho, de modo que o comprimento da abertura não fosse inferior a 0,60 m e nem superior a 1,50 m. Para o cálculo, utilizou a equação 9:

$$Q = 1,7 \times L \times 0,13^{\frac{3}{2}} \quad (9)$$

Onde:

L = Comprimento da boca coletora.

4.2.10. Poços de visita (PVs)

Os poços de visita foram distribuídos em pontos estratégicos da rede de drenagem, levando em consideração uma distância entre os mesmos para facilitar a manutenção.

4.2.11. Galerias

4.2.11.1. Diâmetro das galerias

Para a definição dos diâmetros das galerias arbitrou-se inicialmente o valor de 600 mm e de 1000 mm. No entanto, caso os valores de velocidade e da relação máxima da lâmina de água-diâmetro (h/D) não atendessem os limites admissíveis, era alterado o valor do diâmetro dos trechos para 300, 400, 600, 800, 1000, 1200 ou 1500 mm.

O diâmetro da galeria é calculado através da Equação 10:

$$D = 0,1558 \times \left(\frac{Q \times n}{S^{\frac{1}{2}}} \right)^{\frac{3}{8}} \quad (10)$$

Onde:

Q = Vazão no trecho (m^3/s);

n = Coeficiente de rugosidade de Manning;

S = Declividade.

4.2.11.2. Profundidade da galeria

Para o cálculo da profundidade da galeria, deve-se considerar o valor de recobrimento (rec) de terra sobre a galeria mais o diâmetro da galeria, onde a profundidade mínima deve ser de 1 m e máxima de 4 m. Através da Equação 11, calculou-se a profundidade das galerias.

$$h = D + rec \quad (11)$$

Onde:

D = diâmetro da galeria (m);

h = Profundidade da galeria (m).

4.2.11.3. Cotas inferiores

As cotas inferiores da galeria a montante foram calculadas pela diferença da cota do terreno no poço de visita a montante menos a profundidade da galeria. O mesmo se aplica

para as cotas inferiores da galeria a jusante. As equações 12 e 13, a seguir, correspondem às cotas relativas à geratriz inferior da tubulação.

- Cota inferior a montante:

$$C_{im} = cm - (rm + D) \quad (12)$$

Onde:

C_{im} = Cota inferior da galeria a montante (m);

cm = Cota do terreno no PV a montante (m);

rm = recobrimento mínimo (m);

D = diâmetro (m)

- Cota inferior a jusante:

$$C_{ij} = C_{im} - (Sg \times L) \quad (13)$$

Onde:

C_{ij} = cota inferior da galeria a jusante (m);

C_{im} = cota inferior da galeria a montante (m);

L = extensão do trecho (m);

Sg = declividade da galeria (m/m)

4.2.11.4. Declividade inferior da galeria (Sg)

Levando-se em conta o custo de escavação, arbitra-se inicialmente $Sg = St$. Caso com essa arbitragem o valor de Sg não se enquadre entre 0,3% a 4,0%, que na prática são os valores empregados, seria realizado cálculo específico. No entanto, em todos os casos foi possível aplicar $Sg = St$.

4.2.11.5. Relação lâmina de água-diâmetro (h/D)

Para o cálculo da relação lâmina de água-diâmetro, calculou-se a constante “k” em função da vazão, do coeficiente de Manning, do diâmetro e da declividade, usando a Equação 14:

$$k = Q \times n \times D^{-\frac{8}{3}} \times Sg^{-\frac{1}{2}} \quad (14)$$

Onde:

D = Diâmetro da galeria (m);

Sg = Declividade da galeria (m^2);

n = Coeficiente de Manning;

Q = Vazão (m^3/s).

Em seguida, através da Equação 15, calculou-se o ângulo central da superfície livre (θ):

$$\theta = 5915,8 k^5 - 5201,2 k^4 + 1786,6 k^3 - 298,89 k^2 + 32,113 k + 1,1487 \quad (15)$$

Por fim, a relação h/D foi calculada utilizando a Equação 16 descrita abaixo. Se os valores obtidos se encontram entre $0,10 \leq h/D \leq 0,85$, assim, para ter a solução mais econômica para o trecho.

$$h/D = 0,5 \times (1 - \cos(\frac{\theta}{2})) \quad (16)$$

- Área molhada em função do ângulo central calculada pela Equação 17:

$$Am = \frac{D^2 \times (\theta - \text{sen}(\theta))}{2} \quad (17)$$

Onde:

Am = Área molhada;

D = Diâmetro (m);

θ = Ângulo central.

- Velocidade de escoamento (v) encontrada através da Equação 18:

$$V = \frac{Q}{Am} \quad (18)$$

Onde:

V = velocidade do escoamento (m/s);

Q = vazão (m^3/s);

A = área molhada (m^2).

- Tempo de escoamento (t_e):

O tempo de escoamento ou de percurso é a razão entre a extensão e a velocidade do escoamento na galeria, é dado pela Equação 19:

$$t_e = \frac{L_{trecho}}{60 \times vt} \quad (19)$$

Onde:

T_p = Tempo de percurso (min);

L_{trecho} = extensão da galeria no trecho (m);

V = velocidade do escoamento (m/s).

Vale ressaltar que, para as galerias, adota-se um tempo de concentração de 5 minutos, para os trechos iniciais, enquanto que para os demais trechos, os tempos de concentração correspondentes são obtidos acrescentando o tempo de percurso de cada trecho a montante.

4.2.12. Reservatório

Para o armazenamento das águas pluviais oriundas do sistema de microdrenagem proposto, sugere-se que as mesmas desaguem em um reservatório existente na cota mais baixa da área de estudo. Tal reservatório foi construído com o intuito de receber as águas provenientes de outras localidades e assim já o faz. Devido a grande quantidade de agricultores nas redondezas do reservatório, posteriormente, ele poderia ser utilizado para irrigação.

4.3. SWMM

Para modelar um sistema de drenagem urbana no SWMM é necessário inserir todos seus componentes, são eles: sub-bacias, nós e condutos. Além disso, informações como o grau de permeabilidade do solo, cotas de nível e coordenadas geográficas, também são fundamentais para caracterizar o sistema em estudo.

4.3.1. Caracterização das sub-bacias

As sub-bacias correspondem às unidades hidrológicas de terreno cujas características topográficas e de drenagem conduzem o escoamento para um ponto de descarga. São representadas pelos parâmetros mostrados na Tabela 5.

Tabela 5 - Parâmetros das sub-bacias

Parâmetros	Siglas	Unidade
Área	A	ha
Declividade	S	%
Áreas impermeáveis	AI	%
Largura	W	m
Coefficiente de rugosidade de Manning - superfícies impermeáveis	NI	-
Coefficiente de rugosidade de Manning – superfícies permeáveis	NP	-
Capacidade de armazenamento em depressões – superfícies impermeáveis	DI	mm
Capacidade de armazenamento em depressões – superfícies permeáveis	DP	mm
Áreas impermeáveis não conectadas	AINC	%

Fonte: Camelo (2019)

As larguras das sub-bacias (W) foram calculadas a partir da largura do retângulo equivalente (Le), de acordo com Garcias (2005) e conforme a Equação 20:

$$le = \frac{kc\sqrt{A}}{1,12} \left[1 - \sqrt{1 - \left(\frac{1,128}{Kc} \right)^2} \right] \quad (20)$$

Onde: Le = largura do retângulo equivalente (m); A = área da bacia hidrográfica ou sub-bacia (m^2); Kc = coeficiente de compacidade, definido como a relação entre o perímetro

da sub-bacia e a circunferência de um círculo de área igual à da sub-bacia. O K_c é determinado através da Equação 21, a seguir.

$$K_c = 0,282 \times (P/A) \quad (21)$$

Onde: P = Perímetro da sub-bacia (m).

As larguras das sub-bacias foram determinadas de acordo com a Equação 22:

$$W = (A - le) \quad (22)$$

O coeficiente de rugosidade de Manning para superfícies impermeáveis (NI) e permeáveis (NP) é determinado pelo tipo de superfície em que ocorre o escoamento. A Tabela 6 apresenta alguns valores para o coeficiente de rugosidade de Manning.

