



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA**  
**FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL**



**TULIO ALVES DA CUNHA ROSA**

**ELABORAÇÃO DE UM SISTEMA DE DRENAGEM URBANA DE  
UM LOTEAMENTO NA CIDADE DE UBERLÂNDIA COM USO  
DO PROGRAMA *SWMM***

Uberlândia,  
2023.

---

TULIO ALVES DA CUNHA ROSA

**ELABORAÇÃO DE UM SISTEMA DE DRENAGEM URBANA DE UM  
LOTEAMENTO NA CIDADE DE UBERLÂNDIA COM USO DO PROGRAMA  
SWMM**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à  
Faculdade de Engenharia Civil da Universidade  
Federal de Uberlândia como requisito parcial à  
obtenção do título de Engenheiro Civil.

Prof. Orientador: Carlos Eugênio Pereira

Uberlândia,  
2023.

---

TULIO ALVES DA CUNHA ROSA

**ELABORAÇÃO DE UM SISTEMA DE DRENAGEM URBANA DE UM  
LOTEAMENTO NA CIDADE DE UBERLÂNDIA COM USO DO PROGRAMA  
SWMM**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à  
Faculdade de Engenharia Civil da Universidade  
Federal de Uberlândia como requisito parcial à  
obtenção do título de Engenheiro Civil.

Prof. Orientador: Carlos Eugênio Pereira

**BANCA EXAMINADORA**

---

Prof. Carlos Eugênio Pereira  
Orientador

---

Prof. Iridalques Fernandes de Paula  
Examinador

---

Prof. Maria Lyda Bolaños Rojas  
Examinador

---

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente, a Deus que foi o principal responsável por essa conquista. Ele me fortaleceu e quando pensei em desistir ele me lembrou de suas promessas e fidelidade, jamais poderia chegar até aqui sem Ele.

Aos meus pais, Silvano e Mariley, agradeço por acreditarem no meu potencial. Obrigado pelo apoio, carinho e dedicação incondicionais e, por muitas vezes, renunciarem aos seus sonhos para que eu pudesse realizar os meus. Essa conquista também é de vocês!

Agradeço especialmente a minha noiva Letícia que sempre me incentiva e me ajuda em todos os momentos, por mais difíceis que possam parecer, e que foi de fundamental ajuda para conclusão deste trabalho, auxiliando em todos os momentos. Agora vamos comemorar juntos essa conquista!

Agradeço também aos meus amigos Vitor, Augusto e Lais me supriram em alegria, incentivos e compreensões nos momentos de crise.

Aos meus amigos e amigas da graduação, pelas experiências vividas e pelos conhecimentos compartilhados.

Expresso imensa gratidão à Faculdade de Engenharia Civil da Universidade Federal de Uberlândia por todo conhecimento adquirido nos últimos anos e por serem excelentes em tudo. Esse é o maior ensinamento que levarei para toda a vida.

Agradeço ao professor Carlos Eugênio Pereira, pelos ensinamentos transmitidos na graduação, esclarecimentos e disponibilidade para orientar este trabalho.

---

## RESUMO

Nos dias atuais é imprescindível a compreensão dos problemas relacionados ao escoamento das águas pluviais nas áreas urbanas e, a partir disso, apresentar estratégias de gestão otimizadas para enfrentar esses desafios. Nesse sentido, o *Storm Water Management Model* (SWMM) é uma ferramenta computacional amplamente reconhecida e utilizada para simular o comportamento hidrológico e hidráulico dos sistemas de drenagem urbana. Utilizando o SWMM, foram construídos modelos para otimização do projeto de drenagem de um loteamento localizado na cidade de Uberlândia, levando-se em consideração parâmetros como precipitação, infiltração, escoamento superficial e características dos elementos da rede de drenagem, como bocas de lobo, poços de visita e galerias. Inicialmente, foi realizada uma revisão bibliográfica sobre o tema, abordando conceitos relacionados à drenagem urbana, características do SWMM e procedimentos para dimensionamento de redes de drenagem. Em seguida, foram coletados os dados necessários para a modelagem, incluindo informações topográficas, características físicas do loteamento e dados pluviométricos. Com base nas simulações realizadas, foram obtidos resultados referentes a velocidade de escoamento, nível de água nas tubulações e a verificação do diâmetro a ser escolhido para os diferentes pontos da rede de drenagem. Esses resultados foram analisados para avaliar o desempenho hidráulico do sistema proposto. Por fim, foi realizado o dimensionamento da rede de drenagem, considerando os resultados obtidos nas simulações e as normas técnicas vigentes. Foram realizados ajustes nos diâmetros das tubulações, nos tipos de estruturas de drenagem e nas alturas dos poços de visita, visando obter um sistema eficiente e capaz de atender às demandas do loteamento dentro do contexto da cidade de Uberlândia – MG.

Palavras-Chave: drenagem urbana; escoamento superficial; precipitação; bacia hidrográfica; SWMM.

---

## ABSTRACT

Nowadays, it is essential to understand the problems related to the runoff of stormwater in urban areas and, based on that, present optimized management strategies to address these challenges. In this regard, the Storm Water Management Model (SWMM) is a widely recognized and utilized computational tool for simulating the hydrological and hydraulic behavior of urban drainage systems. Using the SWMM, models were constructed to optimize the drainage design of a residential development located in the city of Uberlândia, taking into account parameters such as precipitation, infiltration, surface runoff, and characteristics of drainage system elements, such as catch basins, manholes, and conduits. Initially, a literature review was conducted on the topic, addressing concepts related to urban drainage, SWMM characteristics, and procedures for sizing drainage networks. Subsequently, the necessary data for modeling were collected, including topographic information, physical characteristics of the residential development, and rainfall data. Based on the simulations performed, results were obtained regarding flow velocity, water level in conduits, and the determination of appropriate conduit diameters for different points in the drainage network. These results were analyzed to evaluate the hydraulic performance of the proposed system. Finally, the sizing of the drainage network was carried out, considering the results obtained from the simulations and the current technical standards. Adjustments were made to conduit diameters, types of drainage structures, and manhole elevations, aiming to achieve an efficient system capable of meeting the demands of the residential development within the context of the city of Uberlândia, MG.

Keywords: urban drainage, runoff, precipitation, watershed, SWMM.

---

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Planta de situação do loteamento .....	18
Figura 2. Traçado dos lotes .....	19
Figura 3. Renderização loteamento .....	20
Figura 4. Ponto de maior altitude .....	23
Figura 5. Área de influência da sub-bacia 1 .....	24
Figura 6. Área de influência da sub-bacia 2 .....	24
Figura 7. Definição dos trechos das vias .....	25
Figura 8. Determinação dos sentidos de escoamento .....	26
Figura 9. Delimitação das áreas de contribuição .....	31
Figura 10. Classificação das vias.....	33
Figura 11. Altura sarjeta .....	35
Figura 12. Distância entre poços de visita.....	39
Figura 13. Legenda - bocas de lobo e poços de visita .....	40
Figura 14. Locação das bocas de lobo e poços de visita .....	40
Figura 15. Mapa de "nós" gerado pelo SWMM .....	41
Figura 16. Mapa com "nós" nomeados.....	42
Figura 17. Configuração de PV's ou "nós" no SWMM.....	42
Figura 18. Modelagem da rede de drenagem no SWMM.....	43
Figura 19. Inserção de dados dos condutos.....	44
Figura 20. Coeficiente de Manning para condutos .....	44
Figura 21. Dados Pluviômetro .....	45
Figura 22. Série Temporal .....	46
Figura 23. Pontos de entrada de água no sistema .....	47
Figura 24. Exemplo de configuração das Sub-bacias .....	48
Figura 25. Relatório de simulação dado pelo SWMM.....	48
Figura 26. Análise inicial realizada pelo SWMM .....	49
Figura 27. Análise final de dimensionamento da rede de drenagem .....	50

---

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Fases do desenvolvimento das águas urbanas.....	14
Tabela 2. Extensão, cotas e declividades das vias.....	26
Tabela 3. Comparativo entre as declividades da via e declividade máxima.....	29
Tabela 4. Áreas de contribuição de acordo com o trecho de cálculo.....	31
Tabela 5. Valores do coeficiente de rugosidade "n" (GANGUILLET-KUTTER).....	36
Tabela 6. Cálculo da área de drenagem máxima por trecho.....	37
Tabela 7. Pontos de locação de bocas de lobo no empreendimento.....	38

**SUMÁRIO**

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>10</b>
<b>2 OBJETIVO .....</b>	<b>12</b>
<b>03 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....</b>	<b>13</b>
2.1 DRENAGEM EM CENTROS URBANOS.....	13
2.2 MODELAGEM COMPUTACIONAL PARA PROJETO DE DRENAGEM – MODELO <i>SWMM</i> .....	15
<b>3 METODOLOGIA.....</b>	<b>17</b>
3.1 PREMISSAS DE PROJETO.....	17
3.1.1 DADOS INICIAIS DO PROJETO URBANÍSTICO .....	17
3.2 ETAPAS DO TRABALHO .....	20
3.3 DIPOSITIVOS DE DRENAGEM .....	21
3.4 NORMAS UTILIZADAS .....	21
3.5 <i>SOFTWARES</i> UTILIZADOS .....	22
<b>4 DESENVOLVIMENTO.....</b>	<b>22</b>
4.1 DELIMITAÇÃO DAS BACIAS DE DRENAGEM.....	22
4.2 SENTIDOS PREFERENCIAS DE ESCOAMENTO.....	25
4.3 DECLIVIDADE MÁXIMA.....	28
4.3 ÁREAS DE CONTRIBUIÇÃO E ÁREA DE DRENAGEM MÁXIMA .....	30
4.4 INCLUSÃO DOS DISPOSITIVOS DE DRENAGEM: BOCAS DE LOBO E POÇOS DE VISITA.....	38
4.5 DIMENSIONAMENTO DA REDE DE DRENAGEM NO <i>SWMM</i> .....	41
<b>5 CONCLUSÃO.....</b>	<b>51</b>
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>53</b>
<b>ANEXO A.....</b>	<b>56</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, o Brasil tem presenciado um ciclo de crescimento populacional sólido. Segundo dados do IBGE (2019), a população brasileira, entre os anos de 2023 e 2030, terá um salto de crescimento populacional de 9 milhões de habitantes. De acordo com as projeções divulgadas pela Divisão de População da ONU, até 2100 a população brasileira pode chegar a 240 milhões.

Pararelamente, é válido ressaltar que o crescimento populacional está diretamente relacionado a necessidade de expansão física dos centros urbanos. Quando essa expansão é realizada de maneira não planejada, vários são os problemas que podem vir a acontecer. Dentre eles, pode-se mencionar as enchentes e inundações que são um efeito do aumento de áreas urbanizadas e, ao mesmo tempo, a diminuição de áreas permeáveis disponíveis nesses locais.

Segundo Canholi (2014), em seu livro *Drenagem Urbana e Controle de Enchentes*, a principal causa do problema das enchentes está no planejamento:

A falta de visão sistêmica do planejamento da macrodrenagem, que predomina por diversas razões, é a grande responsável pelo estado caótico do controle de enchentes nas áreas urbanas brasileiras.

Nesse sentido, um Plano Diretor tem por objetivo ser um instrumento de planejamento urbano que visa organizar os espaços de uma cidade de maneira que seja garantia de melhoria da qualidade de vida da população. Segundo Silva (2013), dentre os problemas das cidades contemporâneas que um Plano Diretor busca responder, destaca-se a questão ambiental, social e também a problemática do saneamento urbano.

O impacto hidrológico da urbanização, com a diminuição de áreas de infiltração, colocam em situação de atenção zonas inteiras de cidades e regiões metropolitanas (SILVA 2013). Nesse contexto, os Planos Diretores de Drenagem Urbana (PDDrU) buscam, essencialmente, suprir a demanda no planejamento das cidades no que tange a gestão das águas, evitando prejuízos econômicos e socio-ambientais (BEZERRA MARQUES, 2006).

Nessa abordagem, surgem os estudos dos chamados sistemas de drenagem urbana que compreendem um conjunto de elementos para recolher as águas pluvias precipitadas de maneira que sejam corretamente conduzidas ao destino final. Segundo Menezes Filho (2005) um agravante é o subdimensionamento de obras hidráulicas, seja pela utilização inadequada de dados de chuva ou pela ausência de normas que tratem diretamente da drenagem urbana.

Atualmente, a ampliação de opções quanto a tecnologias, avaliação das necessidades de melhoria, eficiência de participação efetiva em diferentes níveis do poder público são fatores determinantes para a projeção de projetos de drenagem de sucesso.

No que tange aos parâmetros ambientais, na elaboração de um projeto de drenagem, existem parâmetros essenciais que devem ser considerados para que um projeto seja eficiente, são eles: níveis pluviométricos da cidade ou região, características morfológicas do solo, tipo de solo, além do comportamento hidráulico da Bacia Hidrográfica que permeia a região de estudo.

Ainda, para viabilizar um projeto de drenagem pluvial, devem ser considerados os diferentes dispositivos destinados a coleta dessas águas. Segundo a 5ª Edição do Álbum de Projetos – Tipos de Dispositivos de Drenagem do DNIT (2018), é franqueado ao projetista a liberdade de selecionar o dispositivo de drenagem mais apropriado, de acordo com o correto dimensionamento hidráulico apresentado e sua adequação à problemática em estudo.

A cidade de Uberlândia faz parte do conjunto de outras cidades brasileiras que enfrentam diariamente os problemas causados pela falta do manejo adequado dos sistemas e dispositivos de drenagem. Ademais, a cidade também conta com um plano de expansão acelerado.

A última estimativa, realizada em 2022, do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), apontou que Uberlândia chegou a mais de 713 mil habitantes no mesmo ano. Em 2010, a cidade possuía 604 mil pessoas, demonstrando que a quantidade de moradores aumentou 18,05% em 12 anos.

Como já mencionado, o aumento populacional está intrinsicamente ligado ao aumento das necessidades de planejamento e gestão da drenagem urbana das cidades. Destaca-se, portanto, a importância de cuidados na construção adequada das obras de drenagem do município de maneira que as novas áreas habitadas e o planejamento de drenagem dos novos loteamentos mitiguem problemas futuros de enchentes e inundações.

Nesse sentido, o presente trabalho busca aplicar conhecimentos técnicos de análise de projetos e dimensionamento de sistemas de drenagem, de forma a propor a elaboração de um projeto executivo que atenda as necessidades de eficiência hidráulica para o loteamento, a ser construído no bairro Shopping Park, no município de Uberlândia.

## **2 OBJETIVO**

### **2.1 Objetivo Geral**

Este trabalho tem como objetivo elaborar o projeto de drenagem de águas pluviais de um loteamento a ser construído na cidade de Uberlândia – MG aplicando o modelo computacional *SWMM*.

### **2.2 Objetivos Específicos**

- Reunir os dados característicos da bacia hidrográfica da área de implantação do loteamento;
- Verificar os parâmetros de projeto que caracterizam o comportamento hidráulico da rede e sua eficiência;
- Simular o comportamento da rede utilizando a interface do programa *SWMM*.
- Avaliar os resultados a fim de propor a melhor solução de drenagem pluvial para o loteamento em estudo;
- Proposta de sistema de drenagem otimizada com uso do *SWMM*.

## 03 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

### 2.1 DRENAGEM EM CENTROS URBANOS

Ao longo de toda a história da humanidade, um fator primordial de desenvolvimento para as primeiras cidades era a proximidade aos cursos d'água. Os rios representavam o provimento de água de abastecimento, via natural para comunicação e transporte, facilitando o comércio, além de fonte de energia para as primeiras civilizações.

Por outro lado, o aumento das aglomerações urbanas aliado a falta de planejamento no crescimento das cidades, em particular a partir do século XIX, motivou a redução dos processos de infiltração e, conseqüentemente, o aumento dos volumes escoados superficialmente levando a grandes inundações e enchentes.

Segundo Sedrez e Maia (2014) as chuvas e enchentes definem traçados de cidades, modificando inclusive o cotidiano dos moradores. Em seu livro “Gestão da Drenagem Urbana”, Carlos E. M. Tucci (2012), traz uma perspectiva sobre os desafios em relação à gestão de enchentes e o impacto na qualidade de vida da população urbana:

Até o século XX, o desafio era evitar a proliferação de doenças, devido principalmente às condições sanitárias dos efluentes da própria população que contaminava suas fontes de abastecimento, criando condições ideais de proliferação de doenças infecciosas.

Nessa perspectiva, segundo Soares (2001) até esse período existia ainda a cultura de despejo de esgoto e de resíduos nos leitos hídricos, contribuindo com a poluição das águas o que tornava as enchentes ainda mais perigosas, sendo um ponto de extrema preocupação para a saúde pública.

Em vista disso, ainda no século XX, iniciou-se no Brasil o que convencionou-se chamar de Movimento Higienista (SOARES, 2001). Segundo Tucci (2012), antes da década de 1970, o Movimento Higienista trouxe redução de doenças, mas os rios continuavam contaminados.

