

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

WEVERTON DE SOUZA TEIXEIRA

**EFEITOS DA OCUPAÇÃO URBANA E DO USO DE TÉCNICAS
COMPENSATÓRIAS SOBRE O ESCOAMENTO SUPERFICIAL
DIRETO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO CÓRREGO SANTA MARIA
DO LEME - SÃO CARLOS - SP**

São Carlos/SP

2024

WEVERTON DE SOUZA TEIXEIRA

**EFEITOS DA OCUPAÇÃO URBANA E DO USO DE TÉCNICAS
COMPENSATÓRIAS SOBRE O ESCOAMENTO SUPERFICIAL
DIRETO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO CÓRREGO SANTA MARIA
DO LEME - SÃO CARLOS - SP**

Trabalho de Graduação Integrado apresentado ao Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal de São Carlos, como parte dos requisitos para a obtenção do título de bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Dr. Erich Kellner

São Carlos/SP 2024

RESUMO

O processo de urbanização e crescimento das cidades gera interferências no escoamento das águas no meio urbano. Diante desse quadro, novas técnicas de drenagem vêm sendo utilizadas com o intuito de mitigar ou pelo menos minimizar os efeitos hidrológicos da ocupação urbana. O avanço das pesquisas demonstra que o uso de técnicas compensatórias, como as bacias de retenção, atende a função hidrológica de amortecimento das vazões geradas na bacia, diminuindo o risco de enchentes e inundações a jusante. Dessa maneira, esse trabalho tem como principal objetivo comparar os hidrogramas gerados em cenários pré e pós ocupação da bacia do Córrego Santa Maria do Leme - São Carlos, para a obtenção de dados quantitativos dos escoamentos e verificação de como a ocupação humana e técnicas compensatórias os afetam. Para isso, foi feita a caracterização da área em todos os aspectos relevantes para o escoamento das águas - tipo de solo, tipo de cobertura, vegetação, entre outros, e posterior atribuição de parâmetros para definição do escoamento para as diferentes composições. A partir dos dados levantados, foi possível gerar os hidrogramas para a chuva de projeto definida, obtendo, para os diferentes cenários, a caracterização dos escoamentos na bacia. Os resultados obtidos mostram que a bacia em seu estado natural tem uma vazão de pico 17,22 vezes menor e tempo de concentração 1,68 vezes maior, quando comparado ao seu estado atual de ocupação. Também se conclui que as bacias de retenção amortizaram a vazão de pico em 16,20%, se mostrando uma alternativa para redução dos efeitos da ocupação urbana no escoamento das águas.

Palavras-chave: técnicas compensatórias, ocupação urbana, bacia hidrográfica, simulação, vazão.

ABSTRACT

The process of urbanization and growth of cities generates interference with the flow of water in urban areas. Given this situation, new drainage techniques have been used with the aim of mitigating or at least minimizing the hydrological effects of urban occupation. Advances in research demonstrate that the use of compensatory techniques, such as detention basins, serves the hydrological function of dampening the flows generated in the basin, reducing the risk of flooding and flooding downstream. Thus, this work's main objective is to compare the hydrographs generated in pre- and post-occupation scenarios of the Santa Maria do Leme basin, São Carlos city, to obtain quantitative data on flows and verify how human occupation and compensatory techniques affect. To this end, the area was characterized in all aspects relevant to water flow - type of soil, type of cover, vegetation, among others, and subsequent assignment of parameters to define the flow for the different compositions. From the data collected, it was possible to generate hydrographs for the defined project rainfall, obtaining, for the different scenarios, the characterization of the flows in the basin. The results obtained show that the basin in its natural state has a peak flow 17.22 times lower and concentration time 1.68 times longer, when compared to its current state of occupation. It is also concluded that the detention basins buffered the peak flow by 16.20%, proving to be an alternative for reducing the effects of urban occupation on water flow.

Keywords: compensatory techniques, urban occupation, hydrographic basin, simulation, flow.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Coeficiente de escoamento (C) para diferentes zonas de ocupação	09
Tabela 2 – Coeficiente de escoamento (C) para diferentes usos da área.....	10
Tabela 3 – Coeficiente de escoamento (C) para superfícies específicas	10
Tabela 4 – Caracterização das bacias de retenção	19
Tabela 5 – Parâmetros geométricos das sub-bacias (cenário 0)	33
Tabela 6 – Parâmetros de escoamento e infiltração (cenário 0)	34
Tabela 7 – Parâmetros dos condutos (cenário 0)	34
Tabela 8 – Composições de cobertura de solo (cenário 1)	36
Tabela 9 – Parâmetros de escoamento e infiltração (cenário 1)	36
Tabela 10 – Parâmetros dos condutos (cenário 1)	37
Tabela 11 – Parâmetros das bacias de retenção (unidades de reservatório)	38
Tabela 12 - Composições de cobertura de solo (cenário 3).....	39
Tabela 13 - Parâmetros de escoamento e infiltração (cenário 3).....	40
Tabela 14 - Tempo de concentração e vazão de pico dos cenários simulados	43

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	5
1.1	OBJETIVO	6
1.2	JUSTIFICATIVA	6
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	8
2.1	URBANIZAÇÃO E SEUS EFEITOS HIDROLÓGICOS	8
2.2	TÉCNICAS COMPENSATÓRIAS.....	11
2.3	MODELOS HIDROLÓGICOS	13
3	MÉTODOS	14
3.1	CARACTERIZAÇÃO DA BACIA HIDROGRÁFICA.....	14
3.1.1	HISTÓRICO DE OCUPAÇÃO	14
3.1.2	HIDROGRAFIA.....	15
3.1.3	BACIAS DE DETENÇÃO.....	19
3.1.4	CARACTERIZAÇÃO DO SOLO	21
3.1.5	COBERTURA VEGETAL	22
3.2	MODELAGEM DA BACIA	23
3.2.1	DEFINIÇÃO DO CURSO DO CÓRREGO	23
3.3	CHUVA DE PROJETO	24
3.3.1	EQUAÇÃO IDF	24
3.4	CENÁRIOS	25
3.4.1	CENÁRIO 0.....	25
3.4.2	CENÁRIO 1	26
3.4.3	CENÁRIO 2	26
3.4.4	CENÁRIO 3	27
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	29
5	CONCLUSÃO	44
6	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	45

1 INTRODUÇÃO

A preocupação com os efeitos do acúmulo de águas pluviais nas cidades tem crescido nos últimos anos. Conseqüentemente, a busca por alternativas que eliminem ou amenizem os problemas relacionados aos efeitos das interferências humanas no escoamento das águas, sobretudo no meio urbano, se torna cada vez mais necessária.

Aliada com a grande quantidade de chuvas, a falta de planejamento do crescimento e urbanização das cidades pode ser considerada a principal causa das enchentes e inundações. Para a Defesa Civil (2017), inundação pode ser definida como a “submersão de águas fora dos limites normais de um curso de água em zonas que normalmente não se encontram submersas” ou ainda como o processo de “transbordamento de água da calha normal de rios, mares, lagos e açudes, ou acumulação de água por drenagem deficiente, em áreas não habitualmente submersas”.

Segundo Lourenço (2014), o crescimento urbano leva a alterações no uso do solo, principalmente no aumento da impermeabilização, que tem como consequência direta a diminuição dos tempos de concentração e da capacidade de infiltração e retenção de águas no mesmo. Assim, maiores volumes de água escoam em tempos mais curtos, podendo elevar de forma significativa, as vazões de pico geradas na bacia.

Para diminuir os efeitos da ocupação urbana, têm se aplicado técnicas que visam de alguma forma compensar as alterações provocadas nos ciclos das águas. Essas técnicas são conhecidas como técnicas compensatórias ou técnicas alternativas de drenagem. Para Oliveira (2016), a principal diferença para os sistemas tradicionais de drenagem é a consideração dos impactos da urbanização de forma global, tendo a bacia de contribuição como base de estudo.

As técnicas compensatórias de drenagem podem ser classificadas de acordo com a posição de implantação da estrutura em relação à área a ser drenada, em: técnicas para controle na fonte, como exemplos valas e valetas, trincheiras e poços de infiltração; técnicas para controle no sistema viário, como por exemplo, pavimentos de alvenaria poliédrica, pavimentos intertravados, de blocos vazados e de asfalto e concreto com alto grau de permeabilidade; e técnicas para controle a jusante, como as bacias de retenção e de infiltração (NUCASE, 2007).

Os principais parâmetros que devem ser considerados na escolha das técnicas compensatórias a serem utilizadas são, com relação aos aspectos físicos, a topografia do local, a capacidade de infiltração no solo, a estabilidade do subsolo, o nível das águas subterrâneas e

o aporte permanente de água. Já com relação com relação aos aspectos urbanísticos devem ser considerados a disponibilidade de espaço, a inclinação e forma dos telhados e as redes de infraestrutura urbana existentes. Em relação aos aspectos sanitários e ambientais, o risco de poluição, o risco de água com finos e o risco sanitário associado à proliferação de doenças. E por último, quanto aos aspectos socioeconômicos, a percepção da população próxima à área de implantação quanto a estrutura a ser implantada e parâmetros relativos à manutenção e ao custo geral da obra (NUCASE, 2007).

No Brasil, diversos municípios obrigam, através de legislação específica, que nas áreas onde serão implantados loteamentos ou parcelamentos do solo, devem ser projetadas e executadas obras para compensar a redução da capacidade de infiltração no solo e a diminuição do tempo de escoamento das águas pluviais. As técnicas comumente utilizadas para esse fim são as bacias de retenção ou de retenção. Essas técnicas podem ser definidas como “obras de engenharia que tem a finalidade de simular o processo natural de armazenamento do escoamento e infiltração no solo, das águas de chuva nas bacias hidrográficas” (PMSJC, 2002)

1.1 OBJETIVO

Este trabalho tem como objetivo geral avaliar quantitativamente através do cálculo das vazões para diferentes cenários, os efeitos que a ocupação urbana e o uso de técnicas compensatórias têm sobre as vazões de águas pluviais, estudando em particular, a bacia hidrográfica do córrego Santa Maria do Leme em São Carlos - SP.

Os objetivos específicos são:

- Caracterizar a bacia hidrográfica (parâmetros físicos e hidrológicos)
- Levantar dados sobre as obras hidráulicas existentes;
- Levantar informações sobre as áreas de expansão urbana previstas;
- Estabelecer parâmetros de escoamento da bacia;
- Prever vazões máximas e mínimas para cenários futuros de ocupação.

1.2 JUSTIFICATIVA

Durante muito tempo adotou-se a abordagem tradicional de drenagem, que preconiza pelo transporte rápido e imediato das águas pluviais, como norte para a concepção de projetos

de sistemas de drenagem. Entretanto, desde a década de 70, uma nova concepção tem se desenvolvido, visto que cada vez mais, os modelos tradicionais têm se mostrado ineficientes, dado o aumento significativo que as populações urbanas têm apresentado.