Tabela 6 - Coeficiente de rugosidade de Manning.

Superfície	n
Asfalto liso	0,011
Concreto liso	0,012
Revestimento de concreto comum	0,013
Madeira	0,014
Tijolo com argamassa de cimento	0,014
Argila vitrificada	0,015
Ferro fundido	0,015
Tudo metal corrugado	0,024
Superfície cimentada	0,024
Solos não cultiváveis	0,050
Solos cultiváveis	0,06 - 0,17
Solos com vegetação natural	0,04 - 0,8

Fonte: Rossman (2015)

Através das visitas in loco, foi constatado que as superfícies mais comuns nas sub-bacias da área de estudo são, nas áreas impermeáveis, o asfalto liso, e, nas áreas permeáveis, o solo com revestimento de concreto comum.

A Tabela 7 apresenta os intervalos de valores sugeridos por Rossman (2015) para as capacidades de armazenamento em depressões para superfícies impermeáveis (DI) e permeáveis (DP). Esses valores foram utilizados para a modelagem deste trabalho e, posteriormente, calibrados através de eventos ocorridos na bacia de estudo.

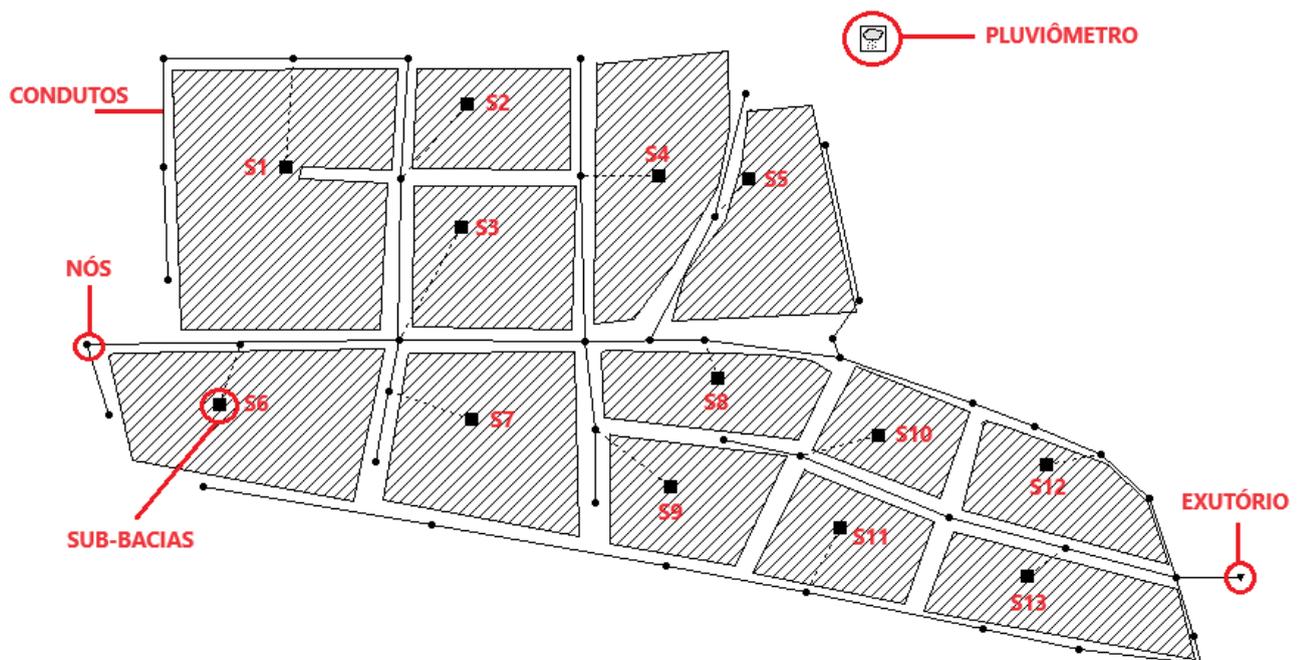
Tabela 7 - Intervalos de valores para DI e DP.

Sigla	Parâmetro	Mínimo	Máximo
DI	Coeficiente de armazenamento em depressões - superfícies impermeáveis (polegadas)	0,050	0,100
DP	Coeficiente de armazenamento em depressões - superfícies permeáveis (polegadas)	0,100	0,300

Fonte: Rossman (2015)

Na Figura 9 encontra-se a representação da área de drenagem da localidade de estudo no SWMM. Neste trabalho serão analisadas as sub-bacias que contribuem durante os eventos de precipitação, chamando de S1, S2, S3, S4, S5, S6, S7, S8, S9, S10, S11, S12, S13.

Figura 9 - Representação da área de drenagem das 13 sub-bacias de projeto no SWMM



Fonte: Elaborado pela autora (2023)

4.3.1.1. Infiltração

No software SWMM é possível inserir os dados de infiltração de três formas: a partir das equações de Horton, do Método de Green-Ampt e do Método Soil Conservation Service (SCS).

Paixão et al. (2009) realizaram pesquisas para estimar a velocidade de infiltração da água no solo em Lagoa Seca - PB, pela realizam de 65 testes de infiltração para encontrar os valores de capacidade de infiltração inicial (I_o), capacidade de infiltração final (I_f) e a constante de decaimento (k) para a equação de Horton.

Na relação proposta por Horton, apresentada na Equação 23, a infiltração decresce exponencialmente do valor inicial máximo até um valor mínimo durante um evento de precipitação.

$$f_p = f_f + (f_o - f_f) \times x e^{-kt} \quad (23)$$

Para este estudo foram utilizados os valores determinados por Paixão et al. (2009), indicados na Tabela 8.

Tabela 8 - Valores utilizados na equação de Horton.

Capacidade de Infiltração Inicial - I_o (mm/h)	Capacidade de Infiltração Final - I_f (mm/h)	Constante de decaimento - k (1/h)
396,1	7,1	2,677

Fonte: Paixão et al. (2009)

4.3.1.2. Condutos

Para esta pesquisa, foi usado os dados da microdrenagem propostos neste trabalho. Os parâmetros para caracterização dos condutos no modelo são o comprimento L (m), coeficiente de rugosidade n e o tipo de seção transversal. O comprimento das galerias foi considerado como a distância entre dois nós e medido automaticamente pelo SWMM.

4.3.1.3. Nós

Neste estudo, os nós foram considerados como a saída ou outlet de cada sub-bacia, recebendo contribuições da sub-bacia a montante e também como os pontos de monitoramento das vazões. Os parâmetros utilizados para caracterizar os nós no modelo são apresentados na Tabela 9.

Tabela 9 - Parâmetros para caracterização dos nós

Parâmetro	Sigla	Unidade
Coordenadas geográficas	x,y	-
Cota de fundo	Z	m
Profundidade máxima	$h_{máx}$	m

Fonte: Rossman (2015)

4.3.2. Dados hidrológicos

Para realização da modelagem no SWMM é necessário inserir dados de precipitação para simulação e calibração dos eventos. Neste estudo, a seleção dos eventos utilizados na modelagem ocorreu a partir de uma análise detalhada do banco de dados da Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba (AESAs).

Tabela 10 - Valores de T para obras de drenagem

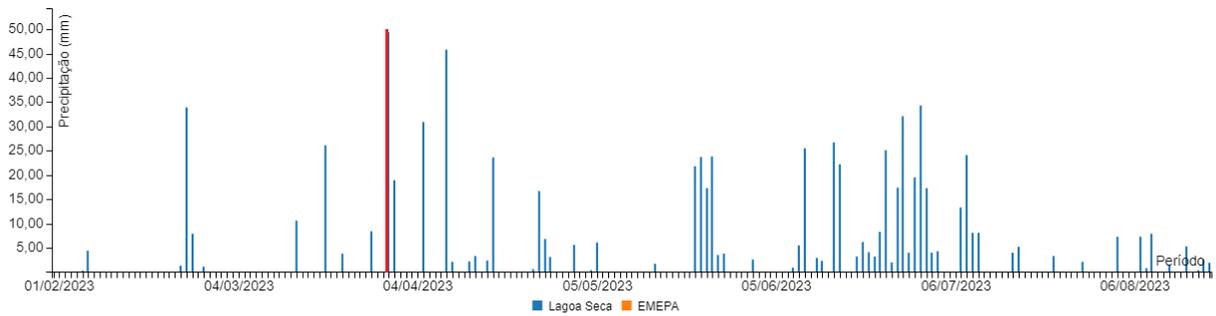
Sistema	Característica	T (anos)	Valor frequente (anos)
Microdrenagem	Residencial	2 - 5	2
	Comercial	2 - 5	5
	Áreas de prédios públicos	2 - 5	5
	Aeroporto	5 - 10	5
	Áreas comerciais e avenidas	5 - 10	10
Macrodrenagem		5 - 10	10
Zoneamento de áreas ribeirinhas		5 - 100	100

Fonte: PMPA (2005).

