

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA

AUGUSTO DIAS ADRIANO

**ANÁLISE DA DRENAGEM URBANA DO LOTEAMENTO ECOPARK EM
UBERLÂNDIA-MG COM USO DO SOFTWARE *SWMM***

**Uberlândia - MG
2021**

AUGUSTO DIAS ADRIANO

**ANÁLISE DA DRENAGEM URBANA DO LOTEAMENTO ECOPARK EM
UBERLÂNDIA-MG COM USO DO SOFTWARE *SWMM***

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como requisito parcial para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia Civil, pela Faculdade de Engenharia Civil da Universidade Federal de Uberlândia, *campus* Santa Mônica.

Orientador: Carlos Eugênio Pereira

**Uberlândia - MG
2021**

AUGUSTO DIAS ADRIANO

**ANÁLISE DA DRENAGEM URBANA DO LOTEAMENTO ECOPARK EM
UBERLÂNDIA-MG COM USO DO SOFTWARE SWMM**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Curso de Engenharia Civil
da Universidade Federal de Uberlândia,
como requisito para obtenção do Título de
Bacharel em Engenharia Civil.

Trabalho de Conclusão de Curso defendido em: ____/____/____.

Banca examinadora:

Prof. Doutor Carlos Eugênio Pereira
Orientador
(FECIV/UFU)

Prof. Doutor José Eduardo Alamy Filho
(FECIV/UFU)

Prof. Msc Iridalques Fernandes de Paula
(FECIV/UFU)

Situação: _____

*Trabalho dedicado aos meus pais,
Helenice e Humberto.*

AGRADECIMENTO

Agradeço inicialmente à minha família, meu pai Humberto, minha mãe Helenice e meus irmãos Lucas e Eduardo que conviveram e apoiaram desde o início desse sonho.

A minha namorada Ana Luísa, pela companhia, cuidado e atenção, impulsionando-me durante as dificuldades.

Aos meus amigos Túlio Alves e Vitor Arantes, pelas inúmeras horas estudadas de maneira descontraída e pela amizade criada que seguirá à frente.

Ao Prof. Dr. Carlos Eugênio pela disponibilidade e paciência como professor e orientador do Trabalho de Conclusão de Curso.

Aos professores da Faculdade de Engenharia Civil que contribuíram para minha formação acadêmica.

À todos meu muito obrigado.

RESUMO

A civilização foi marcada por avanços culturais e tecnológicos que mudaram a forma de vivência e a interação com o meio ambiente. Esse fato trouxe, com o passar dos anos, uma alteração extremamente impactante no meio natural. Fica evidente quando direcionamos ao aumento da população e com isso o surgimento dos centros urbanos, caracterizados pelo alto nível demográfico, compostos por regiões carentes de infraestrutura básica, como abastecimento de água tratada, sistemas de drenagem pluvial e residual. O trabalho em questão, discorrerá sobre a análise do comportamento hidráulico de uma rede de drenagem pluvial urbana, colhendo resultados que caracterizam o escoamento através de um programa, *SWMM*. Com isso, será possível identificar por exemplo, o acontecimento dos alagamentos. Dentro da análise, serão levantadas todas as informações necessárias para a simulação, considerando o projeto aplicado pela incorporadora. Já realizada a simulação, foi identificado nos resultados pontos que a velocidade máxima supera a recomendada pela norma, além de trechos com sobrecargas e pontos de alagamentos. Assim, este Trabalho de Conclusão de Curso contempla a análise do projeto de drenagem pluvial do novo loteamento Ecopark, localizado na cidade de Uberlândia-MG, no bairro Shopping Park, trazendo resultados como velocidade, capacidade, sobrecargas, regimes de escoamento, entre outros, exibidos no fim da simulação computacional gerada pelo programa *SWMM*.

Palavras-Chave: Alagamentos, drenagem urbana, impermeabilização, escoamento, precipitação, bacia hidrográfica urbana, *SWMM*.

ABSTRACT

Civilization was marked by cultural and technological advances that changed the way of living and interacting with the environment. This fact brought, over the years, an extremely impacting change in the natural environment. It is evident when we aim to increase the population and with this the emergence of urban centers, characterized by the high demographic level, composed of regions lacking basic infrastructure, such as treated water supply, rain and waste drainage systems. The work in question will discuss the analysis of the hydraulic behavior of an urban rainwater drainage network, reaping results that characterize the flow through a program, SWMM. With this, it will be possible to identify, for example, the flooding event. Within the analysis, all the necessary information for the simulation will be collected, considering the project applied by the developer. Once the simulation has been carried out, it was identified in the results that the maximum speed exceeds that recommended by the standard, in addition to stretches with overloads and flooding points. Thus, this Course Conclusion Work contemplates the analysis of the rain drainage project of the new Ecopark subdivision, located in the city of Uberlândia-MG, in the Shopping Park neighborhood, bringing results such as speed, capacity, overloads, flow regimes, among others, displayed at the end of the computer simulation generated by the SWMM program.

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

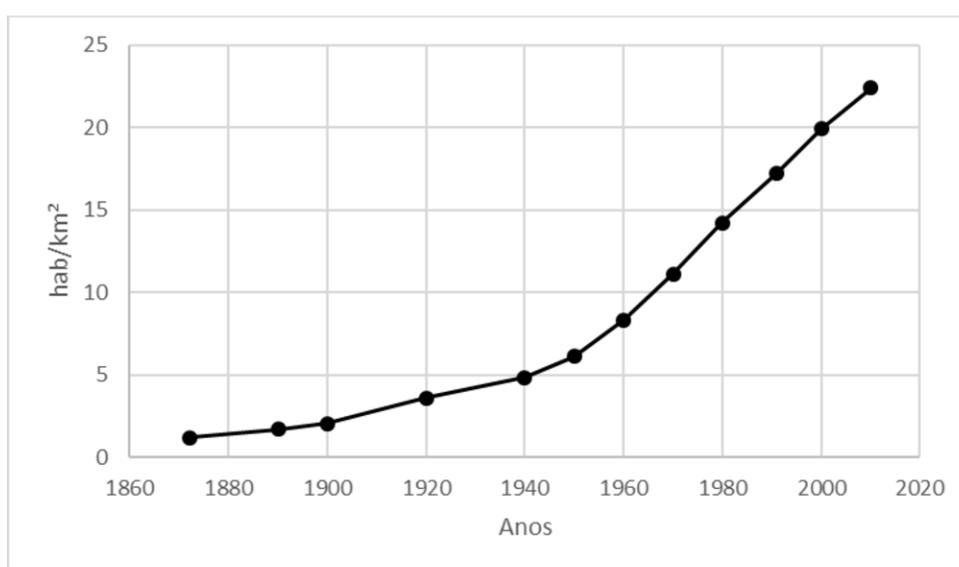
SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	8
2	OBJETIVO	12
2.1	Objetivo Geral	12
2.2	Objetivos Detalhados	12
3	REVISÃO BIBLIOGRAFICA	13
4	MODELAGEM COMPUTACIONAL – MODELO SWMM	17
4.1	Escoamento Superficial	20
4.2	Infiltração	22
4.2.1	Equação de Horton	22
4.2.2	Método de Green-Ampt	23
5	CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	25
5.1	Localização	25
5.2	Geomorfologia	27
5.3	Clima	27
5.4	Drenagem Urbana	30
5.5	Diretriz geral de drenagem pluvial de loteamento Uberlândia-MG	31
6	METODOLOGIA	33
6.1	Rede de drenagem pluvial projetada	34
6.2	Dados Preliminares	35
6.3	Executando a Simulação	44
7	ANÁLISE DOS RESULTADOS	47
7.1	Relatório do Estado da Simulação	47
7.1.1	Erros de Continuidade	48
7.1.2	Sobrecarga nos Nós	49
7.1.3	Inundações nos Nós	50
7.1.4	Sobrecarga nos Conduitos	51
7.2	Análise Gráfica	52
7.2.1	Vazão máxima nos trechos	52
7.2.2	Velocidade Máxima	53
7.2.3	Número de Froude	55
7.2.4	Alagamentos	57
8	CONSIDERAÇÕES FINAIS	58

1 INTRODUÇÃO

Historicamente, o cenário de distribuição da população no espaço físico da Terra vem sendo alterado em consequência do adensamento populacional. Fatos históricos como o aumento da população urbana iniciados em 1950 foram fundamentais para o acréscimo da densidade Demográfica no Brasil. O Gráfico 1 (um) trás a evolução da densidade demográfica no Brasil segundo o IBGE (2020).

Gráfico 1 – Densidade Demográfica Brasileira



Fonte: IBGE (2020)

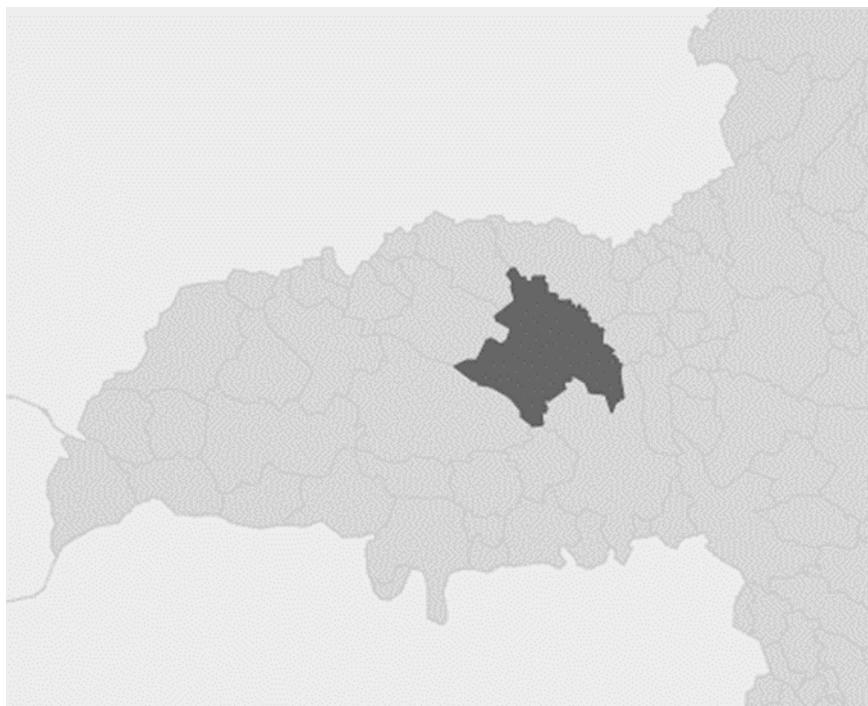
Com o aumento da população, naturalmente, foram ampliadas as regiões urbanizadas, juntamente com todos os elementos básicos necessários para habitação.

Em uma situação ideal, a expansão deve ser acompanhada de planejamento, compatibilizando um horizonte de crescimento, minimizando as transformações impostas ao ambiente natural. Mas o que ocorre, são inúmeras regiões que não conseguem atender ao aumento da demanda de infraestrutura básica, interferindo diretamente na qualidade de vida dos envolvidos.

O município de Uberlândia, localizado na mesorregião do Triângulo Mineiro, conforme ilustrado na Figura 1 (um), com população estimada de 699.977 habitantes, de acordo com projeções fornecidas pelo IBGE (2020),

possui uma área de 4.115,206 km².

Figura 1 – Mapa do município de Uberlândia-MG



Fonte: IBGE (2021)

Faz parte de um conjunto de outras cidades brasileiras que enfrentam diariamente problemas causados pelo manejo adotado dos sistemas de drenagem. A expansão urbana é entendida como um potencializador, quando não realizada de maneira adequada.

A expansão urbana desordenada, gerada pela ocupação de novas áreas, aliada a falta de planejamento e fornecimento das condições mínimas para a habitação, como sistemas de drenagem pluvial e esgotamento sanitário, cria um ambiente instável com potenciais de danos financeiros, ambientais e a integridade física da população.

A fim de fiscalizar e controlar futuras expansões desordenadas, foram criadas ferramentas como a Lei Federal N° 11.445 de 2007 de iniciativa do Congresso Nacional e Sancionada pelo presidente da República, estabelecendo as diretrizes nacionais para o saneamento básico e para a política federal de saneamento básico e os Planos Diretores, que além de outras finalidades sociais, direcionam e assumem uma postura de garantidor das condições de ocupação do solo.

As consequências do não cumprimento das leis e recomendações pela administração pública, responsável pelo sistema de drenagem pluviais, são graves e estruturam o tema deste Trabalho de Conclusão de Curso (TCC), ao trazer a possibilidade de alagamentos em virtude de projetos que não atendam às necessidades.

Em um ambiente natural, o escoamento das chuvas são determinados pelas características da sua Bacia Hidrográfica.

O dinamismo dentro de uma bacia hidrográfica é complexo, passando pela sazonalidade, variando entre períodos chuvosos com altos níveis pluviométricos à períodos secos com baixas precipitações. A problemática se inicia quando um sistema de drenagem dimensionado para atender certa vazão, passa a receber vazões maiores decorrentes de alterações na área de montante. O sistema passa a ser deficitário, necessitando de alterações que muitas vezes não são realizadas e que não se adequam a essa nova condição.

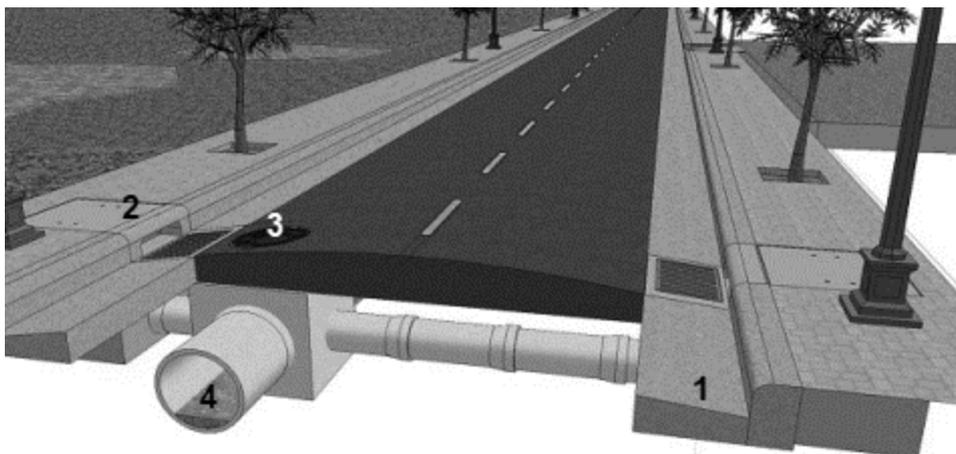
Assim, para viabilizar um projeto de drenagem pluvial, deve ser considerado aspectos individuais do passado, presente e futuro da localidade. As características morfológicas da superfície, tipo de solo, além dos níveis pluviométricos que também são lançados como base para dimensionamento, priorizando a segurança e eficiência.

O sistema tradicional de drenagem pluvial é composto por:

- Sargeta (1) – dispositivo longitudinal posicionado as margens da pista de rolamento, destinados a coletar as águas até um ponto, DNIT (2004).
- Boca de Lobo (2) – estrutura responsável por captar o escoamento transportado pelas sargetas.
- Poço de Visita (3) – câmaras destinadas a visitação para manutenção e limpeza.
- Galeria de Águas Pluviais (4) – seguimentos propostos a escoar o volume coletado pelas bocas de lobo até um ponto específico.

A Figura 2 ilustra a sistema tradicional mais aplicado em projetos de micro-drenagem urbana.

Figura 2 – Esquema tradicional de micro-drenagem



Fonte: Alexandre Perri de Moraes(2015)

A metodologia aplicada para execução de um projeto de drenagem urbana, consiste em adaptar o meio natural, criando elementos capazes de captar e direcionar o volume acumulado pela impermeabilização da superfície para uma malha já existente ou diretamente no exutório.

A metodologia caracteriza-se pela utilização de dispositivos que objetivam afastar o volume precipitado em forma de escoamento da área geradora (SOUZA; CRUZ; TUCCI, 2012).

Fatores externos como resíduos sólidos dispersos sobre a pavimentação, contribuem para os alagamentos, pois acabam sendo carregados, chegando as bocas de lobo e galerias de águas pluviais, prejudicando a eficiência ou até mesmo obstruindo na totalidade a seção dimensionada para passagem do escoamento.

Atualmente, podemos contar com inúmeros programas de computador que simulam situações adversas, aliando modelos matemáticos a algoritmos que auxiliam na análise e dimensionamento.

O objetivo de estudo é analisar a eficiência do sistema de drenagem aplicado ao novo loteamento, os dados de entrada serão inseridos no programa SWMM, para que este gere parâmetros para a comparação.

A escolha do programa SWMM tem por justificativa a simplicidade, pela grande capacidade de resposta, disponibilidade, e por ser bastante utilizado por pesquisadores. Uma ferramenta de interface bastante dinâmica e interativa.

Este trabalho será organizado da seguinte forma:

- **Introdução** – apresentação do tema do trabalho;
- **Objetivos** – objetivo geral e detalhado;
- **Revisão Bibliográfica** – aborgem histórica da evolução dos sistemas de drenagens, indicação de elementos que relacionam aos impactos estéticos, ambientes e principalmente a saúde pública. Contextualização de novas tecnologias e programas capazes que alciliarem nas problemática em questão;
- **Caracterização da área de estudos** – localização e tipificação da região de estudo;
- **Simulação Computacional** – descrição do programa *SWMM*;
- **Metodologia** – descreve a formatação padrão para inclusão dos dados no programa *SWMM*, para início da modelagem;
- **Análise do Resultados** – apresenta os resultados da simulação tornando possível identificar pontos que são favoráveis a ocorrência de alagamentos.
- **Considerações Finais** - apresenta o julgamento das informações geradas, sobre a perspectiva dos alagamentos, consumando o tema deste trabalho.

2 OBJETIVO

2.1 Objetivo Geral

Este trabalho tem por objetivo a análise e verificação da possibilidade de ocorrência de alagamentos no novo loteamento, localizado na cidade de Uberlandia- MG, bairro Shopping Park, oriundos da ineficiência do sistema de drenagem pluvial executado.

2.2 Objetivos Discriminados

Os objetivos detalhados consistem em:

- Recolher dados que caracterizam a bacia hidrográfica presente na área.

- Tabela as características dos objetos (nós, coletoras e sub-bacias) que serão inseridos na interface do programa SWMM.
- Executar a simulação, examinando o comportamento da rede diante a uma precipitação.
- Avaliar os resultados que caracterizam o comportamento hidráulico da rede e sua eficiência.

3 REVISÃO BIBLIOGRAFICA

Desde as primeiras configurações das cidades, há registros de manejos de afluentes naturais e efluentes gerados pela urbanização, como os resíduos domésticos. Foram fortes as evidências que constataram a capacidade do tema em impactar na saúde da população. Observa-se que cidades que não tratavam o assunto com importância ou efetividade, passavam por epidemias e propagações de doenças.