Além disso, conforme demonstrado na Tabela 1, a preocupação com as águas urbanas variaram de estágio ao longo dos anos, trazendo a redução de inundações e melhorias na qualidade de vida da população apenas depois da década de 1990.

Tabela 1. Fases do desenvolvimento das águas urbanas

Fase	Características	Consequências
<i>Pré-higienista: até início do século XX</i>	Esgoto em fossas ou na drenagem, sem coleta ou tratamento e água da fonte mais próxima, poço ou rio.	Doenças e epidemias, grande mortalidade e inundações.
<i>Higienista: antes da década de 1970</i>	Transporte de esgoto distante das pessoas e canalização do escoamento.	Redução das doenças, mas rios contaminados, impactos nas fontes de água e inundações.
<i>Corretiva: entre as décadas de 1970 e 1990</i>	Tratamento de esgoto doméstico e industrial, amortecimento do escoamento.	Recuperação dos rios, restando a poluição difusa, obras hidráulicas e impacto ambiental.
<i>Desenvolvimento sustentável: depois da década de 1990</i>	Tratamento terciário e do escoamento pluvial, novos desenvolvimentos que preservam o sistema natural.	Conservação ambiental, redução das inundações e melhoria da qualidade de vida.

Fonte: Tucci (2012)

As medidas de controle de inundação podem ser estruturais, quando envolvem obras de engenharia, ou não estruturais, como zoneamento, sistemas de alerta e seguros. Nesse sentido, um planejamento consistente contempla não somente ações operacionais de controle, mas também ações de acompanhamento e manutenção dos sistemas implantados.

Dentro desse contexto, o plano diretor municipal (PDM) e o planejamento estratégico municipal (PEM) são instrumentos de planejamento e gestão de municípios e prefeituras, considerados, atualmente, de importância inquestionável (REZENDE e ULTRAMARI, 2006). Um Plano Diretor visa facilitar a gestão municipal de maneira a assegurar a viabilização de propostas estratégicas e objetivos locais a serem trabalhados.

Nesse cenário, o Plano Diretor é uma das formas de planejamento que compreende também a área de saneamento, orientando a aplicação da Lei de Saneamento em níveis municipais, direcionando os investimentos do serviço público no que se refere aos planos de drenagem urbana.

Com relação à gestão das águas, o gerenciamento determinado pelo Plano Diretor deve ser integrado e, além disso, contemplar o uso do solo e da infraestrutura urbana para

minimizar os riscos de inundações no município. Para assegurar o cumprimento dos critérios de universalização do uso da água, o Art. 3º da Lei Federal nº 14.026, de 15 de julho 2020, trata dos serviços públicos relacionados ao manejo das águas pluviais urbanas:

[...] drenagem e manejo das águas pluviais urbanas: constituídos pelas atividades, pela infraestrutura e pelas instalações operacionais de drenagem de águas pluviais, transporte, detenção ou retenção para o amortecimento de vazões de cheias, tratamento e disposição final das águas pluviais drenadas, contempladas a limpeza e a fiscalização preventiva das redes.

Com base no exposto, um planejamento consistente de drenagem deve contemplar uma integração harmoniosa entre medidas estruturais e não estruturais, estas devem ter sempre o critério fundamental de não ampliar a cheia natural dos cursos d'água. Para isso, no contexto das ações que envolvem o setor de engenharia de águas, há sempre a necessidade de atualização dos meios de elaboração e concepção dos projetos de drenagem.

Assim, faz-se imprescindível conhecer as ferramentas de criação de modelos virtuais computacionais e os *softwares* que podem ser utilizados na aplicação dos possíveis métodos de controle de enchentes, tornando, assim, todo o processo cada vez mais eficiente.

## 2.2 MODELAGEM COMPUTACIONAL PARA PROJETO DE DRENAGEM – MODELO *SWMM*

Uma das soluções mais eficazes para minimizar problemas de inundações é a implementação de sistemas de drenagem eficientes que possam absorver satisfatoriamente toda a contribuição de água não drenada pelo solo de uma determinada região. Assim, conforme Nascimento (2018), como meio de obtenção de resultados mais rápidos e precisos, os modelos hidrológicos computacionais vem sendo amplamente utilizados.

Desenvolvido pela EPA (*Environmental Protection Agency*), o modelo computacional *SWMM - Storm Water Management Model*, trata-se de um programa de modelagem de

sistemas de águas pluviais que consiste na avaliação de formas de atenuação de cheias (FORMIGA e SILVA, 2007).

O *SWMM* permite simular diversos processos do ciclo hidrológico: precipitação, infiltração, escoamento superficial, sendo um dos *softwares* mais utilizados para drenagem de áreas urbanas. Nesse contexto, o *software* é uma ferramenta valiosa para projetar e gerenciar sistemas de drenagem urbana e para avaliar o desempenho de diferentes práticas de gestão de águas pluviais.

O *SWMM* acompanha a evolução da quantidade e da qualidade do escoamento dentro de cada sub-bacia, assim como a vazão, a altura de escoamento e a qualidade da água em cada tubulação e canal, durante um período de simulação composto por múltiplos intervalos de tempo.

Segunda Silva (2007), os modelos computacionais tem a função primordial de representar os fenômenos físicos, considerando a aplicação de equações matemáticas, englobando parâmetros e variáveis que sinalizam o melhor comportamento aplicável aos sistemas de de redes pluviais propostos. Esses resultados são gerados de maneira realista, permitindo que sejam implantadas soluções mais eficientes de acordo com o contexto da cidade ou região em que o projeto deve ser implantado.

Apesar de usados com mais frequência como ferramentas de planejamento ou *design*, os modelos de águas pluviais urbanas permitem extrair diversas informações importantes para o dimensionamento do sistema de drenagem. O *software SWMM*, por exemplo, após uma modelagem bem sucedida, é capaz de simular a precipitação, permitindo realizar a verificação dos parâmetros técnicos determinados em projeto, como é o caso da conferência dos diâmetros determinados para a rede coletora.

O *SWMM* permite realizar a simulação do escoamento das águas urbanas e gerar dados de precipitação ou, ainda, comparar as previsões obtidas a partir de séries históricas com a realidade. Para isso, o modelo utiliza como fundamentação as equações de conservação de massa e de quantidade de movimento para fluxo não permanente, que é regido pelas equações de Saint-Venant (Rossman, 2009).

Desenvolvido em 1971, o modelo *SWMM* vem adquirindo diversas atualizações. Segundo Cordeiro (2019), pode-se obter expressivos ganhos com o uso de técnicas avançadas de planejamento urbano e do uso do solo, proporcionando qualidade e rapidez na elaboração de planos diretores e projetos de engenharia de maneira geral.

Nessa perspectiva, a identificação do relevo e das características da área de estudo são pontos fundamentais para a escolha das soluções técnicas mais adequadas que causem impacto positivo ambientalmente, economicamente e socialmente. Além disso, um bom planejamento e execução de projetos permite quantificar previamente intervenções e transformações no meio físico de maneira a mitigar os riscos de enchentes ainda em fase de projeto.

É válido ressaltar que a escolha do modelo hidrológico a ser utilizado depende de fatores como: o objetivo do projeto, conhecimento do operador e da área a ser modelada, dentre outros fatores. Para o trabalho em questão, optou-se por utilizar o software *Storm Water Management Model (SWMM)*, de domínio público, obtido através do site do Laboratório de Eficiência Energética e Hidráulica em Saneamento, localizado em João Pessoa – PB, que é de livre, e é de fácil utilização.

### **3 METODOLOGIA**

#### **3.1 PREMISSAS DE PROJETO**

O seguinte trabalho tem como objetivo a elaboração de um projeto de drenagem de um loteamento na cidade de Uberlândia utilizando o *software* de verificação de alagamentos *Storm Water Management Model (SWMM)*. Para realização deste, o projeto urbanístico foi fornecido por um escritório de projetos na cidade de Uberlândia-MG.

##### **3.1.1 DADOS INICIAIS DO PROJETO URBANÍSTICO**

O projeto que originou o loteamento foi elaborado tendo como base as Diretrizes fornecidas pela Prefeitura Municipal de Uberlândia, a Lei Complementar nº 523/2011

que Dispõe sobre o Parcelamento do Solo e considerando a proximidade da área a loteamentos já consolidados, bem como a estrutura viária já implantada.

O loteamento em questão está situado na Zona Sul do município de Uberlândia. Na Figura 1 é possível observar o loteamento hachurado em vermelho, bem como a referência aos bairros vizinhos que cercam o empreendimento.

Figura 1. Planta de situação do loteamento



Fonte: Projeto Urbanístico (2023)

O loteamento é composto por 493 lotes, de área total 247.990,33 m<sup>2</sup> (duzentos e quarenta e sete mil, novecentos e noventa metros quadrados e trinta e três centímetros quadrados), sendo que, desta área, a área determinada para os lotes é de 51,46%, correspondendo a

um total de 127.612,94 m<sup>2</sup> (cento e vinte e sete mil, seiscentos e doze metros quadrados e noventa e quatro centímetros quadrados.).

Nas Figuras 2 e 3 é possível verificar a divisão da gleba estabelecida pelo projetista, considerando o traçado e a renderização do mesmo, respectivamente.

Figura 2. Traçado dos lotes



Fonte: Projeto Urbanístico (2023)

Figura 3. Renderização loteamento



Fonte: Projeto Urbanístico (2023)

### 3.2 ETAPAS DO TRABALHO

As fases de desenvolvimento do projeto de drenagem do presente trabalho estão compreendidas nas seguintes etapas:

- Determinação das bacias e sub-bacias de acordo com o sentido de escoamento da água;
- Divisão das áreas de contribuição para dimensionamento da rede;
- Definição dos pontos de inserção de dispositivos de drenagem que, no caso do presente trabalho, são as bocas de lobo e os poços de visita (PV);
- Inserção dos dados de entrada no *software SWMM*;
- Modelagem do conjunto de dispositivos que compõem o sistema de drenagem no *software SWMM*;
- Verificação do volume de escoamento superficial e capacidade da rede de drenagem de acordo com análise realizada pelo *SWMM*;

- Adequação da rede preliminarmente proposta conforme análise realizada pelo *SWMM*;
- Finalização do projeto de drenagem de águas pluviais do loteamento, considerando nesta etapa os detalhamentos da folha de projeto.

### 3.3 DIPOSITIVOS DE DRENAGEM

A concepção do presente projeto de drenagem e seu dimensionamento contemplam os seguintes dispositivos hidráulicos:

- **Sarjetas:** refere-se às faixas paralelas ao meio-fio (ou guia), geralmente em formato de calha. Nesse dispositivo é realizado o escoamento das águas pluviais que incidem sobre a via pública.
- **Poço de visita (PV):** Pontos do sistema de drenagem que permitem mudança de direção e de declividade. Ainda, nesses pontos são realizadas as inspeções e limpeza da rede.
- **Bocas de lobo:** é a vala, geralmente localizada em intervalos do meio fio, por onde escoam as águas da chuva drenadas pelas sarjetas com destino às galerias pluviais. Devem ser confeccionados com materiais altamente resistentes, como alvenaria ou concreto.
- **Rede ou galeria:** são os sistemas que integram os serviços de saneamento, capazes de receber o escoamento e transportar por meio de tubulações. Essas são componentes do sistema público e de responsabilidade da prefeitura.

### 3.4 LEIS, NORMAS E PORTARIAS UTILIZADAS

O projeto de drenagem pluvial e o correspondente dimensionamento foi realizado seguindo as diretrizes dadas pela Lei Complementar nº 523/2011 que Dispõe sobre o Parcelamento do Solo; pela norma de drenagem pluvial ABNT NBR 10844/1989 – Instalações prediais de águas pluviais e pela Portaria 46.338, de 04 de Junho de 2019 que se refere ao Manual de Orientação de Análise e Aprovação de Loteamento no Município de Uberlândia.

### 3.5 SOFTWARES UTILIZADOS

Para a execução deste trabalho, utilizou-se os seguintes softwares:

- AUTODESK AUTOCAD – O *software* foi utilizado para visualização e obtenção de dados do projeto urbanístico fornecido pela empresa de construção civil, além de ser a ferramenta fundamental utilizada para a elaboração do projeto de drenagem pluvial.
- MICROSOFT EXCEL – *Software* indispensável para formulação das planilhas de cálculo, sendo utilizado para realização do dimensionamento da rede e verificação da necessidade dos dispositivos de drenagem como as bocas de lobo.
- EPACAD – Uma vez que o formato de leitura suportado para inserção de dados no SWMM é do tipo ‘.inp’, faz-se necessário a utilização de um *software* de conversão de arquivos. Nesse sentido, o EPACAD é a ferramenta capaz de realizar a conversão do arquivo gerado pelo AutoCAD (formato ‘.dxf’) para o formato ‘.inp’. Este programa faz o reconhecimento das extremidades das linhas traçadas no AutoCAD como sendo um nó (pontos de inserção de dispositivos de drenagem como os PV’s, por exemplo), gerando as informações necessárias para a leitura do projeto pelo SWMM.
- *STORM WATER MANAGEMENT MODEL (SWMM)* - O SWMM, *software* foco deste trabalho, permite a leitura de diversos tipos de objetos (nós, áreas de contribuição e condutos), fornecendo suporte para modelagem de uma área de drenagem, onde os dados hidrológicos são inseridos manualmente. Através desse *software* foram realizadas as análises da rede, propiciando um dimensionamento mais assertivo.

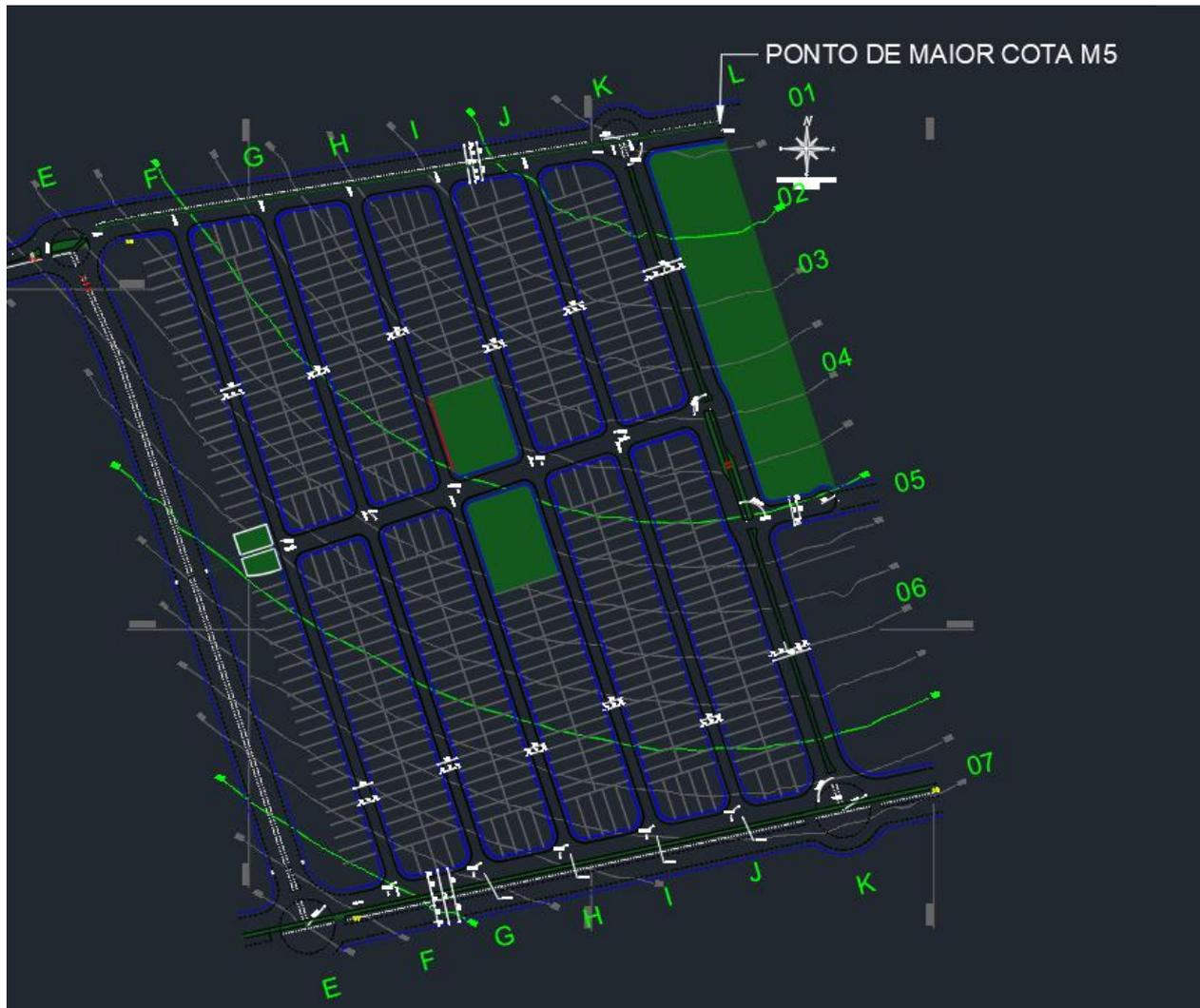
## 4 DESENVOLVIMENTO

### 4.1 DELIMITAÇÃO DAS BACIAS DE DRENAGEM

O presente trabalho visa desenvolver o dimensionamento da rede de drenagem urbana do loteamento localizado no município de Uberlândia – MG. Sendo assim, inicialmente, foram determinados os dados básicos para elaboração do projeto.

