

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
Departamento de Engenharia de Materiais e Construção
Programa de Especialização em Construção Civil

Marli de Oliveira Damas

**ANÁLISE DA GESTÃO DA DRENAGEM PLUVIAL NO MUNICÍPIO DE
CONTAGEM**

Belo Horizonte
2023

Marli de Oliveira Damas

**ANÁLISE DA GESTÃO DA DRENAGEM PLUVIAL NO MUNICÍPIO DE
CONTAGEM**

Versão final

Monografia de especialização apresentada
à Faculdade de Engenharia, da
Universidade Federal de Minas Gerais,
como requisito parcial à obtenção do título
de Especialista em Construção Civil

Orientadora: Prof^{fa}. Dr^a. Cristiane Machado Parisi Jonov

Belo Horizonte

2023

D155a

Damas, Marli de Oliveira.

Análise da gestão da drenagem pluvial no município de Contagem [recurso eletrônico] / Marli de Oliveira Damas. – 2023.
1 recurso online (90 f. : il., color.) : pdf.

Orientadora: Cristiane Machado Parisi Jonov.

Monografia apresentada ao Curso de Especialização em Construção Civil da Escola de Engenharia da UFMG.

Bibliografia: f. 89-90.

Exigências do sistema: Adobe Acrobat Reader.

1. Construção civil. 2. Águas pluviais. 3. Controle de inundações. 4. Drenagem de habitação. 5. Infiltração. I. Parisi Jonov, Cristiane Machado. II. Universidade Federal de Minas Gerais. Escola de Engenharia. III. Título.

CDU: 69



ATA DE DEFESA DE MONOGRAFIA

ALUNO: MARLÍ DE OLIVEIRA DAMAS

MATRÍCULA: 2020687369

RESULTADO

Aos 24 dias do mês de março de 2023 realizou-se a defesa da MONOGRAFIA de autoria do aluno acima mencionado sob o título:
"ANÁLISE DA GESTÃO DA DRENAGEM PLUVIAL NO MUNICÍPIO DE CONTAGEM"

Após análise, concluiu-se pela alternativa assinalada abaixo:

APROVADO

APROVADO COM CORREÇÕES

REPROVADO

NOTA: 94

CONCEITO: A

BANCA EXAMINADORA:

Nome

Prof.ª. Dr.ª. Cristiane Machado Parisi Jonov

Assinatura

Cristiane Machado
Parisi:89497244649
Assinado de forma digital por
Cristiane Machado
Parisi:89497244649
Dados: 2023.03.30 16:18:35 -03'00'

Nome

Prof. Dr. Adriano de Paula e Silva

Assinatura

Adriano de Paula e
Silva:36512460600
Assinado de forma digital por Adriano
de Paula e Silva:36512460600
Dados: 2023.03.30 16:19:17 -03'00'

O candidato faz jus ao grau de "ESPECIALISTA EM CONSTRUÇÃO CIVIL: "GESTÃO E TECNOLOGIA NA CONSTRUÇÃO CIVIL"

Antônio Neves
de Carvalho
Júnior
Assinado de forma digital
por Antônio Neves de
Carvalho Júnior
Dados: 2023.04.13
16:46:51 -03'00'

Belo Horizonte, 24 de março de 2023

Coordenador do Curso

Dedico este trabalho ao meu filho
Guilherme do Carmo Damas Silva, que
aceitou e respeitou minhas ausências e
reacendeu minha "Luz" nos momentos de
queda de energia, à minha mãe Marta
Lopes de Oliveira Damas, que com sua
gloriosa simplicidade sempre me
proporcionou a energia amorosa
necessária, e à minha amiga Carla Marçal
França Pinto, que mesmo distante me
inspirou coragem e determinação em
todos os momentos do desenvolvimento
deste trabalho. Vocês sempre serão
especiais para mim.

AGRADECIMENTOS

A minha família - meu pai Minervino, minha mãe Marta, meu filho Guilherme, minhas irmãs Clarice, Cláudia e Marlene, meus sobrinhos, minha avó Josefa, meus tios, primos e amigos - pela força, coragem e determinação proporcionadas. Vocês tornaram tudo possível e, se sou um pouco melhor hoje, é pela existência de vocês em minha vida.