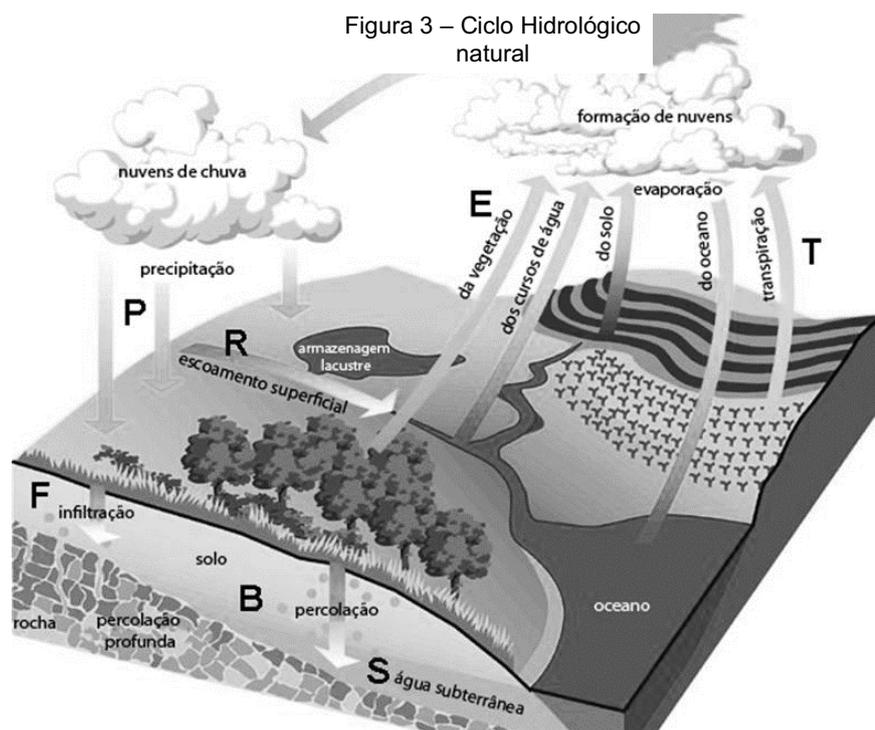
A Peste Negra, deflagrada na Europa em 1348, foi um exemplo de epidemia que atingiu as cidades e vilarejos da Baixa Idade Média. Provocada pelo bacilo *Yersinia pestis*, foi impulsionada pela precariedade ou até mesmo inexistência da administração dos dejetos produzidos. O ambiente resultante, era ideal para a proliferação de ratos e pulgas, principais difusores da doença, refletindo na morte de 1/3 (um terço) da população.

Desta forma, a evolução dos sistemas de drenagens pluvias, tiveram ligação direta ao sistema de drenagem de resíduos, pois foi demonstrado a necessidade de aprimoramento e adequação às diversas tipologias de terrenos e configurações de cidades para assegurar as condições sanitárias básicas. As metodologias para dimensionamento, foram sendo atualizadas com objetivo de apurar a eficiência, e criar projetos alternativos capazes de aumentar as possibilidades de execução, em resposta às exigências.

Marcos como a criação da “ Lei de águas limpas “ em 1970, nos Estados Unidos, representou os primeiros passos da nova leitura e recomendações referentes ao manejo adequado dos efluentes, objetivando a recomposição e preservação dos rios (TUCCI, 2008).

Avaliações e estudos preliminares passaram a ser obrigatórios, com uma variedade de elementos a serem levantados, com análises de impactos e criação de propostas, visando recompor e compensar as alterações, chegando a considerações como a necessidade de ajustes na características físicas dos pontos finais de encaminhamento dos efluentes pluvias. (URBONAS; STAHR, 1993).

Fatores como o ciclo hidrológico definido por Silveira (2009, p.36) “(...) fenômeno global de circulação fechada da água entre a atmosfera, impulsionado fundamentalmente pela energia solar e associada à gravidade e à rotação da terra”, de uma bacia, também deve ser estudado preliminarmente, pois possui características particulares e individuais, podendo variar até mesmo dentro de uma mesma bacia hidrográfica de grande extensão. Sistema altamente influenciado pela urbanização, que substitua a camada vegetal infiltrante, por um material de baixa permeabilidade, diminuindo o volume de infiltração, aumentando o volume e a velocidade do escoamento superficial, comprometem as reservas dos aquíferos que acabam não sendo reabastecidos, abalando o balanço hídrico (LOU, 2010). A Figura 3 mostra uma representação do ciclo hidrológico natural.



Fonte : FISRWG 1998

A ocorrência de eventos pluviométricos de grande intensidade é uma característica da Brasil e de países tropicais, podendo ocorrer precipitações estimadas para o decorrer do mês, em apenas algumas horas. Outra característica é a sazonalidade do clima, podendo observar a diferença de volume precipitado no decorrer do ano, deflagrando claros períodos chuvosos e períodos de secas.

Resaltando que os alagamentos vem sendo cada vez mais recorrentes e com maior poder destrutivo, ficando evidente nos períodos chuvosos. Cabe ao poder público gerir e determinar medidas corretivas, pois são questões de habitação e saneamento básico (ALMEIDA,2014).

Com todas essas informações, é notada a relevância que o estudo hidrologico possui para a elaboração de projetos de drenagem.

A bacia hidrográfica pode ser definida como “uma área limitada por um divisor de águas, que a separa das bacias adjacentes e que serve de captação natural da água de precipitação através de superfícies vertentes. Por meio de uma rede de drenagem, formada por cursos d’água, ela faz convergir os escoamentos para a seção de exutório, seu único ponto de saída” (LINSLEY E FRANZINI, 1978; TUCCI, 1997). Destaca-se que os conceitos de bacia e sub-bacias possuem uma ordem hierárquica dentro de uma determinada malha hídrica (FERNANDES & SILVA, 1994).

Restringindo ao tema dos alagamentos recorrentes, é possível associá-los a ineficiência dos dispositivos que o compõem, nos aspectos qualitativo e quantitativo.

A utilização de artificios como trincheiras, poços de infiltração e pavimentos permeáveis vem sendo sugeridos por pesquisadores como Kobayashi (2008), contribuindo para a minimização das erosões, assoreamentos, enchentes e alagamentos.

Os alagamentos muitas vezes podem ser consequências de resíduos que foram deixados sobre as superfícies que acabam sendo carreados chegando até os dispositivos de encaminhamento, como as bocas de lobo, que acabam sendo entupidadas, ocasionando o acúmulo de água sobre o

pavimento. Para solução desse problema, é recomendado ao poder público, fazer manutenção e limpeza dos poços de visitas, galerias e bocas de lobo antes dos períodos chuvosos, atitude essa que efetivamente as regiões de alagamentos.

Em termos quantitativos, é possível iniciar quanto ao número de pontos de captação do volume acumulado, as bocas de lobo. O encaminhamento deve conter o número suficiente de dispositivos que sejam capazes de absover, não causando o efeito acumulativo nos dispositivos a jusante.

Trabalhos focados no estudo direto das bocas de lobo e suas características hidráulicas como o Artigo dos pesquisadores LI, GEYER e BENTON (1951), do Departamento de Engenharia Sanitária da Universidade Johns Hopkins, foram representativos para uma maior compreensão e elaboração de tabelas que seriam utilizadas como parâmetros de elaboração de projetos.

O sistema convencional de drenagem é composto por dois sistemas distintos: Micro-Drenagem e Macro-Drenagem, diferenciados pela área de influência, volume acumulado de precipitação, presença de canais e seus potenciais hídricos, metodologia de dimensionamento, entre outros.

Para a realização do trabalho, será considerado o sistema de micro-drenagem caracterizado pela presença de ruas, bocas de lobo, sargentas e galerias, associados ao sistema viário urbano. Ao passo que a concepção de um projeto ou viabilização de um estudo de dispositivos de drenagens, deve, inicialmente ser alimentado com dados básicos, como históricos de precipitações, totalização das áreas impermeabilizadas, além das características morfológicas do terreno.

Conhecer a dinâmica da região é fundamental, indo além das informações retidas em plataformas de consultas. Antes da elaboração de um projeto, é recomendado que o projetista faça uma pesquisa de campo, conhecendo as particularidades, além de buscar informações junto aos moradores das regiões vizinhas.

Com o aumento da taxa de ocupação, foi necessário desenvolver

metodologias e ferramentas que facilitariam na leitura dos modelos matemáticos e as projetassem em simulações amplas, com a possibilidade de alterar as variáveis de entrada de forma simples e dinâmica. A elaboração dos projetos passaria a contemplar uma gama de detalhamento e a análise de diferentes cenários.

Os primeiros modelos matemáticos se fundamentavam nos ciclos hidrológicos e em seus elementos como a infiltração, descrito por Horton na década de 30. Passando por modelos de escoamentos em rios e reservatórios até a metodologia que objetiva a precipitação, pois possibilita a consulta de séries de maior incidência e relevância, mais utilizada e referenciada para criação de algoritmos de simulação (TUCCI, 2005).

Além dos modelos matemáticos, foram criadas normatizações que direcionaram a elaboração dos projetos. Descreve-se condições mínimas de dimensionamento e discriminação dos materiais na execução de dispositivos de drenagem pluvial, objetivando garantir a eficiência e segurança DER/PR (2018).

O modelo que será utilizado para realização deste trabalho contemplará a metodologia de dimensionamento computacional aplicado ao programa *SWMM*, tendo como base a transformação de chuva em vazão, agregando um modelo hidrológico que converte precipitação em escoamento superficial e o modelo hidráulico que fica responsável por caracterizar o conduto que dará encaminhamento ao escoamento.

O programa foi desenvolvido em 1971, e desde então é utilizado em diversos países do mundo. Este, sofreu atualizações para compatibilização das novas mudanças do cenário e da metodologia, refinando os resultados das simulações.

4 MODELAGEM COMPUTACIONAL – MODELO SWMM

Com o intuito de gerar as simulações do projeto de micro-drenagem, será utilizado o programa *Storm Water Management Model (SWMM)*, desenvolvido em 1971 e desde então utilizado em diversos países do mundo. Este passou por atualizações para adequação das novas demandas

e solicitações surgidas com a crescente urbanização.

O modelo em questão relaciona chuva e vazão, caracteriza e simula a quantidade e a qualidade do escoamento superficial, sendo muito utilizado para avaliações de sistemas de drenagem urbana, ele pode ser aplicado para análises de eventos pontuais ou de maior duração. O *SWMM* simula esse escoamento através dos dispositivos de drenagem, como as tubulações, galerias, e bocas de lobo. Configurando seu modelo hidráulico.

A versão utilizada será a *EPA SWMM 5*, compatível com o sistema operacional do equipamento usado para realização da simulação. Em conjunto com seu respectivo manual, disponibilizado pelo Laboratório de Eficiência e Hidráulica em Saneamento pertencente ao Departamento de Engenharia Civil e Ambiental do Centro de Tecnologia, da Universidade Federal da Paraíba (UFPB), responsáveis pela tradução e adaptação do programa para aplicação no Brasil. Isso foi possível, porque o código fonte do programa é disponibilizado gratuitamente pelos desenvolvedores da Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (EPA).

Formado por diversos blocos, é possível realizar simulações de forma independente, chegando a número de resultados maiores. Tratando-se de análise de um evento, é fundamental a busca por mais cenários, fator que possibilita a observação dos possíveis impactos causados pelo escoamento superficial para então, atribuir estratégias de mitigação. A aplicabilidade do programa *SWMM* abrange tanto estudos de redes de drenagem quanto estudos de água residuárias, como as águas pluviais, assim, pode ser aplicado nos seguintes estudos, como descrito em seu Manual:

- Dimensionamento de dispositivos de drenagem urbana para controle de inundações;
- Dimensionamento de estruturas de retenção e acessórios para o controle de inundações e proteção da qualidade das águas;
- Delimitação das zonas de inundações em leitos naturais;
- Concepção de estratégias de controle para minimizar o transbordamento

de sistemas unitários e mistos;

- Avaliação do impacto de contribuição e infiltração sobre o transbordamento de sistemas de drenagem de água residuárias,
- Geração de poluição difusa para estudos de lançamento de efluentes;
- Avaliação de eficácia das Boas Práticas de Manejo (BMPS) para reduzir o carreamento de poluentes durante a chuva.

Com o Manual foi possível desenvolver o tema deste Trabalho de Conclusão de Curso (TCC), e será descrito um resumo dos seus capítulos para um maior entendimento dos passos a serem realizados.

Dessa forma, o Capítulo 1 trás uma introdução do que se refere o programa, descrevendo suas possíveis aplicabilidades e o poder de simulação, além de dispor sobre a forma para acesso e instalação do programa *EPA SWMM*.

O Capítulo 2, apresenta um tutorial de como começar a utilizar o *EPA SWMM*, mostrando como inserir os objetos e como caracterizá-los, até a simulação de um evento chuvoso e uma simulação contínua de longa duração.

O Capítulo 3, descreve como o *EPA SWMM* modela o escoamento superficial em uma área de drenagem. Passa-se pelas características físicas da sub-bacia de drenagem e os dispositivos de coleta. Além disso, informa como editar as entradas de precipitação. Por fim, instrui como realizar simulações hidráulicas, hidrológicas, de qualidade e água.

O Capítulo 4, demonstra as principais ferramentas do programa, compondo a interface do mesmo, instruíndo como proceder e editar as três principais janelas, sendo elas o Mapa da Área de Estudo, o Gerenciador de Objetos e o Editor de Propriedades.

A composição e armazenamento dos arquivos inseridos no *EPA SWMM* para compor a modelagem são citados no Capítulo 5, que consta os passos de como salvar, juntamente com fatores que calibram os resultados da

simulação.

O Capítulo 6, mostra como inserir e caracterizar os elementos que compoem o sistema de drenagem, como os pluviômetros, sub-bacias, nó, trecho de tubulação, etc. A próxima etapa descrita no Capítulo 7, aborda como se deve trabalhar com o Mapa da Área de Estudo, pois nele é possível inserir informações através da sua edição, adicionando parâmetros do projeto, além de propor alternativas de aparência e apresentação dos mapas.

A execução da simulação é proposta no Capítulo 8, que demonstra como configurar as opções que coordenam a análise.

Na sequência o Capítulo 9, explica as formas de apresentação dos resultados das análises nas formas de tabelas e projeções gráficas.

Por fim, o Capítulo 10 descreve como imprimir e copiar os resultados, e antecipa o Capítulo 11 que indica como *EPA SWMM* é dinâmico e compatível com as diversas interfaces que favorecem a maior eficiência durante a simulação.

Com todas as informações e instruções já mencionadas, foi possível iniciar a modelagem computacional. Variáveis como a determinação do Escoamento Superficial, e a metodologia aplicada para cálculo da Infiltração, são fundamentais para a modelagem.

4.1 Escoamento Superficial

Entende-se como parte do ciclo hidrológico a parcela do escoamento superficial que é transportada livremente pela superfície do relevo até um rio (VILLELA & MATTOS,1975). O escoamento é proporcionado pela gravidade, conduzidos pelas galerias pluvias que atuam como condutos livres. Esse escoamento depende de vários fatores, dentre eles:

- **Relevo** : Através das características físicas do terreno, principalmente as superficiais como a declividade dos rios ou da bacia, a capacidade de armazenamento dos reservatórios, que são influenciadores diretos na

qualidade do escoamento. Bacias com pouca declividade devem conter em seus projetos de drenagem, dispositivos que compensem tal característica, pois são mais suscetíveis à inundações e alagamentos.

- Precipitação: Como já mencionado anteriormente, os tipos das precipitações são relevantes para o escoamento no que se diz respeito à disposição, concentração e tempo de duração.
- Cobertura da bacia : Irá influenciar na capacidade de infiltração e até mesmo na velocidade do escoamento. O presente trabalho relaciona-se diretamente às mudanças causadas pela urbanização e ocupação do solo.

Para a análise, o programa *SWMM* interpreta a entrada de vazão em uma bacia hidrográfica na forma de precipitação, derretimento de neve ou oriunda de uma bacia vizinha e a saída da vazão na forma de infiltração, evaporação e escoamento superficial. No qual cada bacia/sub-bacia é tratada como um reservatório não linear.

O escoamento superficial na forma de unidade de área (Q), somente ocorre quando esse reservatório é preenchido e ultrapassada a capacidade máxima em depressões (d_p). Para o cálculo dessa vazão (Q), é utilizada a equação de Mannig disposta na Equação 1.

$$Q = W \frac{1}{n} (d - d_p) (d - d_p)^{\frac{5}{3}} S^{\frac{1}{2}} \quad \text{Eq. 1}$$

Em que:

W = Largura da sub-bacia, em metros;

n = coeficiente de rugosidade de Manning, em $m.s^{-1/3}$;

d = profundidade da água no reservatório, em metros;

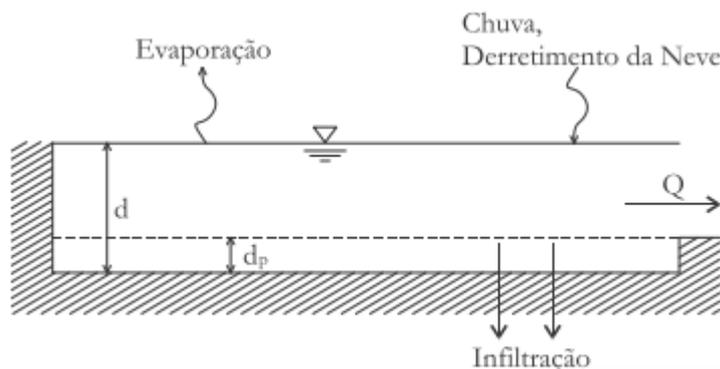
d_p = profundidade de armazenamento em depressão, em metros;

S = declividade da sub-bacia, em m/m.

A lâmina de água no reservatório (d), na sub-bacia, é recalculada de forma contínua, em um intervalo de tempo (t) mediante a resolução numérica

do balanço hídrico na sub-bacia. A Figura 4, trás uma ilustração do entendimento do programa *SWMM* sobre o escoamento superficial.

Figura 4 : Interpretação do escoamento superficial *SWMM*



Fonte : Adaptado U.S. EPA , 2015

4.2 Infiltração

Tem-se como infiltração, a porcentagem de água provinda das precipitação que penetram no solo. Como já mencionado anteriormente, fatores como a impermeabilização do solo ou a mudança da cobertura superficial da área, são fatores que a comprometem. O *SWMM* permite selecionar três modelos distintos para a determinação da infiltração, a equação de Horton, o método de Green-Ampt e o método do SCS (*Soil Conservation Service*).

4.2.1 Equação de Horton

Para esse método são utilizadas como parâmetro de entrada, as taxas de infiltração máxima e mínima, o coeficiente de decaimento e o tempo necessário para um solo saturado secar na sua totalidade e é descrito na Equação 2.

$$f = f_c + (f_0 - f_c)e^{(-k\tau)} \quad \text{Eq. 2}$$

Em que:

f = capacidade de infiltração (igual à taxa real de infiltração) no tempo

genérico τ ,

f_0 = capacidade de infiltração no tempo $\tau = 0$,

f_c = capacidade de infiltração mínima, ou taxa mínima de infiltração, que é um valor assintótico (valor final de equilíbrio) avaliado em um tempo τ suficientemente grande,

k = constante característica do solo (constante de Horton), com dimensão de tempo⁻¹,

τ = tempo.

4.2.2 Método de Green-Ampt

No modelo proposto por Gree e Ampt em 1911, a infiltração da água no solo é condicionada à condutividade hidráulica do solo saturado, baseado na lei de Darcy. Esse método é muito utilizado em solos que a densidade aumenta com a profundidade (CHILDS & BAYBORDI, 1969). Também aplicado em solos no qual a condutividade hidráulica aumenta com a profundidade (BOUWER, 1976). As variáveis necessárias para desenvolvimento do método são, o valor do déficit inicial de umidade do solo e a condutividade hidráulica, além do potencial matricial na frente de umidificação.