A consequência direta de sistemas de drenagem ineficientes é a ocorrência de enchentes e inundações nas cidades. Segundo dados publicados, mais de 8 milhões de brasileiros vivem em áreas com risco potencial de enchentes e deslizamentos de terra (IBGE, 2010).

Portanto, com base no exposto, acredita-se que o estudo dos efeitos da ocupação urbana e da utilização de técnicas compensatórias nas vazões geradas nas bacias hidrográficas tem grande importância para o mapeamento das áreas suscetíveis a processos de inundação, o que contribui para o desenvolvimento ambiental, social e econômico das cidades.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Segue, nos próximos parágrafos, uma revisão bibliográfica dos principais tópicos necessários para elaboração do trabalho.

2.1 URBANIZAÇÃO E SEUS EFEITOS HIDROLÓGICOS

O processo de urbanização ocorrido no Brasil, sobretudo a partir da década de 60, tem gerado preocupação quanto às consequências do rápido crescimento das cidades. Isso porque esse crescimento não foi acompanhado do desenvolvimento das infraestruturas necessárias. Os efeitos desse processo são percebidos sobre todo o aparelhamento urbano relativo a recursos hídricos: abastecimento de água, transporte e tratamento de esgotos e drenagem pluvial (TUCCI, 2007). Desse modo, parcelas significativas da população, ainda hoje, não têm acesso a sistemas de saneamento adequados.

Sobre os efeitos nos sistemas de drenagem pluvial, o crescimento da população causa, de modo geral, um aumento no percentual de área impermeabilizada, o que aumenta o volume de escoamento superficial gerado e diminui o tempo de concentração da bacia. A parte da água que infiltrava no solo ou ficava retida pela vegetação, agora escoava pelos dispositivos de drenagem existentes.

Para Villela (1975), os fatores que influenciam o escoamento superficial podem ser classificados como sendo de ordem climática, quando relacionados à precipitação ou de natureza fisiográfica, ligados às características físicas da bacia. Os fatores de ordem climática mais relevantes são a intensidade e a duração das precipitações. Dentre os de natureza fisiográfica, destacam-se a forma, área, permeabilidade do solo e topografia da bacia hidrográfica.

A variável que está diretamente relacionada com o grau de impermeabilização da bacia é o coeficiente de escoamento (C), dado pela razão entre o volume de água que escoava sobre a superfície e o volume precipitado e que varia de acordo com as características de urbanização da área. Na tabela 1 são apresentados valores usuais de C para diferentes tipos de ocupações do solo urbano:

Tabela 1 – Coeficiente de escoamento (C) para diferentes zonas de ocupação

Zonas	Valores de C
De edificação muito densa: partes centrais densamente construídas de uma cidade com ruas e calçadas pavimentadas;	0,70 a 0,95
De edificação não muito densa: partes adjacentes ao centro, de menor densidade de habitações, mas com ruas e calçadas pavimentadas;	0,60 a 0,70
De edificação com pouca superfície livre: partes residenciais com construções, ruas pavimentadas;	0,50 a 0,60
De edificação com muitas superfícies livres: partes residenciais tipo cidade-jardim, ruas macadamizadas ou pavimentadas.	0,25 a 0,50
De subúrbios com alguma edificação: partes de arredores com pequena densidade de construções;	0,10 a 0,25
De matas, parques e campo de esporte: partes rurais, áreas verdes, superfícies arborizadas, parques e campos de esporte sem pavimentação.	0,05 a 0,20

Fonte: Wilken (1978)

A CETESB (Companhia Ambiental do Estado de São Paulo) também define valores de coeficiente de escoamento, a depender do uso da área em questão:

Tabela 2 – Coeficiente de escoamento (C) para diferentes usos da área

Descrição da área	Valores de C
Áreas residenciais	
Residências isoladas	0,35 a 0,50
Unidades múltiplas (separadas)	0,40 a 0,60
Unidades múltiplas (conjugadas)	0,60 a 0,75
Lotes com área igual ou superior a 2000 m ²	0,30 a 0,45
Áreas comerciais	
Central	0,70 a 0,95
Bairros	0,50 a 0,70
Áreas industriais	
Indústrias leves	0,50 a 0,80
Indústrias pesadas	0,60 a 0,90
Outras áreas	
Parques, cemitérios	0,10 a 0,25
Pátios de estradas de ferro	0,20 a 0,40
Áreas sem melhoramentos	0,10 a 0,30

Fonte: CETESB (1986)

Tabela 3 – Coeficiente de escoamento (C) para superfícies específicas

Superfície	Valores de C
Telhados perfeitos sem fuga	0,70 a 0,95
Superfícies asfaltadas em bom estado	0,85 a 0,90
Pavimentação de paralelepípedos, ladrilhos ou blocos de madeira com juntas bem tomadas	0,70 a 0,85
Para as superfícies anteriores sem as juntas bem tomadas	0,50 a 0,70
Pavimentação de blocos anteriores sem as juntas bem tomadas	0,40 a 0,50
Estradas macadamizadas	0,25 a 0,60
Estradas e passeios de pedregulho	0,15 a 0,30
Superfícies não revestidas, pátios de estradas de ferro, terrenos descampados, parques e jardins	0,10 a 0,30
Do solo na natureza e do subsolo	0,01 a 0,20

Fonte: Villela e Mattos (1980)

2.2 TÉCNICAS COMPENSATÓRIAS

Experiências em diversos países têm mostrado técnicas alternativas para lidar com o problema das águas pluviais nas cidades, abordando os impactos gerados de forma integrada, fazendo uso de medidas não estruturais e de medidas estruturais (TUCCI, 2007). Essas técnicas vão contra as ideias pré-concebidas da drenagem tradicional, que prezam pelo rápido escoamento das águas por meio de córregos e canais, gerando problemas graves de acúmulo de água a jusante.

Para Oliveira (2016), o modelo tradicional é responsável pelos recorrentes problemas de enchentes nas áreas urbanas e suas consequências têm gerado custos elevados para a vida humana, ambiental, social e economicamente, mas podem ser minimizados. Uma prática que tem sido usada com mais frequência são os Sistemas Urbanos de Drenagem Sustentável (SUDS).

Trata-se de soluções alternativas e complementares às técnicas tradicionais de canalização direta das águas pluviais, e prezam pelo controle dos volumes na origem. Por exemplo, obras hidráulicas como barragens, reservatórios de retenção e reservatórios de detenção, e técnicas como trincheiras e poços de infiltração, pavimentos permeáveis, coberturas verdes, entre outras, que diminuem as velocidades dos deflúvios e atenuam as vazões de pico geradas na bacia. No Brasil, ainda que o uso dessas técnicas não seja muito amplo, a técnica compensatória mais utilizada é a bacia de detenção, (BATISTA, NASCIMENTO e BARRAUD, 2005).

Oliveira, (2016) avaliaram os efeitos do uso de técnicas compensatórias na requalificação de áreas verdes urbanas no município de Guarulhos - SP. Foram usados pavimentos permeáveis, valas de infiltração, bacias e valetas de drenagem. Nas figuras 1a, 1b e 1c são mostradas fotos do projeto paisagístico sob Viaduto Cidade de Guarulhos e do espelho d'água para detenção.

Figura 1 - Projeto de requalificação e uso de técnicas compensatórias sob viaduto.



Fonte: Oliveira (2016)

Foi constatado que o uso conjunto dos 27 (vinte e sete) espelhos d'água interligados que compõem o projeto tem capacidade de retenção de 945 m³ de água, atendendo a função hidrológica de amortecimento de inundações de áreas a jusante do local. Além disso, o sistema reduziu o volume de sedimentos carregados e beneficiou o microclima através da evaporação da água, reduzindo as temperaturas médias observadas.

Outro projeto estudado no trabalho, foi a utilização de valas de infiltração com profundidade de aproximadamente 80cm em torno de um campo de futebol, também em Guarulhos. Nesse projeto, foi constatado que a vala é responsável por uma expressiva infiltração de água no solo, sendo que o volume por ela retido, é esgotado em cerca de 24h após o período de chuvas.

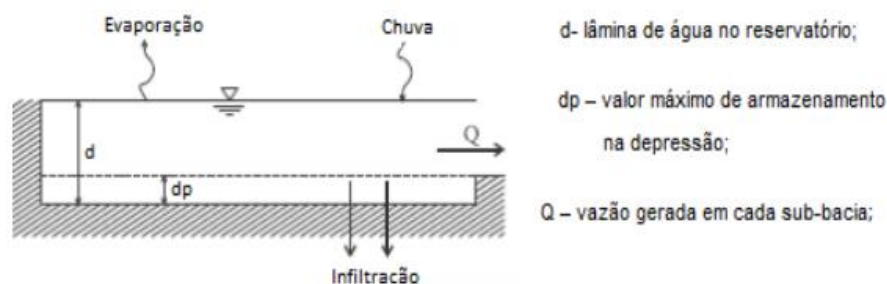
2.3 MODELOS HIDROLÓGICOS

Existem alguns modelos computacionais que podem ser utilizados para o dimensionamento de sistemas de coleta de águas pluviais e para a realização de simulações de casos de drenagem urbana. Dentre os softwares utilizados, um dos mais comuns é o Storm Water Management Model (SWMM) desenvolvido em 1971 pela EPA (Environmental Protection Agency). Nesse modelo, podem ser considerados diversos aspectos e situações, referentes tanto a geração quanto ao escoamento das águas pluviais, sendo possível, inclusive, a realização de análises referentes a utilização de técnicas compensatórias. (RIGHETTO, 2009; ROSSMAN, 2015). Trata-se de um modelo hidrológico dinâmico capaz de simular hidrogramas a partir da definição de dados de entrada. Nele, é possível determinar o escoamento gerado em cada sub-bacia, a vazão e profundidade do fluxo, além de aspectos qualitativo das águas. O software permite a simulação separada dos diferentes blocos constituintes do programa (COLLODEL, 2009). Os blocos existentes são:

- Runoff – conversão precipitação/escoamento;
- Transport – escoamento na rede de drenagem existente;
- Extran – modelagem hidrodinâmica do escoamento em condutos e canais livres;
- Storage/Treatment – modelagem dos aspectos qualitativos das águas escoadas;
- Statistics – elaboração de hidrogramas e polutogramas, cálculos estatísticos e análises de frequência (GARCIA e PAIVA, 2006).