À minha Professora Orientadora, Dra. Cristiane Machado Parisi Jonov, pelo norte verdadeiro apontado com delicadeza e suavidade.

A Marta Bregunci por acreditar na minha capacidade, pelo apoio incondicional e pela maravilhosa oportunidade de aprendizagem oferecida.

Agradecimento especial a todos os professores do curso. Para mim, a oportunidade de aprendizagem foi ímpar e inesquecível. Cada professor, com sua característica peculiar, marcou para sempre a formação do meu ser.

À Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais - UFMG, a toda a equipe administrativa e professores que participaram direta e indiretamente da realização do nosso curso.

À ArcelorMittal por acreditar na importância da capacitação de pessoas e tornar esse curso realizável.

À Prefeitura Municipal de Contagem. Se não fosse por ela, o desenvolvimento deste trabalho não seria possível.

Aos meus colegas e amigos de classe, que marcaram minha memória de forma bastante construtiva. Além da minha gratidão, aproveito a oportunidade para externar meu profundo carinho.

A todos, o meu sincero agradecimento!

EPÍGRAFE

“A mente que se abre a uma nova ideia jamais voltará ao seu tamanho original.”

Autor Desconhecido.

“A vida me ensinou a nunca desistir. Nem ganhar, nem perder, mas procurar evoluir.”

Charlie Brown Jr.

“Tente mover o mundo – o primeiro passo será mover a si mesmo.”

Platão

RESUMO

O município de Contagem teve um crescimento acelerado e o Estado não conseguiu acompanhar esse crescimento com a infraestrutura urbana adequada, principalmente em relação ao sistema de drenagem pluvial. Com a velocidade do crescimento e custo alto para implantação do sistema adequado, o município realizou a pavimentação da maioria das vias públicas com a execução das redes de drenagem nos fundos de vale e planícies, sendo que as ruas localizadas a montante das microbacias foram asfaltadas sem a execução das redes. Essas ruas possuem uma declividade média de 10%, alcançando declividades superiores a 60%. Em dia de chuva intensa, as águas pluviais escoam superficialmente pelas vias asfaltadas com uma velocidade superior a 12m/s, o que representa uma velocidade superior a 40km/h. A alta energia de deslocamento da água provoca danos imensuráveis tangíveis e intangíveis. Os custos de manutenção e recuperação dos danos não são contabilizados, mas são altíssimos devido aos retrabalhos anuais referentes à operação tampa buracos que ocorrem em todas as regionais municipais. Com o escoamento acelerado, as infiltrações, evaporações e demais ciclos hidrológicos ficam interrompidos e o município sofre as consequências diretas disso com a extinção de lençóis freáticos, queda da umidade do solo e do ar, alagamentos e inundações. Atualmente, é observado um crescimento da mancha vermelha de inundação que implora por intervenções à montante que visem a retenção e infiltração dos fluidos em sua origem, o denominado controle na fonte. Diante da velocidade do crescimento das áreas impermeabilizadas, se não forem executadas medidas imediatas para conter a energia de deslocamento das águas, daqui dez anos, os estragos serão exponencialmente maiores.

Palavras-chave: Drenagem Urbana. Inundação. Retenção. Infiltração. Controle na fonte.

ABSTRACT

The municipality of Contagem had a rapid growth and the State did not manage to keep up with this growth with adequate urban infrastructure, especially in relation to the stormwater drainage system. With the speed of growth and high cost for implementing the adequate system, the municipality paved most of the public roads with the execution of drainage networks in the valleys and plains, while the streets located upstream of the micro-basins were paved without the execution of the networks. These streets have an average slope of 10%, reaching slopes of over 60%. On days of heavy rain, rainwater flows superficially through the paved roads at a speed of over 12m/s, which represents a speed greater than 40km/h. The high displacement energy of the water causes immeasurable tangible and intangible damage. Maintenance and recovery costs are not accounted for, but are extremely high due to annual rework related to pothole operation that occurs in all municipal regions. With the accelerated runoff, infiltrations, evaporation, and other hydrological cycles are interrupted and the municipality suffers direct consequences from this with the extinction of water tables, a decrease in soil and air moisture, and floods. Currently, there is an observed growth of the red flood zone that begs for upstream interventions that aim at retaining and infiltrating fluids at their source, the so-called source control. Given the speed of growth of impermeable areas, if immediate measures are not taken to contain the energy of water displacement, in ten years the damage will be exponentially greater.