4.2.3 Método do SCS (Soil Conservation Service)

O Método chuva-vazão do SCS (*Soil Conservation Service*), utiliza o número da Curva-Número (CN), desenvolvido pelo Departamento de Agricultura dos Estados Unidos da América, para determinar a capacidade total de infiltração (ROSSAMAM, 2010).

O método, permitiu separar os tipos de solos de acordo com sua capacidade de produzir escoamento, os classificando em quatro grupos (A, B, C e D). A escala de possibilidade de ocorrência de escoamento superficial é crescente no sentido de A para D. Os grupos são caracterizados da seguinte forma:

- **Grupo A** : Solos com baixa possibilidade de escoamento, apresentando

alta taxa de infiltração. Formados principalmente por areias ou cascalho com profundidade elevada. Taxa de infiltração maior que 7,62 mm/h.

- **Grupo B:** Solos com moderada taxa de infiltração, quando totalmente molhados, profundos a moderadamente profundos e bem drenados. Constituídos por texturas finas a moderadamente grossa. Taxa de infiltração entre 0,762 mm/h a 0,381mm/h.
- **Grupo C :** Representam os solos com baixa taxa de infiltração quando completamente molhados. Apresentando dificuldade de movimentação da água entre as camadas superiores e inferiores. Caracterizadas por um textura moderadamente fina. Taxa de infiltração entre 0,381 mm/h a 0,127 mm/h.
- **Grupo D :** Solos com alto potencial de escoamento, logo, apresentam baixas taxas de infiltração quando completamente molhados. Composto por solos argilosos com alto potencial de expansão. Taxa mínima de infiltração entre 0,127mm/h a 0,000 mm/h.

O parâmetro CN é determinado a partir dos seguintes fatores:

- Tipo de solo;
- Condições de uso de solo;
- Umidade antecedente do solo

O valor do CN pode variar de 0 a 100, em que 0 representa uma condição que não á formação de escoamento e 100 a conversão total da precipitação em escoameto superficial. Como o método foi desenvolvido na América do Norte acaba não contemplando todos os tipos de solos que o Brasil contém, sendo necessário recorrer a trabalhos como o de LOMBARDI NETO (1989) para a classificação hidrológica dos solos Brasileiros. A Tabela 1 trás os valores CN para bacias urbanas e suburbanas.

Tabela 1 : Valores de CN para bacias Urbanas e Suburbanas

Fonte : TUCCI (1993)

Utilização ou cobertura do solo		Grupo de Solos			
		A	B	C	D
Zona Cultivadas	- sem conservação do solo	72	81	88	91
	- com conservação do solo	62	71	78	81
Pastagens ou terrenos em más condições		68	79	86	89
Baldios em boas condições		39	61	74	80
Prado em boas condições		30	58	71	78
Bosques ou zonas com cobertura ruim		45	66	77	83
Floresta com cobertura boa		25	55	70	77
Espaços abertos,relvadas,parques, caompos de golfe, cemitérios, boas condições	- com relva em mais de 75% da área	39	61	74	80
	- com relva de 50% a 75% da área	49	69	79	84
Zonas comerciais e de escritórios		89	92	94	95
Zonas industriais		81	88	91	93
Zonas residenciais	Lotes de (m ²) <500	65	77	85	90
	1000	38	61	75	83
	1300	30	57	72	81
	2000	25	54	70	80
	4000	20	51	68	79
	% Média Impermeável				
Parques de estacionamento, telhados, viadutos, etc.		98	98	98	98
Arruamentos e estradas	- asfaltadas e com drenagem de água pluviais	98	98	98	98
	- paralelepipedos	76	85	89	91
	- terra	72	82	87	89

O Grupo de solo utilizado para a simulação foi o Grupo A, com CN igual a 77.

5 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

5.1 Localização

O loteamento Ecopark está situado no município de Uberlândia, com coordenadas geográficas 18°54'41,90582"S 48°15'21,63093".

Loteamento contempla uma área total de 247.990,33m², localizado na Zona Sul da cidade. Ficha Técnica do loteamento Ecopark:

- Área total da gleba: 247.990,33 m² ;
- Área total de lotes: 150.958,99 m² ;
- Número total de lotes: 271 lotes unifamiliares e 5 lotes multifamiliares ;
- Metragem dos lotes unifamiliares: 250 m² ;
- Metragem dos lotes multifamiliares: 29.000 m² ;

- Área verde: 25.025,66 m².

A Figura 5 mostra a localização do loteamento rachurado em vermelho e faz referência aos bairros vizinhos.

Figura 1 : Localização do loteamento Ecopark em linhas vermelhas



Fonte: Google Maps (2019)

A Figura 6 ilustra o projeto urbanístico do empreendimento.

Figura 2 : Modelagem (Projeto Urbanístico loteamento Ecopark)



Fonte: ARANTES,Vitor (2019)

5.2 Geomorfologia

De acordo com Ab'Saber (1972), a “mesoregião do Triângulo Mineiro/Alto Paranaíba que inclui o município de Uberlândia-MG pertence ao Domínio dos Chapadões Tropicais do Brasil Central” .

Assim, inserida na Bacia Sedimentar do Paraná, apresenta os seguintes tipos de solo sendo Del Grossi (1991) : Latossolo Vermelho-amarelo Álico, Latossolos Vermelho-Escuro Distrófico e Álico, Latossolo-Roxo Distrófico e Eutrófico, Podzólico, Vermelho- Amarelo Eutrófico, Cambissolo e Glei húmico. Localiza-se sobre um relevo tabular que apresenta ondulações com altitudes inferiores a 1.000m de acordo com Carrijo e Baccaro (2001).

Tem vegetação típica do cerrado.

5.3 Clima

A gestão e planejamento urbano são fortemente influenciados pelos

fenômenos climatológicos, mencionados por Mendonça e Souza (2010). Dessa forma, a elaboração e interpretação de estudos ao entorno do assunto objetivam eliminar os prejuízos causados à população e ao meio ambiente.

O município de Uberlândia-MG pertence à região sudeste do país, com estações bem definidas, alternadas em períodos chuvosos e períodos de secas. O método adotado pelo IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística), foi baseado na classificação de Nimer (1989), que diferencia os climas nacionais pela associação dos dois principais elementos do modelo, a temperatura e a precipitação dentro de um período.

Segundo a metodologia de classificação de Nimer (1989), os climas variam em função da temperatura média e do período de meses sem precipitações, logo, a região analisada foi classificada como Mesotérmico brando, que indica características como temperaturas entre 10°C e 15°C pelo menos em um mês, além de passar por períodos de seca, podendo variar de 4 a 5 meses. Marcado pela diminuição das chuvas no inverno, com a temperatura anual média em torno de 22 °C.

De acordo com a classificação de Köppen, adotada universalmente e adaptada ao Brasil, o clima de Uberlândia tem a classificação Aw (megatérmico, tropical com verão chuvoso e inverno seco).

As precipitações são distribuídas em grande parte no verão, situação que favorece os alagamentos, visto que os volumes são precipitados em um curto período de tempo, fato que sobrecarrega os sistemas de drenagem urbana. Recorrendo ao Instituto de Geografia, da Universidade Federal de Uberlândia, foi possível buscar o histórico de precipitações máximas em cada ano a partir de 1981. Há a precipitação média registrada de 1500mm/ano. A série histórica ilustrada pelas Tabelas 2 e 3 a seguir foram elaboradas por 30 anos.

Tabela 2 : Médias de Precipitações acumuladas mensais

Mês	Precipitação (mm)
Janeiro	286
Fevereiro	202
Março	208
Abril	80
Maio	42
Junho	16
Julho	10
Agosto	18
Setembro	50
Outubro	115
Novembro	192
Dezembro	293

Fonte : Climatempo (2021)

Outra característica deste clima tropical, são os baixos índices de umidade relativa do ar, que podem chegar abaixo dos 20%, ambiente desfavorável principalmente para as pessoas que apresentam problemas respiratórios. A Tabela 3, abaixo, trás a média histórica das temperaturas mínimas e máximas.

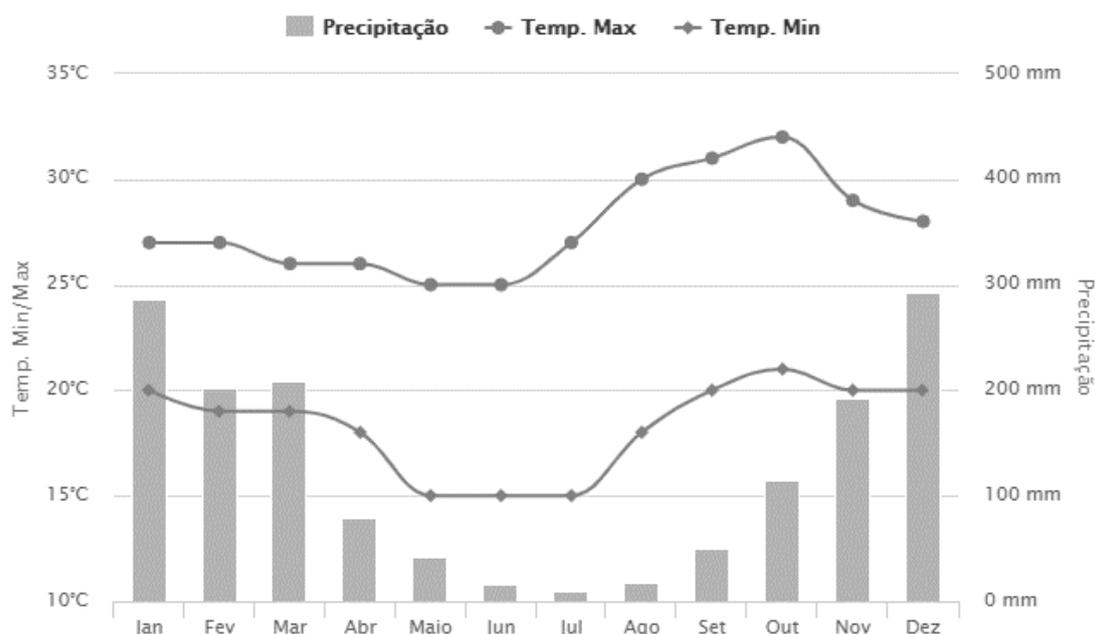
Tabela 3 : Médias de Precipitações mensais

Mês	Minima (°C)	Máxima (°C)
Janeiro	20°	27°
Fevereiro	19°	27°
Março	19°	26°
Abril	18°	26°
Maio	15°	25°
Junho	15°	25°
Julho	15°	27°
Agosto	18°	30°
Setembro	20°	31°
Outubro	21°	32°
Novembro	20°	29°
Dezembro	20°	28°

Fonte : Climatempo (2021)

A Figura 7, contém uma associação das médias de temperatura e precipitação que permitem analisar os meses de seca, que coincidem com as incidências das mais baixas temperaturas.

Figura 3 : Sobreposição das variáveis temperatura e precipitação



Fonte : Climatempo (2021)

5.4 Drenagem Urbana

A Drenagem Urbana moderna, visa analisar e compreender os cenários com o objetivo não somente de atender as solicitações de dimensionamento de escoamento, mas principalmente à recomposição das áreas atingidas ou modificadas. Tucci (1995) lista os seguintes itens :

- Propor soluções para não comprometer os trechos das galerias subsequentes;
- Não concentrar o escoamento em um único ponto, não ampliando as cheias naturais;
- Propor medidas de gestão e controle dos elementos pertencentes ao conjunto da bacia;
- Efetivar Planos de Drenagem e Legislação para o controle e orientação;
- Manter atualizado o sistema de drenagem para projeção de futuras expansões;
- Constante acompanhamento dos órgãos públicos responsáveis;
- Incentivo à educação ambiental aplicada tanto no poder público quanto

na população em geral.

O município de Uberlândia, tem sua drenagem estruturada no relevo e na tipologia geológica. Os planaltos existentes, funcionam como barreiras que originam os divisores de águas .

Devido ao fato da composição do solo ser basáltica, da Formação Serra Geral, os canais fluviais mantêm-se mesmo em períodos de secas (DEL GROSSI, 1991).

Ao acessar o site da Prefeitura Municipal de Uberlândia, é possível ver as orientações em relação à infraestrutura de loteamentos. Dispõe a Lei Complementar Nº 523/2011 e a Portaria Nº 46.338, de 04 de Junho de 2019 acerca do “ Manual de Orientações de Orientação de Análise e Aprovação de Loteamentos/ Relateamento o empreendedor deverá requerer diretrizes específicas junto à Secretaria Municipal de Planejamento Urbano “.

5.5 Diretriz geral de drenagem pluvial de loteamento Uberlândia-MG

A diretriz diz que o projeto de drenagem pluvial deve contemplar toda a área da bacia hidrográfica que está contida no Empreendimento, considerando bacias vizinhas contribuintes. O escoamento deverá ser encaminhado até o corpo receptor (exutório), inserindo dispositivos de dissipação de energia, para minimizar os impactos causados.

No Manual, são citados quais documentos, projetos e permissões que serão exigidos do empreendedor da área, no qual será inserido o Empreendimento. Deverá ser fornecido à Secretaria Municipal Municipal de Obras o Estudo Técnico e Projeto, contemplando a inserção de dispositivos de controle de volumes de escoamentos provindos de precipitações, como as bacias de acumulação.

Decisões como a de interligação da nova rede pluvial do empreendimento às redes existentes, devem ser previamente informadas à Secretaria Municipal de Obras, que cobrará estudos técnicos que comprovem a eficiência da alternativa, viabilizando a concretização do projeto.

De acordo com o Manual, no projeto de drenagem pluvial deve constar

os elementos presentes na Tabela 4.

Tabela 04 : Manual para Projetos de drenagem pluvial de loteamentos Uberlândia-MG

Elementos que devem constar no Projeto de Drenagem Pluvial

- Mapa com a demilitação da bacia hidrográfica considerada, com indicações das áreas internas e externas.
- Planta e perfil das redes de drenagem projetadas, com os respectivos poços de visitas e caixas de passagem, além da indicação das redes já existentes.
- Deverá ser apresentado em prancha única toda a área do empreendimento com curvas de níveis, indicando a rede completa de drenagem pluvial até o lançamento.
- Planta e perfil desenhados em escala ampliada do sistema de dissipação de energia do lançamento no corpo receptor.
- Todo dissipador deverá ser apoiado sobre o solo estabilizado mecanicamente com pedra de mão, e no caso de dimensionamento de vertedor laminar, a altura máxima da lâmina d'água deverá ser de 15,0 cm, utilizando para cálculo de seu comprimento a Fórmula de Francis: $Q = 1,838 * L * H^{3/2}$.
- Seção transversal das vias, mostrando as redes de drenagem pluvial.
- Memorial de cálculo detalhado, com a determinação dos diâmetros de rede por trecho e com a determinação da vazão por trecho, com a indicação dos parâmetros de cálculos considerados, sendo que, os tempos de recorrência a serem adotados serão ser, de no mínimo, 15 (quinze) anos para as redes pluvias e de 10 (dez) anos para as sarjetas.
- Para atender situações futuras de ocupação do solo na área urbana do município, o coeficiente de deflúvio ou escoamento superficial terá seu valor fixado em 0,80.
- Especificação dos materiais.
- Planilha de orçamento e cronograma físico-financeiro da implantação.
- Os ensaios de solo que foram utilizados no cálculo do pavimento.
- Quando da execução dos serviços do sistema de drenagem pluvial, a critério da fiscalização, será exigido estudo específico e/ou projeto para contemplar situação não prevista no projeto aprovado pela secretaria Municipal de Obras.
- A execução dos serviços de drenagem pluvial somente terá início após a liberação, por escrito, da Secretária Municipal de Obras, que exercerá fiscalização em qualquer fase de serviço, através do(s) servidor(es) públicos(s) engenheiros(s) especialmente indicados.
- A empresa executora dos serviços de infraestrutura - pavimentação e drenagem pluvial - deverá manter no local da obra o DIÁRIO DE OBRAS vistado pelo engenheiro responsável.
- A empresa de engenharia, responsável pelo serviço de drenagem pluvial, deverá acompanhar a execução dos serviços, tendo à sua disposição, uma equipe de topografia mantida pela empresa executante.
- O Termo de Recebimento da obra só será emitido após a apresentação de As Built de todo o sistema de drenagem devidamente georreferenciado.
- Caso seja utilizado dissipador com escada hidráulica ou dissipador com ressalto, solicitar referência ao número de Froude relativo ao dispositivo de dissipação utilizado e outros parâmetros que justifique o projeto apresentado.
- Indicação, em planta, em cada trecho, dos diâmetros da rede, declividade, extensão e de nível do início e fim do trecho.
- Em todos os desenhos, os traços representados dos dispositivos e redes pluviais deverão sobressair especialmente quanto à espessura dos demais traços. As redes de Drenagem Pluvial deverão ser destacadas em cores distintas os diferentes diâmetros .
- Indicação, em planta, de cada trecho, dos poços de visita e das caixas de passagem, com suas cotas de nível e laje de fundo.
- As caixas de passagem e poços de visita serão executados em concreto armado, contudo as caixas de passagem e poços de visita que recebem somente tubulações de diâmetro igual ou menor que 800mm poderão ser executadas em tijolos maciços ou blocos de concreto.
- As bocas de Lobo deverão ser duplas, com capacidade de captação de 100,0 l/s.
- Todos os ramais de ligação de capitação terão declividade mínima de 3,0%.
- A velocidade máxima a ser considerada nas redes de drenagem pluvial deverá ser de 5 m/s, com tolerância de até 6m/s se devidamente justificada. Nas sarjetas a velocidade máxima a ser considerada será de 3 m/s, com altura máxima da lâmina d'água de 10cm.

Fonte : DMAE (2021)

6 METODOLOGIA

Ressalta-se que o objetivo desse Trabalho de Conclusão de Curso é analisar o comportamento do sistema de drenagem pluvial aplicado no loteamento Ecopark, localizado na zona sul de Uberlândia-MG, a fim de testar se o sistema de águas pluviais tem bom funcionamento para uma determinada precipitação com período de retorno de 20 anos.

Para a realização do estudo, será utilizado o programa *EPA SWMM 5.0*, um Modelo de Gestão de Drenagem Urbana, utilizado em diversos países do mundo. A simulação que o programa propicia, avaliará a qualidade do escoamento no sistema de drenagem.

A modelagem é efetivada com a inserção de dados de entrada, na forma de Objetos Físicos, disposto no Mapa da Área de estudo do programa *SWMM* e Objetos Virtuais, que descreve o sistema de drenagem analisado.

A Tabela 5 descreve os itens contidos em cada conjunto de Objetos do programa *SWMM*.

Tabela 05 : Objetos que compoem o sistema de drenagem pluvial no *SWMM*

VISÍVEIS	VIRTUAIS
- Pluviômetros	- Climatologia
- Sub-bacias	- Acumulação de neve
- Nós de Conexão	- Aquíferos
- Nós Exutórios	- Hidromas Unitários
- Disisores de Fluxo	- Seção Transversal Irregular
- Unidades de Armazenamento	- Contribuições externas de Vazão
- Condutos	- Regras de Controle
- Bombas	- Agentes Poluentes
- Reguladores de Vazão	- Usos do Solo
- Rótulos do Mapa	- Tratamento
	- Curvas
	- Série Temporal
	- Padrões Temporais
	- LID

Fonte : Autor (2021)

Para esclarecimento dos itens mencionados na Tabela 5, fica indicado que o leitor faça uma pesquisa no Manual *EPA SWMM 5.0*, que trará uma explicação detalhada de cada objeto.