Dessa forma, a pesquisa trata-se da avaliação do desempenho do sistema de microdrenagem em uma região que é fortemente urbanizada tanto por residências, quanto comércios, então, o tempo de retorno adotado foi de 2 anos.

Para efeito de projeto, os dados pluviométricos foram extraídos do monitoramento da AESA, a partir do ponto de coleta do município, assim, foi considerado o dia de maior precipitação do ano de 2023 (30/03/2023), o qual foi utilizado como objeto de estudo para a modelagem computacional do SWMM.

Figura 10 - Dia de maior precipitação em Lagoa Seca - Paraíba (2023)



Fonte: AESA (2023)

4.3.3. Escolha dos LIDs

Segundo Rossman (2008), os LIDs são projetados para subtrair parte do escoamento superficial por meio de processos artificiais combinados de retenção, infiltração e evapotranspiração. São propriedades de uma sub-bacia e são tratados da mesma forma que os objetos aquíferos ou acumulação de neve.

O SWMM realiza a modelagem, especificamente, de cinco tipos de técnicas, sendo elas:

- Bacias de Filtração;
- Trincheiras de Infiltração;
- Pavimentos Permeáveis;
- Cisternas;
- Valas de Infiltração sem Drenos.

Deste modo, as técnicas que foram utilizadas para este trabalho, foram as cisternas e pavimentos permeáveis em algumas sub-bacias da área estudada. Estas sub-bacias, foram determinadas para a aplicação dos LIDs, pois, são pontos que compreendem grande parte de inundação em dias de maior precipitação e pouca infiltração, devido a deficiência da rede de drenagem e, também, por ser uma área muito urbanizada com residências e comércios, os mesmos que podem comportar as técnicas escolhidas.

4.3.3.1. Valores dos parâmetros aplicados

- Pavimentos Permeáveis: são superfícies escavadas, preenchidas com cascalhos e posteriormente pavimentadas com concreto poroso, asfalto poroso ou elementos vazados. Normalmente toda chuva atravessa imediatamente o pavimento permeável, infiltra-se através do leito de cascalhos e percola no solo natural à taxa de infiltração

do respectivo solo. Os elementos vazados são elementos de pedra ou de concreto impermeável, dispostos sobre uma camada de areia, no meio dos quais há espaços preenchidos com areia ou cascalhos para permitir a infiltração. A água da chuva é capturada pelo elemento vazado, conduzida para o leito de areia e posteriormente infiltrada no solo (Rossman, 2015). E são estimados a partir dos valores da tabela 11.

Tabela 11 - Valores dos parâmetros para pavimentos permeáveis

Parâmetros	Valor
Superfície	
Profundidade de armazenamento (mm)	125
Coefficiente de Manning	0,05
Declividade (%)	2
Pavimento	
Espessura (mm)	125
Índice de vazios (m)	0,017
Permeabilidade (mm/h)	5,4
Fator de colmatação	180
Armazenamento	
Altura (mm)	300
Índice de vazios	0,6
Taxa de infiltração (mm/h)	7
Fator de colmatação	180

Fonte: França (2020).

- Cisternas: são responsáveis por coletar a água da chuva escoada do teto das casas ou dos edifícios, permitindo a sua posterior utilização e amenizando a descarga pluvial no solo. Estando determinado os valores na Tabela 12.

Tabela 12 - Valores dos parâmetros para cisternas

Parâmetros	Valores
Armazenamento	
Altura (pol. ou mm)	12
Dreno Profundo	
Coefficiente de Drenagem (pol/h ou mm/h)	0
Expoente de Drenagem	0,5
Cota de Referência do Dreno (pol ou mm)	0
Tempo de Espera do Dreno (h)	6

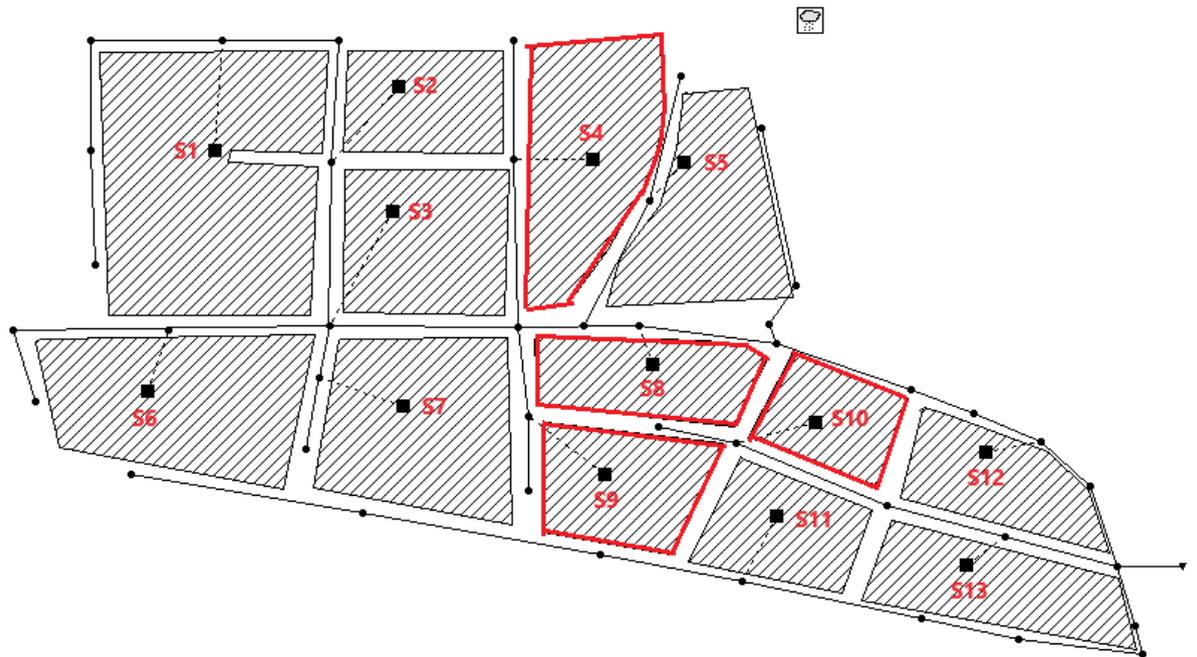
Fonte: França (2020)

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1. Cenários com o uso de LIDs

As LIDs foram aplicadas nas sub-bacias S4, S8, S9 e S10. Por ser uma área compreendida como áreas de comércios, residências e por abrigar prédios municipais, adotou-se em todas estas 4 sub-bacias as técnicas de cisternas e pavimentos permeáveis. Segundo a recomendação da Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP, 2013), para áreas urbanas densamente povoadas, os pavimentos permeáveis e as cisternas foram aplicadas em 30% da área total de cada uma das sub-bacias selecionadas.