Dessa maneira, para determinação da rede, fez-se necessário localizar o ponto com maior cota situado no empreendimento para definir o sentido de fluxo preferencial do escoamento da água no loteamento. Posto isso, no loteamento do estudo, o ponto de maior altitude é o definido como M-5 com coordenadas Norte 7.899.373,087 e Leste 789.093,338 (Figura 4).

Figura 4. Ponto de maior altitude



Fonte: Autor (2023)

De acordo com o sentido de escoamento, deve-se dividir a área de estudo em sub-bacias. Com o auxílio das curvas de nível foram definidos pontos para verificação do fluxo. A partir dessa análise, verificou-se a necessidade de divisão da área em duas sub-bacias, uma vez que, a inclinação da rua principal externa na parte superior do loteamento tem inclinação maior se comparada as ruas internas do loteamento, delimitando-se, assim, as

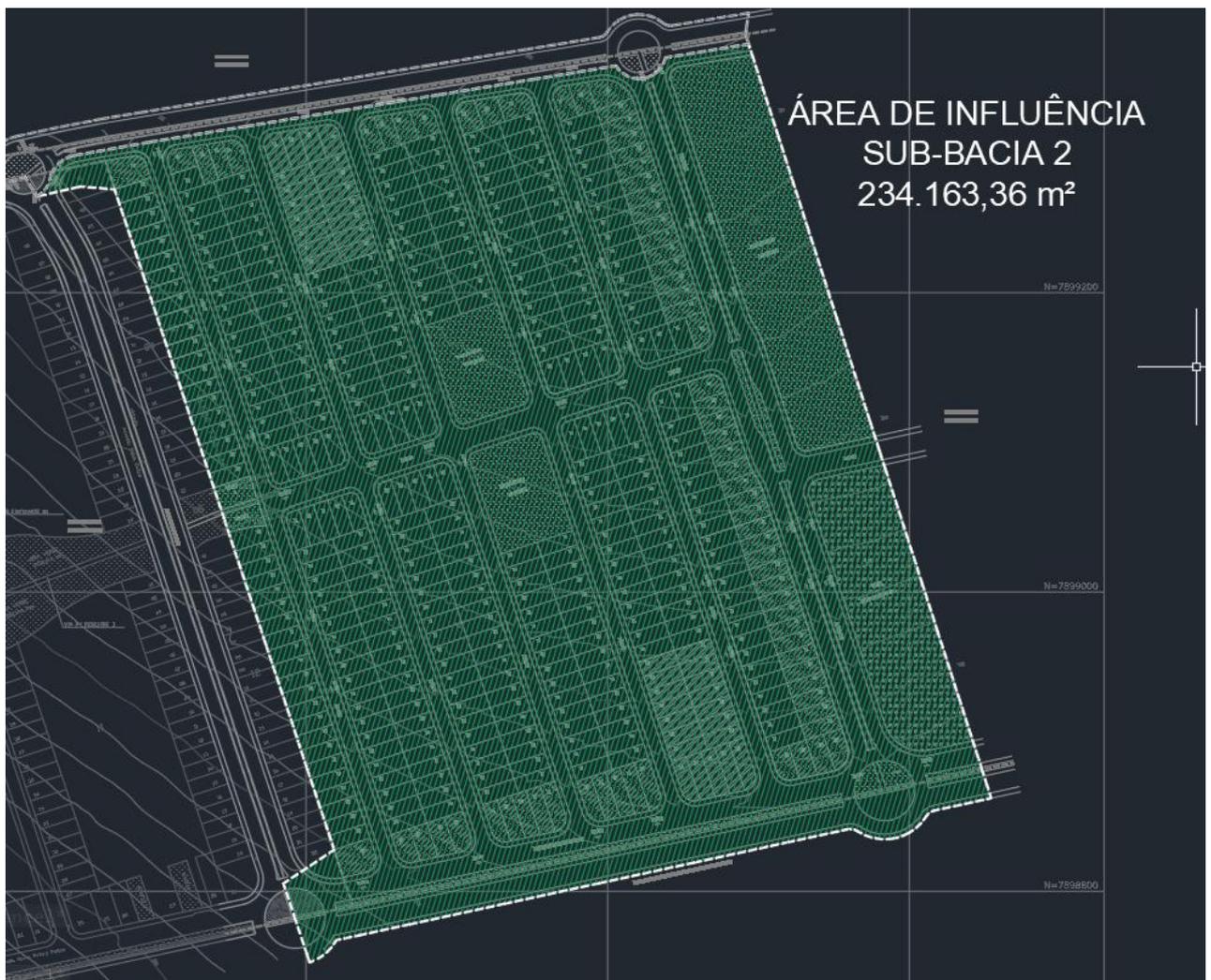
áreas de influência que contribuem para as sub-bacias de acordo com o demonstrado nas Figuras 5 e 6.

Figura 5. Área de influência da sub-bacia 1



Fonte: Autor (2023)

Figura 6. Área de influência da sub-bacia 2

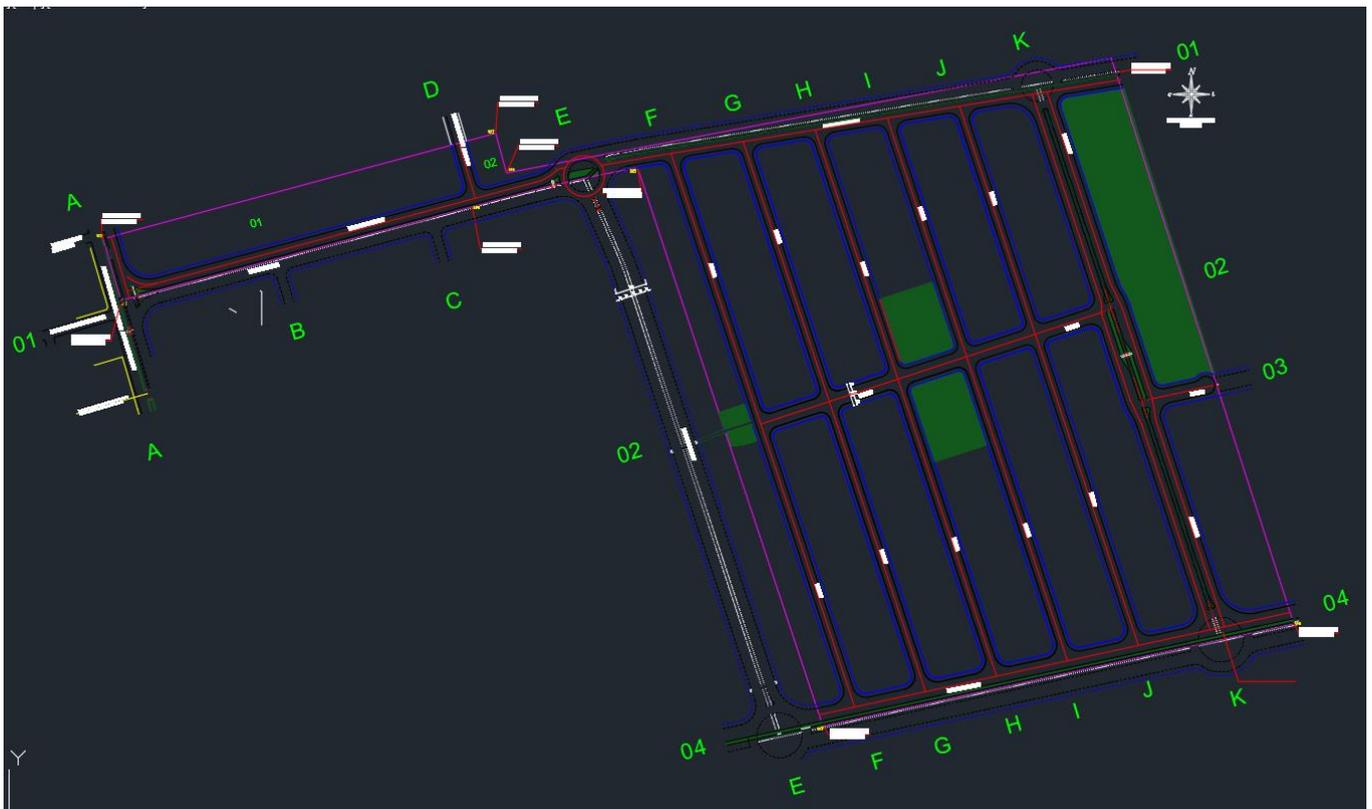


Fonte: Autor (2023)

## 4.2 SENTIDOS PREFERENCIAS DE ESCOAMENTO

Após a separação das sub-bacias, nomeou-se os trechos a fim de facilitar a identificação de cada via de acordo com o demonstrado na Figura 7.

Figura 7. Definição dos trechos das vias

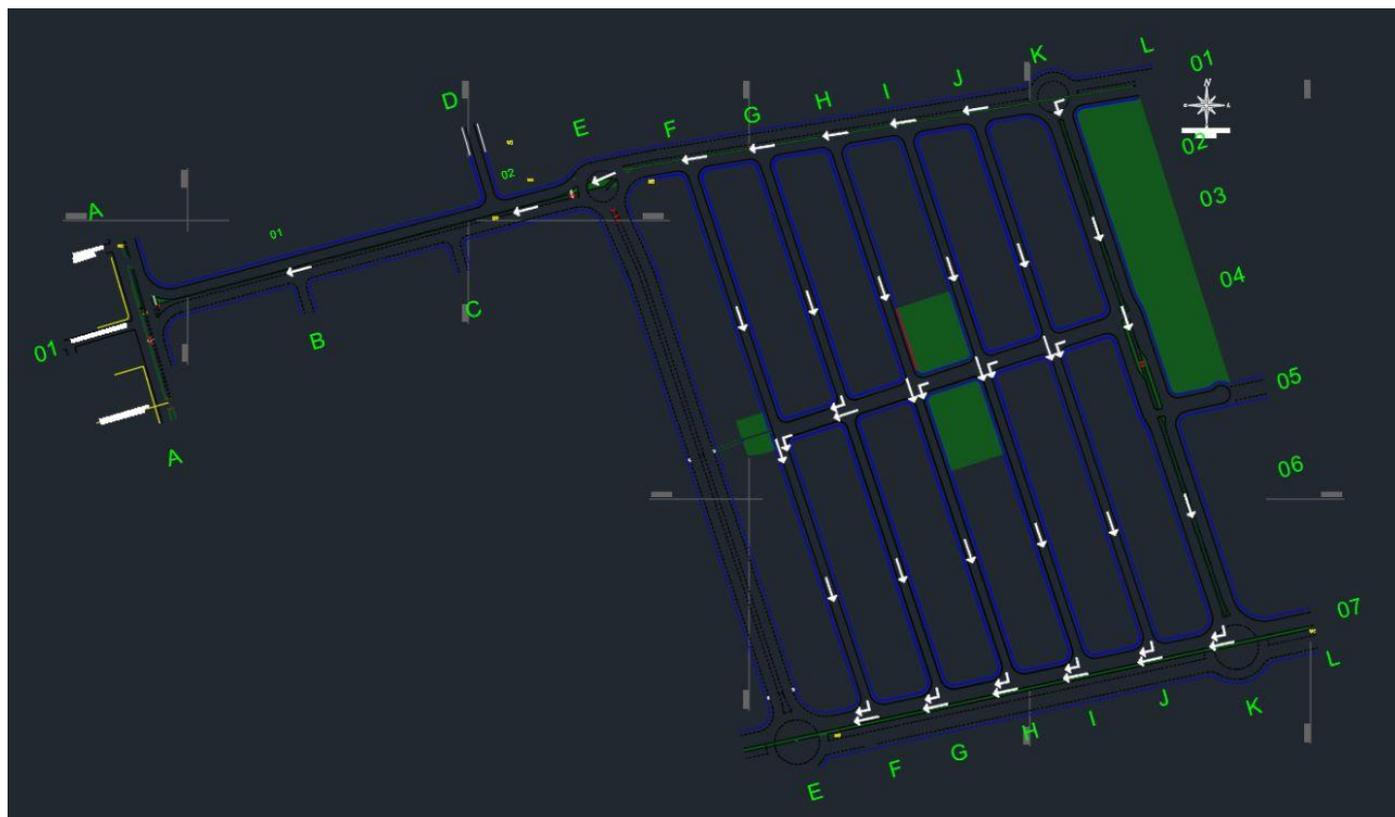


Fonte: Autor (2023)

O sentido preferencial de escoamento é determinado a partir da declividade natural do terreno que irá receber o sistema de drenagem. Como o projeto urbanístico base utilizado para a análise do presente trabalho é um loteamento real localizado na cidade de Uberlândia foi possível obter também o projeto planialtimétrico do empreendimento, sendo assim, pode-se realizar o cálculo das declividades considerando as cotas reais dadas pelo Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas (SIRGAS 2000).

Nesse cenário, calculou-se as declividades dividindo-se a diferença de cotas entre os cruzamentos das ruas pela distância entre elas, a fim de se obter o sentido de fluxo do escoamento correto, conforme demonstrado (Figura 8).

Figura 8. Determinação dos sentidos de escoamento



Fonte: Autor (2023)

A extensão de cada um dos trechos, as cotas de montante e jusante, bem como as declividades estão demonstradas na Tabela 2 abaixo:

Tabela 2. Extensão, cotas e declividades das vias

BACIAS	Nº da ordem	TRECHO			Extensão (m)	Cotas (m)		Declividades l (m/m)
		rua	da rua	até a rua		montante	jusante	
BACIA 2	1	1	L	K	72,42	876,187	875,573	0,0085
	2	1	K	J	72,87	875,573	874,883	0,0095
BACIA 1	3	1	J	I	64,77	874,883	873,808	0,0166
	4	1	I	H	64,77	873,808	872,646	0,0179
	5	1	H	G	64,77	872,646	871,047	0,0247
	6	1	G	F	64,77	871,047	869,392	0,0256
	7	1	F	E	79,59	869,392	867,4875	0,0239
	8	1	E	D	98,53	867,4875	865,173	0,0235
	9	1	D	C	40	865,173	864,189	0,0246
	10	1	C	B	140	864,189	860,927	0,0233
	11	1	B	A	139	860,927	858,022	0,0209
		12	K	1	2	71,1	876	874,792
	13	K	2	3	58,31	874,792	874,075	0,0123

BACIA 2	14	K	3	4	79,77	874,075	872,146	0,0242
	15	K	4	5	87,11	872,146	870,177	0,0226
	16	K	5	6	82,53	870,177	867,427	0,0333
	17	K	6	7	141,96	867,427	863,646	0,0266
	18	J	1	2	79,52	874,883	873,797	0,0137
	19	J	2	3	58,07	873,797	872,982	0,0140
	20	J	3	4	82,81	872,982	871,379	0,0194
	21	J	4	5	84,35	871,379	869,185	0,0260
	22	J	5	6	86,51	869,185	866,974	0,0256
	23	J	6	7	121,33	866,974	863,192	0,0312
	24	I	1	2	86,72	873,808	873,048	0,0088
	25	I	2	3	58,06	873,048	872,196	0,0147
	26	I	3	4	85,49	872,196	870,708	0,0174
	27	I	4	5	81,6	870,708	868,534	0,0266
	28	I	5	6	87,9	868,534	865,77	0,0314
	29	I	6	7	116,06	865,77	862,742	0,0261
	30	H	1	2	93,93	872,646	871,934	0,0076
	31	H	2	3	57,76	871,934	871,022	0,0158
	32	H	3	4	88,24	871,022	869,237	0,0202
	33	H	4	5	79,68	869,237	867,122	0,0265
	34	H	5	6	88,58	867,122	865,007	0,0239
	35	H	6	7	121,26	865,007	862,021	0,0246
	36	G	1	2	101,13	871,047	870,199	0,0084
	37	G	2	3	57,49	870,199	869,33	0,0151
	38	G	3	4	90,99	869,33	868,005	0,0146
	39	G	4	5	78,56	868,005	866,019	0,0253
	40	G	5	6	88,46	866,019	863,74	0,0258
	41	G	6	7	115,76	863,74	861,058	0,0232
	42	F	1	2	108,34	869,392	868,482	0,0084
	43	F	2	3	57,39	868,482	867,936	0,0095
44	F	3	4	93,74	867,936	865,959	0,0211	
45	F	4	5	77,44	865,959	864,126	0,0237	
46	F	5	6	88,33	864,126	862,217	0,0216	
47	F	6	7	110,36	862,217	859,807	0,0218	
48	4	K	J	70,93	872,262	871,581	0,0096	
49	4	J	I	64	871,581	870,708	0,0136	
50	4	I	H	64	870,708	869,237	0,0230	
51	4	H	G	64	869,237	867,823	0,0221	
52	4	G	F	64	867,823	866,095	0,0270	
53	7	L	K	70,4	863,37	863,677	0,0044	
54	7	K	J	71,38	863,677	863,192	0,0068	
55	7	J	I	64,34	863,192	862,742	0,0070	
56	7	I	H	64,34	862,742	862,021	0,0112	
57	7	H	G	64,34	862,021	861,058	0,0150	
58	7	G	F	64,34	861,058	859,807	0,0194	
59	7	F	E	84,3	859,807	858,041	0,0209	

Fonte: Autor (2023)

### 4.3 DECLIVIDADE MÁXIMA

A rede coletora deve, preferencialmente, seguir a declividade do terreno. Entretanto, deve-se atentar para a velocidade máxima do escoamento que, de acordo com a Diretriz Geral de Drenagem Pluvial de Loteamento da cidade de Uberlândia, é de 3,0m/s. Assim, a determinação da declividade máxima (*Imáx*) do sistema de drenagem depende da velocidade máxima adotada permitida para o escoamento pluvial em sarjeta.