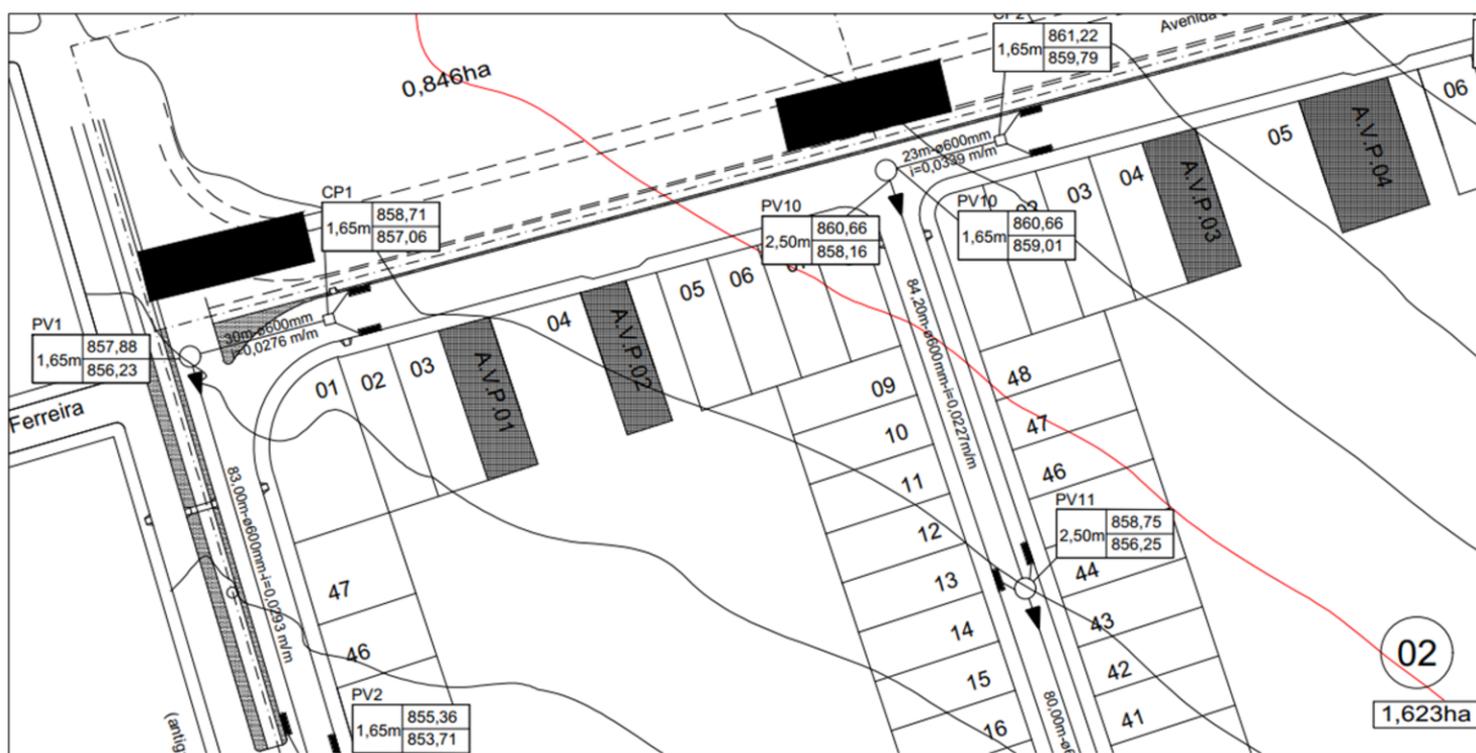
6.1 Rede de drenagem pluvial projetada

Em posse do projeto executivo aplicado na elaboração do sistema de drenagem em questão, fornecido pela equipe de engenharia e planejamento da incorporadora Iconew, que disponibilizou prontamente todas as pranchas para a realização deste trabalho acadêmico.

O projeto trás as informações detalhadas dos dispositivos de drenagem como cotas, bocas de lobo, poços de visita e diâmetros das galerias. Os arquivos vieram no formato '.dwg' oriundos do programa de desenho técnico *AutoCad®* da *Autodesk*.

A Figura 8 ilustra um trecho do projeto de drenagem pluvial, inserido no loteamento Eco Park.

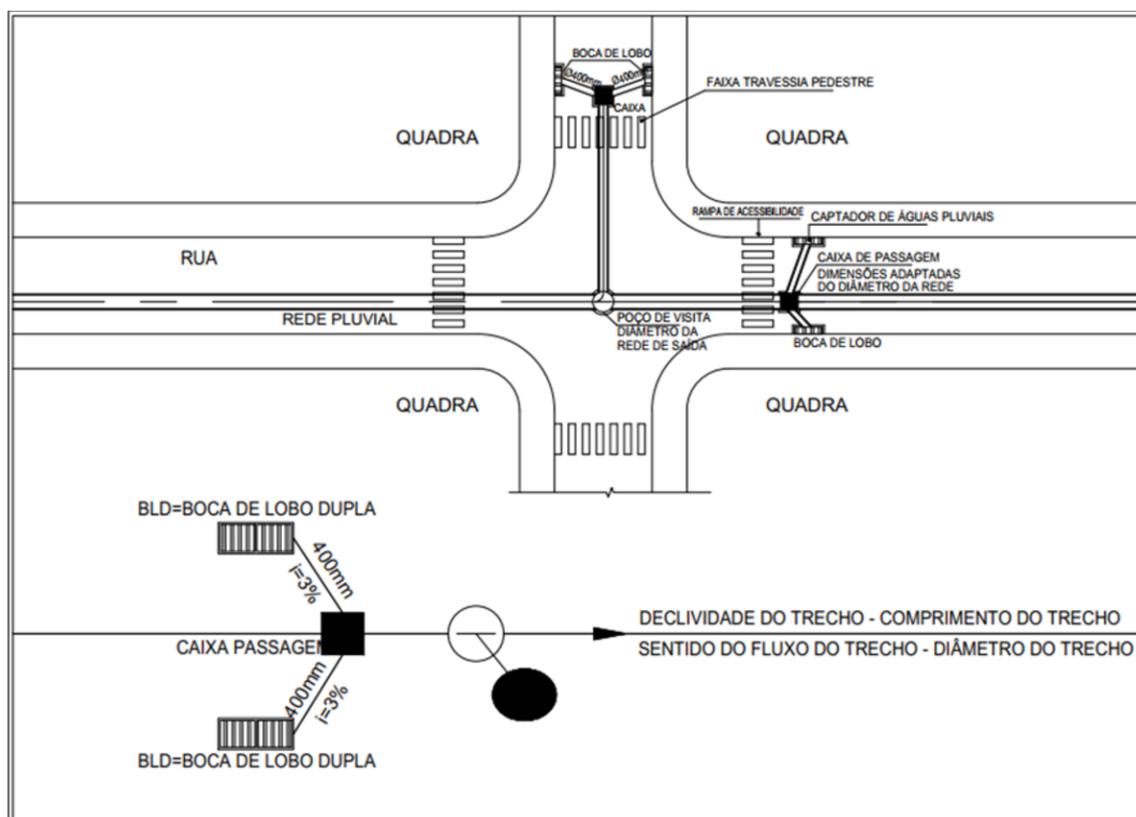
Figura 4 : Trecho do Projeto de Drenagem Pluvial



Fonte : Iconew (2020)

Outro detalhamento com as características dos dispositivos de drenagem está ilustrado na Figura 9.

Figura 5: Convenções adotadas para representação gráfica



Fonte : Inconew (2020)

6.2 Dados Preliminares

O programa *SWMM* conta com uma interface que permite lançar toda a rede já modelada para início da simulação, mas inicialmente é necessário converter o arquivo *.dxf* para outro *.inp*, cuja extensão é compatível com o processamento do programa.

Essa conversão será realizada pelo programa *EpaCAD*, disponível gratuitamente. Após a conversão, é possível abrir o arquivo *.inp* identificando toda a malha com os dispositivos presentes, dispostos no Mapa de trabalho do *SWMM*.

Antes de realizar a conversão do arquivo *.dxf* para o *.inp*, é necessário determinar alguns parâmetros de entrada como mostrado na Figura 10,

representando uma das janelas do programa *SWMM*.

Para a realização do trabalho, foi configurado apenas a aba de identificadores dos objetos, com suas respectivas nomenclaturas.

Figura 6 : Definições de Valores

Objeto	Prefixo do ID
Pluviômetros	PLUVI
Sub-bacias	S
Nós	N
Exutório	E
Divisores	D
Unidades de Armazenamento	UA
Condutos	C
Bombas	B
Reguladores	R
Incremento do ID	1

Salvar as configurações pré-definidas para novos projetos

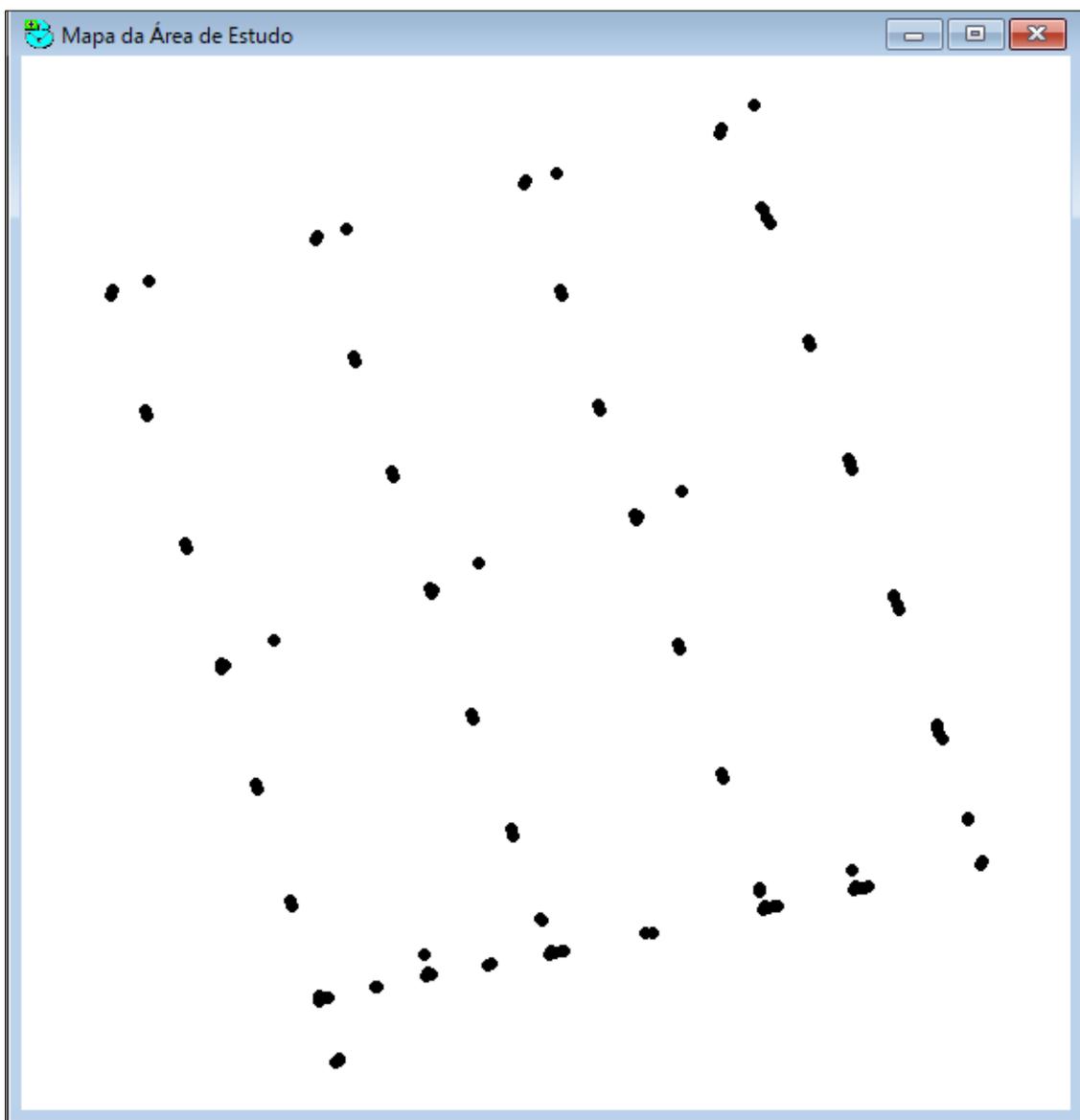
OK Cancelar Ajuda

Fonte : Autor (2021)

Após a conversão do arquivo *.dxf* para o *.inp* no programa *EpaCAD*. O passo seguinte, já mencionado, apresentou problemas na conversão do arquivo, pois quando se abre o arquivo no *SWMM*, ele não apresenta todos os objetos contidos, tornando inviável o uso.

A Figura 11, ilustra o arquivo aberto após a conversão na aba do Mapa da Área de Estudo do *SWMM*. Desta forma, após inúmeras tentativas, será lançado manualmente toda a rede de drenagem com todos os dispositivos do projeto.

Figura 7: Rede de Drenagem após a conversão do Arquivo

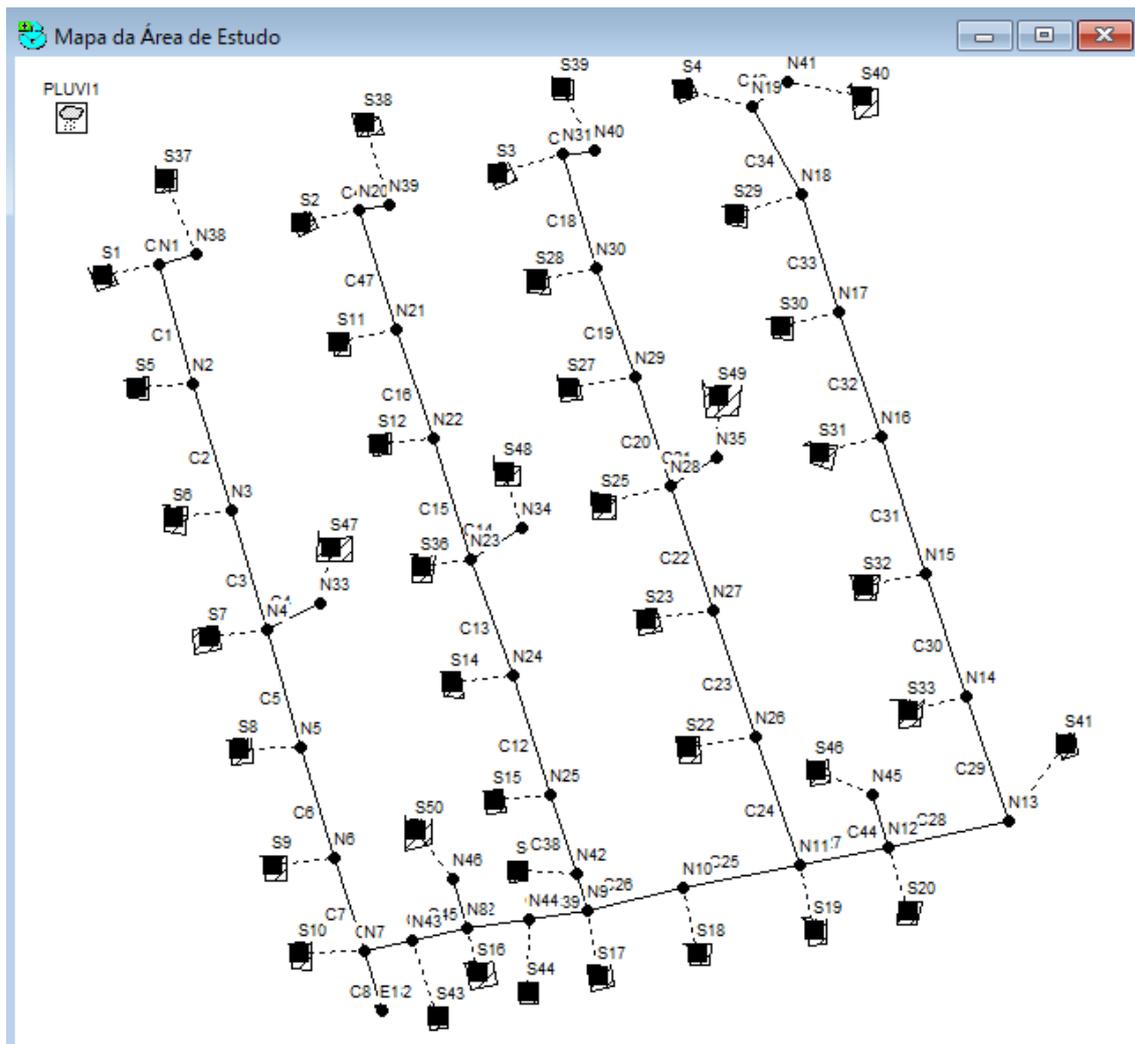


Fonte : Autor (2021)

Para otimizar a inserção dos Objetos, será utilizado uma figura de fundo (Figura 8) que servirá de base para copiar a rede de drenagem. Como o objetivo é inserir os dispositivos da rede de drenagem pluvial, todos os outros elementos foram retirados para uma melhor visualização da área, utilizando o programa *AutoCad®* da *Autodesk*.

A Figura 12, ilustra a rede de drenagem pluvial adicionada no Mapa da Área de Estudo do *SWMM*. Como é notado, as Sub-bacias foram representadas por quadrados, já as bocas de lobo, postos de visita, caixas de ligação ou de passagem, foram representadas por pontos, os Nós.

Figura 8: Rede de drenagem pluvial



Fonte: Autor (2021)

Nos Nós, foram editadas as cotas de fundo descritas como a “cota de radier da conexão em metros”. Além disso, a profundidade máxima entendida como a distância a partir da cota de radier para o trecho conectado com maior elevação em metros.

Para a caracterização dos trechos dos condutos, foram editados a Profundidade Máxima, entendida como a “profundidade máxima da seção transversal do conduto (m)”. O comprimento do trecho, retirado dos projetos fornecidos pela Incorporadora Inconew e com auxílio do programa *AutoCad®* da *Autodesk*.

Para a determinação do coeficiente de rugosidade de Manning, para caracterizar o tipo de conduto, foi consultada a Tabela 6.

Tabela 6 : Coeficiente de rugosidade de Manning

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 espraçadas, pouca vegetação	0,050	0,060	0,070	0,080
Margens espraçadas, muita vegetação	0,075	0,100	0,125	0,150

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

O valor adotado foi de $n=0,013$, que representa o tubo de concreto, atribuído a todos os condutos da rede de galerias de drenagem pluvial.

Outro elemento editado foi o *Offset* de entrada e *Offset* de saída, de acordo com Rossman (2010), que no Manual do Usuário é descrito como a distância entre o fundo do Nó e a geratriz inferior do conduto, criando um degrau. Para o trabalho em questão, foi adotado um valor de cinco centímetros, também utilizado em outros estudos acadêmicos.

No que diz respeito às sub-bacias, foram atribuídas as áreas de contribuição nos respectivos Nós, obtidas por meio das áreas de contribuição de montante, retiradas dos projetos básicos fornecidos pela

Inconew e verificados pelo programa *AutoCad*® da *Autodesk*. Outra categoria editada, foi a largura da bacia, compreendida como a distância máxima de escoamento superficial dentro da sub-bacia, como também a declividade da mesma.