Figura 11 - Sub-bacias S4, S8, S9 e S10



Fonte: Elaborado pela autora (2023)

Tabela 13 - Áreas das sub-bacias para cisternas

Sub-bacia	Área total (m ²)	Volume LID (m ³)
S4	10.504	735,3
S8	5.132	626,1
S9	5.236	429,3
S10	4.334	312,0

Fonte: SWMM (2023)

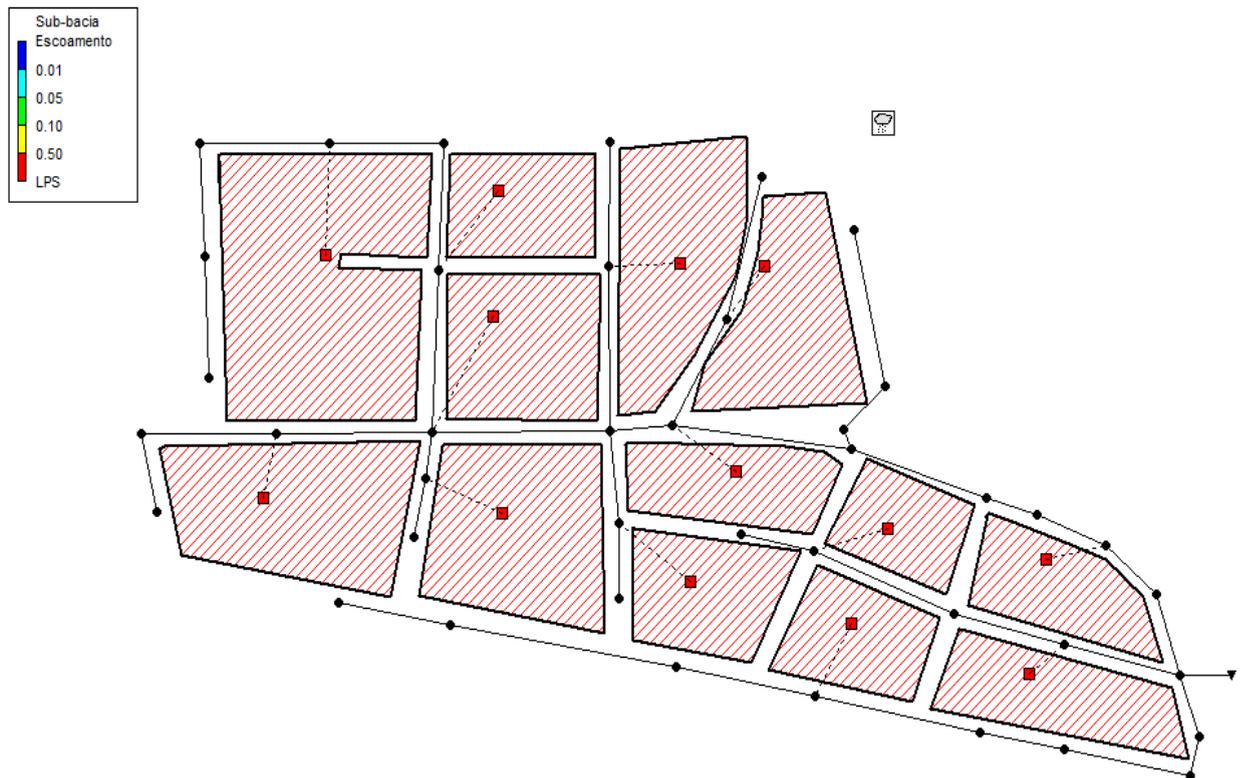
Tabela 14 - Áreas das sub-bacias para pavimentos permeáveis

Sub-bacia	Área total (m ²)	Área LID (m ²)
S4	10.504	3.151
S8	5.132	1.539
S9	5.236	1.570
S10	4.334	1.300

Fonte: SWMM (2023)

A análise das sub-bacias, nós e trechos, sobre o escoamento superficial e na ausência e na adoção de LIDs, apresenta situação de alagamento e vazão, respectivamente, que podem ser comparados às Figuras 12 e 13. Resultando após a aplicação de LIDs, uma diminuição no fluxo de água nos pontos mais críticos da bacia.

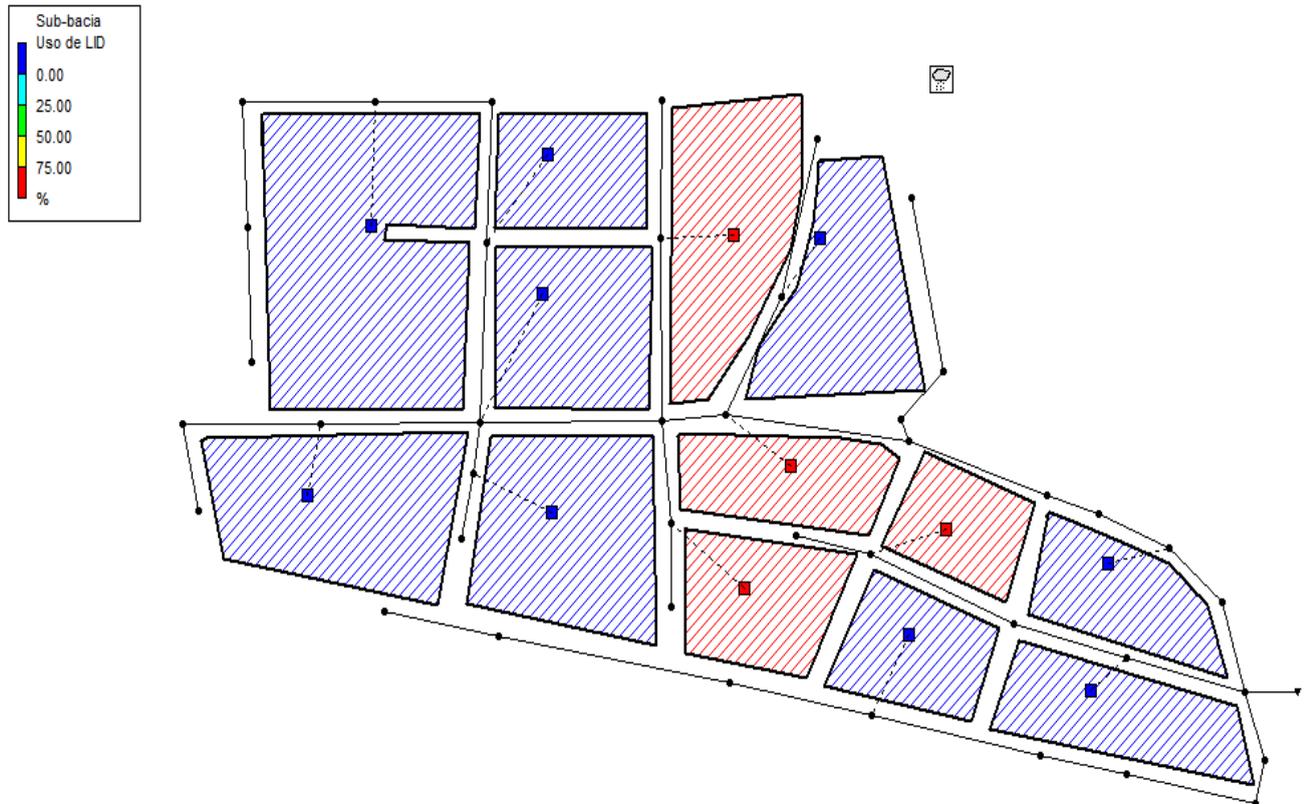
Figura 12 - Relatório do estado da simulação sem aplicação de LIDs nas sub-bacias.



Fonte: Elaborado pela autora (2023)

Executando o relatório do estado da simulação, foram detectados os valores do erro de continuidade (trata-se da representação da diferença percentual entre duas somas: a do armazenamento inicial com a vazão total de entrada; e a do armazenamento final com a vazão de saída para todo o sistema de drenagem), para Escoamento Superficial (ES) de 1,70% e a Propagação da Vazão (PV) em 0,68% para o escoamento nas sub-bacias que não possuem nenhuma prática de baixo impacto.

Figura 13 - Relatório do estado da simulação com aplicação de LIDs nas sub-bacias.



Fonte: Elaborado pela autora (2023)

Após a inserção dos controles LIDs em algumas sub-bacias, consideradas mais críticas (em vermelho), foi apresentado no relatório do estado da simulação, que os valores do erro de continuidade, foi de 1,58% do ES e 0,56% da PV.

Percebe-se que com o uso dos dispositivos LIDs no evento do dia 30/03/2023, as vazões nos trechos iriam diminuir. Isso ocorre pelo fato de que nas áreas impermeáveis ao serem aplicadas as técnicas LIDs, os volumes de água passem a infiltrar no solo, reduzindo assim as contribuições de descarga das sub-bacias. As reduções das vazões alcançaram valores significativos, tornando, assim, o processo eficiente.