Adaptando-se a fórmula de Manning para seções triangulares (como são consideradas as sarjetas para fins de cálculo), é possível determinar a equação utilizada para verificação da velocidade média de escoamento em canais abertos. Essa fórmula é baseada na relação entre a velocidade do escoamento, a altura da lâmina d'água na sarjeta, a declividade da sarjeta e o coeficiente de rugosidade do canal, conforme mostrado na Equação 1.

$$V_s = 0,75 \cdot y_s^{\frac{2}{3}} \cdot \frac{I^{\frac{1}{2}}}{n} \quad (1)$$

Onde:

- $V_s$ : é a velocidade média do escoamento (m/s);
- $y_s$ : é a altura da lâmina d'água na sarjeta (m);
- $n$ : é o coeficiente de rugosidade de Manning ( $s/m^{1/3}$ );
- $I$ : declividade da sarjeta (m/m).

Dentro desse contexto, adotando-se a velocidade máxima de 3m/s, a rugosidade de Manning como 0,015 (superfície de concreto, com pavimento de asfalto em textura áspera), pôde-se obter a inclinação máxima permitida na sarjeta para a altura da lâmina d'água de 0,13m sendo estipulada para que não haja transbordo da sarjeta, que resultou em 0,0547 m/m.

Dado o exposto, vale ressaltar que a declividade máxima é um valor único para todos os trechos, ou seja, como os parâmetros de cálculo são pré-determinados, a inclinação máxima não sofre alteração em nenhum ponto do loteamento. Assim, para o correto

dimensionamento do sistema foi realizado o comparativo entre a declividade real da via (dada pela diferença de cotas) e a declividade máxima calculada.

Para o presente projeto, dado o comparativo entre declividades, verificou-se que nenhuma das vias do empreendimento tem inclinação maior que a máxima calculada, isto é, a drenagem máxima de águas pluviais de cada uma das vias no loteamento foi dado em função da própria declividade de cada trecho. Os resultados estão demonstrados na Tabela 3 abaixo.

Tabela 3. Comparativo entre as declividades da via e declividade máxima

BACIAS	Nº da ordem	TRECHO			Extensão (m)	Cotas (m)		Declividades	
		rua	da rua	até a rua		montante	jusante	I < Imáx	I > Imáx
BACIA 2	1	1	L	K	72,42	876,187	875,573	0,0085	-
BACIA 1	2	1	K	J	72,87	875,573	874,883	0,0095	-
	3	1	J	I	64,77	874,883	873,808	0,0166	-
	4	1	I	H	64,77	873,808	872,646	0,0179	-
	5	1	H	G	64,77	872,646	871,047	0,0247	-
	6	1	G	F	64,77	871,047	869,392	0,0256	-
	7	1	F	E	79,59	869,392	867,4875	0,0239	-
	8	1	E	D	98,53	867,4875	865,173	0,0235	-
	9	1	D	C	40	865,173	864,189	0,0246	-
	10	1	C	B	140	864,189	860,927	0,0233	-
	11	1	B	A	139	860,927	858,022	0,0209	-
BACIA 2	12	K	1	2	71,1	876	874,792	0,0170	-
	13	K	2	3	58,31	874,792	874,075	0,0123	-
	14	K	3	4	79,77	874,075	872,146	0,0242	-
	15	K	4	5	87,11	872,146	870,177	0,0226	-
	16	K	5	6	82,53	870,177	867,427	0,0333	-
	17	K	6	7	141,96	867,427	863,646	0,0266	-
	18	J	1	2	79,52	874,883	873,797	0,0137	-
	19	J	2	3	58,07	873,797	872,982	0,0140	-
	20	J	3	4	82,81	872,982	871,379	0,0194	-
	21	J	4	5	84,35	871,379	869,185	0,0260	-
	22	J	5	6	86,51	869,185	866,974	0,0256	-
	23	J	6	7	121,33	866,974	863,192	0,0312	-
	24	I	1	2	86,72	873,808	873,048	0,0088	-
	25	I	2	3	58,06	873,048	872,196	0,0147	-
	26	I	3	4	85,49	872,196	870,708	0,0174	-
	27	I	4	5	81,6	870,708	868,534	0,0266	-
	28	I	5	6	87,9	868,534	865,77	0,0314	-

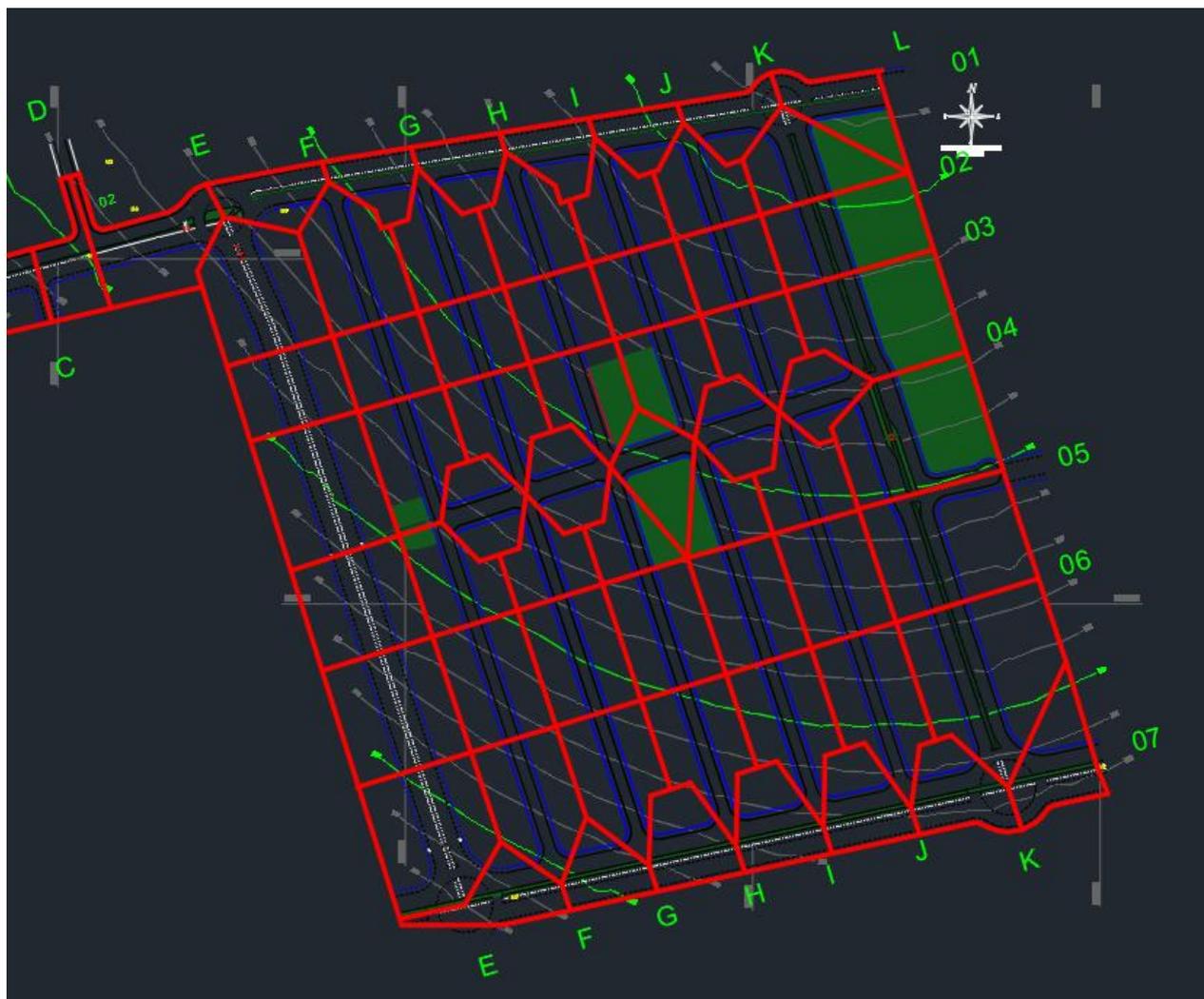
<b>BACIA 2</b>	29	I	6	7	116,06	865,77	862,742	0,0261	-
	30	H	1	2	93,93	872,646	871,934	0,0076	-
	31	H	2	3	57,76	871,934	871,022	0,0158	-
	32	H	3	4	88,24	871,022	869,237	0,0202	-
	33	H	4	5	79,68	869,237	867,122	0,0265	-
	34	H	5	6	88,58	867,122	865,007	0,0239	-
	35	H	6	7	121,26	865,007	862,021	0,0246	-
	36	G	1	2	101,13	871,047	870,199	0,0084	-
	37	G	2	3	57,49	870,199	869,33	0,0151	-
	38	G	3	4	90,99	869,33	868,005	0,0146	-
	39	G	4	5	78,56	868,005	866,019	0,0253	-
	40	G	5	6	88,46	866,019	863,74	0,0258	-
	41	G	6	7	115,76	863,74	861,058	0,0232	-
	42	F	1	2	108,34	869,392	868,482	0,0084	-
	43	F	2	3	57,39	868,482	867,936	0,0095	-
	44	F	3	4	93,74	867,936	865,959	0,0211	-
	45	F	4	5	77,44	865,959	864,126	0,0237	-
	46	F	5	6	88,33	864,126	862,217	0,0216	-
	47	F	6	7	110,36	862,217	859,807	0,0218	-
	48	4	K	J	70,93	872,262	871,581	0,0096	-
	49	4	J	I	64	871,581	870,708	0,0136	-
	50	4	I	H	64	870,708	869,237	0,0230	-
	51	4	H	G	64	869,237	867,823	0,0221	-
	52	4	G	F	64	867,823	866,095	0,0270	-
	53	7	L	K	70,4	863,37	863,677	0,0044	-
	54	7	K	J	71,38	863,677	863,192	0,0068	-
	55	7	J	I	64,34	863,192	862,742	0,0070	-
	56	7	I	H	64,34	862,742	862,021	0,0112	-
	57	7	H	G	64,34	862,021	861,058	0,0150	-
58	7	G	F	64,34	861,058	859,807	0,0194	-	
59	7	F	E	84,3	859,807	858,041	0,0209	-	

Fonte: Autor (2023)

#### 4.3 ÁREAS DE CONTRIBUIÇÃO E ÁREA DE DRENAGEM MÁXIMA

Para fins de cálculo, fez-se necessário delimitar a área de estudo, determinando as áreas de contribuição de cada trecho dentro do loteamento. Essa delimitação pode ser conferida nas Figura 9.

Figura 9. Delimitação das áreas de contribuição



Fonte: Autor (2023)

Os valores de cada uma das áreas foram determinados com auxílio do *software Autocad* da *Autodesk*. Ainda, para cada uma das sub-divisões, obteve-se as áreas de montante, área do trecho e área de jusante, sendo essa última a soma das outras duas. Sendo assim, para demonstrar os resultados, elaborou-se a planilha abaixo com todos os valores de áreas finais obtidos (Tabela 4):

Tabela 4. Áreas de contribuição de acordo com o trecho de cálculo

BACIAS	Nº da ordem	TRECHO			ÁREAS (ha)				
		rua	da rua	até a rua	montante	montante corrigida	trecho	jusante	jusante corrigida
BACIA 2	1	1	L	K	0,0000	0,0000	0,3535	0,3535	0,3535
BACIA 1	2	1	K	J	0,0000	0,0000	0,2606	0,2606	0,2606
	3	1	J	I	0,2606	0,2606	0,2206	0,4811	0,4811

	4	1	I	H	0,4811	0,4811	0,2528	0,7340	0,7340
	5	1	H	G	0,7340	0,7340	0,2605	0,9945	0,9945
	6	1	G	F	0,9945	0,9945	0,2427	1,2372	0,0000
	7	1	F	E	0,0000	0,0000	0,2784	0,2784	0,2784
	8	1	E	D	0,2784	0,2784	0,5316	0,8100	0,8100
	9	1	D	C	0,8100	0,8100	0,2695	1,0795	0,0000
	10	1	C	B	0,0000	0,0000	0,7521	0,7521	0,7521
	11	1	B	A	0,7521	0,7521	0,8695	1,6216	0,0000
<b>BACIA 2</b>	12	K	1	2	0,3535	0,3535	0,4787	0,8322	0,0000
	13	K	2	3	0,0000	0,0000	0,6448	0,6448	0,0000
	14	K	3	4	0,0000	0,0000	0,7894	0,7894	0,0000
	15	K	4	5	0,0000	0,0000	0,9050	0,9050	0,0000
	16	K	5	6	0,0000	0,0000	0,9082	0,9082	0,0000
	17	K	6	7	0,0000	0,0000	0,9831	0,9831	0,0000
	18	J	1	2	0,0000	0,0000	0,3740	0,3740	0,3740
	19	J	2	3	0,3740	0,3740	0,3719	0,7459	0,0000
	20	J	3	4	0,0000	0,0000	0,3863	0,3863	0,3863
	21	J	4	5	0,6525	0,0000	0,3817	0,3817	0,3817
	22	J	5	6	0,3817	0,3817	0,5537	0,9354	0,0000
	23	J	6	7	0,0000	0,0000	0,6233	0,6233	0,0000
	24	I	1	2	0,0000	0,0000	0,3897	0,3897	0,0000
	25	I	2	3	0,0000	0,0000	0,3708	0,3708	0,3708
	26	I	3	4	0,3708	0,3708	0,4179	0,7887	0,0000
	27	I	4	5	0,3242	0,3242	0,3061	0,6303	0,0000
	28	I	5	6	0,0000	0,0000	0,5626	0,5626	0,5626
	29	I	6	7	0,5626	0,0000	0,5643	0,5643	0,0000
	30	H	1	2	0,0000	0,0000	0,4573	0,4573	0,0000
	31	H	2	3	0,0000	0,0000	0,3696	0,3696	0,3696
	32	H	3	4	0,3696	0,3696	0,4220	0,7916	0,0000
	33	H	4	5	0,0000	0,0000	0,2979	0,2979	0,2979
	34	H	5	6	0,2979	0,2979	0,5669	0,8648	0,0000
	35	H	6	7	0,0000	0,0000	0,5334	0,5334	0,0000
	36	G	1	2	0,0000	0,0000	0,4762	0,4762	0,0000
	37	G	2	3	0,0000	0,0000	0,3685	0,3685	0,3685
	38	G	3	4	0,3685	0,3685	0,4108	0,7793	0,0000
	39	G	4	5	0,0000	0,0000	0,3354	0,3354	0,3354
	40	G	5	6	0,3354	0,3354	0,5661	0,9015	0,0000
	41	G	6	7	0,0000	0,0000	0,5545	0,5545	0,0000
42	F	1	2	0,0000	0,0000	0,5809	0,5809	0,0000	
43	F	2	3	0,0000	0,0000	0,3673	0,3673	0,0000	
44	F	3	4	0,0000	0,0000	0,5161	0,5161	0,0000	
45	F	4	5	0,0000	0,0000	0,4121	0,4121	0,4121	
46	F	5	6	0,4121	0,4121	0,5653	0,9774	0,0000	
47	F	6	7	0,0000	0,0000	0,5730	0,5730	0,0000	
48	4	K	J	I	0,0000	0,0000	0,2662	0,2662	0,2662
49	4	J	I	H	0,0000	0,0000	0,3242	0,3242	0,3242

50	4	I	H	0,0000	0,0000	0,3666	0,3666	0,3666
51	4	H	G	0,0000	0,0000	0,3429	0,3429	0,3429
52	4	G	F	0,3429	0,3429	0,3346	0,6775	0,0000
53	7	L	K	0,0000	0,0000	0,4159	0,4159	0,4159
54	7	K	J	0,4159	0,4159	0,3802	0,7961	0,0000
55	7	J	I	0,0000	0,0000	0,3737	0,3737	0,3737
56	7	I	H	0,3737	0,3737	0,3756	0,7493	0,0000
57	7	H	G	0,0000	0,0000	0,3665	0,3665	0,3665
58	7	G	F	0,3665	0,3665	0,2697	0,6362	0,6362
59	7	F	E	0,0000	0,0000	0,3263	0,3263	0,3263

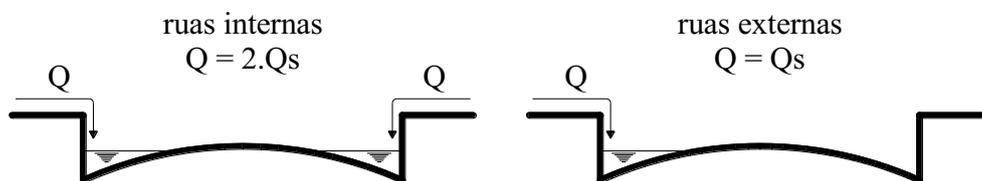
Fonte: Autor (2023)

Após definidas as áreas, quanto ao direcionamento do escoamento da água, determinou-se a coleta de vazão de cada trecho. Essa estratégia considera a classificação das vias entre dois grupos:

- Ruas internas: coleta da água pluvial em ambas as sarjetas;
- Ruas externas: considera a coleta apenas em um dos lados da rua.