Keywords: Urban drainage . Watershed. Retention. Infiltration. Source control.

LISTA DE FIGURAS

Figura 3.1 Caracterização dos leitos de escoamento.....	20
Figura 3.2 Ciclo hídrico.....	21
Figura 3.3 Alteração dos limites da área de inundação após urbanização.....	22
Figura 3.4 Gráfico de vazão x tempo de escoamento – comparativo antes e depois da urbanização.....	23
Figura 4.1 Localização do município de Contagem.....	30
Figura 4.2 Trecho de perfil longitudinal com declividade 34,5% e foto do trecho.....	32
Figura 4.3 Declividade média das vias de Belo Horizonte.....	33
Figura 4.4 Microbacias do município de Contagem.....	34
Figura 4.5 Limites hidrográficos da bacia da Pampulha e representação dos córregos.....	35
Figura 4.6 Córregos principais da bacia da Pampulha e identificação dos pontos críticos.....	36
Figura 4.7 Localização dos pontos de inundação no território da bacia da Pampulha.....	36
Figura 4.8: Confluência do córrego João Gomes com Sarandi na avenida Severino Ballesteros.....	37
Figura 4.9 Inundação na Praça do Divino, área de contribuição do córrego João Gomes.....	37
Figura 5.1 Local de estudo do avanço vertical da mancha de inundação.....	47
Figura 5.2 Poligonal da área de estudo do avanço vertical da mancha de inundação e os pontos de análise.....	47
Figura 5.3 Poligonal da área de estudo da área de análise da extinção do lençol freático.....	49
Figura 5.4 Eixo do perfil longitudinal da rua General Mascarenhas Moraes.....	51
Figura 5.5 Perfil longitudinal da rua General Mascarenhas Moraes.....	52
Figura 5.6 Eixo do perfil longitudinal da rua Castelo Nuevo.....	53
Figura 5.7 Perfil longitudinal da rua Castelo Nuevo.....	54
Figura 5.8 Área alagada da rua Andrelândia, esquina com rua Cajuri.....	55
Figura 5.9 Microbacia à montante e jusante da rua Andrelândia.....	56
Figura 5.10 Indicação dos pontos dos divisores de águas.....	57

Figura 5.11 Poligonal do quarteirão da rua Andrelândia entre as ruas Ouraça e Colinas.....	58
Figura 5.12 Áreas permeáveis pertencentes á poligonal do quarteirão A1= 390,00m ²	58
Figura 5.13 Áreas permeáveis pertencentes à poligonal do quarteirão A2= 378,00m ²	59
Figura 5.14 Áreas permeáveis pertencentes à poligonal do quarteirão A3= 306,00m ²	59
Figura 5.15 Área de cada trecho.....	60
Figura 5.16 Curvas de nível da área projetada – base para perfis longitudinais.....	61
Figura 5.17 Perfil longitudinal da rua Andrelândia.....	61
Figura 5.18 Perfil longitudinal da rua Alvinópolis.....	61
Figura 5.19 Perfil longitudinal da rua Açucena.....	62
Figura 5.20 Perfil longitudinal da rua Aracati.....	62
Figura 5.21 Perfil longitudinal da rua Caiçara.....	62
Figura 5.22 Perfil longitudinal da rua Dores do Campo.....	62
Figura 5.23 Perfil longitudinal da rua Carlos Chagas.....	63
Figura 5.24 Perfil longitudinal da rua Cajuri.....	63
Figura 5.25 Perfil longitudinal da rua Camanducaia.....	63
Figura 5.26 Perfil longitudinal da rua Criciúma.....	63
Figura 5.27 Perfil longitudinal da rua Ouraça.....	64
Figura 5.28 Perfil longitudinal da rua Colinas.....	64
Figura 5.29 Projeto da rede de drenagem e detalhes construtivos.....	70
Figura 5.30 Projeto das sarjetas e perfis longitudinais.....	71
Figura 5.31 Projeto das áreas dos trechos, representação do greide e perfis longitudinais.....	71
Figura 5.32 Percurso percorrido pelas águas da microbacia.....	72
Figura 5.33 Percurso percorrido pelas águas da microbacia até o canal da Av. Nacional.....	72
Figura 5.34 Percurso percorrido pelas águas da microbacia até a lagoa da Pampulha.....	73
Figura 6.1 Tubo permeável com filtros acoplados e detalhe dos filtros.....	76
Figura 6.2 Perspectiva da rede com tubo permeável com filtros acoplados.....	76
Figura 6.3 Corte pavimento asfáltico.....	77