5.2. Medidas não estruturais

Dentro de uma visão de prevenção, as medidas de controle vêm como ferramenta essencial para o estudo e prevenção de sinistros provenientes de precipitações anormais (muito intensas, desviando da média apresentada pelos dados históricos os quais foram base para o dimensionamento do sistema) que por sua vez podem comprometer a saúde e bem estar das pessoas que vivem na região em questão. Com isso, propõe-se também medidas não estruturais para serem aplicadas na microrregião avaliada.

- Elaboração do manual de Drenagem Urbana do município de Lagoa Seca (PB): com intuito principal de nortear o órgão público municipal a respeito das diretrizes a serem seguidas durante a elaboração, implementação e conservação do sistema de drenagem;
- Capacitação do corpo técnico: Esta capacitação deve abordar as diretrizes contidas no manual de drenagem urbana para o corpo técnico responsável por planejar, projetar, executar e fiscalizar as obras de drenagem. Também é viável, a capacitação para os responsáveis pela manutenção e limpeza das vias urbanas, enfatizando a segregação e coleta dos resíduos sólidos urbanos de forma a impedir que estes sejam transportados para o sistema de captação;
- Ações de educação ambiental para a população local: Tais ações baseiam-se na disseminação de informações como a preservação do sistema de drenagem, a conservação das vias públicas, a não ocupação de áreas de risco. Este trabalho pode ser feito em escolas, passando para as crianças locais informações através de palestras e por meios que atinjam toda a população como transmissões em rádios, redes sociais e cartilhas distribuídas às pessoas.

O desenvolvimento das medidas citadas anteriormente deve ser realizado de forma contínua, sendo executada por uma equipe multidisciplinar composta por engenheiros, técnicos e professores.

6. CONCLUSÃO

O presente trabalho buscou propor um sistema de microdrenagem das águas pluviais para a região central do município de Lagoa Seca - Paraíba, sendo ele do tipo unitário. Diante disso, fazendo uso de ferramentas como *Google Maps*, *Google Earth*, *QGIS* e o *AutoCAD*, determinou-se o sistema proposto.

A aplicação da modelagem hidrológica, através do software SWMM, para verificar o uso das Técnicas de Desenvolvimento de Baixo Impacto (LIDs) sendo elas: as técnicas de cisternas e pavimentos permeáveis, aplicadas a 4 sub-bacias de drenagem. Resultando na redução de valores significativos das vazões escoadas, tornando, assim, o processo de adoção de LIDs eficiente.

Através da observação dos resultados, bem como de todo o processo metodológico empregado neste estudo, percebe-se a utilidade ao planejamento e desenvolvimento da infraestrutura urbana, que um Sistema de Informações Geográficas, bem como softwares que permitem a modelagem hidrológica podem ter. As análises e simulações possibilitadas por estes sistemas, integram diferentes informações e podem gerar resultados que sem o seu uso, estariam distantes da percepção do planejador, principalmente em um cenário de necessidade de implantação do sistema de drenagem. Assim, a utilização destes programas se constitui em uma importante ferramenta de auxílio ao planejamento da infraestrutura urbana e de adaptação frente às mudanças dos espaços urbanos.

Tendo em vista que diversas cidades brasileiras sofrem com as frequentes inundações nos períodos de chuvas intensas e/ou recorrentes, uma vez que as cidades cresceram de forma desordenada e sem planejamento urbano nenhum, faz-se necessário que os gestores e responsáveis municipais proponham ações de planejamento na gestão das águas pluviais, que entende-se desde intervenções onerosas no sistema de drenagem urbana, seja na microdrenagem ou na macrodrenagem, bem como em soluções que podem ter ações em pequenos lotes, que é o caso dos LIDs.

Através da modelagem computacional, buscou-se demonstrar que os LIDs desempenham um papel importante para evitar grandes impactos na bacia de estudo, além disso, as técnicas escolhidas possuem custos mais acessíveis e fácil implantação, o que pode ser adotado em qualquer cidade de pequeno, médio e grande porte.

REFERÊNCIAS

ABCP – **Associação Brasileira de Cimento Portland. Projeto Técnico: Pavimento Permeável.** FIB - Fábrica de Ideias Brasileiras. São Paulo, 2013.

AESA – Agência Executiva de Gestão de Águas do Estado da Paraíba. **Precipitação máxima dos municípios.** Disponível em: Acesso em Outubro de 2023

AGOSTINHO, MARIELE DE SOUZA PARRA; POLETO, CRISTIANO. **Sistemas Sustentáveis de Drenagem Urbana: Dispositivos.** Em: HOLOS Environment. Volume 12, 2012, Páginas 121-131.

AGRA, S. G. **Estudo experimental de microrreservatórios para controle de escoamento superficial.** Dissertação (Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2001.

ALVES, P. B.R. **Simulações de medidas compensatórias sustentáveis de drenagem: propostas em duas microbacias urbanas.** 2017. Dissertação (Mestrado - Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil e Ambiental) – Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, Campina Grande, 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. NBR 9648: **Estudo de concepção de sistemas de esgoto sanitário** – Procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 1986

BARROS, R.T.V.; CHERNICHARO, C.A.L.; HELLER,L.; VON SPERLING, M. (Editores). **Manual de saneamento e proteção ambiental para municípios.** Belo Horizonte, Escola de Engenharia da UFMG, v. 2. 1995. 221p.

BATISTA, J. A. N; BOLDRIN, A. J. **Avaliação do desempenho hidráulico de um sistema de drenagem de águas pluviais urbanas.** Revista Engenharia Sanitária e Ambiental (online), v. 23, n. 2, p. 263-273, mar./abr. 2018. <http://dx.doi.org/10.1590/s1413-41522018170663>.

BONATES, M. F. **Leis que (des)orientam o processo de verticalização. Transformações urbanas em Campina Grande à revelia da legislação urbanística.** La planificación territorial y el urbanismo desde el diálogo y la participación. Actas del XI Coloquio Internacional de Geocrítica, Universidad de Buenos Aires, 2-7 de mayo de 2010.

BRAGA, B.D.F. Gerenciamento urbano integrado em ambiente tropical. In: **SEMINÁRIO DE HIDRÁULICA COMPUTACIONAL APLICADA A PROBLEMAS DE DRENAGEM URBANA**, 1994, São Paulo. Anais Eletrônicos... São Paulo: ABRH, 1994.

BRASIL. Lei Nº 11.445, de 5 de janeiro de 2007. **Estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico; altera as Leis nos 6.766, de 19 de dezembro de 1979, 8.036, de 11 de maio de 1990, 8.666, de 21 de junho de 1993, 8.987, de 13 de fevereiro de 1995; revoga a Lei no 6.528, de 11 de maio de 1978; e dá outras providências.** Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 05. jan. 2007.

CABRAL, J.J.S.P.; MASCARENHAS, F. B.; CASTRO, M. A. H.; MIGUEZ, M.G.; PEPLAU, G. R.; BEZERRA A. A. (2009). **Modelos Computacionais para Drenagem Urbana**. In: FINEP, PROSAB. (ORG.). *Manejo de Águas Pluviais Urbanas/ Antonio Marozzi Righetto* (coordenador). 1ª ed. Rio de Janeiro : ABES, 2009, v.04, cap. 3.

CAMELO, S. M. **Modelagem de poluição difusa em sistemas de macrodrenagem de bacias urbanas**. 2019. Dissertação (Mestrado - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental) – Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, Campina Grande, 2019.

CANHOLI, A. P. **Drenagem Urbana e Controle de Enchentes**. 2. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2005. 304 p.

CHEN, T., ZHANG, B., LI, J. & HAN, M. **Process and influencing factors of N removal in grassed paving system by 15N tracing analysis**. *Water Science & Technology*, 78 (3), 2018, 611–621.

FRANÇA, Lorena Rayssa Cunha. **Aplicação de técnicas de desenvolvimento de baixo impacto no controle da poluição de águas em sistemas de drenagem urbana**. 2020. 102f. (Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental), Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil e Ambiental, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, Universidade Federal de Campina Grande – Paraíba – Brasil, 2020.

GOOGLE, Google Earth Pro. Versão 7.3.3. 2020.