A porcentagem de área impermeável foi estabelecida de acordo com as determinações citadas na Lei Complementar Nº 523 de 2011, que firmou o valor de 80%. O passo seguinte é determinar o valor do coeficiente de rugosidade, para escoamento superficial na parcela da sub-bacia impermeável, o valor utilizado foi de $n = 0,011 \text{ m}^{-1/3} \times s$, que representa uma superfície de asfalto liso. Para as áreas permeáveis, foi adotado o valor de $n = 0,15 \text{ m}^{-1/3} \times s$, que representa uma superfície composta por grama curta ou pradaria de acordo com McCuen (1996).

Continuando a caracterização das Sub-bacias, foram editados os valores do PA-Imperável e PA-Permeável. Esses valores representam a profundidade de armazenamento em depressão, para as regiões impermeáveis e permeáveis. Com essas medidas, é possível identificar o volume a ser preenchido sobre a superfície, até que ela inicie o processo de escoamento superficial de acordo com Rossman (2010).

Para valores, foram inseridos PA-Impermeável = 1,27 mm (superfícies impermeáveis) e PA-Permeável = 2,54mm (gramados) retirados da Tabela 7.

Tabela 7 : Armazenamento em Depressões	
Superfície	PA
Superfícies Impenetráveis	1,27 - 2,54 mm
Gramados	2,54 - 5,08 mm
Pastagens	5,08 mm
Serrapilheira	7,62 mm

Fonte: McCuen, R. et al. (1996), Hydrology, FHWA-SA-96-067, Federal Highway Administration, Washington, DC apud Rossman (2010)

Considerando um cenário crítico, foi atribuído o valor de 98% para a porcentagem das áreas das sub-bacias, que não ocorrem armazenamento em depressão, logo % A imp s/ arm é igual a 98%.

Outro parâmetro é a escolha do modo de propagação do escoamento dentro das sub-bacias nas áreas permeáveis e impermeáveis. O modo

escolhido foi o *OUTLET*, que considera o escoamento a partir de ambas as áreas diretamente para o exutório da sub-bacia.

Em seguida, é atribuída a porcentagem do escoamento superficial propagada entre as sub áreas, % Propagada = 100%.

Por fim, é escolhido o modelo que será utilizado para o cálculo da infiltração. Para este trabalho, foi considerado o Modelo “*CURVE_NUMBER*”, Curva Número que utiliza do Método SCS, explicado anteriormente.

Como mostrado na Tabela 2, não há uma categoria dentro das Zonas Residências que contemplem uma porcentagem de infiltração de 80%. Logo, foi utilizada a categoria de Comércio e Escritórios que apresentam uma maior impermeabilização. Além disso, foi atribuído o tipo de solo, Categoria A, ilustrando o tipo de solo da região, para lotes com área menor que 500m². Portanto, o valor considerado foi de CN = 77. É lembrado que é necessário realizar uma correção desse valor, em razão da área impermeabilizada ser superior a 30%, e o método fornece uma equação para o refinamento desse valor, descrita na Equação 3.

$$CN_w = CN_p \cdot (1 - f) + f \cdot (98) \quad \text{Eq. 3}$$

Em que:

CN_w = Número CN corrigido

CN_p = Número CN tabelado

f = Porcentagem da área impermeabilizada

O valor corrigido utilizado na simulação foi de CN = 93,8.

Para a determinação do parâmetro Tempo Seco (número de dias que o solo totalmente saturado leva para secar), foi definido a partir das recomendações do manual do usuário do programa *SWMM*, indicados por Rossman (2010). Definiu-se como 7 dias, pois é a média entre 2 a 14 dias.

O último parâmetro a ser caracterizado para início da simulação é a precipitação, que foi adicionado no Mapa da área de estudo e atribuído a todas as sub-bacias na janela de edição do Pluviômetro. A Figura 13 ilustra

os itens a serem editados.

Figura 9: Janela de Edição do Pluviômetro

Pluviômetro PLUVI1	
Propriedades	Valor
Identificador	PLUVI1
Coordenada X	-114.104
Coordenada Y	9420.818
Descrição	
Etiqueta	
Formato de Precipitação	VOLUME
Intervalo de Precipitação	0:10
Fator Neve	1.0
Origem de Dados	TIMESERIES
SÉRIE TEMPORAL:	
- Nome	Série1
ARQUIVO:	
- Nome	*

Fonte: Autor (2021)

O primeiro parâmetro a ser editado foi o Formato de Precipitação, que representa a formatação em que os dados de precipitação são fornecidos. O programa permite escolher dentre três modos, são eles, conforme descritos no manual do usuário, Rossman (2010):

- *INTENSITY*: os valores de precipitação são a taxa média em polegadas/hora (ou mm/hora) no intervalo gravado.
- *VOLUME*: cada valor de precipitação é a altura de precipitação que caiu num determinado evento chuvoso (medidos em polegadas ou milímetros).
- *CUMULATIVE*: cada valor de precipitação representa a precipitação acumulada desde o início da última série de valores não nulos (medidos em polegadas ou em milímetros).

Para o desenvolvimento do trabalho foi escolhido o modelo do *VOLUME*.

O Intervalo de Precipitação, ou seja, que deve ser menor ou igual ao intervalo de discretização utilizado para a chuva de projeto definida, considerando as recomendações, o valor escolhido foi de 10 minutos. Para a inserção da precipitação foi escolhida a configuração de *Times Series* e assim editado os valores.

Para a determinação da Equação 4, de intensidade-duração-frequência, para a cidade de Uberlândia, foi utilizado um evento chuvoso proposto do Vergutz (2016). Em seguida, foi determinada a distribuição temporal da chuva no período 2 horas. Após pesquisas em outros trabalhos acadêmicos, foi identificado que a distribuição temporal dos eventos chuvosos mais críticos em 24 horas da série histórica de Uberlândia, se assemelham muito à distribuição temporal proposta dos Huff em 1978, conforme Tucci(1995), logo, ela foi utilizada para um período de retorno de $Tr = 20$ anos. De acordo com Tabela 8.

Tabela 8 : Distribuição temporal - Duração 2 horas		
Tempo de duração (min)	Huff 1° Q 50% P	Precipitação Tr=20 anos (mm)
10	0,132	12,72
20	0,274	26,4
30	0,208	20,04
40	0,116	11,18
50	0,071	6,84
60	0,053	5,11
70	0,046	4,43
80	0,028	2,7
90	0,024	2,31
100	0,024	2,31
110	0,016	1,54
120	0,008	0,77

Fonte: Adaptado Vergutz (2016)

Ao inserir o tempo de duração na janela de edição, deve ser colocado, por exemplo, 10 minutos no formato de 0:10 e assim sucessivamente.

A Figura 14 mostra a série já adicionada.

Figura 10: Janela do Editor de Série Temporal

Editor de Série Temporal

Nome da Série Temporal
Série1

Descrição
Drenagem Pluvial EcoParck

Utilizar arquivo de dados externo. Nomeado a seguir:

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
	0:10	12.72
	0:20	26.40
	0:30	20.04
	0:40	11.18
	0:50	6.84
	1	5.11
	1:10	4.43
	1:20	2.70
	1:30	2.31

Visualizar...
OK
Cancelar
Ajuda

Fonte: Autor (2021)

Como já mencionado, o objetivo desse trabalho é analisar o comportamento da rede de drenagem em um evento chuvoso, logo, a série temporal utilizada foi retirada de outro trabalho acadêmico – Estudo de Drenagem Urbana da Avenida Professora Minervina Cândida de Oliveira em Uberlândia-MG, com uso do Programa *SWMM*, Engenheira Camila Forigo Beloti (2018), fundamentada na bibliografia já citada.

6.3 Executando a Simulação

Após a inserção de todos os elementos da área de estudo, com a descrição do escoamento superficial, o comportamento hidráulico com todos os elementos relevantes para a realização deste trabalho de conclusão de

curso, foi possível iniciar o processo de simulação. Inicialmente, é preciso especificar as opções a serem utilizadas, dentre elas :

- Opções Gerais: dentro dessa janela será possível escolher o Modelo do Processo Físico, sendo ele o Chuva/Vazão. Modelo de Infiltração sendo Curva Número. Para o Modelo de Propagação de fluxo, a Onda Cinemática.
- Opções de Datas: aqui será inserido o Início da Simulação (indruzindo a data que a simulação começará, Início de Relatórios, Final da Simulação (determinar o dia e a hora que a simulação será finalizada).
- Opções de Passo de Tempo: nesta janela, é estabelecido a data inicial para a simulação, a data de início para o registro do relatório, juntamente com a data fim da simulação. É lembrado que a duração da simulação será de 12 horas, com início no dia 28/02/2013 às 00:00 horas e final no mesmo dia 28/02/2021 às 12:00 horas.

Após o preenchimento, foram dispostos nas três janelas, conforme demonstrado na Figura 15, Figura 16 e Figura 17.

Figura 15: Opções Gerais

Opções de Simulação

Gerar Datas Passo de Tempo Onda Dinâmica Arquivos

Modelo do Processo Físico

Chuva/Vazão

Degelo de Neve

Águas Subterrâneas

Propagação de Fluxos

Qualidade da Água

Opções Diversas

Permitir Alagamento nos Nós

Relatório de Ações de Controle

Síntese dos Dados de Entrada

Pular Períodos Pseudo Estacionários

Declividade Mín. de um Conduto

0 (%)

Modelo de Infiltração

Horton

Green Ampt

Curva-Número

Modelo de Propagação de Fluxo

Regime Uniforme

Onda Cinemática

Onda Dinâmica

OK Cancelar Ajuda

Fonte: Autor (2021)

Figura 16: Opções Datas

Opções de Simulação

Gerar Datas Passo de Tempo Onda Dinâmica Arquivos

Data (M/D/A) Hora (H:M)

Início da Análise 02/28/2021 00:00

Início do Relatório 02/28/2021 00:00

Fim da Análise 02/28/2021 12:00

Início da Variação 01/01

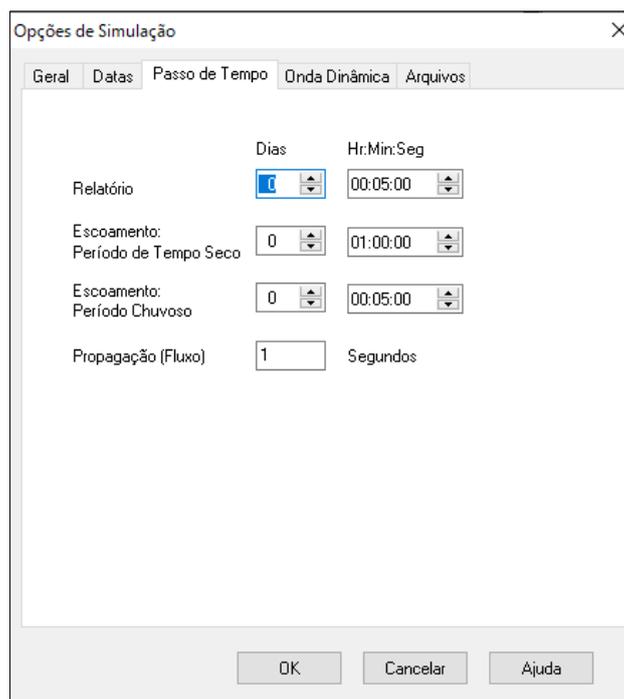
Fim da Variação 12/31

Dias Antecedentes sem Chuva 0

OK Cancelar Ajuda

Fonte: Autor (2021)

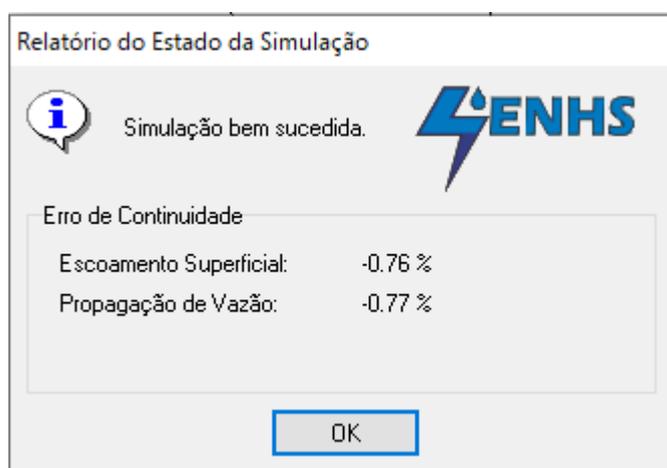
Figura 17: Opções de Passo de Tempo



Fonte: Autor (2021)

Por fim, foi iniciada a simulação. Após o processamento, o programa apresentou na janela “Relatório do Estado da Simulação” uma mensagem demonstrada pela Figura 18, mostrando que a simulação foi bem sucedida, gerando um erro de -0,76% e -0,77 % ambos menores que 10%, dentro das recomendações propostas pelo manual do usuário, para uma análise ser considerada.

Figura 18: Relatório do Estado da Simulação



Fonte: Autor (2021)

A análise detalhada da simulação foi desenvolvida nos próximos itens.

7 ANÁLISE DOS RESULTADOS

O programa *SWMM*, permite visualizar os resultados de várias formas. Para o desdobramento deste trabalho de conclusão de curso, será levantado e demonstrado o resultado do Relatório do Estado da Simulação, os resultados também serão demonstrados na forma dos Gráficos da Série Temporal e dos Perfis Longitudinais mais críticos.

7.1 Relatório do Estado da Simulação

Após a execução da simulação, foi possível visualizar o Relatório do Estado da Simulação, iniciado pela mensagem que aparece logo na sequência do comando. Como já citado anteriormente, ilustrado pela Figura 18. O relatório possui um sumário com as principais opções, como:

- Uma lista que contém os erros encontrados ao longo da simulação;
- Um sumário com os dados de entrada do projeto;
- Um sumário com os dados de chuva utilizada na simulação;
- Os trechos com os maiores Índices de Instabilidade de Fluxo;
- O conjunto de determinações adotadas durante a simulação, entre outros não relevantes para este trabalho.

Para abrir o relatório, basta selecionar na janela principal a opção “Relatório”, depois escolher o item “Estado”. Com a finalidade de trazer as principais informações pertinentes a este trabalho de conclusão de curso, serão retirados trechos do Relatório de Estado de Simulação que caracterizaram a análise. A Figura 19 traz as informações preliminares contidas no relatório, que caracterizam a simulação.

Figura 19: Relatório de Estado de Simulação – Opções de Análise

```

EPA STORM WATER MANAGEMENT MODEL - VERSION 5.0 (Build 5.0.022)
Tradução para Português(Brasil) - LENHS UFPA - 2011
Laboratório de Eficiência Energética e Hidráulica em Saneamento
-----

*****
NOTA: O Resumo estatístico mostrado neste relatório é baseado
em resultados encontrados a cada passo de tempo de processamento,
não apenas para resultados para cada passo de tempo do relatório.
*****

*****
Opções de Análise
*****
Unidades de Vazão..... LPS
Processos Modelados:
  Chuva/Vazão ..... SIM
  Degelo da Neve ..... NÃO
  Águas Subterrâneas ..... NÃO
  Propagação de Fluxo .... SIM
  Permitir Alagamento ... SIM
  Qualidade da Água ..... NÃO
Método de Infiltração ..... CURVE_NUMBER
Modelo de Propagação de Fluxo ... KINWAVE
Data de Início ..... FEB-28-2021 00:00:00
Data Final ..... FEB-28-2021 12:00:00
Dias Antecedentes sem Chuva ..... 0.0
Passo de Tempo do Relatório ..... 00:05:00
Passo de Tempo do Período Chuvoso 00:05:00
Passo de Tempo do Período Seco ... 01:00:00
Passo de Tempo de Propagação de Fluxo ... 1.00 sec

```

Fonte: Autor (2021)

A fim de alcançar um maior entendimento e organização, os resultados serão inseridos nos respectivos contextos.

7.1.1 Erros de Continuidade

Os erros indicados representam a diferença, em porcentagem, entre a quantidade armazenada inicialmente, mais o escoamento que entra e a quantidade armazenada no final mais o escoamento que deixa o sistema, de acordo com o manual do usuário. A Figura 20 ilustra os Erros de Continuidade encontrados.

Figura 20: Erros de Continuidade

*****	Volume	Altura
Balanço Hídrico	hectare*m	mm
*****	-----	-----
Precipitação Total	3.749	91.730
Perdas por Evaporação	0.000	0.000
Perdas por Infiltração	0.144	3.535
Escoamento Superficial	3.620	88.588
Armazenamento Superficial Final	0.012	0.303
Erro de Continuidade (%)	-0.758	
*****	Volume	Volume
Continuidade da Propagação de Fluxo	hectare*m	10^6 L
*****	-----	-----
Afluência Período de Tempo Seco	0.000	0.000
Afluência Período Chuvoso	3.620	36.202
Afluência Águas Subterrâneas	0.000	0.000
Afluência RDII	0.000	0.000
Afluência Externa	0.000	0.000
Efluência Externa	2.902	29.018
Efluência Interna	0.746	7.463
Perdas por Armazenamento	0.000	0.000
Volume Inicial Armazenado	0.000	0.000
Volume Final Armazenado	0.000	0.000
Erro de Continuidade (%)	-0.774	

Fonte: Autor (2021)

Chegando aos erros do Balanço Hídrico e da Propagação de Fluxo com valores de -0,75% e 0,076%, respectivamente.

7.1.2 Sobrecarga nos Nós

Ocorre quando a água ultrapassa a geratriz superior do conduto mais alto, de acordo com o relatório, situação existente nos Nós, contidos na Figura 21, nela, é visto uma nomenclatura com o nome de "JUNCTION", na coluna Tipo, trata-se de uma informação de um nó de conexão.

Figura 21: Sobrecarga nos Nós

```

*****
Síntese da Sobrecarga no Nó
*****

Sobrecarga ocorre quando a água ultrapassa a geratriz superior do conduto mais alto.
-----

```

Nó	Tipo	Horas Sobrecarga	Altura Max. Acima Crista Metros	Prof. Min. Abaixo Borda Metros
N7	JUNCTION	0.40	0.100	0.000
N15	JUNCTION	0.20	0.000	1.650
N16	JUNCTION	0.27	1.720	0.000
N17	JUNCTION	0.01	0.000	0.950
N18	JUNCTION	0.13	0.950	0.000
N19	JUNCTION	0.09	0.500	0.000
N25	JUNCTION	0.27	1.650	0.000
N27	JUNCTION	0.12	1.650	0.000
N32	JUNCTION	11.83	0.000	0.000
N37	JUNCTION	12.00	0.000	0.000
N42	JUNCTION	0.24	0.000	1.320
N43	JUNCTION	0.26	2.190	0.000

Fonte: Autor (2021)

7.1.3 Inundações e profundidade nos Nós

A Figura 22, demonstra o resultado da Síntese da Análise de Inundações dos Nós.