Figura 6.4 Escavação de vala.....	77
Figura 6.5 Escoramento tipo blindado.....	78
Figura 6.6 Escoramento tipo pontaleamento.....	78
Figura 6.7 Regularização do fundo da vala.....	78
Figura 6.8 Fixação/Grampeamento da manta geotêxtil do berço no fundo e laterais da vala.....	79
Figura 6.9 Lançamento da camada 20cm de brita 01 do berço.....	79
Figura 6.10 Berço de brita 01 envelopado com manta geotêxtil.....	80
Figura 6.11 Detalhe de fixação do anel.....	80
Figura 6.12 Fixação prévia do anel na ponta do tubo.....	81
Figura 6.13 Içamento do tubo com filtros direcionados para baixo.....	81
Figura 6.14 Alinhamento em relação ao eixo da vala.....	81
Figura 6.15 Assentamento do tubo.....	82
Figura 6.16 Encaixe ponta na bolsa dos tubos.....	82
Figura 6.17 Execução do contraberço.....	82
Figura 6.18 Reaterro manual das laterais ao tubo da rede.....	83
Figura 6.19 Compactação mecanizada da vala.....	83
Figura 6.20 Dissipador de energia para rede de drenagem.....	84
Figura 6.21 Representação do poço de recarga hídrica.....	85

LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1 Parâmetro de comparação para velocidade média de escoamento.....	25
Tabela 3.2 Unidade para T_c , S e L do talvegue e valores da constante K.....	26
Tabela 3.3 Valor de C por tipo de ocupação.....	28
Tabela 3.4 Valor de C por tipo de pavimento.....	28
Tabela 5.1 Valores obtidos para as velocidades e vazões e dimensionamento da rede para C=60%.....	68
Tabela 5.2 Valores obtidos para as velocidades e vazões e dimensionamento da rede para C=70%.....	68
Tabela 5.3 Valores obtidos para as velocidades e vazões e dimensionamento da rede para C=80%.....	69
Tabela 5.4 Valores obtidos para as velocidades e vazões e dimensionamento da rede para C=90%.....	69
Tabela 5.5 Valor de V_m para o deslocamento da água na tubulação e no talvegue de lançamento.....	75

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Nacional de Normas Técnicas
UFMG	Universidade Federal de Minas Gerais
L	Comprimento do talvegue
T_c	Tempo de concentração
K	Constante
S	Declividade
D	Duração da chuva de projeto
IDF	Intensidade, duração e frequência
Q_p	Vazão de projeto
I	Intensidade da chuva de projeto
I	Declividade da rede de drenagem
C	Coefficiente de escoamento
A	Área de drenagem
h_a	Hectares
V	Velocidade
R_h	Raio hidráulico
n	Coefficiente de rugosidade