LIN, WUGUANG; RYU, SUNGWOON; PARK, DAE GEUN; LEE, JAEHOON; CHO, YOONHO; **Performance Evaluation of the Runoff Reduction with Permeable Pavements using the SWMM Model**. *International Journal of Highway Engineering*. Volume 17, Issue 4, 2015, pp 11-18.

LEE, J.-M., HYUN, K.-H., CHOI, J.-S., YOON, Y.-J. & GERONIMO, F. K. F. **Flood reduction analysis on watershed of LID design demonstration district using SWMM5**. *Desalination & Water Treatment*, 38 (1–3), 2012, 255–261.

MELO, Roniellison *et al.* **Avaliação da Aplicação de Técnicas de Baixo Impacto no Desenvolvimento no Sistema de Drenagem de Águas Pluviais em Sub-Bacia da Cidade de Campina Grande-PB**. p. 1-5, ago. 2023.

MOVAHEDINIA, M., SAMANI, J. M. V., BARAKHASI, F., TAGHVAEIAN, S., & STEPANIAN, R. **Simulating the effects of low impact development approaches on urban flooding: a case study from Tehran, Iran**. *Water Science and Technology*. 2019. doi:10.2166/wst.2019.412

PINTO, LUIZA HELENA; PINHEIRO, SÉRGIO AVELINO. **Orientações Básicas para drenagem urbana**. Fundação Estadual do Meio Ambiente . — Belo Horizonte: FEAM, 2006. 32p.

RIGHETTO, A.M.; MOREIRA, L.F.F.; SALES, T.E.A. **Manejo de Águas Pluviais Urbanas**. In: RIGHETTO, A.M., **Manejo de Águas Pluviais Urbanas**, Projeto PROSAB. p. 19-73. Natal, RN: ABES, 2009.

ROSSMAN, L. A. **Storm Management Model, Version 5.0: User's Manual**. Environment Protection Agency. Cincinnati, OH. 2008

TUCCI, C.E.M. **Plano diretor de drenagem urbana: princípios e concepção**. RBRH - Revista Brasileira de Recursos Hídricos - volume 2, nº2, p 5-12, Jul/Dez. Porto Alegre –RS, 1997.

TUCCI, CARLOS E. M. **Modelos Hidrológicos**. Porto Alegre: Ed. Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 1998.

TUCCI, C.E.M. **Gerenciamento da Drenagem Urbana**. Revista Brasileira de Recursos Hídricos: Associação Brasileira de Recursos Hídricos, Porto Alegre, v. 7, n. 1, 2002. Disponível em: <<http://doi.org/10.21168/rbrh.v7n1.p5-27>> Acesso em: 08 de out. 2023

TUCCI, C. E. M. **Inundações Urbanas**, Porto Alegre: ABRH/RHAMA, 2007. 393p.

TUCCI, C. E. M. **Gestão da drenagem urbana**. CEPAL, Brasília, 2012. (Textos para Discussão CEPAL-IPEA, 48).

TSUTIYA, M.T.; BUENO, R.C.P. **Contribuição das águas pluviais em sistema de esgoto sanitário no estado de São Paulo**. 23º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. Campo Grande, Mato Grosso do Sul. Setembro, 2005.

OLIVEIRA, I. C. E. **Estatuto da cidade; para compreender...** / Isabel Cristina Eiras de Oliveira. - Rio de Janeiro: IBAM/DUMA, 2001. 64p.

UNDESA (United Nations Department of Economic and Social Affairs). 2018. **World Urbanization Prospects. Revision**. New York: United Nations Department of Social and Economic Affairs.

WOODS-BALLARD, B. et al. **The SuDS Manual**. 5. ed. London: CIRIA, 2015

APÊNDICE A – SISTEMA DE MICRODRENAGEM PROPOSTO



PROJETO DO SISTEMA DE MICRODRENAGEM URBANA DO BAIRRO CENTRO - LAGOA SECA (PB)