Figura 22: Resultado de Inundações de Nós

```

*****
Síntese da Inundação no Nó
*****

Inundação se refere a toda água que transborda um nó, alagando ou não.
-----

```

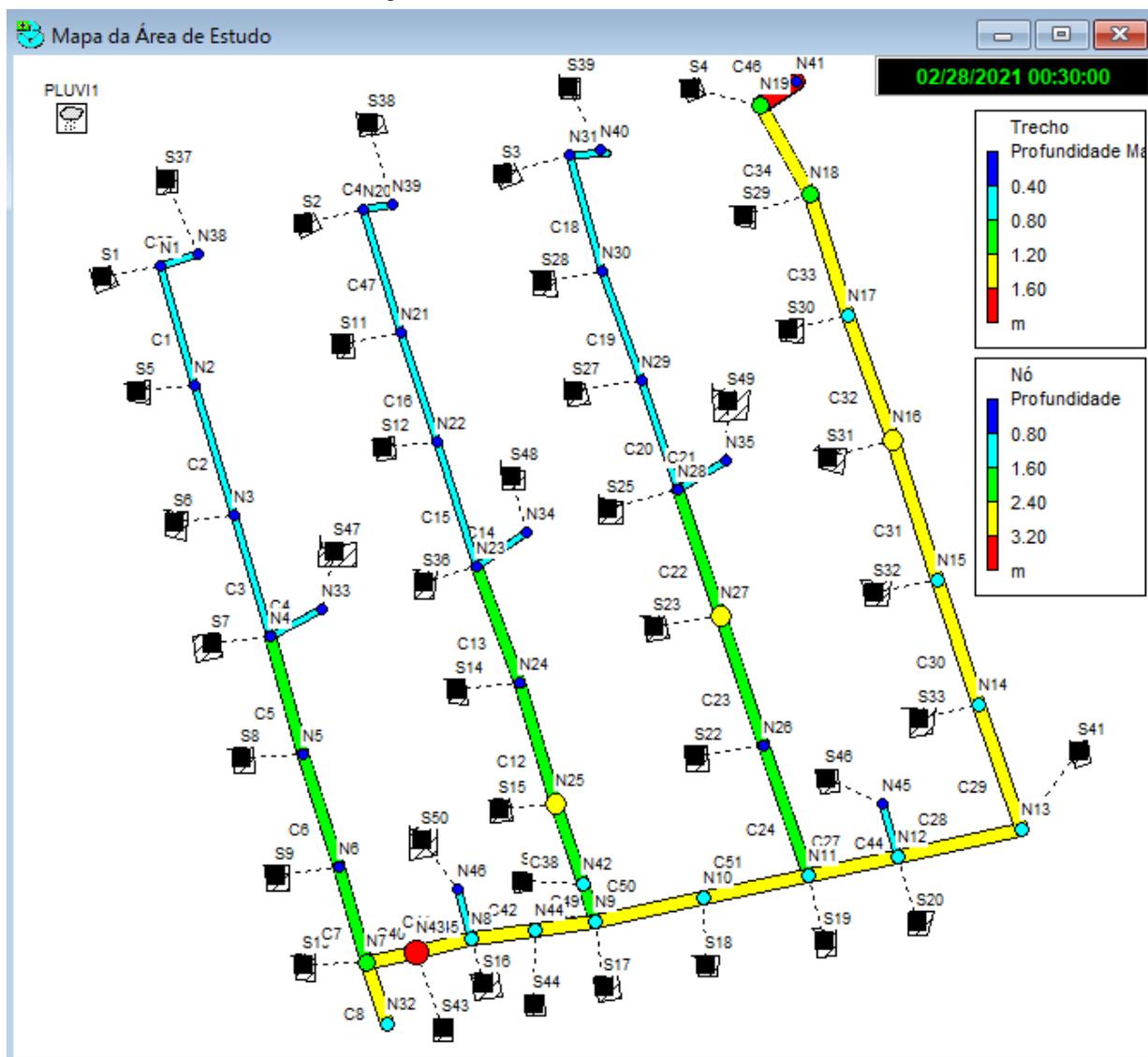
Nó	Horas Inundação	Vazão Maxima LPS	Instante Max Ocorrência dia h:min	Volume Total Inundado 10 ⁶ L	Volume Máximo Alagado 1000 m3
N7	0.40	6020.71	0 00:28	5.917	0.000
N16	0.27	891.83	0 00:27	0.426	0.000
N18	0.13	541.25	0 00:32	0.119	0.000
N19	0.09	407.61	0 00:30	0.067	0.000
N25	0.27	456.77	0 00:30	0.220	0.000
N27	0.12	187.03	0 00:30	0.049	0.000
N43	0.26	1632.49	0 00:29	0.666	0.000

Fonte: Autor (2021)

O resultado trás sete pontos de inundações nos nós N7, N16, N18, N19, N25, N27, N43. Com um volume total inundado máximo no N7 igual a

$5,917 \times 10^6$ L. Abaixo, será detalhado os alagamentos nos nós, pois o apontamento de inundações não significa que houve alagamento diretamente. A Figura 23 demonstrada a profundidade dos Nós de toda a rede analisada.

Figura 23: Profundidade dos Nós e Trechos



Fonte: Autor (2021)

7.1.4 Sobrecarga nos Condutos

Foi constatado os seguintes trechos da rede de drenagem pluvial que sofreram sobrecarga durante a simulação proposta. Visto que a sobrecarga ocorre quando a água se eleva acima da crista do conduto mais alto. A Figura 24 informa o mencionado.

Figura 24: Resultado da Sobrecarga nos Condutos

***** Síntese da Sobrecarga nos Condutos *****					
Condutos	----- Horas (cheio) -----			Horas	Horas
	Ambas Extrem.	Montante	Jusante	Fluxo Acima Normal	Capacid. Limitada
C8	0.39	0.40	0.39	0.40	0.40
C23	0.01	0.12	0.01	0.12	0.12
C31	0.20	0.27	0.20	0.27	0.27
C33	0.01	0.13	0.01	0.13	0.13
C34	0.01	0.09	0.01	0.09	0.09
C38	0.23	0.27	0.24	0.28	0.27
C40	0.19	0.26	0.19	0.26	0.26

Fonte: Autor (2021)

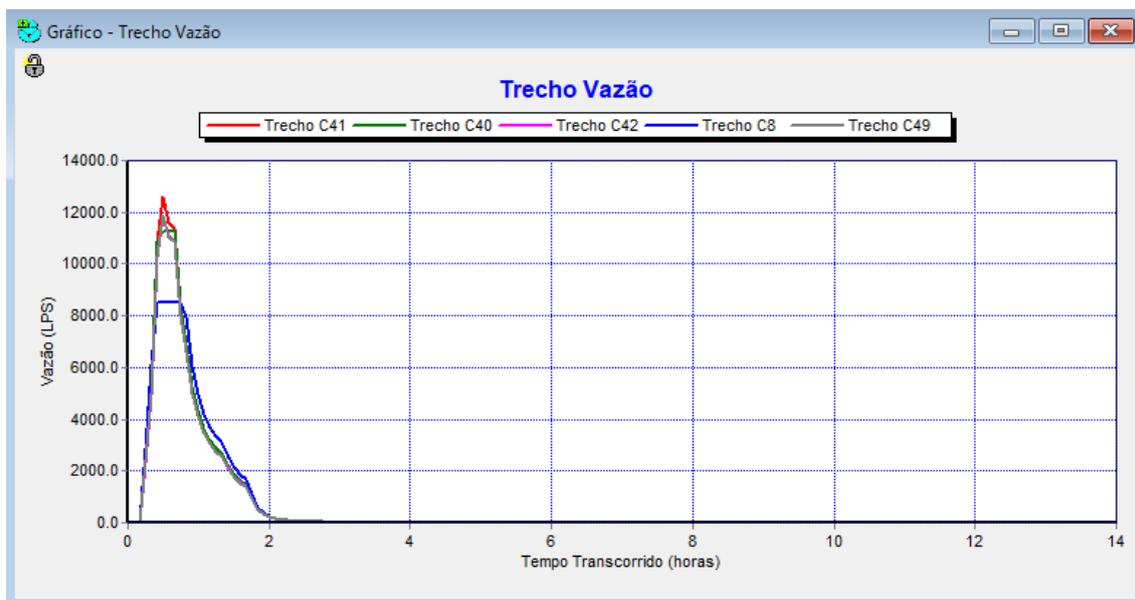
7.2 Análise Gráfica

Dentre as opções de visualização dos resultados, está a análise gráfica. O tipo de gráfico escolhido para exposição dos resultados foi baseado na Série Temporal inserida na simulação. O gráfico de uma série temporal representa o valor de uma determinada variável escolhida para detalhamento, em função do tempo. As variáveis podem ser vazão, profundidade, velocidade, número de Froude e capacidade. Para este trabalho foram escolhidos os pontos e trechos mais críticos.

7.2.1 Vazão máxima nos trechos

Pelo tabela gerada no Relatório do Estado da Simulação, foi possível identificar o trecho com maior vazão durante a simulação. O trecho mencionado é o C41, que está entre os nós N7 de entrada e N32 de saída, como já esperado, por ser o último encaminhamento da sub-bacia analisada. A vazão máxima foi de 12.969,38 L/s a 28 minutos do início da simulação, como pode ser visualizado na Figura 25. Além deste trecho, outros três mencionados na Tabela 10 se destacaram em relação aos demais com relação a vazões que superam a capacidade de transporte das tubulações utilizadas.

Figura 25: Vazão Máxima de trecho

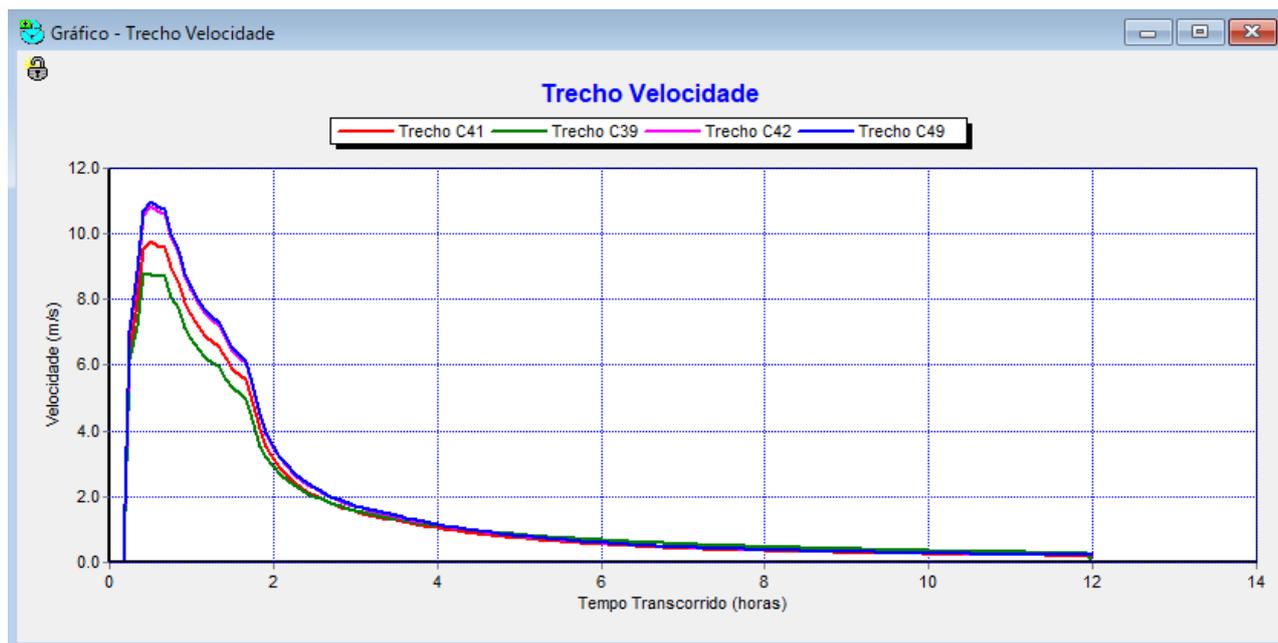


Fonte: Autor (2021)

7.2.2 Velocidade Máxima

A velocidade do escoamento presente nos trechos de um sistema de drenagem pluvial urbana, deve ser levada em consideração com um alto grau de relevância para a determinação da escolha do conduto a ser empregado, visto que cada tipo de conduto apresenta recomendações para a sua utilização, sendo a velocidade máxima, um dos parâmetros determinantes na eficiência e vida útil do sistema. Com o relatório de estado da simulação, pode ser visto encaminhamentos com velocidades acima do recomendado para condutos de concreto de 5m/s (TOMAZ, 2002), mais quatro trechos com velocidades máximas acima de 8 m/s chamaram a atenção, demonstrados na Figura 26 e a rede completa na Figura 27.

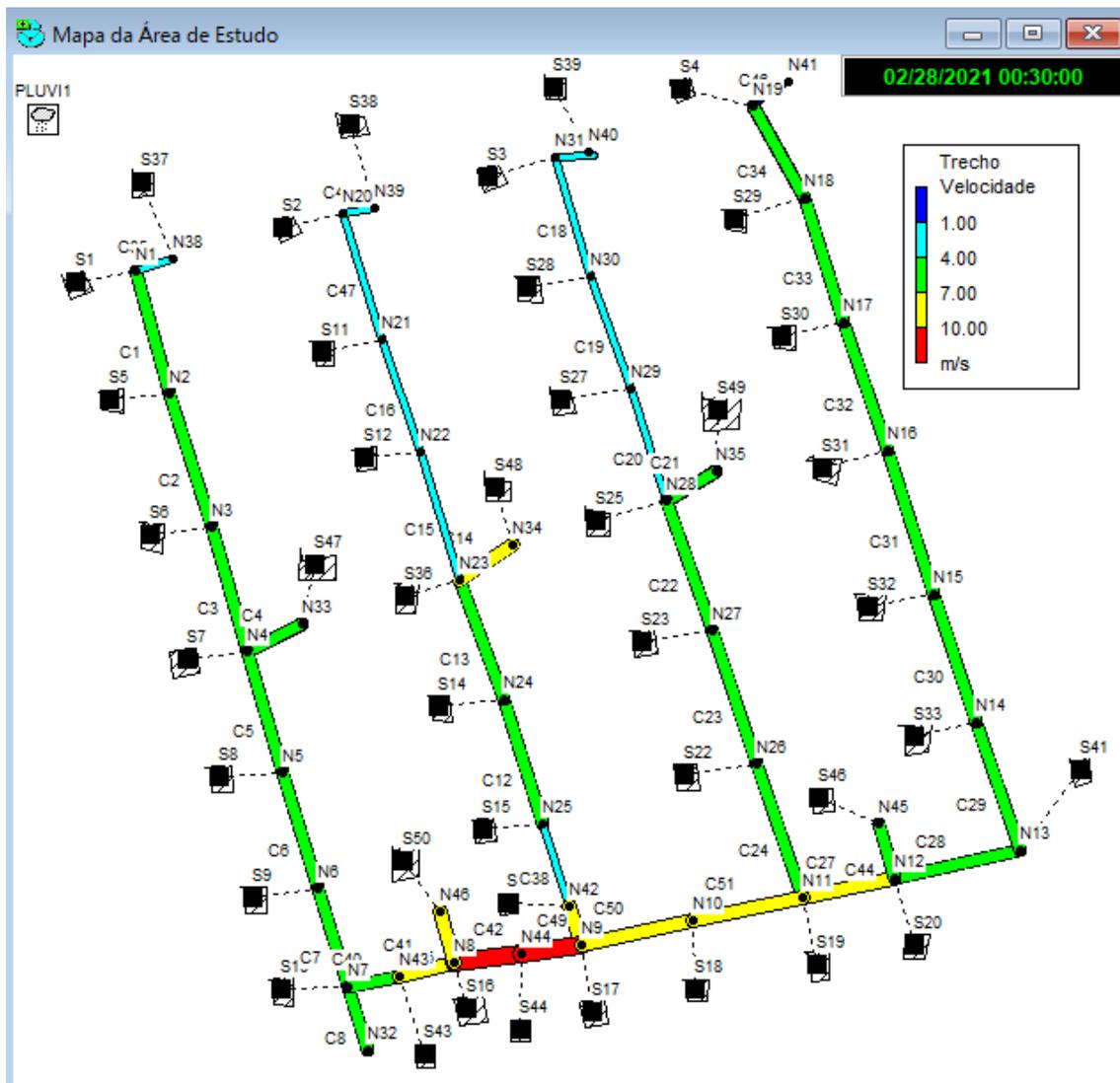
Figura 26 : Velocidade Máxima nos Trechos C41, C39,C42 e C49



Fonte: Autor (2021)

Observa-se que normalmente é comum identificar nas simulações resultados como estes, pois foi assumido um padrão de chuva bem excepcional, buscando um cenário crítico.

Figura 27 : Velocidade no instante crítico



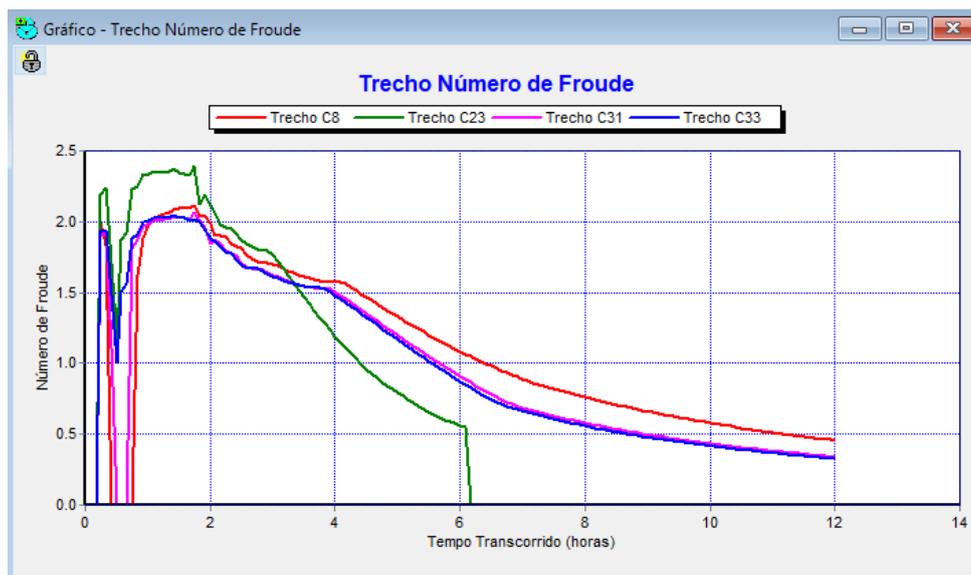
Fonte: Autor (2021)

7.2.3 Número de Froude

O Número de Froude é uma ferramenta utilizada para a determinação dos tipos de escoamentos nos condutos hidráulicos.