Essa divisão é demonstrada na Figura 10, onde  $Q_s$  é a vazão de escoamento na sarjeta e  $Q$  é a vazão de dimensionamento da área contribuinte.

Figura 10. Classificação das vias



Fonte: Autor (2023)

A vazão admissível na sarjeta é determinada através da adaptação da equação de Manning, conforme demonstrado na Equação 2.

$$Q_s = 0,375 \cdot y_s^{\frac{8}{3}} \cdot tg\theta \cdot \frac{l^{\frac{1}{2}}}{n} \quad (2)$$

Onde:

- $Q_s$ : vazão na sarjeta (em m<sup>3</sup>/s);
- $tg\theta$ : tangente do ângulo entre o meio-fio e a rua (adimensional);

- $y_s$ : altura da lâmina de água na sarjeta (em m);
- $I$ : declividade da sarjeta (em m/m);
- $n$ : coeficiente de rugosidade de Manning (adimensional).

Já a vazão de dimensionamento de acordo com a área contribuinte é dada pela seguinte equação (Equação 3):

$$Q = 2,78 \cdot 10^{-3} \cdot f \cdot m \cdot i \cdot A \quad (3)$$

Onde:

- $Q$ : vazão de contribuição (em L/s);
- $f$ : coeficiente de deflúvio (adimensional);
- $i$ : intensidade média da chuva (em mm/h);
- $A$ : área de contribuição (em ha);
- $m$ : coeficiente de distribuição de chuvas (adimensional).

Nessa perspectiva, considerando-se que a vazão pode ser descrita em função da área de contribuição, para o presente trabalho, optou-se por realizar o dimensionamento do sistema comparando-se as áreas de contribuição de projeto e a área de drenagem máxima que o trecho pode suportar.

Para isso, correlacionando-se as equações 2 e 3 foi possível obter as equações que descrevem a área admissível máxima para cada uma das vias em função da classificação entre ruas consideradas internas e ruas consideradas externas (Equações 4 e 5, respectivamente).

$$Q = 2 \cdot Q_s \rightarrow Ad_{máx} = \frac{2 \cdot 0,375 \cdot (y_s)^{8/3} \cdot \text{tg } \theta_0 \cdot I^{1/2}}{2,78 \cdot 10^{-3} \cdot f \cdot m \cdot i \cdot n} \quad (\text{rua interna}) \quad (4)$$

$$Q = Q_s \rightarrow Ad_{máx} = \frac{0,375 \cdot (y_s)^{8/3} \cdot \text{tg } \theta_0 \cdot I^{1/2}}{2,78 \cdot 10^{-3} \cdot f \cdot m \cdot i \cdot n} \quad (\text{rua externa}) \quad (5)$$

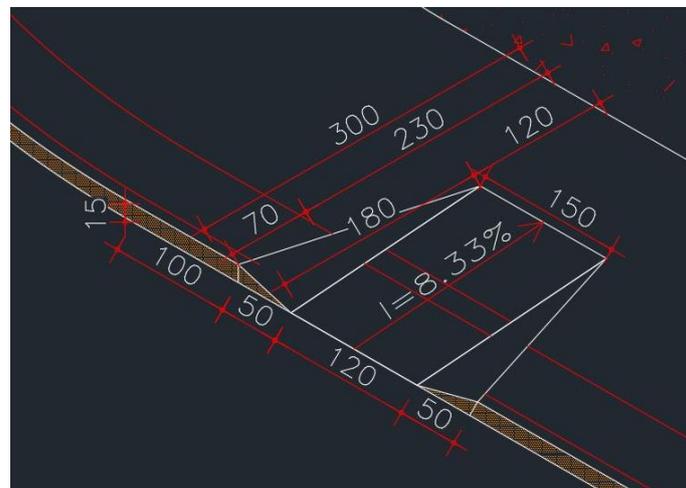
Onde:

- $A_{dm\acute{a}x}$ : Área de drenagem máxima do trecho (em ha);
- $y_s$ : altura da lâmina de água na sarjeta (em m);
- $tg\theta$ : tangente do ângulo entre o meio-fio e a rua (adimensional);
- $I$ : declividade do trecho (em m/m);
- $f$ : coeficiente de deflúvio (adimensional);
- $m$ : coeficiente de distribuição de chuvas (adimensional);
- $n$ : coeficiente de rugosidade de Manning (adimensional).

Assim, é válido ressaltar que, a correta determinação da área de drenagem máxima, a inclinação é dada em função da diferença de cotas já calculada para cada uma das vias (conforme demonstrado no item 4.3), já os outros parâmetros são constantes pré-fixadas.

No projeto Urbanístico do loteamento, verificou-se que os meio-fios (guias) têm 0,15m de altura, conforme ilustrado abaixo (Figura 11):

Figura 11. Altura sarjeta



Fonte: Projeto Urbanístico (2023)

Entretanto, apesar de apresentada com altura de 0,15m, adotou-se o enchimento máximo de água na sarjeta ( $y_s$ ) de 0,13m (para evitar transbordamento). Já a  $tg\theta$ , referente ao ângulo entre o meio-fio e a rua, é dada como o inverso da declividade transversal da sarjeta, fixada em 8,33%. Sendo assim, a  $tg\theta$ , calculada de acordo com as condições previstas em projeto, tem valor igual a 12 (doze).

Quanto ao coeficiente de deflúvio ( $f$ ), para atender situações futuras de ocupação do solo na área urbana do município, a Diretriz Geral de Drenagem Pluvial de Loteamento da cidade de Uberlândia traz que seu valor deve ser fixado em 0,80.

Outro coeficiente que deve ser utilizado para a determinação da área de drenagem máxima é o coeficiente de distribuição de chuvas ( $m$ ). A determinação desse parâmetro é dado em função da área de drenagem do trecho a ser considerada de acordo com a equação abaixo (Equação 6):

$$m = \left(\frac{1}{A}\right)^{0,15} \quad (6)$$

\* Para  $A < 1$  ha,  $m = 1$ . Sendo que  $m$  deve ser sempre  $\leq 1$ .

Onde:

- $m$ : coeficiente de distribuição de chuvas (adimensional);
- $A$ : área de contribuição (em ha).

Para o presente projeto, todas as áreas de contribuição resultaram em áreas menores que um hectare (conforme demonstrado na Tabela 4), portanto, o valor de  $m$  pôde ser fixado em 1 (um), sendo este um valor adimensional.

Em referência, ainda, aos parâmetros que determinam a área de drenagem máxima de cada trecho, um dos importantes indicados é a verificação do valor do coeficiente de rugosidade de Manning ( $n$ ). A fórmula de Manning resultou de uma simplificação da fórmula de Ganguillet- Kutter e, assim, para cada cada tipo de sarjeta ou pavimento, tem-se um valor determinado de  $n$  que pode ser conferido conforme Tabela 5.

Tabela 5 - Valores do coeficiente de rugosidade “ $n$ ” (GANGUILLET-KUTTER)

TIPO DE SARJETA OU PAVIMENTO	$n$
<b>Sarjeta de concreto, bom acabamento</b>	0,012
<b>Pavimento de asfalto</b>	
Textura lisa	0,013
Textura áspera	0,016
<b>Sarjeta de concreto, com pavimento de asfalto</b>	
Textura lisa	0,013
Textura áspera	0,015

Fonte: Autor (2023)

Portando, para a superfície de projeto, a rugosidade de Manning é dada como 0,015 (superfície de concreto, com pavimento de asfalto em textura áspera).

Dado o exposto, uma vez verificados todos os coeficientes que compõem o cálculo da área de drenagem máxima, determinou-se a mesma para cada um dos trechos, conforme apresentado na Tabela 6.

Tabela 6. Cálculo da área de drenagem máxima por trecho

BACIAS	Nº da ordem	TRECHO			Áreas (ha)					Declividades		Admáx (há)	
		rua	da rua	até a rua	montante	montante corrigida	trecho	jusante	jusante corrigida	I < Imáx	I > Imáx		
BACIA 2	1	1	L	K	0,0000	0,0000	0,3535	0,3535	0,3535	0,0085	-	0,5934	
	2	1	K	J	0,0000	0,0000	0,2606	0,2606	0,2606	0,0095	-	0,6272	
BACIA 1	3	1	J	I	0,2606	0,2606	0,2206	0,4811	0,4811	0,0166	-	0,8303	
	4	1	I	H	0,4811	0,4811	0,2528	0,7340	0,7340	0,0179	-	0,8633	
	5	1	H	G	0,7340	0,7340	0,2605	0,9945	0,9945	0,0247	-	1,0127	
	6	1	G	F	0,9945	0,9945	0,2427	1,2372	0,0000	0,0256	-	1,0302	
	7	1	F	E	0,0000	0,0000	0,2784	0,2784	0,2784	0,0239	-	0,9970	
	8	1	E	D	0,2784	0,2784	0,5316	0,8100	0,8100	0,0235	-	0,9878	
	9	1	D	C	0,8100	0,8100	0,2695	1,0795	0,0000	0,0246	-	1,0109	
	10	1	C	B	0,0000	0,0000	0,7521	0,7521	0,7521	0,0233	-	0,9838	
	11	1	B	A	0,7521	0,7521	0,8695	1,6216	0,0000	0,0209	-	0,9317	
	BACIA 2	12	K	1	2	0,3535	0,3535	0,4787	0,8322	0,0000	0,0170	-	0,4200
		13	K	2	3	0,0000	0,0000	0,6448	0,6448	0,0000	0,0123	-	0,3573
14		K	3	4	0,0000	0,0000	0,7894	0,7894	0,0000	0,0242	-	0,5011	
15		K	4	5	0,0000	0,0000	0,9050	0,9050	0,0000	0,0226	-	0,4845	
16		K	5	6	0,0000	0,0000	0,9082	0,9082	0,0000	0,0333	-	0,5882	
17		K	6	7	0,0000	0,0000	0,9831	0,9831	0,0000	0,0266	-	0,5259	
18		J	1	2	0,0000	0,0000	0,3740	0,3740	0,3740	0,0137	-	0,3766	
19		J	2	3	0,3740	0,3740	0,3719	0,7459	0,0000	0,0140	-	0,3818	
20		J	3	4	0,0000	0,0000	0,3863	0,3863	0,3863	0,0194	-	0,4484	
21		J	4	5	0,6525	0,0000	0,3817	0,3817	0,3817	0,0260	-	0,5197	
22		J	5	6	0,3817	0,3817	0,5537	0,9354	0,0000	0,0256	-	0,5152	
23		J	6	7	0,0000	0,0000	0,6233	0,6233	0,0000	0,0312	-	0,5689	
24		I	1	2	0,0000	0,0000	0,3897	0,3897	0,0000	0,0088	-	0,3017	
25		I	2	3	0,0000	0,0000	0,3708	0,3708	0,3708	0,0147	-	0,3904	
26		I	3	4	0,3708	0,3708	0,4179	0,7887	0,0000	0,0174	-	0,4251	
27		I	4	5	0,3242	0,3242	0,3061	0,6303	0,0000	0,0266	-	0,5260	
28		I	5	6	0,0000	0,0000	0,5626	0,5626	0,5626	0,0314	-	0,5714	
29		I	6	7	0,5626	0,0000	0,5643	0,5643	0,0000	0,0261	-	0,5205	
30		H	1	2	0,0000	0,0000	0,4573	0,4573	0,0000	0,0076	-	0,2806	
31		H	2	3	0,0000	0,0000	0,3696	0,3696	0,3696	0,0158	-	0,4049	
32		H	3	4	0,3696	0,3696	0,4220	0,7916	0,0000	0,0202	-	0,4583	
33		H	4	5	0,0000	0,0000	0,2979	0,2979	0,2979	0,0265	-	0,5250	
34		H	5	6	0,2979	0,2979	0,5669	0,8648	0,0000	0,0239	-	0,4979	
35		H	6	7	0,0000	0,0000	0,5334	0,5334	0,0000	0,0246	-	0,5057	
36		G	1	2	0,0000	0,0000	0,4762	0,4762	0,0000	0,0084	-	0,2951	
37		G	2	3	0,0000	0,0000	0,3685	0,3685	0,3685	0,0151	-	0,3962	
38		G	3	4	0,3685	0,3685	0,4108	0,7793	0,0000	0,0146	-	0,3889	
39		G	4	5	0,0000	0,0000	0,3354	0,3354	0,3354	0,0253	-	0,5124	
40		G	5	6	0,3354	0,3354	0,5661	0,9015	0,0000	0,0258	-	0,5172	
41		G	6	7	0,0000	0,0000	0,5545	0,5545	0,0000	0,0232	-	0,4905	
42		F	1	2	0,0000	0,0000	0,5809	0,5809	0,0000	0,0084	-	0,2953	
43		F	2	3	0,0000	0,0000	0,3673	0,3673	0,0000	0,0095	-	0,3143	
44		F	3	4	0,0000	0,0000	0,5161	0,5161	0,0000	0,0211	-	0,4680	
45		F	4	5	0,0000	0,0000	0,4121	0,4121	0,4121	0,0237	-	0,4958	
46		F	5	6	0,4121	0,4121	0,5653	0,9774	0,0000	0,0216	-	0,4737	
47		F	6	7	0,0000	0,0000	0,5730	0,5730	0,0000	0,0218	-	0,4762	
48	4	K	J	0,0000	0,0000	0,2662	0,2662	0,2662	0,0096	-	0,3158		
49	4	J	I	0,0000	0,0000	0,3242	0,3242	0,3242	0,0136	-	0,3764		
50	4	I	H	0,0000	0,0000	0,3666	0,3666	0,3666	0,0230	-	0,4886		
51	4	H	G	0,0000	0,0000	0,3429	0,3429	0,3429	0,0221	-	0,4790		
52	4	G	F	0,3429	0,3429	0,3346	0,6775	0,0000	0,0270	-	0,5295		
53	7	L	K	0,0000	0,0000	0,4159	0,4159	0,4159	0,0044	-	0,4256		
54	7	K	J	0,4159	0,4159	0,3802	0,7961	0,0000	0,0068	-	0,5313		
55	7	J	I	0,0000	0,0000	0,3737	0,3737	0,3737	0,0070	-	0,5390		
56	7	I	H	0,3737	0,3737	0,3756	0,7493	0,0000	0,0112	-	0,6823		
57	7	H	G	0,0000	0,0000	0,3665	0,3665	0,3665	0,0150	-	0,7885		
58	7	G	F	0,3665	0,3665	0,2697	0,6362	0,6362	0,0194	-	0,8987		
59	7	F	E	0,0000	0,0000	0,3263	0,3263	0,3263	0,0209	-	0,9328		

Fonte: Autor (2023)

#### 4.4 INCLUSÃO DOS DISPOSITIVOS DE DRENAGEM: BOCAS DE LOBO E POÇOS DE VISITA

De posse dos valores das áreas de drenagem máximas, para locação das bocas de lobo foram verificadas as áreas de contribuição a montante e jusante de cada um dos trechos. Isto é, caso a área de montante ou jusante resultem em valores excedentes à área de drenagem máxima calculada, deve-se locar as bocas de lobo no início ou fim do trecho.