Para a elaboração do modelo de simulação do escoamento superficial da bacia, é utilizado o módulo Runoff, sendo necessário o levantamento de uma série de parâmetros da área estudada. Eles podem ser divididos em parâmetros físicos (área, largura, comprimento e inclinação da bacia) e parâmetros hidrológicos (permeabilidade, coeficiente de rugosidade de Manning, capacidade de armazenamento, entre outros). Com a definição desses parâmetros, subdivide-se a bacia em áreas impermeáveis e permeáveis, com um valor máximo de armazenamento para cada área. O SWMM considera o escoamento superficial gerado como uma das vazões de saída da bacia (além das vazões resultantes de infiltração, evaporação e dos volumes armazenados), quando a profundidade de armazenamento é maior do que a capacidade da sub-bacia (ROSSMAN, 2010). A figura 2 mostra um esquema de como os escoamentos são gerados no SWMM:

Figura 2 – Geração dos escoamentos no SWMM



Fonte: Rossman (2010)

Para Bastos (2007), o escoamento superficial se traduz como o resultado das precipitações variáveis ao longo do tempo em cada área analisada, dado pela combinação das equações de Manning e da continuidade. No SWMM, é possível a utilização de três métodos para o cálculo das vazões de escoamento: fluxo em regime uniforme, onda cinemática e onda dinâmica (ROSSMAN, 2010). Para a modelagem das vazões de infiltração, podem ser utilizados três métodos diferentes: Equação de Horton, Método Green- Ampt e Método SCS – curva na Curva Número (CN) (SWMM, 2012). O SCS é um método de aproximação adotada pelo CN (Curva-Número) do National Resources Conservation Service (NRCS) para estimativa da vazão gerada superficialmente (ROSSMAN, 2010).

3 MÉTODOS

3.1 CARACTERIZAÇÃO DA BACIA HIDROGRÁFICA

Para o desenvolvimento desse trabalho foi escolhida a microbacia do Córrego Santa Maria do Leme, afluente do córrego Monjolinho, no município de São Carlos - SP. Situa-se entre as coordenadas geográficas 21.95889 e 22.00944 de latitude sul e 47.94305 e 47.88167 de longitude oeste.

3.1.1 HISTÓRICO DE OCUPAÇÃO

Os primeiros bairros surgiram por volta de 1950, sendo os principais, o Jardim Jockey Clube, o Jardim Bandeirantes e o Jardim Centenário. A partir de 1960, foram implantados novos loteamentos: Jardim Santa Paula na década de 1970, o Parque Santa Marta e o Jardim Nova Santa Paula na década de 1990, o Jardim Acapulco na década de 2000 e o Parque Santa Elisa em 2007 (ATLAS SANCA, 2023).

Atualmente, a área se encontra em processo de urbanização, como mostra a figura 3:

Figura 3 – Região da bacia hidrográfica do córrego Santa Maria do Leme



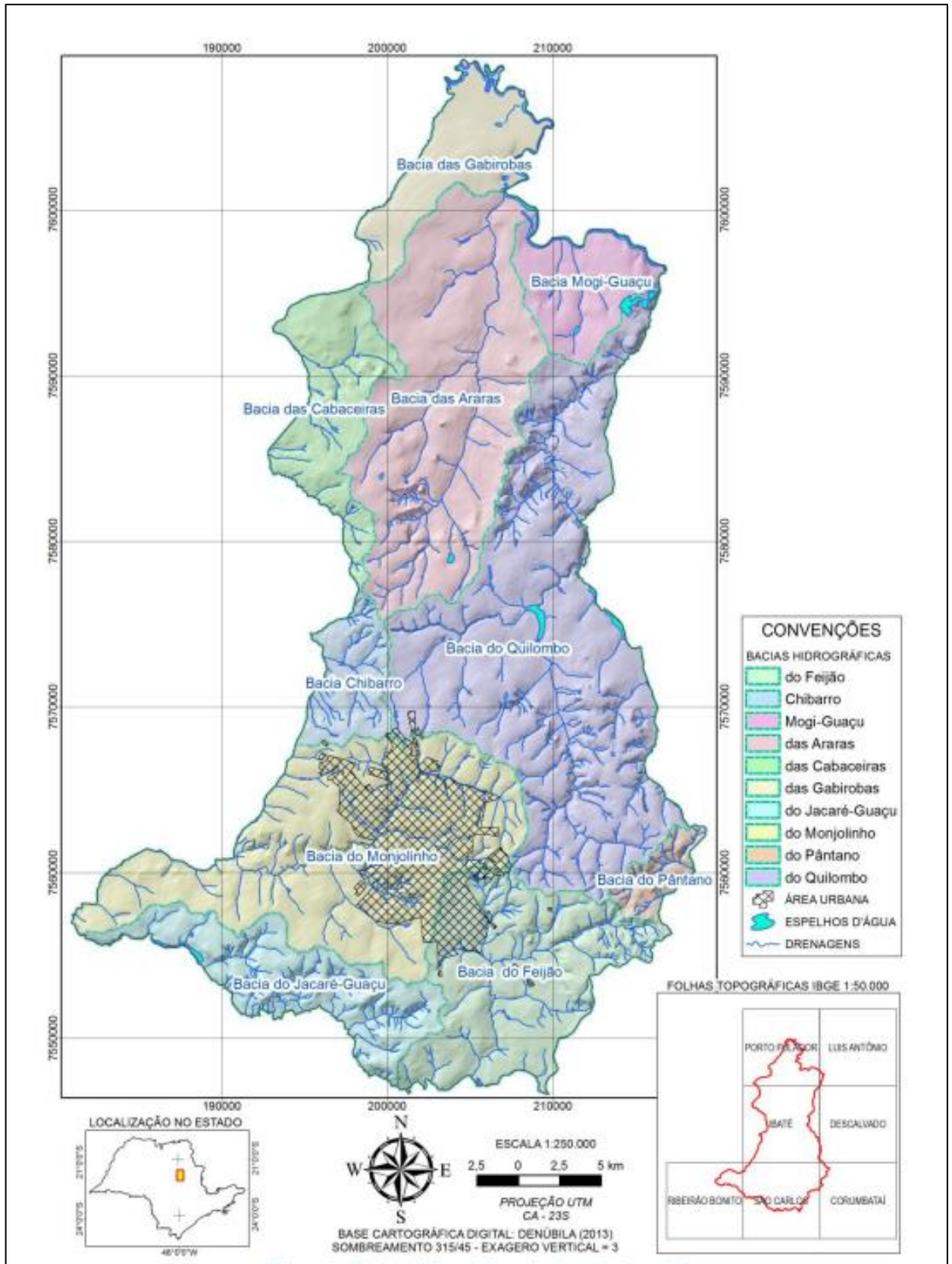
Fonte: Google Earth (2023)

3.1.2 HIDROGRAFIA

A hidrografia do município é bastante densa, com diversas nascentes e ocorrência de cachoeiras, dado o relevo acidentado da região. As principais bacias são a Bacia do Monjolinho e Bacia do Feijão, pertencentes à macrobacia do Tietê-Jacaré e a Bacia do Chibarro e do Quilombo, pertencente à macrobacia do Mogi-Guaçu.

Na figura 4 é apresentado um mapa localizando as bacias existentes no município de São Carlos.

Figura 4 - Bacias do município de São Carlos



Fonte: Denúbila (2013)

3.1.2.1 Córrego Santa Maria do Leme

O córrego tem duas principais nascentes na área do Village Dahma e na área da indústria ICENS, como mostrado nas figuras 5, 6 e 7.

Figura 5 – Nascente do córrego na área do Village Dahma



Fonte: Atlas Sanca (2023)

Figura 6 – Nascente do córrego na área do Village Dahma



Fonte: Atlas Sanca (2023)

Figura 7 – Nascente córrego na área do Village Dahma



Fonte: Atlas Sanca (2023)

Após a junção de suas principais nascentes na área rural, o córrego atravessa a Rodovia Washington Luís, na altura do km 237, e segue em direção ao bairro Parque Santa Marta. Atravessa o Bosque Cambuí, onde recebe águas de seu afluente (Córrego Cambuí) e segue em direção ao Kartódromo, desembocando no Rio do Monjolinho, no trecho próximo à rotatória da Marginal (ATLAS SANCA, 2023).

3.1.3 BACIAS DE DETENÇÃO

Na bacia hidrográfica, segundo levantamento feito por Rodríguez (2019), foram identificadas um total de 8 bacias de detenção, detalhadas na tabela 4:

Tabela 4 - Caracterização das bacias de detenção

Nº	Nome	Zoneamento	Zona
1	Village São Carlos III	3 - Ocupação Condicionada	Norte
2	Village São Carlos II	3 - Ocupação Condicionada	Norte
3	Village São Carlos I- montante	3 - Ocupação Condicionada	Norte
4	Village São Carlos I - jusante	3 - Ocupação Condicionada	Norte
5	Graal São Carlos	6B - Regulação e ocupação controlada de média densidade	Norte
6	Parque Monte Logan	2 - Ocupação Induzida	Oeste
7	Sítio Paraíso	6B - Regulação e ocupação controlada de média densidade	Oeste
8	Residencial Eldorado	2 - Ocupação Induzida	Oeste

Fonte: Rodríguez (2019) - Adaptado

Conforme descrito no Quadro 2, as bacias de detenção estão localizadas no Zoneamento 3 - Ocupação condicionada, Zoneamento 6B - Regulação e ocupação controlada de média densidade e Zoneamento 2- Ocupação induzida. Segundo o Plano Diretor do município de São Carlos - (SMH DU, 2016).

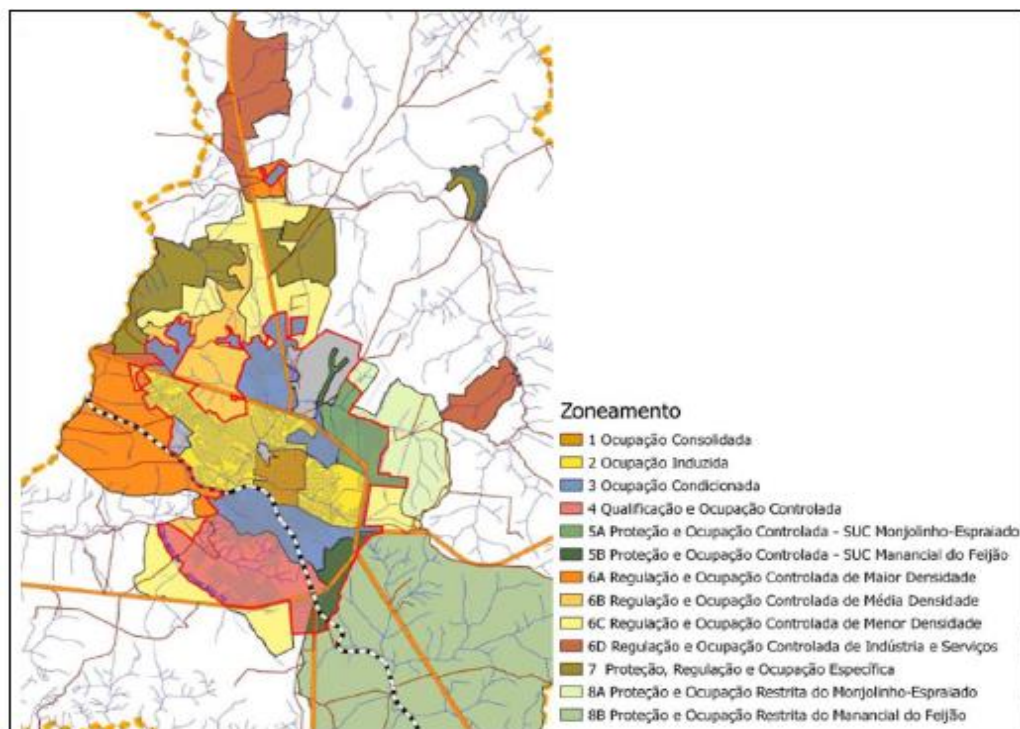
Zoneamento 2 - Ocupação induzida - Caracteriza-se pela disponibilidade de infraestrutura instalada, porém contando com um sistema viário fragmentado e deficitário em algumas regiões. Nesta zona localizam-se diversos vazios urbanos dispersos, passíveis de parcelamento ou edificação.