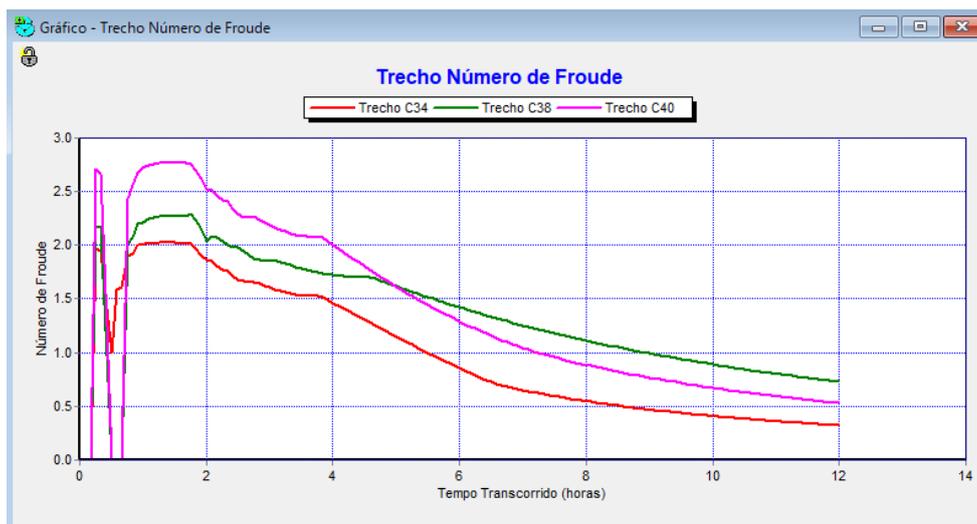
Analisando os trechos que apresentaram sobrecarga, visto na seção “7.1.4 Sobrecarga nos condutos”, verificou-se o número de Froude para definir o regime de escoamento no contudo, podendo ser subcrítico ($Froude < 1$), crítico ($Froude = 1$) e supercrítico ($Froude > 1$). É demonstrados nas Figuras 28 para os trechos C8, C23, C31 e C33 e Figura 29 para os trechos C34, C38 e C40.

Figura 28: Número de Froude trechos C8, C23, C31 e C33



Fonte: Autor (2021)

Figura 29: Número de Froude trechos C34, C38 e C40

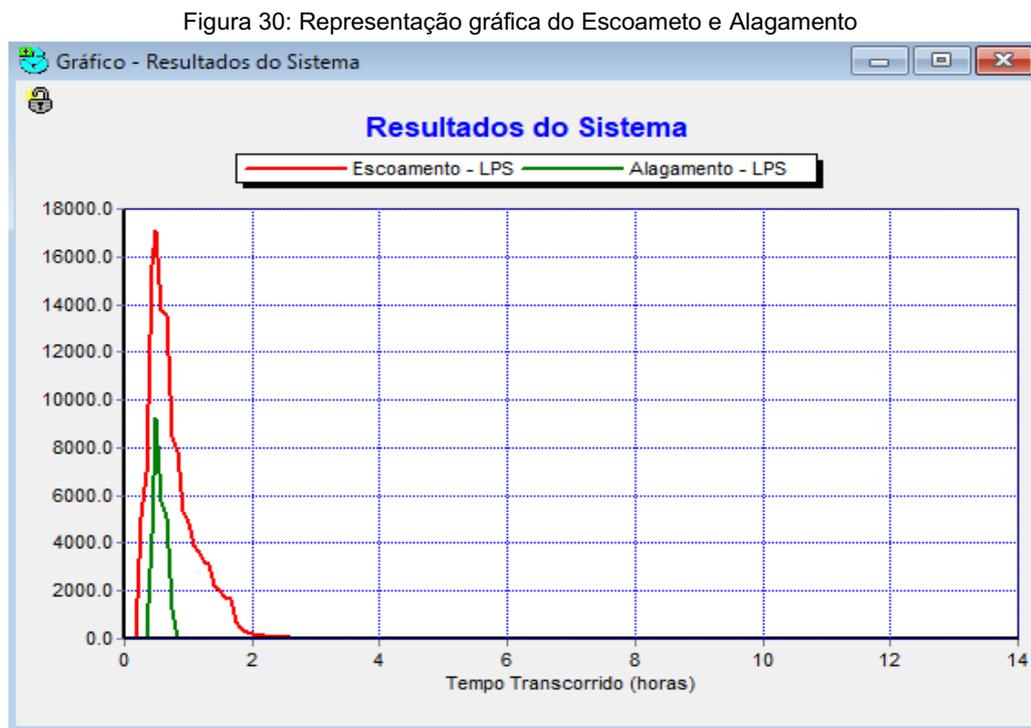


Fonte: Autor (2021)

Foi constatado que vários trechos apresentaram o número de Froude acima de 1 no período de pico da precipitação, 30 minutos após o início da simulação, com regimes supercríticos de escoamento nos condutos. Isso pode ser explicado pela escolha do tempo retorno inserido na simulação, valor alto para parâmetros de dimensionamento e pela série histórica de precipitação. Quando uma tubulação é frequentemente sujeita a escoamentos com regime supercrítico, há uma redução na vida útil da rede, que aumenta a necessidade de manutenções devido especialmente ao abrasão que ocorre nos condutos de concreto. Os regimes supercríticos apresentam baixa altura hidráulica com elevada velocidade. No decorrer da simulação, foi observado que o regime passa de supercrítico para crítico, e em seguida para regimes subcríticos.

7.2.4 Alagamentos

Por fim, será disposto na Figura 30 um gráfico que contempla a análise de todo o sistema, que ilustra o escoamento juntamente com os alagamentos no período indicado da simulação.



Fonte: Autor (2021)

Pode ser visto no gráfico, a distribuição temporal dos alagamentos presentes na simulação, já previstos na seção “7.1.3 Inundações no Nó”, indicando as inundações nos Nós. Quando trecho ocupa toda sua seção transversal, sendo incapaz de absorver mais volume, o nó inunda provocando a extravasão do efluente até a superfície, iniciando os alagamentos, que mantém até a estabilização do sistema. Foi observado que o período crítico da simulação foi 30 minutos após o seu início, indicando os maiores valores de vazões de entrada, alagamentos e sobrecarga nos condutos.

Os alagamentos indicados são resultados de uma simulação que buscou analisar uma rede de drenagem pluvial urbana em uma situação extrema de trabalho, acima dos parâmetros que normalmente utiliza-se para dimensionamentos.

8 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Consumando a expectativa e objetivo deste Trabalho de Conclusão de Curso, foi analisado o comportamento hidráulico da rede de drenagem pluvial urbana aplicada no loteamento EcoPack, através do programa *SWMM*. Foi caracterizado os nós, trechos e sub-bacias, elementos estes pertencentes à rede, além da chuva característica proposta para atuar na região estudada durante a simulação.

A metodologia escolhida resultou na inserção de parâmetros como a chuva de projeto definida (precipitação e o tempo de retorno), almejando resultados que provocassem sobrecarga na rede de drenagem, valores estes como o tempo de retorno de 20 anos, acima do que normalmente se utiliza para dimensionamento.

Observou-se que em alguns pontos da rede, ocorre a inundação no nó, em razão do preenchimento total da seção transversal da galeria de águas pluviais, que indicou trabalhar no período mais crítico da simulação em regime supercrítico.

Voltando a atenção para os alagamentos, foi visto que inicia aproximadamente 20 minutos após o início da simulação, chegando a marca máxima de 9235,08 L/s após 30 minutos, estabilizando antes da conclusão

da primeira hora.

Também foi apontado situações de sobrecarga e trechos que atingiram sua capacidade máxima de escoamento. A velocidade, que também caracteriza o comportamento hidráulico do escoamento, chamou a atenção, pois os últimos trechos da rede indicaram velocidades acima do recomendado, como demonstrado nas seções anteriores e, pensando em futuras expansões fica inviável a utilização destes trechos.

Uma opção de melhoria seria a estruturação de uma rede paralela, com no mínimo duas linhas de galerias, para dividir o volume e assim, reduzir a velocidade nos trechos. Como a incorporadora pretende lançar outro loteamento nos limites externos do Ecopark, e já sabendo dessa limitação, a solução escolhida para não sobrecarregar a rede, será implementar um trecho paralelo ao existente, que se inicia no Nó N13 e termina no N7, ficando independente da rede existente.

Em resumo, para resultados mais apurados, seria preciso aplicar a simulação com um maior número de situações, variando os parâmetros até um valor aplicável que aproximasse mais da realidade, ficando como sugestão para possíveis trabalhos subsequentes.

Outra informação que poderia ser analisada em outros trabalhos, gira em torno da eficiência da estrutura construída para amortecimento e dissipação da energia acumulada durante o escoamento, situado no ponto final do encaminhamento, antes de ser lançado no afluente.

REFERÊNCIAS

AB'SABER, A.N. **Domínios morfoclimáticos e províncias fitogeográficas do Brasil**. In: Orientação, n.3 São Paulo: IGEO/USP, 1967.

ALMEIDA, 2014. **POLÍTICA E PLANO MUNICIPAL DE SANEAMENTO BÁSICO**. Disponível em: http://bvsmms.saude.gov.br/bvs/publicacoes/politica_plano_municipal_saneamento_basico_2_ed.pdf. Acesso em: 09 fev. 2021.

BOUWER, H.; RICE, R. C. A Slug Test Method for Determining Hydraulic Conductivity of Unconfined Aquifers with Completely or Partially Penetrating Wells. *Water Resources Research*, v.12, n.3, p. 423-428, 1976.

BRASIL. **Lei nº 11.445, de 05 de janeiro de 2007**. Brasília, DF, Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2007-2010/2007/Lei/L11445.htm>. Acesso em: 10 jan. 2021.

CHILDS, E.C.; BYBORDI, M.(1969) - The Vertical Movement of Water in Stratified Porous Material. 1.Infiltration. *Water Resources Research* 5(2): 446- 459.

DEL GROSSI, S. R. **A dinâmica climática atual de Uberlândia e suas implicações geomorfológicas**. Sociedade & Natureza, Uberlândia, v. 05, nº 09 e 10, p. 115 – 120, 1993. _____ **De Uberabinha a Uberlândia: os caminhos da natureza**. São Paulo: FFLCH da USP, 1991. (Tese de Doutorado).

FERNANDES, M.R. e SILVA, J. C. **Programa Estadual de Manejo de SubBacias Hidrográficas: Fundamentos e estratégias** - Belo Horizonte: EMATERMG. 24p. 1994.

LINSLEY, R. K. Jr. & FRANZINI, S. B. **Engenharia de Recursos Hídricos**. Tradução e adaptação de Luiz Américo Pastorino. São Paulo: McGraw-Hill do Brasil, 1978.

LOMBARDI NETO, F.; BELLINAZZI JÚNIOR, R.; GALETI, P. A.; BERTOLINI, D.; LEPSCH, I. F.; OLIVEIRA, J.B. **Nova abordagem para cálculo de espaçamento entre terraços**. Simpósio sobre terraceamento agrícola. Campinas, 1989.Fundação Cargill. p. 99-124.

LOU, Rodrigo Furtado. **MODELAGEM HIDROLÓGICA CHUVA-VAZÃO E HIDRODINÂMICA APLICADA NA BACIA EXPERIMENTAL DO RIO PIABANHA/RJ**. 2010. 193 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2010.

ROCHA;KURTZ,2021. **Diagnóstico Ambiental da Microbacia Hidrográfica do Rio do Saco**, Santa Luzia – PB. Disponível em : <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe/article/viewFile/232645/26658>. Acesso em: 05 de abr. 2021.

ROSSMAN, L. A. **Storm water management model User's manual Version 5.0**. Cincinnati: U. S. Environmental Protection Agency, 2010. 285 p

Secretaria Municipal de Planejamento- **Plano diretor e saneamento ambiental**. Disponível em http://servicos.uberlandia.mg.gov.br/uploads/cms_b_arquivos/17675.pdf. Acesso em: 07 fev. 2021.

SHINMA, Taís Arriero. **Calibração multiobjetivo do SWMM aplicada à transformação chuva-vazão**. 2011. 136 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Engenharia Hidráulica e Saneamento, Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Carlos, 2011.

SILVEIRA, A. L. L. **Ciclo Hidrológico e bacia hidrográfica**. In: M., Tucci C. E. (Org.). Hidrologia: Ciência e Aplicação. 2. ed. Porto Alegre: ABRH, 1997. Cap.2. p. 35-52.

SOUZA, C. S.; CRUZ, M. A. S.; TUCCI, C. E. M. **Desenvolvimento Urbano de Baixo Impacto: Planejamento e Tecnologias Verdes para a Sustentabilidade das Águas Urbanas**. RBRH - Revista Brasileira de Recursos Hídricos, p. 9-18, Abr/Jun, 2012.

TOMAZ, Plínio. **Capítulo 12 - Infiltração usando o Método do número da curva CN do SCS**. In: TOMAZ, Plínio. Infiltração e dry well. São Paulo: Novatec, 2011. p.14. Disponível em: <http://www.pliniotomaz.com.br/downloads/livros/livro_infiltracao/capitulo128.pdf>. Acesso em: 15 jan. 2021.

TUCCI, Carlos E. M.. **Modelos Hidrológicos**. 2. ed. Porto Alegre: Editora da UFRGS, 2005. 678 p.

TUCCI, C. E. M. **Água no meio Urbano**. In. Disponível em: http://www.mpf.mp.br/atuacao-tematica/ccr4/importacao/institucional/grupos-de-trabalho/encerrados/residuos/documentos-diversos/outros_documentos_tecnicos/curso-gestao-do-territorio-e-manejo-integrado-das-aguas-urbanas/aguameio%20urbano.pdf. Acesso em: 22 jan. 2021.

VERGÜTZ, L. A. A. **Análise da implantação de reservatórios de retenção na bacia São Pedro e modelagem hidrodinâmica da Avenida Governador Rondon Pacheco**. 2016. 102 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2016

VILLELA, Swami Marcondes; MATTOS, Arthur. **Hidrologia Aplicada**. Porto Alegre: Mcgraw Hill do Brasil, 1975. 239 p.

ANEXO 1 – TABELA DE DADOS DE ENTRADA

TRECHO	ÁREAS (ha)		DIÂ METRO (mm)	DECLI VIDADE m/m	COTAS DO TERRENO (M)		EXTEN SÃO (M)	PROF.DO COLETOR		COTAS DO) COLETOR (M)	
	PAR CIAIS	ACUMU LADO			MONT.	JUS.		MONT.	JUS.	MONT.	JUS.
N38 N1	0,4301	1,2761	600	0,0276	858,71	857,88	30,00	1,65	1,65	857,06	856,23
N1 N2	0,2355	1,2761	600	0,0293	857,88	855,36	83,00	1,65	1,65	856,23	853,71
N2 N3	0,3284	1,5116	600	0,0293	855,36	852,69	91,00	1,65	1,65	853,71	851,04
N3 N4	0,3180	1,8400	600	0,0293	852,69	850,25	83,00	1,65	1,65	851,04	848,60
N4 N5	0,4835	3,8474	800	0,0304	850,25	846,17	83,00	3,20	1,65	847,05	844,52
N5 N6	0,3451	4,3309	800	0,0300	846,17	842,34	78,00	3,14	1,65	843,03	840,69
N6 N7	0,2612	4,6760	800	0,0300	842,34	839,00	68,00	2,95	1,65	839,39	837,35
N33 N4	0,0000	1,6894	600	0,0305	851,43	850,25	37,00	1,65	1,60	849,78	848,65
N39 N20	0,4516	1,2906	600	0,0339	861,22	860,66	23,00	1,65	1,65	859,79	859,01
N20 N21	0,3804	1,2906	600	0,0227	860,66	858,75	84,00	2,50	2,50	858,16	856,25
N21 N22	0,5120	1,6710	600	0,0223	858,75	856,96	80,00	2,50	2,50	856,25	854,46
N22 N23	0,5031	2,1830	600	0,0222	856,96	855,16	81,00	2,50	2,50	854,46	852,66
N23 N24	1,0210	4,3095	800	0,0249	855,16	852,79	87,00	2,70	2,50	852,46	850,29
N24 N25	0,9800	5,3305	800	0,0271	852,79	850,59	81,00	2,50	2,50	850,29	848,09
N25 N42	0,6253	6,3105	800	0,0210	850,59	849,00	60,00	2,50	2,17	848,09	846,83
N42 N9	0,0000	6,9358	800	0,0220	849,00	848,50	24,00	2,17	2,20	846,83	846,30
N34 N23	0,0000	1,6234	600	0,0351	856,39	855,16	35,00	1,65	1,65	859,35	853,51
N40 N31	0,3616	0,9916	600	0,0279	864,67	864,00	24,00	1,65	1,65	863,02	862,35
N31 N30	0,3480	0,9916	600	0,0177	864,00	862,62	78,00	2,50	2,50	861,50	860,12
N30 N29	0,5120	1,3396	600	0,0177	862,62	861,20	80,00	2,50	2,50	860,12	858,70
N29 N28	0,4820	1,8516	600	0,0177	861,20	859,85	76,00	2,50	2,50	858,70	857,35

TRECHO	ÁREAS (ha)		DIÂ METRO (mm)	DECLI VIDADE m/m	COTAS DO		EXTEN SÃO (M)	PROF.DO COLETOR		COTAS DO) COLETOR (M)			
	PAR CIAS	ACUMU LADO			TERRENO (M)			MONT.	JUS.	MONT.	JUS.	MONT.	JUS.
					MONT.	JUS.							
N28 N27	1,1970	3,9556	800	0,0201	859,85	857,84	90,00	2,70	2,50	857,17	855,34		
N27 N26	0,9317	5,1526	800	0,0223	857,84	855,83	90,00	2,50	2,50	855,34	853,33		
N26 N11	0,6021	6,0843	800	0,0202	855,83	853,77	92,00	2,50	2,30	853,33	851,47		
N19 N18	0,5063	12,7400	1.200	0,0145	867,81	866,82	68,00	2,20	2,20	865,61	864,62		
N18 N17	0,6631	13,2463	1200	0,0145	866,82	865,58	85,00	2,20	2,20	864,62	86,38		
N17 N16	0,6420	13,9094	1200	0,0145	865,58	864,34	86,00	2,20	2,20	863,38	862,14		
N16 N15	0,9511	14,5514	1200	0,0145	864,34	862,15	98,00	2,97	2,20	861,37	859,95		
N15 N14	0,7020	15,5025	1200	0,0145	862,15	860,15	90,00	2,90	2,20	859,25	857,95		
N14 N13	0,6160	16,2045	1200	0,0145	860,15	858,19	88,00	2,88	2,20	857,27	855,99		
N35 N28	0,0000	1,6220	600	0,0314	861,00	859,85	35,00	1,65	1,60	856,10	858,25		
N13 N12	0,2999	16,8205	1200	0,0150	858,19	855,62	84,40	3,42	2,20	854,77	853,22		
N12 N11	0,2266	18,6340	1200	0,0150	855,62	853,77	61,00	3,14	2,20	852,48	851,57		
N11 N10	0,3330	25,5470	1500	0,0080	853,77	851,20	77,90	4,44	2,50	849,33	848,70		
N10 N9	0,2441	25,8800	1500	0,0080	851,20	848,50	65,00	4,68	2,50	846,52	846,00		
N9 N44	0,2719	33,0599	1500	0,0121	848,50	846,18	41,00	4,33	2,50	844,17	843,68		
N44 N8	0,0000	33,0599	1500	0,0120	846,18	843,45	41,00	4,73	2,50	841,45	840,95		
N8 N43	0,2521	34,3906	1500	0,0125	843,45	840,88	35,00	4,63	2,50	838,82	838,38		
N43 N7	0,0000	34,3906	1500	0,0125	840,88	839,00	35,00	3,74	2,30	837,14	836,70		
N7 N32	0,0000	39,3278	1500	0,0145	839,00	837,00	41,30	2,75	1,35	836,25	835,65		
N45 N12	0,0000	1,5136	600	0,0153	855,62	855,62	13,00	1,60	1,80	854,02	853,82		
N46 N8	0,0000	1,3307	600	0,0142	843,45	843,45	14,00	1,60	1,80	841,85	841,65		

ANEXO 2 – RESULTADO RELATÓRIO DE ESTADO DE SIMULAÇÃO

EPA STORM WATER MANAGEMENT MODEL - VERSION 5.0 (Build 5.0.022)
 Tradução para Português (Brasil) - LENHS UFPA - 2011
 Laboratório de Eficiência Energética e Hidráulica em Saneamento

 NOTA: O Resumo estatístico mostrado neste relatório é baseado
 em resultados encontrados a cada passo de tempo de processamento,
 não apenas para resultados para cada passo de tempo do relatório.