A partir dessa verificação, obteve-se como resultados os seguintes pontos de inserção de bocas de lobo no projeto (Tabela 7):

Tabela 7. Pontos de locação de bocas de lobo no empreendimento

BACIAS	Nº da ordem	TRECHO			Áreas (ha)				Admáx (há)	Condição a necessidade de B.L	Condição a B.L montante	
		rua	da rua	até a rua	montante	montante corrigida	trecho	jusante				jusante corrigida
BACIA 2	1	1	L	K	0,0000	0,0000	0,3535	0,3535	0,3535	0,5934	-	-
	2	1	K	J	0,0000	0,0000	0,2606	0,2606	0,2606	0,6272	-	-
	3	1	J	I	0,2606	0,2606	0,2206	0,4811	0,4811	0,8303	-	-
	4	1	I	H	0,4811	0,4811	0,2528	0,7340	0,7340	0,8633	-	-
	5	1	H	G	0,7340	0,7340	0,2605	0,9945	0,9945	1,0127	-	-
	6	1	G	F	0,9945	0,9945	0,2427	1,2372	0,0000	1,0302	Inserir B.L	-
	7	1	F	E	0,0000	0,0000	0,2784	0,2784	0,2784	0,9970	-	-
	8	1	E	D	0,2784	0,2784	0,5316	0,8100	0,8100	0,9878	-	-
	9	1	D	C	0,8100	0,8100	0,2695	1,0795	0,0000	1,0109	Inserir B.L	-
	10	1	C	B	0,0000	0,0000	0,7521	0,7521	0,7521	0,9838	-	-
	11	1	B	A	0,7521	0,7521	0,8695	1,6216	0,0000	0,9317	Inserir B.L	-
BACIA 1	12	K	1	2	0,3535	0,3535	0,4787	0,8322	0,0000	0,4200	Inserir B.L	-
	13	K	2	3	0,0000	0,0000	0,6448	0,6448	0,0000	0,3573	Inserir B.L	-
	14	K	3	4	0,0000	0,0000	0,7894	0,7894	0,0000	0,5011	Inserir B.L	-
	15	K	4	5	0,0000	0,0000	0,9050	0,9050	0,0000	0,4845	Inserir B.L	-
	16	K	5	6	0,0000	0,0000	0,9082	0,9082	0,0000	0,5882	Inserir B.L	-
	17	K	6	7	0,0000	0,0000	0,9831	0,9831	0,0000	0,5259	Inserir B.L	-
	18	J	1	2	0,0000	0,0000	0,3740	0,3740	0,3740	0,3766	-	-
	19	J	2	3	0,3740	0,3740	0,3719	0,7459	0,0000	0,3818	Inserir B.L	-
	20	J	3	4	0,0000	0,0000	0,3863	0,3863	0,3863	0,4484	-	-
	21	J	4	5	0,6525	0,0000	0,3817	0,3817	0,3817	0,5197	-	Inserir B.L a montante
	22	J	5	6	0,3817	0,3817	0,5537	0,9354	0,0000	0,5152	Inserir B.L	-
	23	J	6	7	0,0000	0,0000	0,6233	0,6233	0,0000	0,5689	Inserir B.L	-
	24	I	1	2	0,0000	0,0000	0,3897	0,3897	0,0000	0,3017	Inserir B.L	-
	25	I	2	3	0,0000	0,0000	0,3708	0,3708	0,3708	0,3904	-	-
	26	I	3	4	0,3708	0,3708	0,4179	0,7887	0,0000	0,4251	Inserir B.L	-
	27	I	4	5	0,3242	0,3242	0,3061	0,6303	0,0000	0,5260	Inserir B.L	-
	28	I	5	6	0,0000	0,0000	0,5626	0,5626	0,5626	0,5714	-	-
	29	I	6	7	0,5626	0,0000	0,5643	0,5643	0,0000	0,5205	Inserir B.L	Inserir B.L a montante
	30	H	1	2	0,0000	0,0000	0,4573	0,4573	0,0000	0,2806	Inserir B.L	-
	31	H	2	3	0,0000	0,0000	0,3696	0,3696	0,3696	0,4049	-	-
	32	H	3	4	0,3696	0,3696	0,4220	0,7916	0,0000	0,4583	Inserir B.L	-
	33	H	4	5	0,0000	0,0000	0,2979	0,2979	0,2979	0,5250	-	-
	34	H	5	6	0,2979	0,2979	0,5669	0,8648	0,0000	0,4979	Inserir B.L	-
	35	H	6	7	0,0000	0,0000	0,5334	0,5334	0,0000	0,5057	Inserir B.L	-
	36	G	1	2	0,0000	0,0000	0,4762	0,4762	0,0000	0,2951	Inserir B.L	-
	37	G	2	3	0,0000	0,0000	0,3685	0,3685	0,3685	0,3962	-	-
	38	G	3	4	0,3685	0,3685	0,4108	0,7793	0,0000	0,3889	Inserir B.L	-
	39	G	4	5	0,0000	0,0000	0,3354	0,3354	0,3354	0,5124	-	-
	40	G	5	6	0,3354	0,3354	0,5661	0,9015	0,0000	0,5172	Inserir B.L	-
	41	G	6	7	0,0000	0,0000	0,5545	0,5545	0,0000	0,4905	Inserir B.L	-
	42	F	1	2	0,0000	0,0000	0,5809	0,5809	0,0000	0,2953	Inserir B.L	-
	43	F	2	3	0,0000	0,0000	0,3673	0,3673	0,0000	0,3143	Inserir B.L	-
	44	F	3	4	0,0000	0,0000	0,5161	0,5161	0,0000	0,4680	Inserir B.L	-
	45	F	4	5	0,0000	0,0000	0,4121	0,4121	0,4121	0,4958	-	-
	46	F	5	6	0,4121	0,4121	0,5653	0,9774	0,0000	0,4737	Inserir B.L	-
	47	F	6	7	0,0000	0,0000	0,5730	0,5730	0,0000	0,4762	Inserir B.L	-
	48	4	K	J	0,0000	0,0000	0,2662	0,2662	0,2662	0,3158	-	-
	49	4	J	I	0,0000	0,0000	0,3242	0,3242	0,3242	0,3764	-	-
	50	4	I	H	0,0000	0,0000	0,3666	0,3666	0,3666	0,4886	-	-
	51	4	H	G	0,0000	0,0000	0,3429	0,3429	0,3429	0,4790	-	-
	52	4	G	F	0,3429	0,3429	0,3346	0,6775	0,0000	0,5295	Inserir B.L	-
	53	7	L	K	0,0000	0,0000	0,4159	0,4159	0,4159	0,4256	-	-
	54	7	K	J	0,4159	0,4159	0,3802	0,7961	0,0000	0,5313	Inserir B.L	-
	55	7	J	I	0,0000	0,0000	0,3737	0,3737	0,3737	0,5390	-	-
	56	7	I	H	0,3737	0,3737	0,3756	0,7493	0,0000	0,6823	Inserir B.L	-
	57	7	H	G	0,0000	0,0000	0,3665	0,3665	0,3665	0,7885	-	-
	58	7	G	F	0,3665	0,3665	0,2697	0,6362	0,0000	0,8987	-	-
59	7	F	E	0,0000	0,0000	0,3263	0,3263	0,3263	0,9328	-	-	

Fonte: Autor (2023)

Os poços de visita (PV) possui locação sugerida nos pontos de mudanças de direção, cruzamento de ruas (reunião de vários coletores), mudanças de declividade e mudança de diâmetro, onde o espaçamento máximo recomendado para canalizações com diâmetro de 30 cm é de 100 m; para canalizações entre 50 e 90 cm de 150 m e para canalizações iguais ou superior a 1,0 m, espaçamento máximo de 180 m.

No presente projeto foram adotados os espaçamentos máximos de 100m. Para entendimento do projeto, segue abaixo a simbologia adotada como referência para as bocas de lobo e poços de visita, juntamente a um exemplo de trecho de rede demonstrando a distância entre os PV's (Figuras 12 e 13).

Figura 12. Distância entre poços de visita



Fonte: Autor (2023)

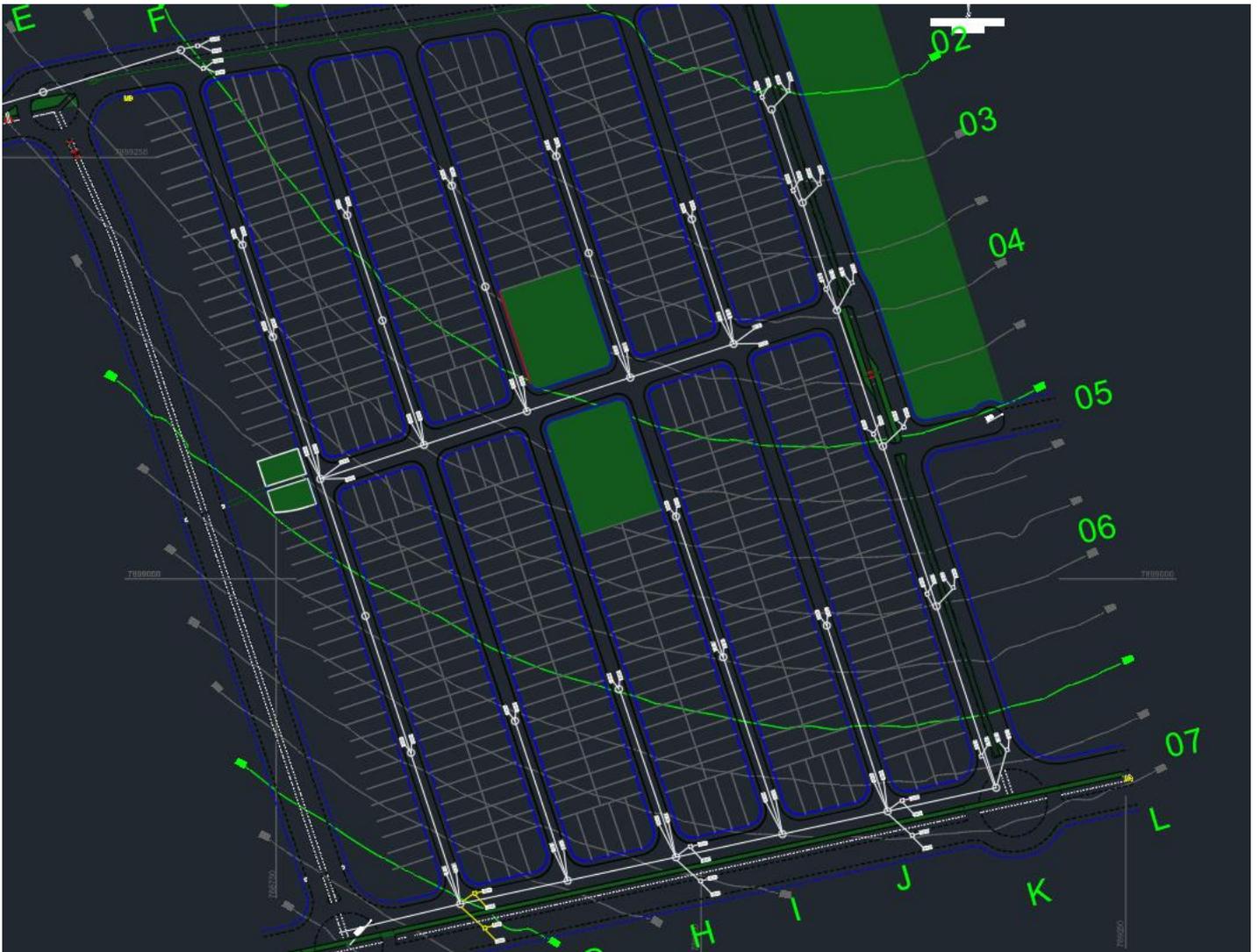
Figura 13. Legenda - bocas de lobo e poços de visita



Fonte: Autor (2023)

Uma visão geral da locação em plantas dos dispositivos de drenagem pode ser conferida na Figura 14.

Figura 14. Locação das bocas de lobo e poços de visita



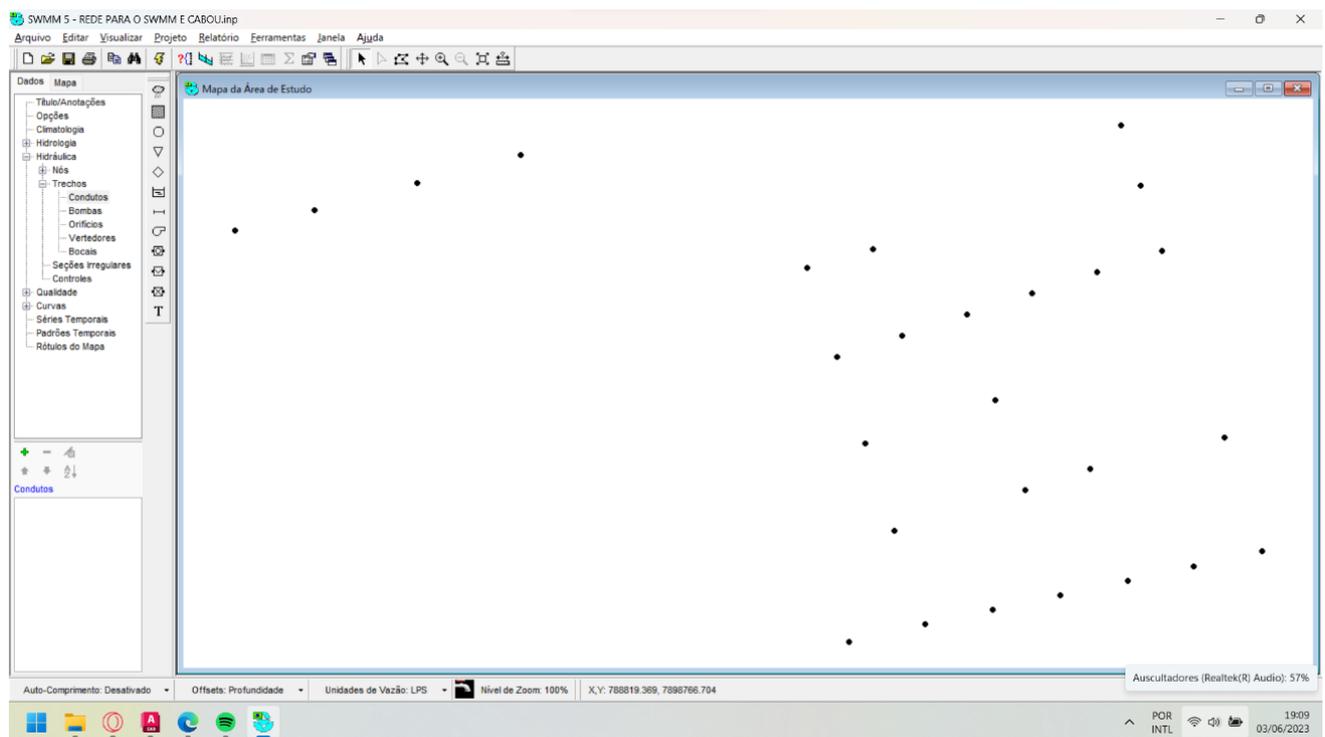
Fonte: Autor (2023)

#### 4.5 DIMENSIONAMENTO DA REDE DE DRENAGEM NO SWMM

Para determinação dos diâmetros necessários ao escoamento das águas pluviais, utilizou-se o *software* SWMM 5.0. Sendo assim, para o uso do mesmo, realizou-se a conversão do arquivo de base em *.dxt* (exportado do *AutoCAD*) para o formato *.inp* através da ferramenta de apoio EpaCAD, sendo que, para leitura do projeto pelo *software*, fez-se necessário modelar a rede de drenagem em uma única *layer*.

Vale salientar que, quando lançada a rede no SWMM, o *software* gera “nós” em todas as arestas da rede desenhada. Portanto, as bocas de lobo e caixas de passagem foram desenhadas em *layers* diferentes da escolhida para a rede, a fim de que não fossem gerados pontos incorretamente. O mapa de “nós” resultante da análise inicial da rede pelo SWMM está demonstrado na Figura 15.

Figura 15. Mapa de "nós" gerado pelo SWMM

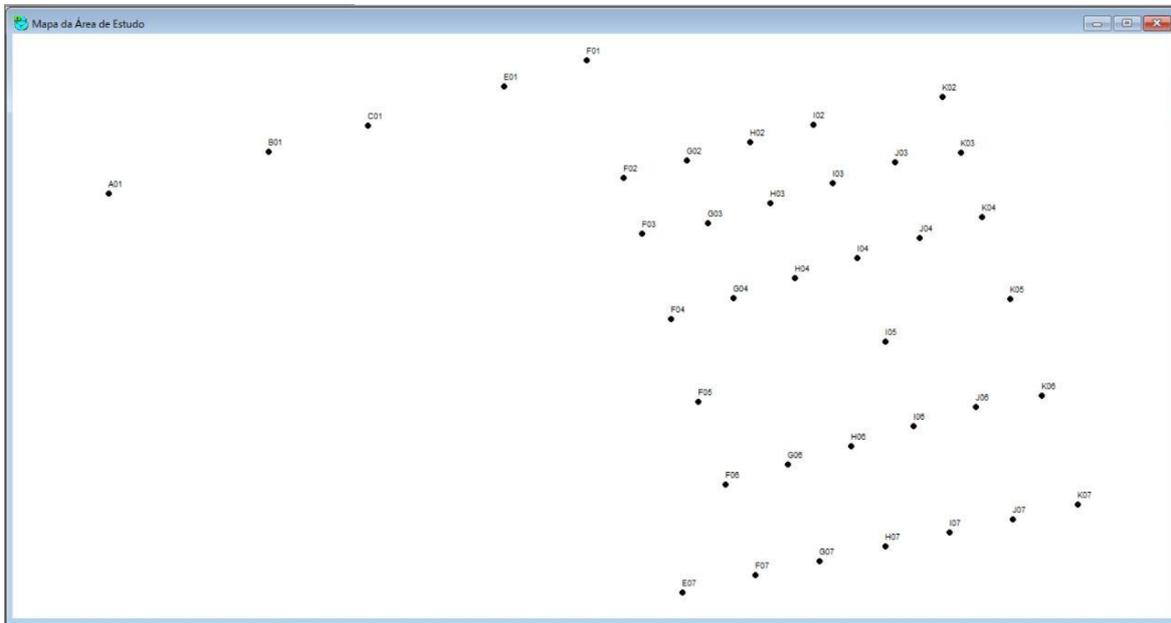


Fonte: Autor (2023)

Ainda, é importante ressaltar que, diante a transformação dos arquivos entre *softwares*, o SWMM pode gerar nós sobrepostos. Assim, para garantir que o mapa gerado esteja nas condições corretas de análise, foi realizada uma configuração adicional no SWMM de maneira que fossem exibidos os nomes dos nós e, após conferência, deletou-se os nós que

não estavam de acordo à concepção do projeto. O mapa com as nomenclaturas dos nós está exemplificado na Figura 16.