Zoneamento 3 - Ocupação Condicionada - É caracterizada pela predominância de um sistema viário fragmentado e com a carência de infraestrutura de drenagem em algumas regiões. Próximos ao centro estão localizados bairros tradicionais, cuja tipologia habitacional assume características de baixa densidade, e ao norte da Rodovia Washington Luiz estão localizados novos empreendimentos habitacionais. Os núcleos urbanos dos distritos de Água Vermelha e Santa Eudóxia fazem parte desta zona.

Zoneamento 6B - Regulação e Ocupação Controlada de Média Densidade - Localiza-se próxima à malha urbana consolidada, em áreas com aptidão à urbanização, porém com características físico-ambientais que exigem um controle na ocupação e adensamento planejado.

Na figura 8, é mostrado como esses zoneamentos estão distribuídos sobre o território do município:

Figura 8 - Distribuição dos zoneamentos no município de São Carlos

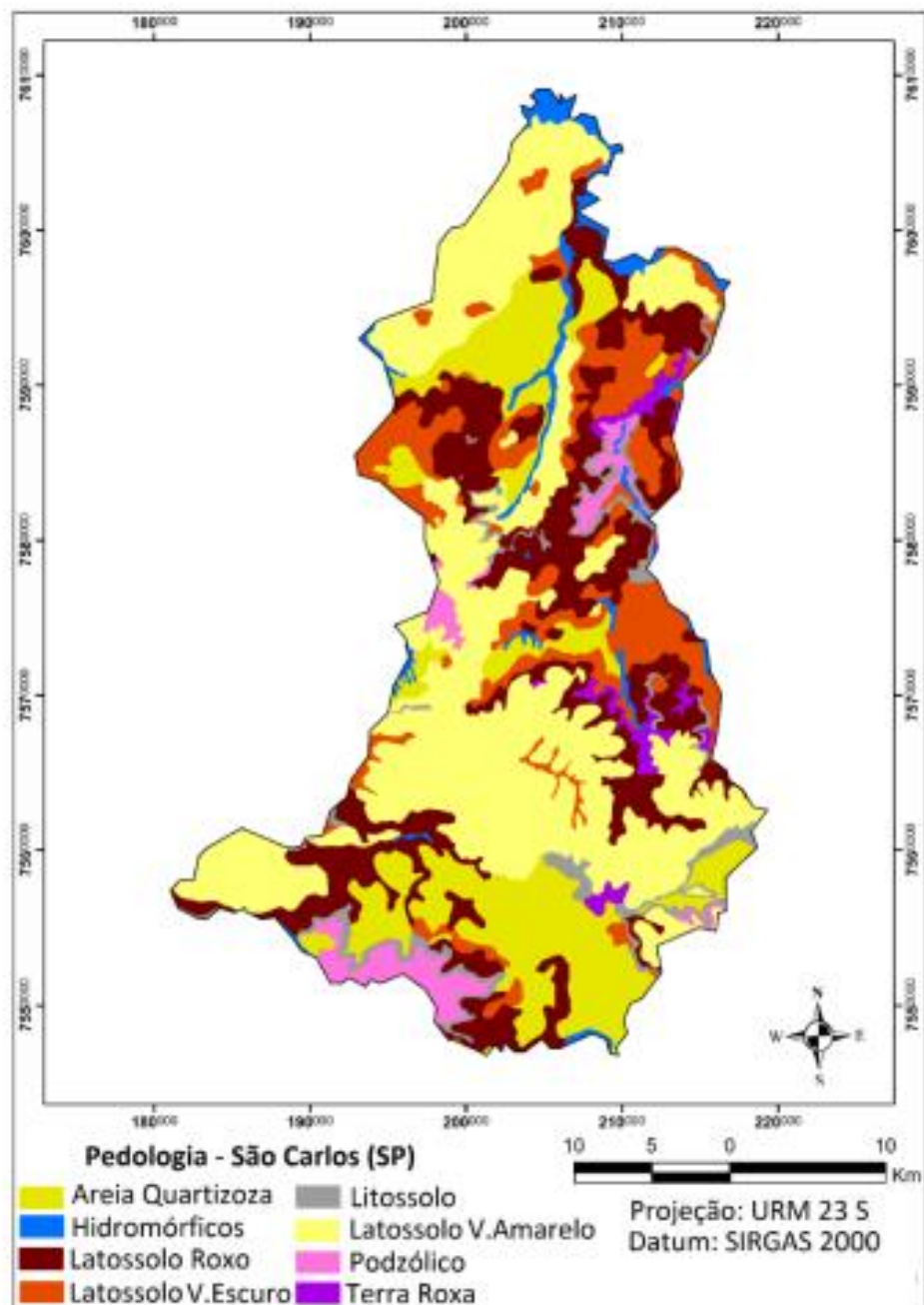


Fonte: SMH DU (2016)

3.1.4 CARACTERIZAÇÃO DO SOLO

O solo do município é predominantemente constituído por zonas de latossolo vermelho-amarelo. Também há zonas de areia quartzosa com característica arenosa e zonas com solos do tipo latossolo vermelho, amarelo e roxo, sendo esses últimos, caracterizados por apresentarem predominância argilosa com pequenos índices de terra roxa. Na Figura 9 é apresentada a distribuição dos solos no município:

Figura 9 - Caracterização dos solos do município de São Carlos



Fonte: POLIS (2002)

3.1.5 COBERTURA VEGETAL

O município localiza-se numa região de transição entre os biomas de Cerrado e Mata Atlântica. As matas existentes na região são do tipo Floresta Estacional Semidecídua (POLIS, 2002).

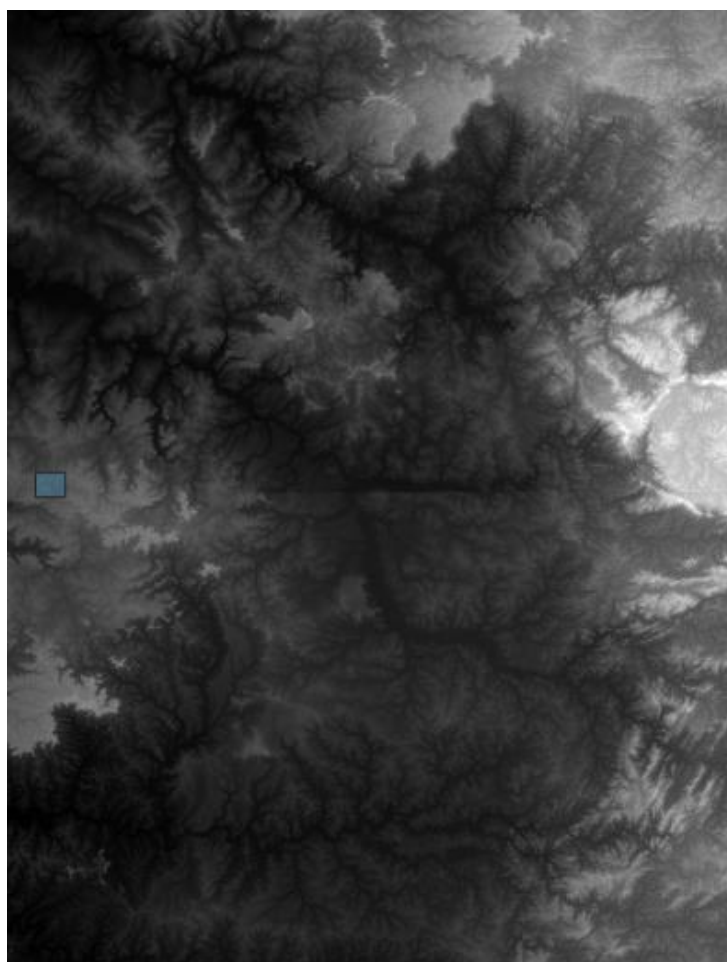
De acordo com o Plano Municipal de Saneamento de São Carlos - PMSanCa (2012), a região se caracteriza por apresentar uma diversidade de ecossistemas, em decorrência da variabilidade de solo, relevo e característica climáticas existentes.

3.2 MODELAGEM DA BACIA

3.2.1 DEFINIÇÃO DO CURSO DO CÓRREGO

A definição do curso do córrego a ser estudado foi realizada utilizando o software QGIS. Para isso, foi utilizado o Modelo Digital de Elevação, disponibilizado pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). Foram utilizadas as folhas 21S48ZN e 22S48ZN. As folhas mencionadas estão apresentadas na figura 10. Destacado em azul, a região da bacia do córrego em estudo.

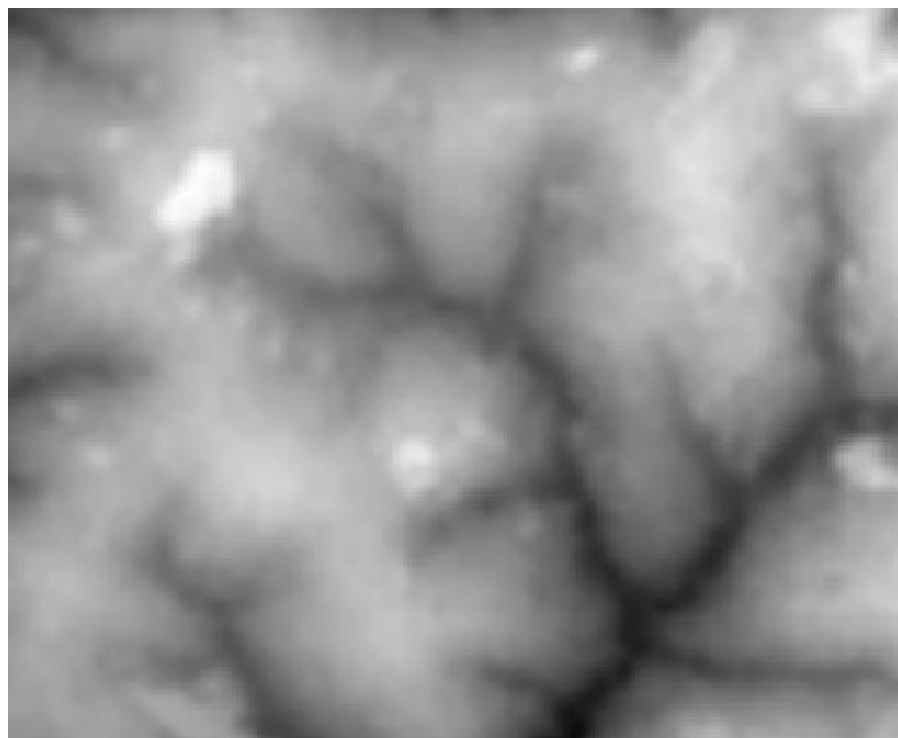
Figura 10 – Modelo digital de elevação - folhas 21S48ZN e 22S48ZN agrupadas



Fonte: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE)

As duas folhas foram mescladas e a partir do raster mesclado foi realizado um recorte da região de interesse. O recorte da região está apresentado na figura 11:

Figura 11 – Recorte da região da bacia



Fonte: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE)

Utilizando o recorte anterior, foi executado o comando “r.watershed”, com parâmetro de tamanho mínimo de sub-bacia igual a 1000m para obtenção dos segmentos preferenciais de fluxo.