PROPRIETÁRIO:
MARIARITA DOS SANTOS SILVA

ESCALAS:
INDICADAS

DATA:
OUTUBRO DE 2023

PRANCHA:
01/01

APÊNDICE B – DIMENSIONAMENTO DAS SARJETAS E BOCAS COLETORAS

	Dimensionamento da microdrenagem												Vazão na sarjeta (m³)			Dimensões da Sarjeta					Boca coletora	
	Trecho	Extensão (m)	Cotas do Terreno		St (m/m)	Área de Contribuição			tc (min)	C	TR (anos)	i (mm/h)	Qloc	F	Qadm	n	Y (m)	I (m/m)	Z	Yo (m)	N° BC	L (m)
			M	J		m²	km²	Total (km²)														
Início	1 - 2	53,16	630,00	629,00	0,019	3203,74	0,00320	0,0032	5,00	0,82	2,00	99,1	0,07	0,80	0,06	0,015	0,13	0,02	50,00	0,049	2	0,36
	2 - 3	75,09	629,00	628,00	0,013	3026,86	0,00303	0,0062	2,89	0,82	2,00	114,1	0,16	0,80	0,13	0,015	0,13	0,02	50,00	0,067	2	0,81
	3 - 4	60,76	628,00	627,00	0,016	3096,63	0,00310	0,0093	2,26	0,82	2,00	119,9	0,25	0,80	0,20	0,015	0,13	0,02	50,00	0,079	4	0,64
	4 - 5	65,25	627,00	624,00	0,046	4057,60	0,00406	0,0134	1,61	0,82	2,00	126,8	0,38	0,80	0,31	0,015	0,13	0,02	50,00	0,092	4	0,97
	5 - 6	100,00	624,00	622,00	0,020	4100,00	0,00410	0,0175	3,08	0,82	2,00	112,5	0,45	0,80	0,36	0,015	0,13	0,02	50,00	0,098	4	1,12
	6 - C	81,50	622,00	621,00	0,012	4550,00	0,00455	0,0220	3,18	0,82	2,00	111,7	0,56	0,80	0,45	0,015	0,13	0,02	50,00	0,106	4	1,40
Início	7 - 8	68,12	626,00	624,00	0,029	3061,75	0,00306	0,0031	5,00	0,82	2,00	99,1	0,07	0,80	0,06	0,015	0,13	0,02	50,00	0,048	4	0,17
	8 - 6	89,43	624,00	623,00	0,011	4180,54	0,00418	0,0072	3,54	0,82	2,00	108,9	0,18	0,80	0,14	0,015	0,13	0,02	50,00	0,069	4	0,45
	8 - D	77,00	624,00	622,00	0,026	2667,00	0,00267	0,0099	2,28	0,82	2,00	119,8	0,27	0,80	0,22	0,015	0,13	0,02	50,00	0,081	4	0,68
Início	9 - 10	68,50	631,00	630,00	0,015	3717,94	0,00372	0,0037	5,00	0,82	2,00	99,1	0,08	0,80	0,07	0,015	0,13	0,02	50,00	0,052	2	0,42
	10 - E	250,00	630,00	622,00	0,032	5880,00	0,00588	0,0096	5,21	0,82	2,00	97,9	0,21	0,80	0,17	0,015	0,13	0,02	50,00	0,074	4	0,53
Início	11 - 12	59,00	632,00	623,00	0,153	1312,50	0,00131	0,0013	5,00	0,82	2,00	99,1	0,03	0,80	0,02	0,015	0,13	0,02	50,00	0,035	2	0,15
	12 - F	50,00	623,00	620,00	0,060	2372,12	0,00237	0,0037	1,18	0,82	2,00	132,0	0,11	0,80	0,09	0,015	0,13	0,02	50,00	0,058	2	0,55
Início	14 - 17	57,53	633,00	632,00	0,017	4430,00	0,00443	0,0044	5,00	0,82	2,00	99,1	0,10	0,80	0,08	0,015	0,13	0,02	50,00	0,056	2	0,50
	17 - 21	60,67	632,00	627,00	0,082	3570,20	0,00357	0,0080	1,22	0,82	2,00	131,6	0,24	0,80	0,19	0,015	0,13	0,02	50,00	0,077	4	0,60
	21 - 23	80,00	627,00	621,00	0,075	2001,70	0,00200	0,0100	1,56	0,82	2,00	127,4	0,29	0,80	0,23	0,015	0,13	0,02	50,00	0,083	4	0,73
	23 - 25	150,00	621,00	618,00	0,020	2698,00	0,00270	0,0127	4,21	0,82	2,00	104,1	0,30	0,80	0,24	0,015	0,13	0,02	50,00	0,084	4	0,75
	25 - 26	79,87	618,00	617,00	0,013	3882,20	0,00388	0,0166	3,10	0,82	2,00	112,3	0,42	0,80	0,34	0,015	0,13	0,02	50,00	0,096	4	1,06
	26 - 27	78,23	617,00	615,00	0,026	3791,40	0,00379	0,0204	2,32	0,82	2,00	119,3	0,55	0,80	0,44	0,015	0,13	0,02	50,00	0,106	4	1,38
Início	15 - 16	60,00	633,00	619,00	0,233	1270,00	0,00127	0,0013	5,00	0,82	2,00	99,1	0,03	0,80	0,02	0,015	0,13	0,02	50,00	0,035	2	0,14
	16 - C	50,00	619,00	618,00	0,020	960,00	0,00096	0,0022	1,81	0,82	2,00	124,6	0,06	0,80	0,05	0,015	0,13	0,02	50,00	0,047	2	0,32
Início	18 - 19	37,00	626,00	622,00	0,108	1063,00	0,00106	0,0011	5,00	0,82	2,00	99,1	0,02	0,80	0,02	0,015	0,13	0,02	50,00	0,033	2	0,12
	19 - D	43,00	622,00	621,00	0,023	580,00	0,00058	0,0016	1,52	0,82	2,00	127,9	0,05	0,80	0,04	0,015	0,13	0,02	50,00	0,042	2	0,24
Início	20 - 22	50,00	622,00	620,00	0,040	4004,50	0,00400	0,0040	5,00	0,82	2,00	99,1	0,09	0,80	0,07	0,015	0,13	0,02	50,00	0,054	4	0,23
	22 - 24	83,35	620,00	616,00	0,048	3303,71	0,00330	0,0073	1,91	0,82	2,00	123,5	0,20	0,80	0,16	0,015	0,13	0,02	50,00	0,073	4	0,51
	24 - 28	82,77	616,00	615,00	0,012	4974,22	0,00497	0,0123	3,23	0,82	2,00	111,3	0,31	0,80	0,25	0,015	0,13	0,02	50,00	0,085	4	0,78
	28 - 29	92,21	615,00	614,00	0,011	4312,65	0,00431	0,0166	3,66	0,82	2,00	107,9	0,41	0,80	0,32	0,015	0,13	0,02	50,00	0,094	4	1,02
Início	13 - A	54,93	633,00	631,00	0,036	1358,73	0,00136	0,0014	5,00	0,82	2,00	99,1	0,03	0,80	0,02	0,015	0,13	0,02	50,00	0,036	2	0,15
	A - B	100,00	631,00	625,00	0,060	2464,10	0,00246	0,0038	2,02	0,82	2,00	122,4	0,11	0,80	0,08	0,015	0,13	0,02	50,00	0,057	2	0,53
	B - C	74,00	625,00	621,00	0,054	4053,81	0,00405	0,0079	1,67	0,82	2,00	126,2	0,23	0,80	0,18	0,015	0,13	0,02	50,00	0,076	4	0,57
	C - D	93,00	621,00	620,00	0,011	5000,68	0,00500	0,0129	3,70	0,82	2,00	107,7	0,31	0,80	0,25	0,015	0,13	0,02	50,00	0,086	4	0,79
	D - E	50,00	622,00	621,00	0,020	800,00	0,00080	0,0137	1,81	0,82	2,00	124,6	0,39	0,80	0,31	0,015	0,13	0,02	50,00	0,092	4	0,97
	E - F	80,00	621,00	620,00	0,013	3080,70	0,00308	0,0168	3,11	0,82	2,00	112,3	0,43	0,80	0,34	0,015	0,13	0,02	50,00	0,096	4	1,07
	F - G	100,00	623,00	621,00	0,020	1281,10	0,00128	0,0180	3,08	0,82	2,00	112,5	0,46	0,80	0,37	0,015	0,13	0,02	50,00	0,099	4	1,16
	G - H	92,00	621,00	620,00	0,011	1255,00	0,00126	0,0193	3,65	0,82	2,00	108,0	0,47	0,80	0,38	0,015	0,13	0,02	50,00	0,100	4	1,19
	H - K	90,00	620,00	619,00	0,011	2448,00	0,00245	0,0217	3,56	0,82	2,00	108,7	0,54	0,80	0,43	0,015	0,13	0,02	50,00	0,105	4	1,35
	K - L	57,64	619,00	617,00	0,035	1300,00	0,00130	0,0230	1,63	0,82	2,00	126,6	0,66	0,80	0,53	0,015	0,13	0,02	50,00	0,113	4	1,66
	L - M	80,00	617,00	614,00	0,038	980,00	0,00098	0,0240	2,04	0,82	2,00	122,2	0,67	0,80	0,53	0,015	0,13	0,02	50,00	0,113	4	1,67