Figura 16. Mapa com "nós" nomeados



Fonte: Autor (2023)

Para os PV's (referenciados como os nós no mapa do SWMM) foram inseridas as "cotas radier" que são as cotas do fundo dos PV's retiradas do Projeto Urbanístico. Além disso, definiu-se também a profundidade máxima dos PV's que, para o presente projeto, o qual utilizou-se o valor do diâmetro da tubulação no trecho, acrescido do cobrimento mínimo de 1 metro, conforme demonstrado na Figura 17, onde o diâmetro foi de 1200 mm.

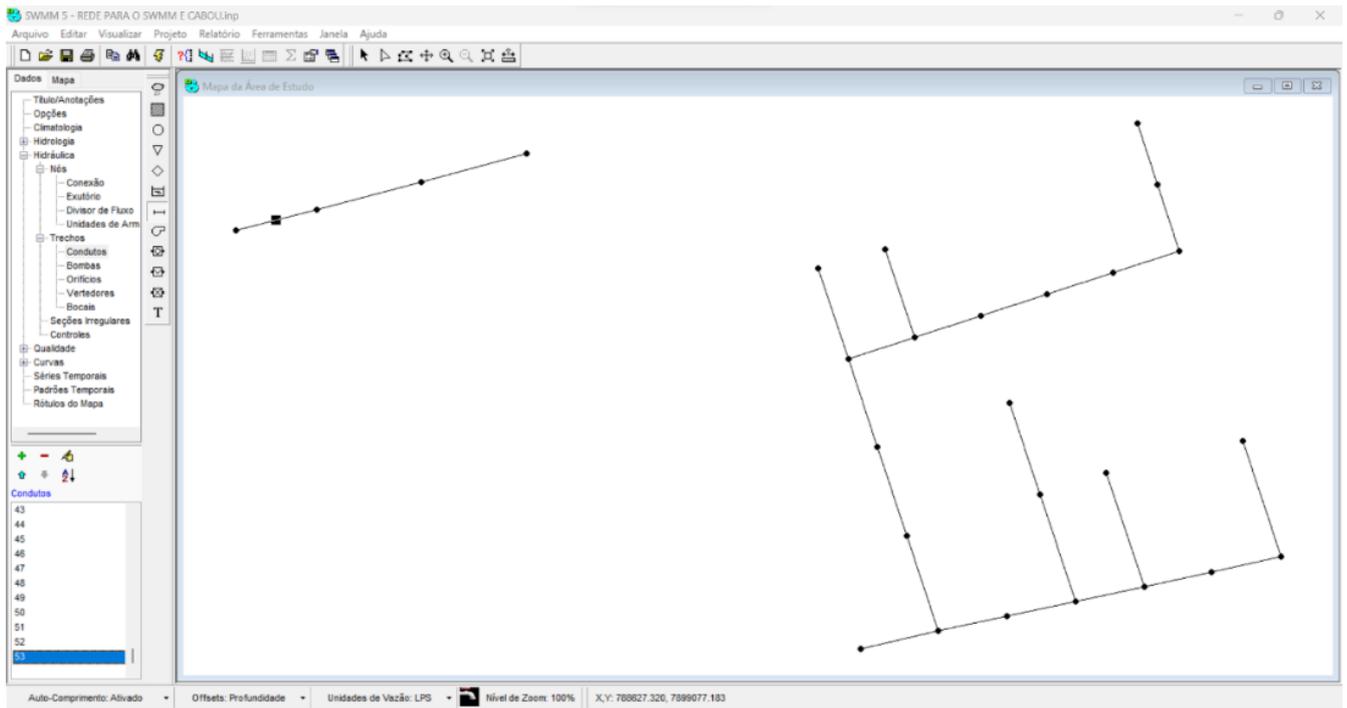
Figura 17. Configuração de PV's ou "nós" no SWMM

Nó C01	
Propriedades	Valor
Identificador	C01
X-Coordinate	788479.985
Y-Coordinate	7899249.812
Descrição	
Etiqueta	
Afluência	NO
Tratamento	NO
Cota do radier	864.189
Profundidade Max.	2.2
Profundidade Inicial	0
Profundidade de Sobrecarga	0
Área alagada	0

Fonte: Autor (2023)

Após esta etapa, iniciou-se a inserção dos condutos no mapa, como a rede do loteamento já estava georreferenciada, os nós convertidos do arquivo original são lidos pelo SWMM com suas distâncias corretas, logo, bastou realizar a simples ligação entre os pontos, resultando no comprimento correto dos condutos. A modelagem da rede de drenagem segue demonstrada na Figura 18.

Figura 18. Modelagem da rede de drenagem no SWMM



Fonte: Autor (2023)

Além do comprimento também foram inseridas as informações de seção transversal do conduto (dado de “forma” no SWMM), a profundidade máxima do conduto e o coeficiente de Manning referente ao material de constituição (conforme Figura 19). Nesse sentido, optou-se por utilizar condutos de formato circular, com diâmetro de 600 milímetros e coeficiente de Manning equivalente a 0,015 referente a condutos de concreto em condições regulares (Figura 20).

Figura 19. Inserção de dados dos condutos

Conduto 29	
Propriedades	Valor
Identificador	29
Nó de entrada	F03
Nó de saída	F04
Descrição	
Etiqueta	
Forma	CIRCULAR
Profundidade Max.	0.6
Comprimento	88.71
n-Manning	0.015
Offset de entrada	0
Offset de saída	0
Fluxo inicial	0
Fluxo Máximo	0
Coef. Perda na Entrada	0
Coef. Perda na Saída	0

Identificador do conduto escolhido pelo usuário.

Fonte: Autor (2023)

Figura 20. Coeficiente de Manning para condutos

Natureza das paredes	Condições			
	Muito boa	Boa	Regular	Má
Alvenaria de pedra argamassada	0,017	0,020	0,025	0,030
Alvenaria de pedra aparelhada	0,013	0,014	0,015	0,017
Alvenaria de pedra seca	0,025	0,033	0,033	0,035
Alvenaria de tijolos	0,012	0,013	0,015*	0,017
Calhas metálicas lisas (semicirculares)	0,011	0,012	0,013	0,015
Canais abertos em rocha (irregular)	0,035	0,040	0,045	-
Canais c/ fundo em terra e talude c/ pedras	0,028	0,030	0,033	0,035
Canais c/ leito pedregoso e talude vegetado	0,025	0,030	0,035	0,040
Canais com revestimento de concreto	0,012	0,014*	0,016	0,018
Canais de terra (retilíneos e uniformes)	0,017	0,020	0,023	0,025
Canais dragados	0,025	0,028	0,030	0,033
Condutos de barro (drenagem)	0,011	0,012*	0,014*	0,017
Condutos de barro vitrificado (esgoto)	0,011	0,013*	0,015	0,017
Condutos de prancha de madeira aplainada	0,010	0,012*	0,013	0,014
Gabião	0,022	0,030	0,035	-
Superfícies de argamassa de cimento	0,011	0,012	0,013*	0,015
Superfícies de cimento alisado	0,010	0,011	0,012	0,013
Tubo de ferro fundido revestido c/ alcatrão	0,011	0,012*	0,013*	-
Tubo de ferro fundido sem revestimento	0,012	0,013	0,014	0,015
Tubos de bronze ou de vidro	0,009	0,010	0,011	0,013
Tubos de concreto	0,012	0,013	0,015	0,016
Tubos de ferro galvanizado	0,013	0,014	0,015	0,017
Córregos e rios Limpos, retilíneos e uniformes	0,025	0,028	0,030	0,033
Igual anterior porém c/ pedras e vegetação	0,030	0,033	0,035	0,040
Com meandros, bancos e poços, limpos	0,035	0,040	0,045	0,050
Margens espaiadas, pouca vegetação	0,050	0,060	0,070	0,080
Margens espaiadas, muita vegetação	0,075	0,100	0,125	0,150

Fonte: Porto (1998) e Cirilo et al. (2001)

Em continuidade à etapa de inserção dos dados no SWMM também foi incluída a informação do pluviômetro que contém os dados básicos de precipitação, o intervalo, a origem dos dados e a unidade de precipitação.

Dado o exposto, o formato de precipitação foi determinado como “precipitação acumulativa”, o intervalo para precipitação definido de 10 minutos e a unidade de precipitação em milímetros, conforme demonstrado na Figura 21.

Figura 21. Dados Pluviômetro

Pluviômetro PLUV01	
Propriedades	Valor
Identificador	PLUV01
Coordenada X	788357.334
Coordenada Y	7898993.613
Descrição	
Etiqueta	
Formato de Precipitação	CUMULATIVE
Intervalo de Precipitação	0:10
Fator Neve	1.0
Origem de Dados	TIMESERIES
SÉRIE TEMPORAL:	
- Nome	PLUV01
ARQUIVO:	
- Nome	*
- Nº Estação	*
- Unidade de Precipitação	MM

Fonte: Autor (2023)

Como a origem dos dados será no formato de Série temporal (TIMESERIES) foi inserida manualmente a precipitação de acordo com a intensidade de chuva calculada de 181,5 mm/h. É válido ressaltar que a intensidade pluviométrica para o dimensionamento hidráulico é dada pela equação intensidade-duração-frequência de uma localidade ou de uma região, sendo assim, a intensidade utilizada no presente trabalho foi calculada a partir da equação definida por Petrucci (2018) para a cidade de Uberlândia-MG (Equação 7):

$$I = \frac{330,4083 * T^{0,1452}}{t^{0,6164}} \quad (7)$$

Onde:

- I: intensidade de chuva (em mm/h);
- T: Tempo de retorno ou tempo de recorrência (em anos);
- t: tempo de duração da chuva (em min).

Conforme determina a Diretriz Geral de Drenagem Pluvial de Loteamento de Uberlândia, o tempo de recorrência adotado foi de 15 (quinze anos), valor mínimo admitido para redes pluviais. Já para o tempo de duração da chuva ou tempo de precipitação foi fixado o valor de 15 (quinze) minutos.

Porém, apesar do tempo de precipitação para o cálculo da intensidade pluviométrica ter sido considerado com o valor de 5 (cinco) minutos, optou-se por aumentar esse intervalo de chuvas para a realização da análise de “Série Temporal” dentro do SWMM, isto é, fez-se a divisão do tempo de chuva em intervalos de 10 minutos, de maneira que fosse otimizada a análise realizada pelo programa acelerando o processamento. O preenchimento “Série Temporal” segue demonstrada na Figura 22.

Figura 22. Série Temporal

Editor de Série Temporal

Nome da Série Temporal  
PLUV01

Descrição

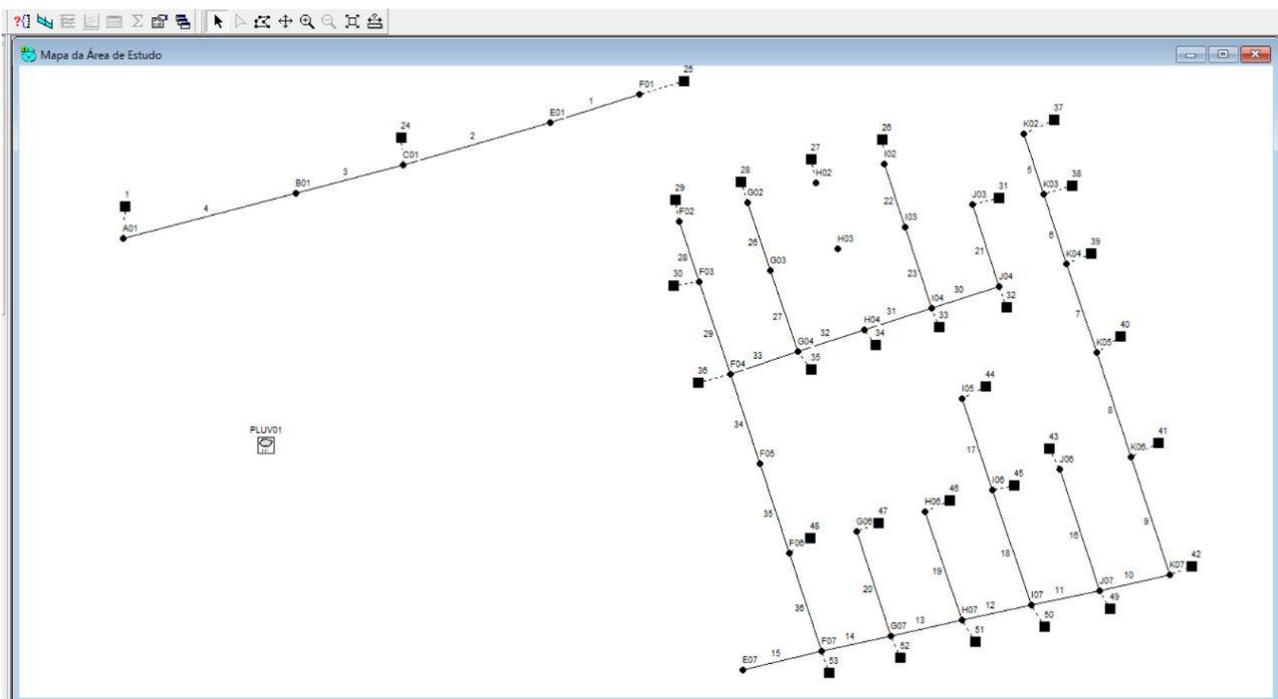
Inserir os dados da série temporal da tabela abaixo  
Dados sem data se referem ao início da simulação

Data (D/M/Y)	Tempo (H:M)	Valor
	0	0
	0:10	30.25
	0:20	60.5
	0:30	90.75
	0:40	121
	0:50	151.25
	1:00	181.5

Fonte: Autor (2023)

Com os condutos definidos e o pluviômetro configurado, devem ser criadas as sub-bacias que, dentro do SWMM, representam as próprias bocas de lobo, isto é, são os pontos de referência para entrada de água no sistema. Essas contribuições são representadas pelos “quadrinhos” no mapa do SWMM, conforme demonstrado na Figura 23.

Figura 23. Pontos de entrada de água no sistema



Fonte: Autor (2023)

Dentre os parâmetros utilizados na configuração de cada sub-bacia, deve-se inserir o pluviômetro de referência, a área da sub-bacia (área coletada pela boca de lobo) e o exutório que se refere ao “nó” ou PV que receberá a contribuição de água para destinar a coleta pela rede, sendo necessário, ainda, configurar individualmente cada sub-bacia, uma vez que a contribuição para cada PV tem valores diferentes. Um exemplo de configuração pode ser conferido na Figura 24.

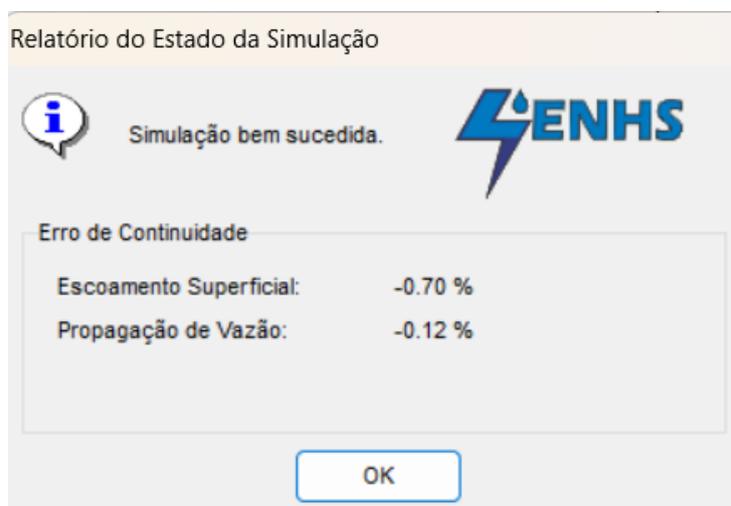
Figura 24. Exemplo de configuração das Sub-bacias

Sub-bacia 29	
Propriedades	Valor
Identificador	29
Coordenada X	788726.901
Coordenada Y	7899218.252
Descrição	
Etiqueta	
Pluviômetro	PLUV01
Exutório	F02
Área	0.5809
Largura	500
% Declividade	0.5
% Impermeável	25
n-Impermeável	0.01
n-Permeável	0.1
PA-Impermeável	0.05
Pluviômetro associado com a sub-bacia	

Fonte: Autor (2023)

Realizadas todas as configurações, executou-se a simulação. Assim, de acordo com relatório satisfatoriamente obtido pelo *software* e, como houve uma baixa taxa de erros de continuidade, pôde-se considerar a simulação como adequada para utilização no dimensionamento, conforme apresentado na Figura 25.