3.3 CHUVA DE PROJETO

3.3.1 Equação IDF

As equações de chuva relacionam a intensidade de uma precipitação com sua duração e frequência. Para a determinação das precipitações a serem utilizadas nas simulações, utilizou-se a atualização da curva I-D-F (equação de chuva) para o município de São Carlos proposta por Britto e Kellner (2016):

$$I = \frac{15,534 \times T_R^{0,1092}}{(t + 5)^{0,727}}$$

Sendo,

I – intensidade da precipitação [mm/minuto]

T_R – período de retorno [anos]

t – duração da precipitação [minutos]

A duração da precipitação “t” frequentemente assume o valor do tempo de concentração da bacia, que é definido como o tempo transcorrido até que toda a área drenada esteja contribuindo para a vazão de um dado ponto exultório considerado (COSTA, 2007). Nesse trabalho, foi adotado período de retorno de 100 anos e duração da precipitação de 90 minutos. Assim, a intensidade de precipitação calculada foi igual a 0,94 mm/minuto (56,40 mm/hora).

3.4 CENÁRIOS

As simulações foram realizadas para quatro cenários diferentes:

- Cenário 0 (Pré-urbanização) – simulação do escoamento na região com cobertura natural do solo;
- Cenário 1 (atual) - simulação do escoamento na região com a atual ocupação e uso da área;
- Cenário 2 (atual) - simulação do escoamento na região com a atual ocupação e uso da área com utilização de técnicas compensatórias;
- Cenário 3 (100% urbanizado) – simulação do escoamento com proposta de parcelamento das áreas atualmente desocupadas, mas previstas para uso no Plano Diretor Municipal.

3.4.1 Cenário 0

Para a realização da simulação, a bacia do córrego Santa Maria do Leme foi discretizada em 24 sub-bacias. A área e o perímetro foram obtidos diretamente do mapa elaborado no software QGIS. A determinação da largura de cada sub-bacia foi realizada utilizando o procedimento indicado por Rossman (2012), no qual a largura da sub-bacia (m) é dada pela divisão da área (m^2) pelo parâmetro D (valor médio da distância de escoamento superficial (m)). A declividade média foi obtida por meio do modelo digital de elevação utilizando o software QGIS.

No cenário 0, o porcentual de área impermeável é zero para todas as sub-bacias. Para a área permeável, o coeficiente de Manning foi adotado igual a 0,80 (vegetação arbustiva densa)

e a profundidade de armazenamento em depressão igual a 7,62 mm (região de floresta).

O modelo de infiltração utilizado foi o Método da Curva Número (SCS). O CN é um parâmetro adimensional variando entre 0 e 100, sendo que 0 corresponde a um solo com capacidade de infiltração infinita e 100 corresponde a um solo totalmente impermeável (COLLISCHONN; DORNELLES, 2013). O solo da área da sub-bacia gerada é predominantemente do tipo latossolo vermelho amarelo e foi adotado CN = 25 (solo arenoso-argiloso, grupo hidrológico A, área de floresta com boa cobertura) e período de tempo seco (tempo para que o solo passe de uma condição totalmente saturado para totalmente seco) igual a 5 dias.

Para os condutos, como uma aproximação para a seção natural do córrego, foi adotada seção trapezoidal com base igual a 2m e laterais com 1m, inclinadas a 45°. O comprimento de cada trecho foi obtido diretamente dos comprimentos dos segmentos de fluxo gerados no QGIS. O coeficiente de Manning foi adotado igual a 0.050 (canal natural). O escoamento foi simulado em regime uniforme em canal aberto.

3.4.2 Cenário 1

Foi utilizada a divisão em sub-bacias elaborada no cenário 0 como base para a simulação do cenário 1. Para as áreas classificadas como urbanizada, foi adotado coeficiente de rugosidade de Manning $n = 0,012$ e profundidade de armazenamento $PA = 0,08\text{mm}$. Para as áreas com vegetação nativa, $n = 0,8000$ e $PA = 7,62\text{mm}$ e para as áreas de pastagem e cultivo, $n = 0,1700$ e $PA = 5,08\text{mm}$. Os coeficientes de Manning e profundidade de armazenamento, para as sub-bacias com área permeável composta por áreas de pastagem e cultivo e áreas de vegetação nativa, foram obtidos por meio de uma ponderação em relação ao valor calculado de área de cada composição.

3.4.3 Cenário 2

Para a simulação do cenário 2, foi considerado no cenário 1 (atual ocupação da bacia), o efeito sob o escoamento da utilização de 3 bacias de retenção (BR) localizadas a jusante dos nós 26, 27 e 29.

3.4.4 Cenário 3

Para a simulação do cenário 3, foi considerada a proposta de parcelamento e ocupação da região da bacia do Córrego Santa Maria do Leme (figura 12)

Figura 12 – Proposta de ocupação



Fonte: Schenk (2016)

Foram considerados dois tipos de área urbanizada: um referente às áreas já ocupadas e uma para as áreas onde é proposta a ocupação. As áreas verdes nos lotes foram consideradas como área gramada ou área de vegetação de baixa densidade. Para as áreas impermeabilizadas foi adotado coeficiente de rugosidade de Manning $n = 0,012$ e profundidade de armazenamento em depressão $PA = 0,080\text{mm}$. Para as áreas permeáveis, de forma similar à simulação anterior, os coeficientes de Manning e profundidade de armazenamento foram obtidos por meio de uma ponderação em relação ao valor calculado de cada área. Para áreas com cobertura de vegetação

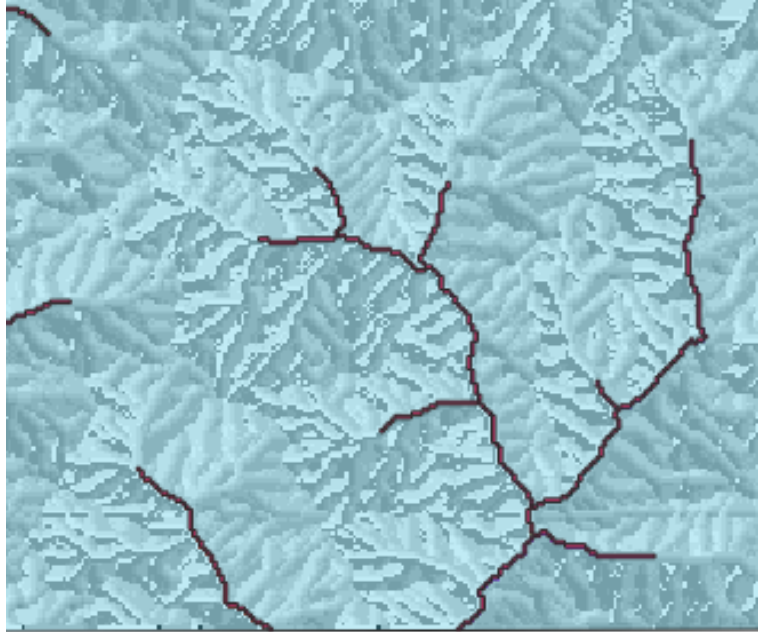
nativa foi adotado $n = 0,8$ e $PA = 7,62$ e, para área verde, $n = 0,15$ e $PA = 3,81$.

Os parâmetros geométricos e de escoamento dos condutos foram os mesmos utilizados nos cenários 1 e 2.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os mapas gerados de direções de drenagem e segmentos preferenciais de fluxo estão sobrepostos na figura 13:

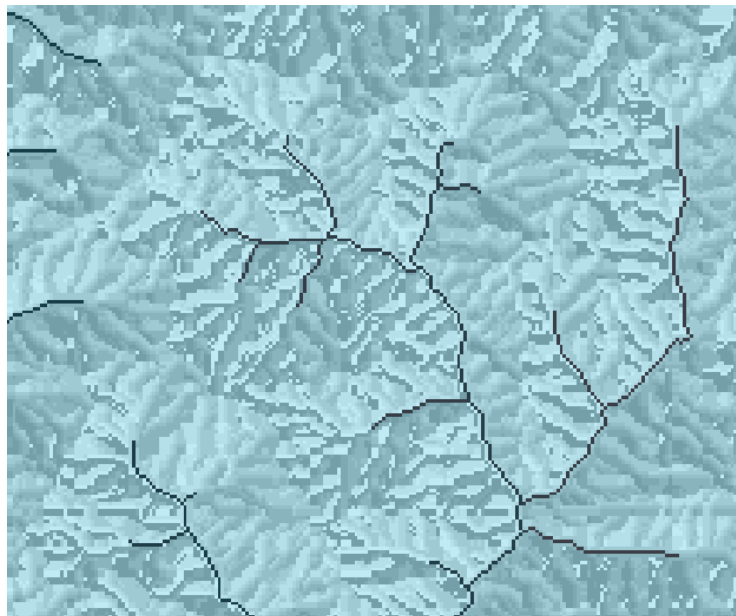
Figura 13 – Direções de drenagem e segmentos preferencias de fluxo (1000m)



Fonte: Elaborado pelo autor (2024)

Comparando o mapa gerado com o observado no local e a partir de imagens do Google Earth, foi constatado que dois segmentos de fluxo não foram gerados pelo programa. O comando “r.watershed” foi reexecutado, dessa vez, utilizando 500m como parâmetro de tamanho mínimo de sub-bacia. Os mapas gerados de direções de drenagem e segmentos preferenciais de fluxo estão sobrepostos na figura 14:

Figura 14 – Direções de drenagem e segmentos preferencias de fluxo (500m)

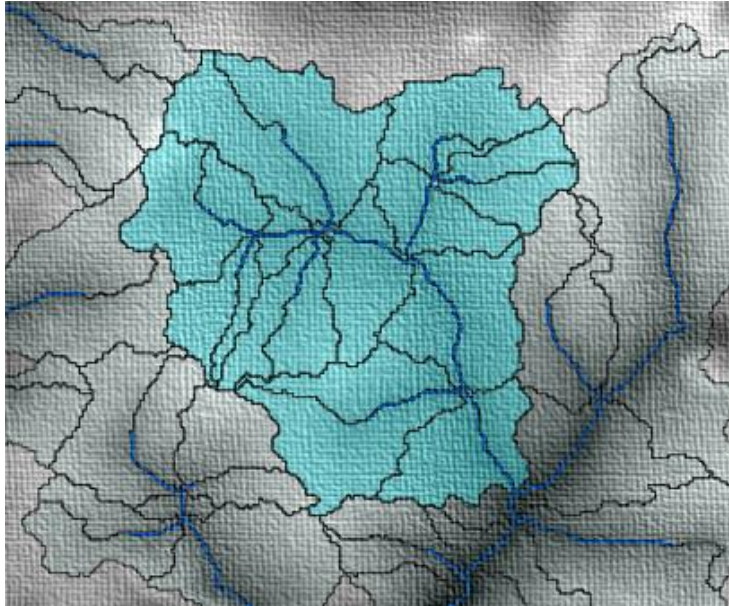


Fonte: Elaborado pelo autor (2024)

3.2.2 Definição da bacia hidrográfica

Partindo do mapa gerado, foi executado o comando “r.water.outlet”, para geração das sub-bacias do córrego estudado, utilizando como ponto exultório, a foz do córrego junto ao Rio do Monjolinho.