APÊNDICE C - DIMENSIONAMENTO DAS GALERIAS

	Trecho	Extensão (m)	Cotas do Terreno		St (m/m)	Área de Contribuição			tc (min)	C	TR (anos)	i (mm/h)	Qloc	F	Qadm	St (m/m)	D (m)	rm	Cotas Inferior		Sg (m/m)	Profundidade		n	k	θ	h/D	A (m²)	v (m/s)	tp (min)	
			M	J		m²	km²	Total (km²)											M	J		M	J								
Início	1 - 2	53,16	630,00	629,00	0,019	3203,74	0,00320	0,0032	5,00	0,82	10	142,81	0,10	0,8	0,08	0,019	0,60	1	628,40	627,40	0,019	1,60	1,60	0,015	0,044	2,12	0,256	0,06	1,817	0,488	
	2 - 3	75,09	629,00	628,00	0,013	3026,86	0,00303	0,0062	2,89	0,82																					
Final	3 - 4	60,76	628,00	627,00	0,016	3096,63	0,00310	0,0093	2,26	0,82	10	172,78	0,37	0,8	0,29	0,016	0,60	1	626,40	625,40	0,016	1,60	1,60	0,015	0,167	3,21	0,518	0,15	2,475	0,409	
	4 - 5	65,25	627,00	624,00	0,046	4057,60	0,00406	0,0134	1,61	0,82																					
Início	5 - 6	100,00	624,00	622,00	0,020	4100,00	0,00410	0,0175	3,08	0,82	10	162,13	0,64	0,8	0,51	0,020	0,60	1	622,40	620,40	0,020	1,60	1,60	0,015	0,266	3,96	0,700	0,21	3,042	0,548	
Final	6 - C	81,50	622,00	621,00	0,012	4550,00	0,00455	0,0220	3,18	0,82	10	161,00	0,80	0,8	0,64	0,012	1,00	1	620,00	619,00	0,012	2,00	2,00	0,015	0,109	2,77	0,407	0,30	2,681	0,507	
Início	7 - 8	68,12	626,00	624,00	0,029	3061,75	0,00306	0,0031	5,00	0,82	10	142,81	0,10	0,8	0,08	0,029	0,60	1	624,40	622,40	0,029	1,60	1,60	0,015	0,034	1,96	0,221	0,05	2,139	0,531	
	8 - 6	89,43	624,00	623,00	0,011	4180,54	0,00418	0,0072	3,54	0,82																					
Final	8 - D	77,00	624,00	622,00	0,026	2667,00	0,00267	0,0099	2,28	0,82	10	172,57	0,39	0,8	0,31	0,026	1,00	1	622,00	620,00	0,026	2,00	2,00	0,015	0,036	1,99	0,229	0,14	2,867	0,448	
Início	9 - 10	68,50	631,00	630,00	0,015	3717,94	0,00372	0,0037	5,00	0,82	10	142,81	0,12	0,8	0,10	0,015	0,60	1	629,40	628,40	0,015	1,60	1,60	0,015	0,058	2,30	0,297	0,07	1,715	0,666	
Final	10 - E	250,00	630,00	622,00	0,032	5880,00	0,00588	0,0096	5,21	0,82	10	141,07	0,31	0,8	0,25	0,032	0,60	1	628,40	620,40	0,032	1,60	1,60	0,015	0,101	2,70	0,391	0,10	3,002	1,388	
Início	11 - 12	59,00	632,00	623,00	0,153	1312,50	0,00131	0,0013	5,00	0,82	10	142,81	0,04	0,8	0,03	0,153	0,60	1	630,40	621,40	0,153	1,60	1,60	0,015	0,006	1,34	0,108	0,02	2,568	0,383	
Final	12 - F	50,00	623,00	620,00	0,060	2372,12	0,00237	0,0037	1,18	0,82	10	190,17	0,16	0,8	0,13	0,060	1,00	1	621,00	618,00	0,060	2,00	2,00	0,015	0,010	1,43	0,123	0,06	2,865	0,291	
Início	14 - 17	57,53	633,00	632,00	0,017	4430,00	0,00443	0,0044	5,00	0,82	10	142,81	0,14	0,8	0,11	0,017	0,60	1	631,40	630,40	0,017	1,60	1,60	0,015	0,064	2,36	0,310	0,07	1,918	0,500	
	17 - 21	60,67	632,00	627,00	0,082	3570,20	0,00357	0,0080	1,22	0,82																					
	21 - 23	80,00	627,00	621,00	0,075	2001,70	0,00200	0,0100	1,56	0,82																					
Final	23 - 25	150,00	621,00	618,00	0,020	2698,00	0,00270	0,0127	4,21	0,82	10	149,97	0,43	0,8	0,35	0,020	0,60	1	619,40	616,40	0,020	1,60	1,60	0,015	0,179	3,30	0,541	0,16	2,769	0,903	
	25 - 26	79,87	618,00	617,00	0,013	3882,20	0,00388	0,0166	3,10	0,82																					
	26 - 27	78,23	617,00	615,00	0,026	3791,40	0,00379	0,0204	2,32	0,82																					
Início	15 - 16	60,00	633,00	619,00	0,233	1270,00	0,00127	0,0013	5,00	0,82	10	142,81	0,04	0,8	0,03	0,233	0,60	1	631,40	617,40	0,233	1,60	1,60	0,015	0,005	1,30	0,102	0,02	2,707	0,369	
Final	16 - C	50,00	619,00	618,00	0,020	960,00	0,00096	0,0022	1,81	0,82	10	179,60	0,09	0,8	0,07	0,020	1,00	1	617,00	616,00	0,020	2,00	2,00	0,015	0,010	1,43	0,123	0,06	1,646	0,506	
Início	18 - 19	37,00	626,00	622,00	0,108	1063,00	0,00106	0,0011	5,00	0,82	10	142,81	0,03	0,8	0,03	0,108	0,60	1	624,40	620,40	0,108	1,60	1,60	0,015	0,006	1,33	0,107	0,02	2,110	0,292	
Final	19 - D	43,00	622,00	621,00	0,023	580,00	0,00058	0,0016	1,52	0,82	10	184,30	0,07	0,8	0,05	0,023	1,00	1	620,00	619,00	0,023	2,00	2,00	0,015	0,007	1,35	0,110	0,05	1,460	0,491	
Início	20 - 22	50,00	622,00	620,00	0,040	4004,50	0,00400	0,0040	5,00	0,82	10	142,81	0,13	0,8	0,10	0,040	0,60	1	620,40	618,40	0,040	1,60	1,60	0,015	0,038	2,02	0,235	0,05	2,559	0,326	
	22 - 24	83,35	620,00	616,00	0,048	3303,71	0,00330	0,0073	1,91	0,82																					
Final	24 - 28	82,77	616,00	615,00	0,012	4974,22	0,00497	0,0123	3,23	0,82	10	160,33	0,45	0,8	0,36	0,012	0,60	1	614,40	613,40	0,012	1,60	1,60	0,015	0,238	3,75	0,649	0,19	2,299	0,600	
	28 - 29	92,21	615,00	614,00	0,011	4312,65	0,00431	0,0166	3,66	0,82																					
	13 - A	54,93	633,00	631,00	0,036	1358,73	0,00136	0,0014	5,00	0,82	10	142,81	0,04	0,8	0,04	0,036	1,00	1	631,00	629,00	0,036	2,00	2,00	0,015	0,003	1,26	0,095	0,04	1,153	0,794	
Início	A - B	100,00	631,00	625,00	0,060	2464,10	0,00246	0,0038	2,02	0,82	10	176,35	0,15	0,8	0,12	0,060	1,00	1	629,00	623,00	0,060	2,00	2,00	0,015	0,009	1,42	0,122	0,05	2,810	0,593	
Final	B - C	74,00	625,00	621,00	0,054	4053,81	0,00405	0,0079	1,67	0,82	10	181,84	0,32	0,8	0,26	0,054	1,00	1	623,00	619,00	0,054	2,00	2,00	0,015	0,021	1,71	0,171	0,09	3,634	0,339	
Início	C - D	93,00	621,00	620,00	0,011	5000,68	0,00500	0,0129	3,70	0,82	10	155,16	0,45	0,8	0,36	0,011	1,00	1	620,00	619,00	0,011	2,00	2,00	0,015	0,066	2,38	0,315	0,21	2,137	0,725	
Final	D - E	50,00	622,00	621,00	0,020	800,00	0,00080	0,0137	1,81	0,82	10	179,60	0,56	0,8	0,45	0,020	1,00	1	621,00	620,00	0,020	2,00	2,00	0,015	0,059	2,31	0,298	0,20	2,831	0,294	
Início	E - F	80,00	621,00	620,00	0,013	3080,70	0,00308	0,0168	3,11	0,82	10	161,80	0,61	0,8	0,49	0,013	1,00	1	620,00	619,00	0,013	2,00	2,00	0,015	0,082	2,55	0,354	0,25	2,473	0,539	
Final	F - G	100,00	623,00	621,00	0,020	1281,10	0,00128	0,0180	3,08	0,82	10	162,13	0,66	0,8	0,53	0,020	1,00	1	622,00	620,00	0,020	2,00	2,00	0,015	0,070	2,43	0,327	0,22	2,977	0,560	
Início	G - H	92,00	621,00	620,00	0,011	1255,00	0,00126	0,0193	3,65	0,82	10	155,65	0,68	0,8	0,54	0,011	1,00	1	620,00	619,00	0,011	2,00	2,00	0,015	0,098	2,68	0,385	0,28	2,439	0,629	
Final	H - K	90,00	620,00	619,00	0,011	2448,00	0,00245	0,0217	3,56	0,82	10	156,64	0,77	0,8	0,62	0,011	1,00	1	619,00	618,00	0,011	2,00	2,00	0,015	0,110	2,77	0,409	0,30	2,558	0,586	
Início	K - L	57,64	619,00	617,00	0,035	1300,00	0,00130	0,0230	1,63	0,82	10	182,43	0,95	0,8	0,76	0,035	1,00	1	618,00	616,00	0,035	2,00	2,00	0,015	0,077	2,50	0,341	0,24	4,027	0,239	
Final	L - M	80,00	617,00	614,00	0,038	980,00	0,00098	0,0240	2,04	0,82	10	176,07	0,96	0,8	0,77	0,038	1,00	1	616,00	613,00	0,038	2,00	2,00	0,015	0,074	2,47	0,336	0,23	4,144	0,322	

Soma das vazões nos trechos finais

5,07

APÊNDICE D - PARÂMETROS DE ENTRADA PARA O SWMM

SUB-BACIA	PARÂMETROS							
	Área (ha)	Declividade (%)	Áreas impermeáveis (%)	Largura (m)	Coefficiente de Manning – superfícies impermeáveis	Coefficiente de Manning - superfícies permeáveis	Capacidade de armazenamento – superfícies impermeáveis	Capacidade de armazenamento – superfícies permeáveis
S4	1	1	70	165	11	13	1.91	5,08
S8	0.51	1.75	78	131	11	13	1.91	5,08
S9	0.52	2	65	101	11	13	1.91	5,08
S10	0.43	1.88	80	75	11	13	1.91	5,08