Opções de Análise

Unidades de Vazão..... LPS

Processos Modelados:

Chuva/Vazão SIM
 Degelo da Neve NÃO
 Águas Subterrâneas NÃO
 Propagação de Fluxo SIM
 Permitir Alagamento ... SIM
 Qualidade da Água NÃO

Método de Infiltração CURVE_NUMBER

Modelo de Propagação de Fluxo ... KINWAVE

Data de Início FEB-28-2021 00:00:00

Data Final FEB-28-2021 12:00:00

Dias Antecedentes sem Chuva 0.0

Passo de Tempo do Relatório 00:05:00

Passo de Tempo do Período Chuvoso 00:05:00

Passo de Tempo do Período Seco ... 01:00:00

Passo de Tempo de Propagação de Fluxo ... 1.00 sec

*****	Volume	Altura
Balanco Hídrico	hectare*m	mm
*****	-----	-----
Precipitação Total	3.749	91.730
Perdas por Evaporação	0.000	0.000
Perdas por Infiltração	0.144	3.535
Escoamento Superficial	3.620	88.588
Armazenamento Superficial Final	0.012	0.303
Erro de Continuidade (%)	-0.758	

*****	Volume	Volume
Continuidade da Propagação de Fluxo	hectare*m	10^6 L
*****	-----	-----
Afluência Período de Tempo Seco	0.000	0.000
Afluência Período Chuvoso	3.620	36.202
Afluência Águas Subterrâneas	0.000	0.000
Afluência RDII	0.000	0.000
Afluência Externa	0.000	0.000
Efluência Externa	2.902	29.018
Efluência Interna	0.746	7.463
Perdas por Armazenamento	0.000	0.000
Volume Inicial Armazenado	0.000	0.000
Volume Final Armazenado	0.000	0.000
Erro de Continuidade (%)	-0.774	

Índices da Maior Instabilidade de Fluxo

Todos os trechos são estáveis.

Resumo do Passo de Tempo de Propagação

Passo de Tempo Mínimo	:	1.00 seg
Passo de Tempo Médio	:	1.00 seg
Passo de Tempo Máximo	:	1.00 seg
Porcentagem em Regime Permanente	:	0.00
Média de Iterações por Passo	:	1.04

 Síntese do Escoamento Superficial por Sub-bacia

Sub-bacia	Precip Total mm	Aflu Total mm	Evap Total mm	Infil Total mm	Runoff Total mm	Runoff Total 10 ⁶ L	Pico Runoff LPS	Coef Runoff
S1	91.73	0.00	0.00	3.21	88.99	1.14	536.38	0.970
S2	91.73	0.00	0.00	3.18	88.97	0.75	357.82	0.970
S3	91.73	0.00	0.00	3.17	88.93	0.56	269.49	0.970
S4	91.73	0.00	0.00	3.28	88.83	11.32	5113.51	0.968
S5	91.73	0.00	0.00	3.15	88.72	0.21	101.05	0.967
S6	91.73	0.00	0.00	2.84	89.35	0.29	140.80	0.974
S7	91.73	0.00	0.00	3.16	88.89	0.28	136.26	0.969
S8	91.73	0.00	0.00	3.17	88.97	0.43	206.35	0.970
S9	91.73	0.00	0.00	3.16	88.92	0.31	147.73	0.969
S10	91.73	0.00	0.00	3.17	88.94	0.46	219.37	0.970
S11	91.73	0.00	0.00	3.22	88.97	0.34	159.21	0.970
S12	91.73	0.00	0.00	3.18	88.99	0.46	217.52	0.970
S14	91.73	0.00	0.00	3.22	88.96	0.91	425.63	0.970
S15	91.73	0.00	0.00	3.22	88.96	0.87	408.77	0.970
S16	91.73	0.00	0.00	3.14	88.77	0.24	116.34	0.968
S17	91.73	0.00	0.00	3.21	88.99	0.74	348.50	0.970
S18	91.73	0.00	0.00	3.20	89.00	0.30	141.10	0.970
S19	91.73	0.00	0.00	3.21	88.99	0.74	348.52	0.970
S20	91.73	0.00	0.00	3.17	88.94	0.27	128.22	0.970
S22	91.73	0.00	0.00	3.22	88.97	0.83	389.67	0.970
S23	91.73	0.00	0.00	3.25	88.92	1.06	492.65	0.969
S25	91.73	0.00	0.00	3.20	89.00	0.43	204.25	0.970
S27	91.73	0.00	0.00	3.20	89.00	0.46	216.91	0.970
S28	91.73	0.00	0.00	3.17	88.97	0.31	148.51	0.970
S29	91.73	0.00	0.00	3.21	88.99	0.45	212.75	0.970
S30	91.73	0.00	0.00	3.21	88.98	0.59	278.13	0.970
S31	91.73	0.00	0.00	3.21	88.99	0.57	269.75	0.970
S32	91.73	0.00	0.00	3.23	88.95	0.85	394.89	0.970
S33	91.73	0.00	0.00	3.21	88.98	0.62	294.45	0.970
S36	91.73	0.00	0.00	3.18	88.99	0.45	213.87	0.970
S37	91.73	0.00	0.00	3.17	88.93	0.38	183.99	0.969
S38	91.73	0.00	0.00	3.16	88.87	0.40	193.58	0.969
S39	91.73	0.00	0.00	3.16	88.87	0.32	155.00	0.969
S41	91.73	0.00	0.00	3.21	88.99	0.55	259.44	0.970
S42	91.73	0.00	0.00	3.22	88.97	0.56	261.09	0.970
S46	91.73	0.00	0.00	3.18	88.98	1.35	644.50	0.970
S47	91.73	0.00	0.00	3.18	88.65	1.50	718.41	0.966
S48	91.73	0.00	0.00	11.13	80.82	1.31	465.46	0.881
S49	91.73	0.00	0.00	3.20	89.00	1.44	687.25	0.970
S50	91.73	0.00	0.00	3.18	88.97	1.18	567.57	0.970

 Síntese da Profundidade de Água dos Nós

Nó	Tipo	Prof. Média Metros	Prof. Máxima Metros	Piez. Máxima Metros	Instante Max Ocorrência dia h:min
N1	JUNCTION	0.08	0.41	856.64	0 00:30
N2	JUNCTION	0.08	0.45	854.16	0 00:30
N3	JUNCTION	0.08	0.45	851.49	0 00:30
N4	JUNCTION	0.09	0.51	847.56	0 00:30
N5	JUNCTION	0.09	0.55	843.58	0 00:30
N6	JUNCTION	0.09	0.57	839.96	0 00:30
N7	JUNCTION	0.19	1.65	837.90	0 00:22
N8	JUNCTION	0.14	1.10	839.92	0 00:29
N9	JUNCTION	0.13	0.95	845.12	0 00:29
N11	JUNCTION	0.13	0.99	850.32	0 00:29
N12	JUNCTION	0.13	0.97	853.45	0 00:28
N13	JUNCTION	0.13	0.98	855.75	0 00:28
N14	JUNCTION	0.13	0.93	858.20	0 00:28
N15	JUNCTION	0.14	1.25	861.20	0 00:28
N16	JUNCTION	0.18	2.97	864.34	0 00:24
N17	JUNCTION	0.14	1.25	864.63	0 00:27
N18	JUNCTION	0.15	2.20	866.82	0 00:25
N19	JUNCTION	0.14	2.20	867.81	0 00:27
N20	JUNCTION	0.08	0.38	858.54	0 00:30
N21	JUNCTION	0.08	0.45	856.70	0 00:30
N22	JUNCTION	0.08	0.52	854.98	0 00:30
N23	JUNCTION	0.10	0.56	853.02	0 00:30
N24	JUNCTION	0.10	0.65	850.94	0 00:30
N25	JUNCTION	0.15	2.50	850.59	0 00:24
N26	JUNCTION	0.10	0.78	854.11	0 00:32
N27	JUNCTION	0.12	2.50	857.84	0 00:25
N28	JUNCTION	0.09	0.64	857.79	0 00:30
N29	JUNCTION	0.08	0.49	859.19	0 00:30
N30	JUNCTION	0.08	0.42	860.54	0 00:30
N31	JUNCTION	0.07	0.36	861.86	0 00:30
N32	JUNCTION	1.53	1.55	837.20	0 00:10
N33	JUNCTION	0.07	0.33	850.11	0 00:30
N34	JUNCTION	0.07	0.22	859.57	0 00:40
N35	JUNCTION	0.07	0.33	859.68	0 00:30
N37	JUNCTION	0.00	0.00	0.00	0 00:00
N38	JUNCTION	0.06	0.22	857.28	0 00:30
N39	JUNCTION	0.06	0.19	859.98	0 00:30
N40	JUNCTION	0.06	0.18	863.20	0 00:30
N41	JUNCTION	0.05	0.05	866.64	0 00:00
N42	JUNCTION	0.12	0.85	847.68	0 00:27
N43	JUNCTION	0.21	3.74	840.88	0 00:25
N44	JUNCTION	0.13	0.96	842.41	0 00:29
N45	JUNCTION	0.07	0.28	854.30	0 00:30
N46	JUNCTION	0.06	0.23	842.08	0 00:30
N10	JUNCTION	0.13	0.99	847.51	0 00:29

 Síntese do Fluxo de Entrada nos Nós

Nó	Tipo	Fluxo		Instante da		Volume	
		Máximo Lateral LPS	Máximo Total LPS	Max Ocorr. dia	h:min	Lateral 10 ⁶ L	Total 10 ⁶ L
N1	JUNCTION	536.38	720.16	0	00:30	1.136	1.518
N2	JUNCTION	101.05	819.90	0	00:30	0.209	1.725
N3	JUNCTION	140.80	958.01	0	00:30	0.293	2.017
N4	JUNCTION	136.26	1809.06	0	00:30	0.283	3.797
N5	JUNCTION	206.35	2013.02	0	00:30	0.430	4.225
N6	JUNCTION	147.73	2158.39	0	00:30	0.307	4.529
N7	JUNCTION	219.37	14541.92	0	00:28	0.456	34.920
N8	JUNCTION	116.34	12909.00	0	00:29	0.241	30.446
N9	JUNCTION	348.50	12232.93	0	00:29	0.737	29.033
N11	JUNCTION	348.52	9587.61	0	00:29	0.737	22.194
N12	JUNCTION	128.22	6808.31	0	00:28	0.267	16.081
N13	JUNCTION	259.44	6059.98	0	00:28	0.548	14.473
N14	JUNCTION	294.45	5794.72	0	00:28	0.625	13.931
N15	JUNCTION	394.89	5459.34	0	00:28	0.846	13.313
N16	JUNCTION	269.75	5626.82	0	00:27	0.571	12.836
N17	JUNCTION	278.13	5349.00	0	00:27	0.590	12.271
N18	JUNCTION	212.75	5270.11	0	00:32	0.451	11.735
N19	JUNCTION	5113.51	5113.51	0	00:30	11.317	11.317
N20	JUNCTION	357.82	551.30	0	00:30	0.746	1.148
N21	JUNCTION	159.21	709.54	0	00:30	0.338	1.486
N22	JUNCTION	217.52	924.20	0	00:30	0.456	1.940
N23	JUNCTION	213.87	1553.58	0	00:30	0.448	3.698
N24	JUNCTION	425.63	1972.42	0	00:30	0.908	4.603
N25	JUNCTION	408.77	2373.37	0	00:30	0.872	5.472
N26	JUNCTION	389.67	2485.38	0	00:32	0.829	5.383
N27	JUNCTION	492.65	2163.57	0	00:30	1.064	4.577
N28	JUNCTION	204.25	1676.16	0	00:30	0.429	3.516
N29	JUNCTION	216.91	787.10	0	00:30	0.456	1.645
N30	JUNCTION	148.51	572.04	0	00:30	0.310	1.191
N31	JUNCTION	269.49	424.41	0	00:30	0.560	0.882
N32	JUNCTION	0.00	9219.98	0	00:23	0.000	29.018
N33	JUNCTION	718.41	718.41	0	00:30	1.498	1.498
N34	JUNCTION	465.46	465.46	0	00:40	1.312	1.312
N35	JUNCTION	687.25	687.25	0	00:30	1.444	1.444
N37	JUNCTION	0.00	0.00	0	00:00	0.000	0.000
N38	JUNCTION	183.99	183.99	0	00:30	0.382	0.382
N39	JUNCTION	193.58	193.58	0	00:30	0.401	0.401
N40	JUNCTION	155.00	155.00	0	00:30	0.321	0.321
N41	JUNCTION	0.00	0.00	0	00:00	0.000	0.000
N42	JUNCTION	261.09	2319.53	0	00:26	0.556	5.821
N43	JUNCTION	0.00	12907.32	0	00:29	0.000	30.442
N44	JUNCTION	0.00	12231.28	0	00:29	0.000	29.028
N45	JUNCTION	644.50	644.50	0	00:30	1.347	1.347
N46	JUNCTION	567.57	567.57	0	00:30	1.184	1.184
N10	JUNCTION	141.10	9720.08	0	00:29	0.296	22.483

 Síntese da Sobrecarga no Nó

Sobrecarga ocorre quando a água ultrapassa a geratriz superior do conduto mais alto.

Nó	Tipo	Horas Sobrecarga	Altura Max.	Prof. Min.
			Acima Crista Metros	Abaixo Borda Metros
N7	JUNCTION	0.40	0.100	0.000
N15	JUNCTION	0.20	0.000	1.650
N16	JUNCTION	0.27	1.720	0.000
N17	JUNCTION	0.01	0.000	0.950
N18	JUNCTION	0.13	0.950	0.000
N19	JUNCTION	0.09	0.500	0.000
N25	JUNCTION	0.27	1.650	0.000
N27	JUNCTION	0.12	1.650	0.000
N32	JUNCTION	11.83	0.000	0.000
N37	JUNCTION	12.00	0.000	0.000
N42	JUNCTION	0.24	0.000	1.320
N43	JUNCTION	0.26	2.190	0.000

 Síntese da Inundação no Nó

Inundação se refere a toda água que transborda um nó, alagando ou não.

Nó	Horas Inundação	Vazão	Instante Max	Volume	Volume
		Maxima LPS	Ocorrência dia h:min	Total Inundado 10 ⁶ L	Máximo Alagado 1000 m3
N7	0.40	6020.71	0 00:28	5.917	0.000
N16	0.27	891.83	0 00:27	0.426	0.000
N18	0.13	541.25	0 00:32	0.119	0.000
N19	0.09	407.61	0 00:30	0.067	0.000
N25	0.27	456.77	0 00:30	0.220	0.000
N27	0.12	187.03	0 00:30	0.049	0.000
N43	0.26	1632.49	0 00:29	0.666	0.000

 Síntese da Sobrecarga nos Condutos

Condutos	----- Horas (cheio) -----			Horas	Horas
	Ambas Extrem.	Montante	Jusante	Fluxo Acima Normal	Capacid. Limitada
C8	0.39	0.40	0.39	0.40	0.40
C23	0.01	0.12	0.01	0.12	0.12
C31	0.20	0.27	0.20	0.27	0.27
C33	0.01	0.13	0.01	0.13	0.13
C34	0.01	0.09	0.01	0.09	0.09
C38	0.23	0.27	0.24	0.28	0.27
C40	0.19	0.26	0.19	0.26	0.26

 Sintese do Fluxo dos Trechos

Trecho	Tipo	Fluxo Maximo LPS	Inst. da Max Ocorrência dia h:min	Veloc Máxima m/seg	Fluxo Max/ Cheio	Prof. Max/ Prof.
C1	CONDUIT	719.51	0 00:30	4.07	0.67	0.60
C2	CONDUIT	819.35	0 00:30	4.13	0.78	0.66
C3	CONDUIT	957.85	0 00:30	6.34	0.55	0.53
C4	CONDUIT	718.26	0 00:30	5.69	0.43	0.46
C5	CONDUIT	1808.15	0 00:30	6.10	0.62	0.57
C6	CONDUIT	2012.47	0 00:30	6.16	0.70	0.62
C7	CONDUIT	2158.06	0 00:30	6.23	0.76	0.65
C8	CONDUIT	9219.98	0 00:23	5.66	1.08	1.00
C12	CONDUIT	1971.51	0 00:30	4.91	0.90	0.75
C13	CONDUIT	1553.22	0 00:30	4.56	0.74	0.64
C14	CONDUIT	465.34	0 00:40	7.24	0.17	0.28
C15	CONDUIT	924.16	0 00:30	3.90	0.96	0.78
C16	CONDUIT	709.26	0 00:30	3.60	0.77	0.66
C18	CONDUIT	424.38	0 00:30	2.93	0.52	0.51
C19	CONDUIT	571.95	0 00:30	3.14	0.70	0.62
C20	CONDUIT	786.65	0 00:30	3.52	0.90	0.74
C21	CONDUIT	687.05	0 00:30	5.30	0.45	0.47
C22	CONDUIT	1674.74	0 00:30	4.23	0.89	0.74
C23	CONDUIT	2138.02	0 00:32	4.62	1.08	0.94
C24	CONDUIT	2472.25	0 00:30	6.45	0.90	0.74
C27	CONDUIT	6800.78	0 00:29	8.67	0.77	0.66
C28	CONDUIT	6044.57	0 00:28	6.55	0.94	0.77
C29	CONDUIT	5805.26	0 00:28	6.67	0.88	0.73
C30	CONDUIT	5506.42	0 00:28	6.84	0.82	0.68
C31	CONDUIT	5078.60	0 00:28	4.92	1.08	1.00
C32	CONDUIT	5369.34	0 00:27	6.25	0.90	0.73
C33	CONDUIT	5093.55	0 00:33	4.94	1.08	0.94
C34	CONDUIT	5078.88	0 00:32	4.88	1.08	0.94
C35	CONDUIT	183.98	0 00:30	2.74	0.18	0.29
C37	CONDUIT	155.00	0 00:30	3.50	0.10	0.21
C38	CONDUIT	2073.81	0 00:26	4.51	1.08	1.00
C39	CONDUIT	2319.23	0 00:26	9.00	0.53	0.51
C40	CONDUIT	12200.13	0 00:28	7.46	1.08	1.00
C41	CONDUIT	12907.32	0 00:29	9.81	0.83	0.70
C42	CONDUIT	12229.59	0 00:29	10.91	0.68	0.61
C44	CONDUIT	644.44	0 00:30	6.58	0.30	0.38
C45	CONDUIT	567.51	0 00:30	7.94	0.20	0.30
C46	CONDUIT	0.00	0 00:00	0.00	0.00	0.00
C47	CONDUIT	551.16	0 00:30	3.43	0.60	0.56
C48	CONDUIT	193.58	0 00:30	3.88	0.12	0.23
C49	CONDUIT	12231.28	0 00:29	11.06	0.67	0.60
C50	CONDUIT	9714.92	0 00:29	8.37	0.71	0.63
C51	CONDUIT	9580.59	0 00:29	8.28	0.71	0.62

Início da Análise: Wed Apr 21 21:24:14 2021
 Término da Análise: Wed Apr 21 21:24:18 2021
 Tempo total decorrido: 00:00:04