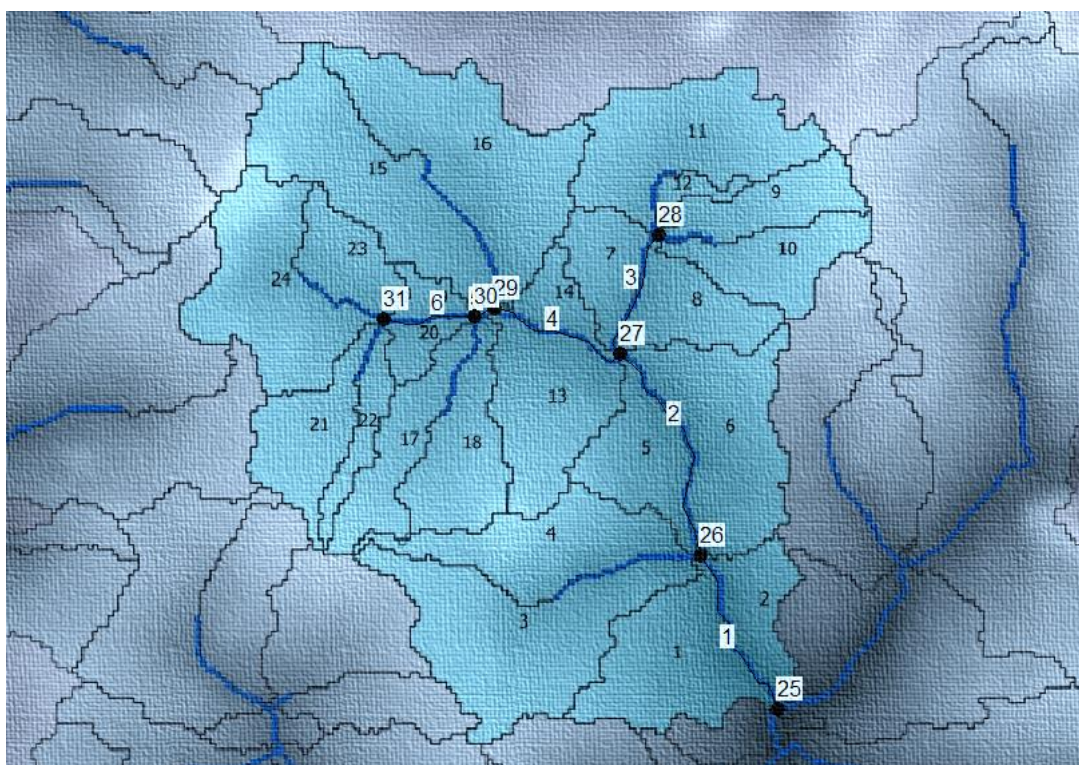
Figura 15 – Sub-bacias hidrográficas geradas



Fonte: Elaborado pelo autor (2024)

Foram considerados 8 nós (elementos 25, 26, 27, 28, 29, 30 e 31), cada um recebendo as vazões geradas pelas sub-bacias adjacentes a ele. Interligando os nós, foram criados os 6 trechos, como mostrado na figura 16:

Figura 16 – Nós e trechos gerados



Fonte: Elaborado pelo autor (2024)

Na tabela 5 são apresentados os dados referentes aos parâmetros geométricos das sub-bacias, na tabela 6, os parâmetros de escoamento e infiltração e na tabela 7 e os parâmetros geométricos e de escoamento dos condutos para o cenário 0.

Tabela 5 – Parâmetros geométricos das sub-bacias (cenário 0)

Sub-bacia	Exutório (nó)	Área total [m ²]	D [m]	Largura [m]	Declividade média [%]
1	25	639701,51	343,49	1862,36	4,98%
2	25	286891,57	265,26	1081,55	3,78%
3	26	1001438,75	836,97	1196,50	5,14%
4	26	572906,81	473,44	1210,09	6,50%
5	26	398286,11	297,95	1336,75	3,02%
6	26	742226,27	300,22	2472,27	3,47%
7	27	274455,08	275,91	994,73	3,32%
8	27	353755,61	328,95	1075,41	3,02%
9	28	321690,49	543,53	591,85	3,32%
10	28	375148,8	562,83	666,54	3,47%
11	28	779739,49	509,41	1530,67	3,02%
12	28	82873,47	200,61	413,11	1,96%
13	27	605906,04	497,88	1216,97	3,63%
14	27	161284,53	231,56	696,51	1,81%
15	29	848344,01	597,78	1419,16	4,08%
16	29	990041,4	406,36	2436,37	3,63%
17	30	370665,75	536,12	691,39	3,32%
18	30	452639,28	514,52	879,73	4,38%
19	30	87325,51	140,22	622,77	2,42%
20	30	117619,98	232,44	506,02	1,21%
21	31	404526,9	540,84	747,96	3,17%
22	31	175532,89	445,99	393,58	2,87%
23	31	283366,53	266,19	1064,53	2,57%
24	31	775238,85	395,09	1962,18	1,81%

Tabela 6 – Parâmetros de escoamento e infiltração (cenário 0)

Sub-bacia	% Área Impermeável	n - Permeável	PA - Permeável [mm]	CN []	Tempo seco [dias]
1	0	0,8	7,62	25	5
2	0	0,8	7,62	25	5
3	0	0,8	7,62	25	5
4	0	0,8	7,62	25	5
5	0	0,8	7,62	25	5
6	0	0,8	7,62	25	5
7	0	0,8	7,62	25	5
8	0	0,8	7,62	25	5
9	0	0,8	7,62	25	5
10	0	0,8	7,62	25	5
11	0	0,8	7,62	25	5
12	0	0,8	7,62	25	5
13	0	0,8	7,62	25	5
14	0	0,8	7,62	25	5
15	0	0,8	7,62	25	5
16	0	0,8	7,62	25	5
17	0	0,8	7,62	25	5
18	0	0,8	7,62	25	5
19	0	0,8	7,62	25	5
20	0	0,8	7,62	25	5
21	0	0,8	7,62	25	5
22	0	0,8	7,62	25	5
23	0	0,8	7,62	25	5
24	0	0,8	7,62	25	5

Fonte: Elaborado pelo autor (2024)

Tabela 7 – Parâmetros dos condutos (cenário 0)

Conduto	Nó de entrada	Nó de saída	Forma da seção	Comprimento [m]	n - Manning
1	26	25	Trapezoidal	1049,49	0.050
2	27	26	Trapezoidal	1372,21	0.050
3	28	27	Trapezoidal	788,26	0.050
4	29	27	Trapezoidal	819,51	0.050
5	30	29	Trapezoidal	123,31	0.050
6	31	30	Trapezoidal	549,10	0.050

Fonte: Elaborado pelo autor (2024)

Para o cenário 1, os parâmetros geométricos das sub-bacias são os mesmos apresentados na tabela 5. Para uma atribuição mais coerente dos parâmetros de escoamento e infiltração das sub-bacias, foram calculadas as áreas classificadas como urbanizadas (área impermeável), área de vegetação nativa e área de pastagem e cultivo. Os dados estão apresentados na tabela 8:

Tabela 8 – Composições de cobertura de solo (cenário 1)

Sub-bacia	Área urbanizada [m²]	Vegetação nativa [m²]	Pastagem e cultivo [m²]
1	531.707,02	107.994,49	0,00
2	184.314,07	102.577,50	0,00
3	756.256,40	245.182,35	0,00
4	38.548,56	0,00	534.358,25
5	21.216,59	27.836,78	349.232,74
6	152.546,01	47.545,85	542.134,41
7	0,00	3.525,26	270.929,82
8	64.637,18	52.141,14	236.977,29
9	225.342,83	96.347,66	0,00
10	326.423,58	48.725,22	0,00
11	183.649,19	88.527,52	507.562,78
12	16.463,77	66.409,70	0,00
13	8.421,25	34.111,92	563.372,87
14	0,00	7.556,80	153.727,73
15	17.213,51	11.275,19	819.855,31
16	0,00	77.385,36	912.656,04
17	55.224,60	12.822,63	302.618,52
18	0,00	63.254,97	389.384,31
19	0,00	30.621,17	56.704,34
20	0,00	40.313,24	77.306,74
21	181.590,94	16.580,52	206.355,44
22	32.984,33	20.414,58	122.133,98
23	0,00	199.403,36	83.963,17
24	172.424,73	90.277,26	512.536,86

Fonte: Elaborado pelo autor (2024)

Os parâmetros calculados e os parâmetros de infiltração utilizados estão apresentados na tabela 9:

Tabela 9 – Parâmetros de escoamento e infiltração (cenário 1)

Sub-bacia	% Área Imperm.	n – Imperm.	n – Perm.	PA – Imperm. [mm]	PA – Perm. [mm]	CN []	Tempo seco [dias]
1	83,12%	0,012	0,800	0,080	7,62	25	5
2	64,25%	0,012	0,800	0,080	7,62	25	5
3	75,52%	0,012	0,800	0,080	7,62	25	5
4	6,73%	0,012	0,170	0,080	5,08	25	5
5	5,33%	0,012	0,217	0,080	5,27	25	5
6	20,55%	0,012	0,221	0,080	5,28	25	5
7	1,28%	0,012	0,178	0,080	5,11	25	5
8	18,27%	0,012	0,284	0,080	5,54	25	5
9	70,05%	0,012	0,800	0,080	7,62	25	5
10	87,01%	0,012	0,800	0,080	7,62	25	5
11	23,55%	0,012	0,264	0,080	5,46	25	5
12	19,87%	0,012	0,800	0,080	7,62	25	5
13	1,39%	0,012	0,206	0,080	5,23	25	5
14	0,00%	0,012	0,200	0,080	5,20	25	5
15	2,03%	0,012	0,179	0,080	5,11	25	5
16	0,00%	0,012	0,219	0,080	5,28	25	5
17	14,90%	0,012	0,196	0,080	5,18	25	5
18	0,00%	0,012	0,258	0,080	5,43	25	5
19	0,00%	0,012	0,391	0,080	5,97	25	5
20	0,00%	0,012	0,386	0,080	5,95	25	5
21	44,89%	0,012	0,217	0,080	5,27	25	5
22	18,79%	0,012	0,260	0,080	5,44	25	5
23	70,37%	0,012	0,613	0,080	6,87	25	5
24	22,24%	0,012	0,264	0,080	5,46	25	5