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	17
2. OBJETIVO.....	19
2.1. Objetivo geral.....	19
2.2. Objetivos específicos.....	19
3. REVISÃO DE LITERATURA.....	20
3.1. Tipos de enchentes.....	20
3.2. Impactos no ciclo hidrológico.....	21
3.3. Tempo de concentração.....	23
3.4. Parâmetros hidrológicos.....	25
4. METODOLOGIA.....	30
4.1. Escolha da área de estudo.....	30
4.1.1. Contextualização.....	30
4.1.2. Microbacias do município de Contagem.....	34
4.1.3. Bacia da Pampulha.....	35
4.2. Etapas e métodos de desenvolvimento.....	38
4.2.1. Consequências das impermeabilizações.....	38
4.2.2. Sistema de drenagem não atende ao ciclo hidrológico atual.....	39
4.2.3. Elaboração de projeto de drenagem para demanda existente.....	40
4.2.4. Propostas de soluções sustentáveis.....	45
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	47
5.1. As consequências das impermeabilizações.....	47
5.2. Sistema de drenagem não atende ao ciclo hidrológico atual.....	51
5.2.1. Cálculo da velocidade de escoamento das águas pluviais para a rua General Mascarenhas Moraes.....	51
5.2.2. Cálculo da velocidade de escoamento das águas pluviais para a rua Castelo Nuevo.....	53
5.3. Elaboração de projeto para demanda existente.....	55
5.3.1. Identificação do ponto de convergência das águas pluviais da área de projeto.....	55
5.3.2. Delimitação da área de convergência.....	56

5.3.3. Definição dos pontos dos divisores de água da microbacia de projeto.....	57
5.3.4. Cálculo da taxa de impermeabilização atual.....	57
5.3.5. Subdivisão da área da microbacia para dimensionamento da tubulação dos trechos.....	60
5.3.6. Elaboração de levantamento planialtimétrico.....	61
5.3.7. Execução dos perfis longitudinais.....	61
5.3.8. Determinação das declividades média das ruas.....	64
5.3.9. Identificação dos trechos de declividades críticas e superiores a 10%.....	66
5.3.10. Obtenção dos índices pluviométricos.....	67
5.3.11. Cálculos das áreas de contribuição, volumes, vazões, velocidades dos trechos para taxas de impermeabilização de 60%, 70%, 80%, e atual.....	67
5.3.12. Idealização, dimensionamento e elaboração do Projeto.....	70
5.3.13. Identificação do percurso das águas até o canal de lançamento.....	72
5.3.14. Determinação da velocidade média dos percursos.....	73
5.3.15. Tabulação, comparação e análise dos resultados.....	75
6. PROPOSTAS DE SOLUÇÃO.....	76
6.1. Tubo permeável com filtros acoplados.....	76
6.2. Dissipador de energia para redes tubulares.....	84
6.3. Poço de retenção e infiltração.....	84
7. CONCLUSÃO.....	86
8. REFERÊNCIAS.....	88

1. INTRODUÇÃO

A intensa expansão urbana das cidades brasileiras decorrente do acelerado crescimento demográfico, acarretou no surgimento de aglomerados subnormais em zonas distantes do centro das cidades. Estes aglomerados emergem sem seguir as diretrizes do planejamento de uso e ocupação do solo, definido pelo Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano (PDDU), e com precárias infraestruturas urbanas, principalmente no que tange aos sistemas de saneamento básico. Trevisol e Back (2011) afirmam que os avanços da urbanização desordenada provocam diversas e profundas modificações que podem comprometer as condições naturais do ambiente.

Dentre essas modificações, destacam-se as provocadas sobre as redes de drenagem natural, que são substituídas por estruturas artificiais e resultam na alteração do funcionamento do ciclo hidrológico dentro do espaço urbano, visto que as superfícies passam a ser impermeabilizadas e os corpos d'água canalizados (TUCCI, 2005). De acordo com Rodrigues et al. (2016), apesar de a impermeabilização do solo, através da pavimentação de vias públicas, proporcionar maior conforto aos automóveis e pedestres, acaba reduzindo a quantidade de infiltração das águas de chuva no solo, ocasionando a diminuição do volume de recarga dos aquíferos e aumentando a velocidade de escoamento superficial.