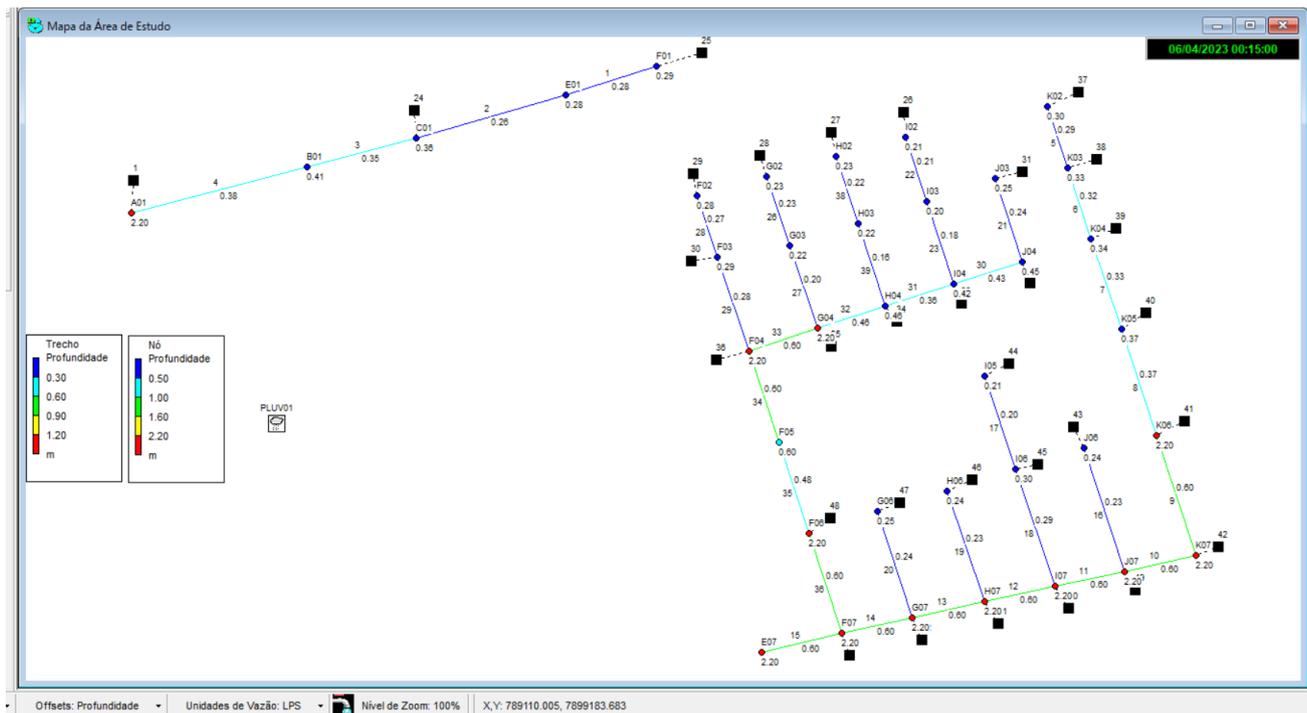
Figura 25. Relatório de simulação dado pelo SWMM



Fonte: Autor (2023)

Após executada a simulação, a partir das análises realizadas pelo *software* foram obtidos os dados de velocidade de escoamento em cada trecho, vazão, profundidade em cada trecho (referente à altura de lâmina de água na tubulação) e nível de água nos poços de visita. Na Figura 26 pode ser observado um demonstrativo do relatório inicial dado pelo SWMM.

Figura 26. Análise inicial realizada pelo SWMM



Fonte: Autor (2023)

Como resultado da primeira análise, utilizando-se condutos de 600 milímetros, valor adotado de boa prática, o qual é recomendado para evitar problemas de acúmulo de materiais grosseiros. Neste caso, não houve velocidades acima de 5 m/s (velocidade máxima permitida para redes de drenagem pluvial de acordo com a Diretriz Geral de Drenagem Pluvial de Loteamento de Uberlândia-MG), portanto, o resultado obtido pode ser considerado aceitável.

Entretanto, para os poços de visita foram atingidas as alturas máximas de 2,20 metros e as alturas de lâmina de água dentro dos condutos alcançaram a cota de 600 milímetros, sendo toda a área da seção transversal preenchida. Este ponto já invalida a primeira

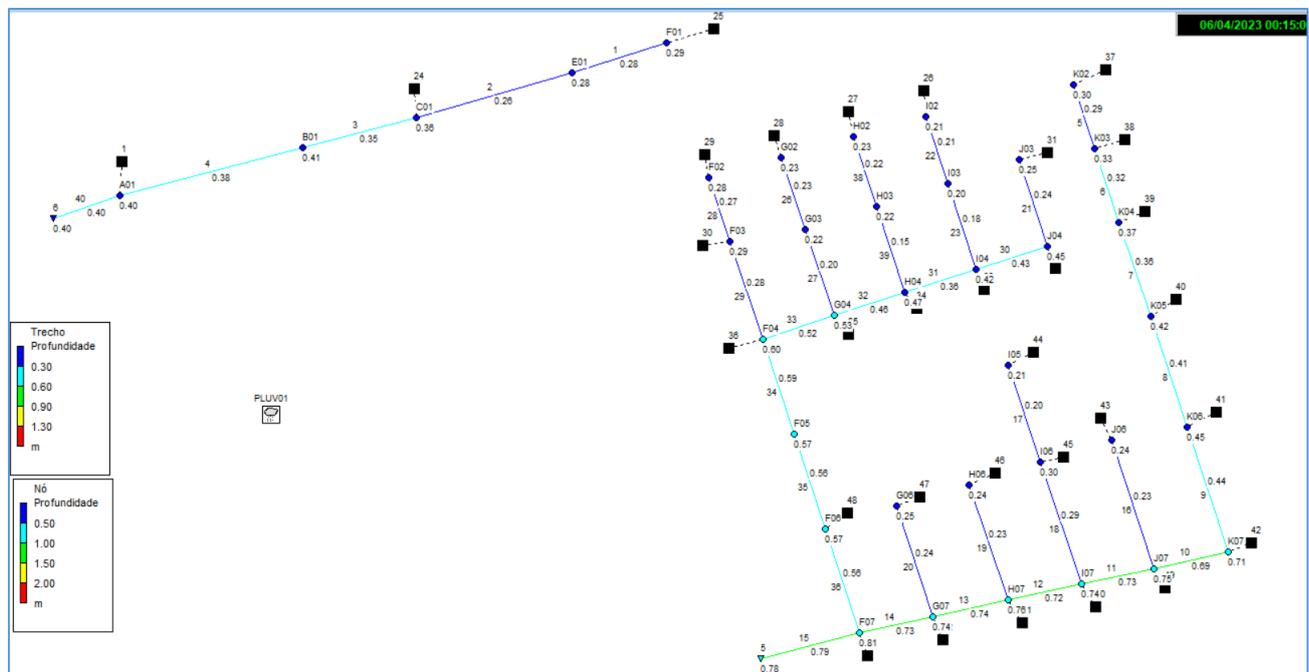
alternativa de dimensionamento, uma vez que os condutos não devem trabalhar com seção afogada.

Além disso, observou-se que as vazões em trechos adjacentes diminuíram, indicando extravasamento de água, o que ocasionaria em enchentes, demonstrando que os diâmetros estipulados não foram suficientes para drenagem.

Deste modo foi realizada a reanálise do dimensionamento e, após algumas tentativas, foram definidos novos valores de diâmetro para as tubulações de maneira a atender a todos os critérios para o correto funcionamento do sistema de drenagem.

Sendo assim, os pontos mais distantes ao exutório resultaram em diâmetros iniciais de 600 milímetros e aumentando gradativamente conforme o aumento de área de contribuição até o diâmetro máximo de 1500 milímetros. A análise final do projeto demonstrada na Figura 27 e o projeto de drenagem com os detalhes da rede do loteamento segue também em anexo (Anexo A).

Figura 27. Análise final de dimensionamento da rede de drenagem



Fonte: Autor (2023)

## 5 CONCLUSÃO

No decorrer do estudo, tornou-se evidente a importância do adequado dimensionamento de sistemas de drenagem urbana, uma vez que sua utilização desempenha um papel crucial na mitigação dos efeitos adversos decorrentes de inundações.

Diante dos desafios apresentados pela urbanização, é imprescindível que os governos e os órgãos responsáveis pela gestão urbana adotem políticas e planos de ação voltados para a implementação de soluções cada vez mais sustentáveis de drenagem urbana. Essas medidas devem considerar a integração de diferentes setores, como o planejamento urbano, o saneamento básico, a gestão de resíduos sólidos, a preservação ambiental e a adoção de novas tecnologias que possibilitem otimizar os projetos, tornando-os mais efetivos.

Ainda, com base na pesquisa realizada, fica evidente que o Storm Water Management Model (SWMM) é uma ferramenta poderosa e eficaz para o gerenciamento das águas pluviais em áreas urbanas. O estudo permitiu compreender a importância desse modelo na avaliação do comportamento hidrológico e hidráulico dos sistemas de drenagem, além de sua capacidade de prever os impactos das chuvas e auxiliar na tomada de decisões relacionadas ao dimensionamento de projetos de infraestruturas de drenagem.

Ao longo do trabalho, foram identificados os principais componentes do SWMM, como os módulos de hidrologia (com a inserção de dados de chuvas) e o módulo de hidráulica (com a inserção de parâmetros dos condutos, por exemplo). Cada um desses componentes desempenha um papel fundamental na simulação e na análise dos sistemas de drenagem urbana, permitindo a avaliação de diferentes cenários e a identificação de soluções mais eficientes e sustentáveis.

Foi constatado também que o SWMM é uma ferramenta flexível, capaz de lidar com uma ampla gama de condições e características hidrológicas, considerando fatores como o tipo de solo, a topografia, a cobertura vegetal e o uso do solo. Essa capacidade de adaptação do modelo é fundamental para lidar com a complexidade e a variabilidade dos sistemas de drenagem urbanos.

No entanto, é importante ressaltar que o sucesso do uso do SWMM depende da disponibilidade de dados precisos e confiáveis, bem como de uma análise criteriosa dos resultados obtidos. Além disso, a implementação do modelo requer conhecimentos técnicos específicos e uma equipe capacitada, o que pode representar um desafio para algumas localidades.

Diante disso, conclui-se que o Storm Water Management Model é uma ferramenta valiosa para o planejamento e gerenciamento das águas pluviais em áreas urbanas. Seu uso adequado pode contribuir significativamente para a redução dos problemas relacionados a enchentes, inundações e poluição hídrica, proporcionando uma gestão mais eficiente e sustentável dos recursos hídricos.

No entanto, é fundamental que sejam realizados investimentos na capacitação de profissionais e na coleta de dados precisos, a fim de garantir o máximo aproveitamento dessa ferramenta e a obtenção de resultados confiáveis para a tomada de decisões.

Logo, faz-se necessário também um esforço conjunto de todos os envolvidos, desde os governantes até os cidadãos, para promover ações efetivas de planejamento, implementação e manutenção de sistemas de drenagem urbana adequados, visando um futuro mais resiliente e sustentável para as cidades do país.

## REFERÊNCIAS

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Projeção da População. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/estatisticas/sociais/populacao/9109-projecao-da-populacao.html>>. Acesso em: 06 jun. 2023.

United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division. World Population Prospects. Disponível em: <<https://population.un.org/wpp/>>. Acesso em: 06 jun. 2023.

CANHOLI, A. P. Drenagem Urbana e Controle de Enchentes. 2. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2014.

SILVA, G. F. N. O Plano Diretor Municipal e sua Interface com a Drenagem Urbana. Goiânia: Universidade Federal de Goiás, 2013. Disponível em: <<https://repositorio.bc.ufg.br/bitstream/ri/20863/3/Artigo%20-%20Gerani%20F%20c%20a%20lix%20do%20Nascimento%20Silva%20-%202013.pdf>>. Acesso em: 06 jun. 2023.

BEZERRA MARQUES, C. E. Proposta de método para a formulação de planos diretores de drenagem urbana. Brasília: Universidade de Brasília, 2006. Disponível em: <[https://repositorio.unb.br/bitstream/10482/6621/1/2006\\_Claudia%20Elisabeth%20Bezerra%20Marques.pdf](https://repositorio.unb.br/bitstream/10482/6621/1/2006_Claudia%20Elisabeth%20Bezerra%20Marques.pdf)>. Acesso em: 06 jun. 2023.

MARTINS DE MENEZES, F. C. F.; COSTA, A. R. da. Sistematização para elaboração de projeto de drenagem urbana. In: CONGRESSO DE PESQUISA, ENSINO E EXTENSÃO DA UFG – COMPEEX, 2., 2005, Goiânia. Anais eletrônicos do XIII Seminário de Iniciação Científica [CD-ROM], Goiânia, UFG, 2005.2p.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES (DNIT). IPR-736: Álbum de Projetos-tipo de dispositivos de drenagem 5. ed. Rio de Janeiro, RJ: DNIT, 2018. Disponível em: <[https://www.gov.br/dnit/pt-br/assuntos/planejamento-e-pesquisa/ipr/coletanea-de-manuais/vigentes/publicacao-ipr-736/publicacao-ipr-736\\_atualizado-com-a-emenda-1.pdf](https://www.gov.br/dnit/pt-br/assuntos/planejamento-e-pesquisa/ipr/coletanea-de-manuais/vigentes/publicacao-ipr-736/publicacao-ipr-736_atualizado-com-a-emenda-1.pdf)>. Acesso em: 06 jun. 2023.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Uberlândia. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/mg/uberlandia.html>>. Acesso em: 06 jun. 2023.

BAPTISTA, M. B.; NASCIMENTO, N. O. Aspectos Institucionais e de Financiamento dos Sistemas de Drenagem Urbana. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, Porto Alegre, v. 7, n. 1, jan./mar. 2002.

SEDREZ, L.; MAIA, A. C. N. Apresentação In: Revista do Arquivo Geral da Cidade do Rio de Janeiro. N. 8, p.115, 2014.

SOARES, C. L. Educação física, raízes européias e Brasil. 2. ed. Campinas: Autores Associados, 2001, 143 p.

TUCCI, Carlos E.M. (2008). “Águas Urbanas”. Estudos Avançados. 22 (63). Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/ea/v22n63/v22n63a07.pdf>> Acesso em: 05 jun. 2023.

TUCCI, C. E. M. Inundações urbanas. In. Tucci, C. E. M.; Porto, R. L. L. e Barros, M. T. Drenagem urbana. Porto Alegre, RS: ABRH, 1995. Editora da Universidade. UFRGS

TUCCI, C.E.M. Controle de Enchentes. In: M., Tucci C. E. (Org.). Hidrologia: Ciência e Aplicação. 2. ed. Porto Alegre: ABRH, 1997. Cap. 16. p. 621-658.

REZENDE, D. A., & ULTRAMARI, C. (2007). Plano diretor e planejamento estratégico municipal: introdução teórico-conceitual. Revista De Administração Pública, 41(2), 255 a 272. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/rap/a/5ttcZM34mg6YZpLsmmFH6Hh/?format=pdf&lang=pt>> . Acesso em: 06 jun. 2023.

BRASIL. Lei Federal nº 14.026, de 15 de julho de 2020. Dispõe sobre o Saneamento Básico e altera a Lei nº 9.984, de 17 de julho de 2000, para atribuir à Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. Disponível em :

<[https://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2019-2022/2020/lei/114026.htm](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2020/lei/114026.htm)>. Acesso em 06 jun. 2023.

NASCIMENTO, Rodrigo Silva. **Estudo de Drenagem Urbana aplicando o método tradicional e um método computacional – Plataforma SWMM**. 2018. Trabalho de conclusão de curso - Universidade Estadual do Maranhão, São Luís, 2018.

SILVA, K. A.; FORMIGA K. T .M. Avaliação da aplicação de dispositivos de controle de enchentes na forma de atenuação de cheias em bacias urbanas através da modelagem computacional. In: SIMPOSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 17., 2007 , São Paulo.

SILVA, L. P. E. 2007. Modelagem e Geoprocessamento na identificação de áreas com risco de inundação e erosão na bacia do Rio Cuiá - João Pessoa. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana), UFPB/CT, 114p.

Rossman, L. A. (2009). Storm Water Management Model User's Manual Version 5.0. Cincinnati: U. S. Environmental Protection Agency. USA

CORDEIRO, Andrew Saulo de Lima. **UTILIZAÇÃO DO SWMM-STORM WATER MANAGEMENT MODEL COMO FERRAMENTA DE PLANEJAMENTO DE DRENAGEM URBANA**. 2019. Trabalho de conclusão de curso - Universidade Federal de Pernambuco, Caruaru, 2019.

**ANEXO A**  
**PRANCHA DE DRENAGEM DO LOTEAMENTO**