Fonte: Elaborado pelo autor (2024)

Para o conduto 1, foi adotada seção retangular aberta e coeficiente de rugosidade de Manning $n = 0,015$ (concreto), considerando a canalização do córrego nas bacias mais urbanizadas. Os parâmetros utilizados para todos os condutos estão apresentados na tabela 10:

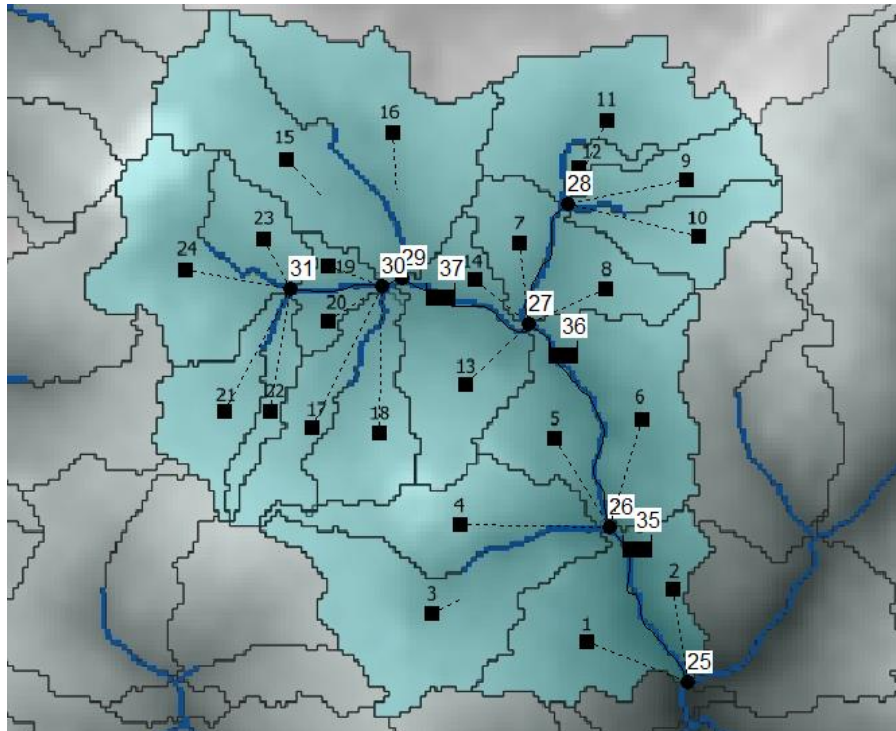
Tabela 10 – Parâmetros dos condutos (cenário 1)

Conduto	Nó de entrada	Nó de saída	Forma da seção	Comprimento [m]	n - Manning
1	26	25	Retangular aberto	1049,49	0,015
2	27	26	Trapezoidal	1372,21	0.050
3	28	27	Trapezoidal	788,26	0.050
4	29	27	Trapezoidal	819,51	0.050
5	30	29	Trapezoidal	123,31	0.050
6	31	30	Trapezoidal	549,1	0.050

Fonte: Elaborado pelo autor (2024)

A figura 16 mostra o posicionamento das bacias de detenção simuladas no cenário 2:

Figura 16 – Dispositivos de detenção (cenário 2)



Fonte: Elaborado pelo autor (2024)

Os dados referentes às bacias de detenção simuladas estão apresentados na tabela 11.

Tabela 11 – Parâmetros das bacias de detenção (unidades de reservatório)

	Área [m ²]	Profund. [m]	Volume [m ³]	CN	Tempo seco [dias]
BD 35	9000	2,5	22500,00	25,00	5
BD 36	8500	2,5	21250,00	25,00	5
BD 37	8500	2,5	21250,00	25,00	5

Fonte: Elaborado pelo autor (2024)

Para o cenário 3, foram consideradas as composições de cobertura apresentadas na tabela 12:

Tabela 12 – Composições de cobertura de solo (cenário 3)

Área pré-urbanizada [m ²]	Área urbanizada proposta [m ²]	Vegetação nativa [m ²]	Área verde [m ²]
531707,02	0,00	107994,49	0,00
184314,07	0,00	102577,50	0,00
756256,40	0,00	245182,35	0,00
38548,56	104267,92	1458,26	428632,07
21216,59	68645,54	27836,78	280587,20
152546,01	161672,49	47545,85	380461,92
0,00	73545,79	3525,26	197384,03
64637,18	45703,47	52141,14	191273,82
225342,83	0,00	96347,66	0,00
326423,58	0,00	48725,22	0,00
183649,19	151597,81	88527,52	355964,97
16463,77	0,00	66409,70	0,00
8421,25	97821,63	34111,92	465551,24
0,00	23335,68	7556,80	130392,05
17213,51	174136,76	11275,19	645718,55
0,00	153357,80	77385,36	759298,24
55224,60	53187,07	12822,63	249431,45
0,00	215993,46	63254,97	173390,85
0,00	15754,81	30621,17	40949,53
0,00	18920,42	40313,24	58386,32
181590,94	47064,05	16580,52	159291,39
32984,33	27310,75	20414,58	94823,23
0,00	45595,30	125287,57	112483,66
172424,73	115534,82	90277,26	397002,04

Fonte: Elaborado pelo autor (2024)

Na tabela 13 estão apresentados os parâmetros de escoamento e infiltração adotados:

Tabela 13 – Parâmetros de escoamento e infiltração (cenário 3)

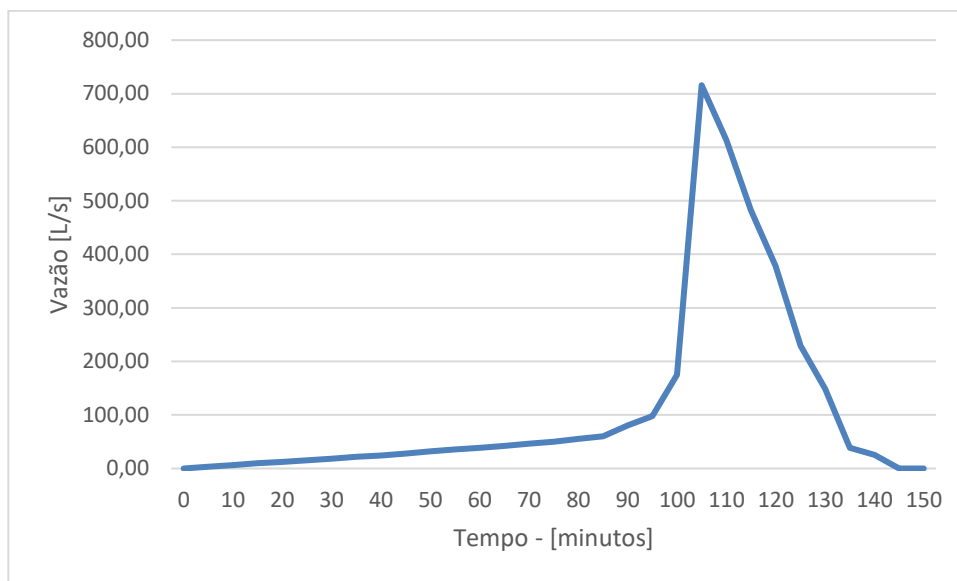
Sub-bacia	% Área Impermeável	n – Imperm.	n – Perm.	PA – Imperm. [mm]	PA – Perm. [mm]	CN []	Tempo seco [dias]
1	83,12%	0,012	0,8000	0,08	7,62	25	5
2	64,25%	0,012	0,8000	0,08	7,62	25	5
3	75,52%	0,012	0,8000	0,08	7,62	25	5
4	24,93%	0,012	0,1522	0,08	3,82	25	5
5	22,56%	0,012	0,2087	0,08	4,15	25	5
6	42,33%	0,012	0,2222	0,08	4,23	25	5
7	26,80%	0,012	0,1614	0,08	3,88	25	5
8	31,19%	0,012	0,2892	0,08	4,63	25	5
9	70,05%	0,012	0,8000	0,08	7,62	25	5
10	87,01%	0,012	0,8000	0,08	7,62	25	5
11	42,99%	0,012	0,2795	0,08	4,57	25	5
12	19,87%	0,012	0,8000	0,08	7,62	25	5
13	17,53%	0,012	0,1944	0,08	4,07	25	5
14	14,47%	0,012	0,1856	0,08	4,02	25	5
15	22,56%	0,012	0,1612	0,08	3,88	25	5
16	15,49%	0,012	0,2101	0,08	4,16	25	5
17	29,25%	0,012	0,1818	0,08	4,00	25	5
18	47,72%	0,012	0,3237	0,08	4,83	25	5
19	18,04%	0,012	0,4281	0,08	5,44	25	5
20	16,09%	0,012	0,4155	0,08	5,37	25	5
21	56,52%	0,012	0,2113	0,08	4,17	25	5
22	34,35%	0,012	0,2651	0,08	4,48	25	5
23	16,09%	0,012	0,4925	0,08	5,82	25	5
24	37,14%	0,012	0,2704	0,08	4,52	25	5

Fonte: Elaborado pelo autor (2024)

Com as simulações dos 4 cenários analisados, obteve-se os dados referentes à caracterização do escoamento da bacia e ao funcionamento dos dispositivos de detenção simulados.

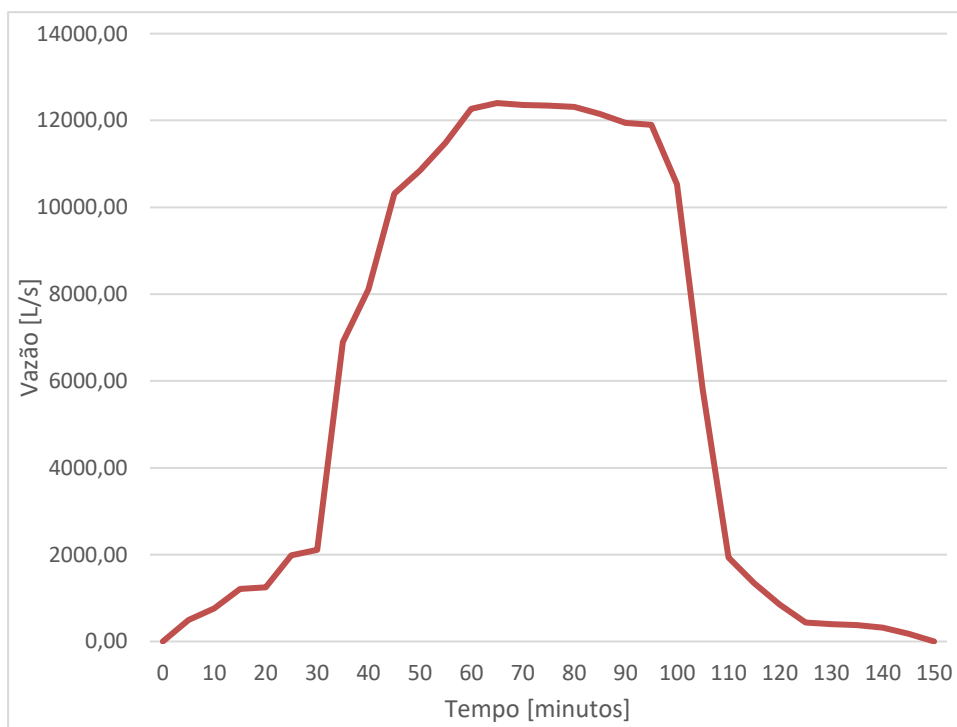
Nas figuras 17, 18, 19 e 20 estão apresentados os hidrogramas obtidos para cada cenário analisado:

Figura 17 – Hidrograma estimado para a bacia hidrográfica do Córrego Santa Maria do Leme - Cenário 0



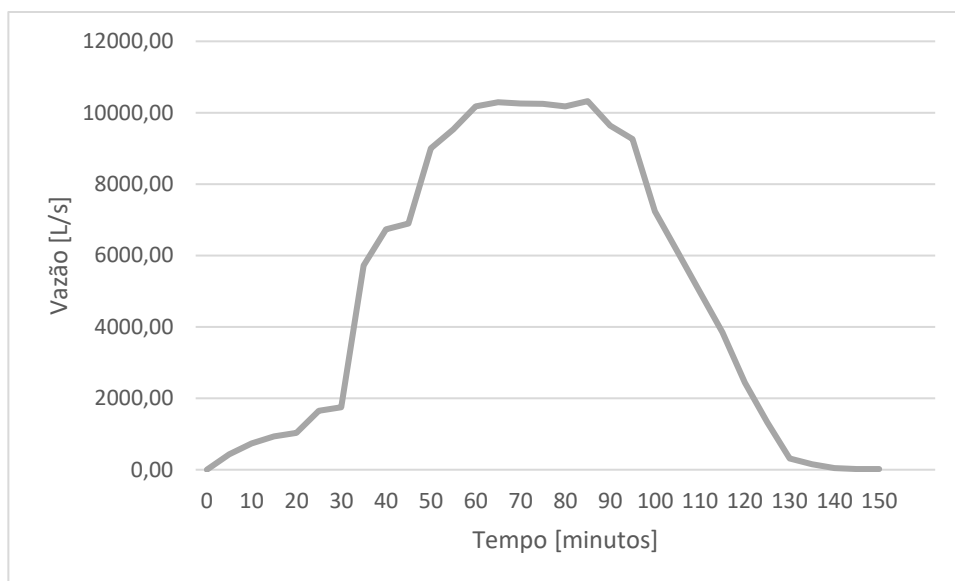
Fonte: Elaborado pelo autor (2024)

Figura 18 – Hidrograma estimado para a bacia hidrográfica do Córrego Santa Maria do Leme - Cenário 1



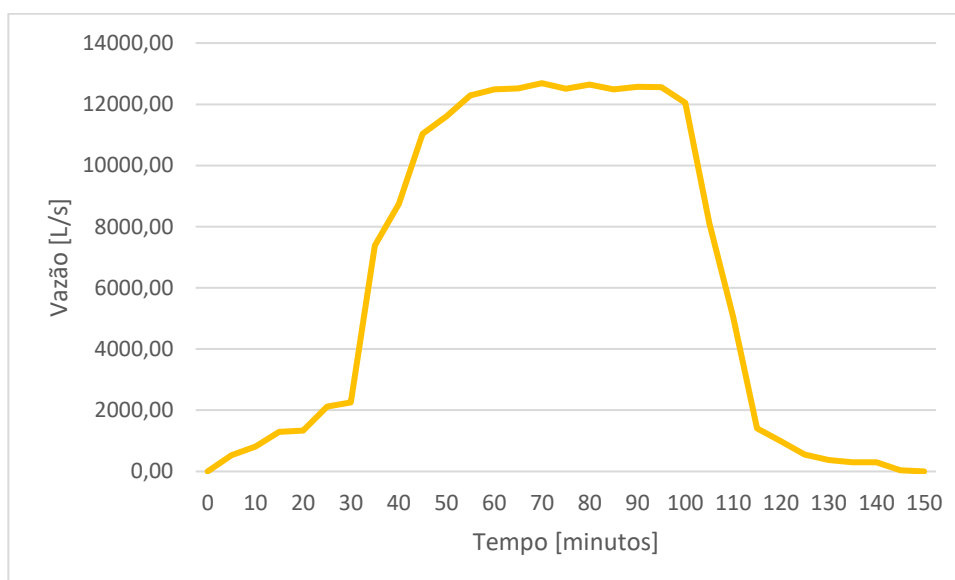
Fonte: Elaborado pelo autor (2024)

Figura 19 – Hidrograma estimado para a bacia hidrográfica do Córrego Santa Maria do Leme - Cenário 2



Fonte: Elaborado pelo autor (2024)

Figura 20 – Hidrograma estimado para a bacia hidrográfica do Córrego Santa Maria do Leme - Cenário 3



Fonte: Elaborado pelo autor (2024)

Dos hidrogramas gerados, obtém-se graficamente os valores do tempo de concentração e vazão de pico (coordenadas x e y, respectivamente, do ponto máximo da curva) para cada cenário

analisado. Os dados estão apresentados na tabela 14:

Tabela 14 – Tempo de concentração e vazão de pico dos cenários simulados

Cenário	Tempo de concentração (minutos)	Vazão de pico (L/s)
0	106,57	715,79
1	63,58	12325,84
2	82,65	10328,63
3	72,52	12523,54

Observa-se uma vazão no cenário 0 bem inferior aos demais cenários analisados.

6 CONCLUSÃO

A partir dos resultados obtidos, conclui-se que a vazão de pico no cenário 0 (bacia hidrográfica em seu estado natural) é de 715,79 L/s. Já no atual estado de ocupação da bacia, a vazão calculada para a chuva de referência é de 12325,84 L/s, 17,22 vezes maior, quando comparada à bacia em seu estado pré-ocupação. Isso se justifica pela alta capacidade de infiltração da bacia no cenário 0 e pelas maiores velocidades de escoamento das águas nas bacias com ocupação urbana. Observa-se também, que o tempo de concentração da bacia é inversamente proporcional ao grau de urbanização simulado. Também se conclui que as bacias de retenção amortizaram a vazão de pico em 16,20%, ou seja, são mecanismos capazes de reduzir os efeitos da ocupação urbana sobre o escoamento superficial da bacia hidrográfica analisada. Entretanto, conclui-se também que, embora reduzido, o escoamento gerado não retornou às condições simuladas no cenário 0, estado da bacia sem ocupação humana.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BATISTA, M.; NASCIMENTO, N.; BARRAUD, S. **Técnicas compensatórias em Drenagem Urbana**. Associação Brasileira de Recursos Hídricos - ABRH – 2.a Edição, Porto Alegre, 2005.

DENÚBILA, L. A. Alterações ambientais associadas à mineração no município de São Carlos (SP), utilizando AHP e SIG. 2013. 292 f. Dissertação (Mestrado em Geotecnia) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2013.

DEFESA CIVIL. Ministério da Integração Nacional. Secretaria Nacional de Proteção e Defesa Civil. Departamento de Prevenção e Preparação. **Glossário de proteção e defesa civil** / Ministério da Integração Nacional, Secretaria Nacional de Proteção e Defesa Civil, Departamento de Prevenção e Preparação. - Brasília : Ministério da Integração Nacional, 2017.

IBGE. **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística**. Censo Demográfico 2010.

LOURENÇO, R. **Sistemas Urbanos de Drenagem Sustentáveis**. Dissertação (Mestrado). Instituto Superior de Engenharia de Coimbra, Coimbra, 2014.

NUCASE - **Águas pluviais : técnicas compensatórias para o controle de cheias urbanas : guia do profissional em treinamento : nível 2 e 3** / Ministério das Cidades. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental (org.). – Belo Horizonte : ReCESA, 2007. 52 p.

OLIVEIRA, A. P. **Aplicação de técnicas compensatórias de drenagem na requalificação de áreas verdes urbanas em Guarulhos - SP**. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de São Carlos (UFSCar), São Carlos, 2016.

PENA, Rodolfo F. Alves. "O problema das enchentes"; *Brasil Escola*. Disponível em: <https://brasilecola.uol.com.br/geografia/enchentes.htm>. Acesso em 20 de outubro de 2019.

POLIS. **Diagnóstico para elaboração de Plano Diretor Municipal de São Carlos** - Instituto Polis – Prefeitura Municipal de São Carlos, São Paulo, 2002.

PMSJC - Prefeitura Municipal de São José dos Campos. (2002). **Diretrizes de Macrodrenagem para loteamentos**. São José dos Campos: Secretaria de Planejamento Urbano.

PMSSanCa. **Plano Municipal de Saneamento - São Carlos/SP**. Prefeitura Municipal de São Carlos, 2012.

RODRÍGUEZ, C. A. M. **Avaliação de bacias de retenção de águas pluviais implantadas no município de São Carlos, SP**. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de São Carlos (UFSCar), São Carlos, 2019.

SÃO CARLOS. Lei nº18.053, de 19 de Dezembro de 2016. Estabelece o Plano Diretor do Município de São Carlos (PMSC). Disponível em: <https://leismunicipais.com.br/plano-diretor-sao-carlos-sp>. Acessado em: 13 de Outubro de 2019.

SMH DU, Secretaria Municipal de Habitação e Desenvolvimento Urbano. **O novo Plano Diretor do município de São Carlos**. São Carlos, 2016. Disponível em <<http://www.saocarlos.sp.gov.br/index.php/habitacao-morar/166049-plano-diretor-estrategico.html>>. Acesso em: 20 Out. 2019.

TUCCI, C. E. M. **Drenagem Urbana**. Porto Alegre: Editora da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1994.

TUCCI, C. E. M. **Inundações urbanas: impactos da urbanização**. Porto Alegre: Ed. ABRH/RHAMA, 2007.

VILLELA, S. M.; Matos, A. **Hidrologia aplicada**. McGraw-Hill, Sao Paulo, 1975.

WILKEN, P. **Engenharia de drenagem superficial**. São Paulo: CETESB, 1978.