Com o aumento da velocidade de escoamento, há uma maximização do volume instantâneo nos cursos d'água e conseqüente ampliação horizontal das manchas vermelhas de inundação. A redução do tempo de escoamento e da infiltração interrompem o processo de filtragem natural da água pelo solo no percurso em que ocorre um evento, afetando os cursos d'água e provocando a perda da sua qualidade, além de alterar a umidade ótima natural do solo nas regiões em que a área impermeabilizada ultrapassa 70% e está causando transtornos nas obras de construção civil.

Assim, quando há uma significativa diminuição das áreas permeáveis, o processo de escoamento superficial torna-se o grande desafio das cidades no que diz respeito ao gerenciamento da drenagem urbana, porquanto seu principal objeto seja evitar a ocorrência de alagamentos. Contudo, o desenvolvimento das metrópoles brasileiras tem caminhado na contramão do gerenciamento da drenagem urbana, produzindo um aumento caótico na frequência dos alagamentos, decorrentes de

dispositivos de macro e microdrenagem mal projetados, da ausência de ações continuadas de manutenção desses dispositivos e pela falta de planejamento e investimento público no direcionamento da expansão urbana, causando transtornos de ordem material e humana. (TUCCI, 2005; TREVISOL e BACK, 2011).

A impermeabilização crescente do solo tem ocasionado enchentes cada vez maiores, responsáveis por grandes transtornos à população, causando doenças infectocontagiosas, além de prejuízos financeiros aos poderes públicos e a diversos entes privados. Isso ocorre devido às precipitações pluviométricas que ocorrem anualmente e à carência de sistemas que as suportem de forma adequada nas principais vias das cidades.

Dentro dessa lógica de desenvolvimento, é importante destacar que os sistemas de drenagem urbana dos municípios também sofrem com a falta de infraestrutura adequada, apresentando vários dispositivos de microdrenagem ineficientes e obsoletos. Isso interfere no escoamento das águas pluviais, contribuindo para o surgimento de pontos de alagamento, que são agravados, sobretudo, durante o período mais chuvoso do ano.

2. OBJETIVO

2.1. Objetivo Geral

O objetivo geral do presente trabalho é a análise da evolução da Gestão da drenagem urbana no município de Contagem a partir do ano 2017.

2.2. Objetivos Específicos

Para atingir o objetivo geral é necessário alcançar os seguintes objetivos específicos:

- ✓ Identificar as consequências da impermeabilização acelerada das áreas do município através de estudos de áreas amostrais;
- ✓ Demonstrar que, para a situação atual do ciclo hidrológico, o sistema de drenagem urbana existente está ineficiente e insuficiente;
- ✓ Elaborar projeto de drenagem para a área de alagamentos e inundações em estudo;
- ✓ Propor soluções sustentáveis para redução das manchas vermelhas de inundação com foco em soluções a serem executadas a montante das áreas das microbacias e considerando o controle na fonte.

3. REVISÃO DE LITERATURA

Esse capítulo discorre sobre os tipos de enchentes e os conceitos necessários à uniformização da terminologia técnica utilizada no presente trabalho.

3.1. Tipos de Enchentes

As enchentes podem ocorrer por duas razões, de acordo com Tucci (1997): devido à impermeabilização das áreas urbanas e/ou pela ocupação das áreas ribeirinhas. As bacias de drenagem são executadas com a impermeabilização das superfícies e redes de condutos de escoamentos, o que vem provocando o aumento da frequência e magnitude das enchentes.

Os problemas de escoamento das águas pluviais decorrem do desenvolvimento urbano com a utilização de estruturas urbanas inadequadas, como aterros, pontes, drenagens, assoreamentos e obstruções ao escoamento junto aos condutos (TUCCI, 1997).

Durante períodos de chuvas baixas e moderadas, o leito do rio abaixa, sendo esse leito considerado por Tucci (1997) como seu leito menor (Figura 3.1). Nesse período, a população ocupa as margens do rio, preenchendo toda a área do leito maior, cujo nível é alcançado durante períodos de chuvas intensas. Essas áreas passam pelo processo de cheias de forma sazonal, de acordo com eventos extremos, em média com um tempo de retorno da ordem de 2 anos (TUCCI, 1997).

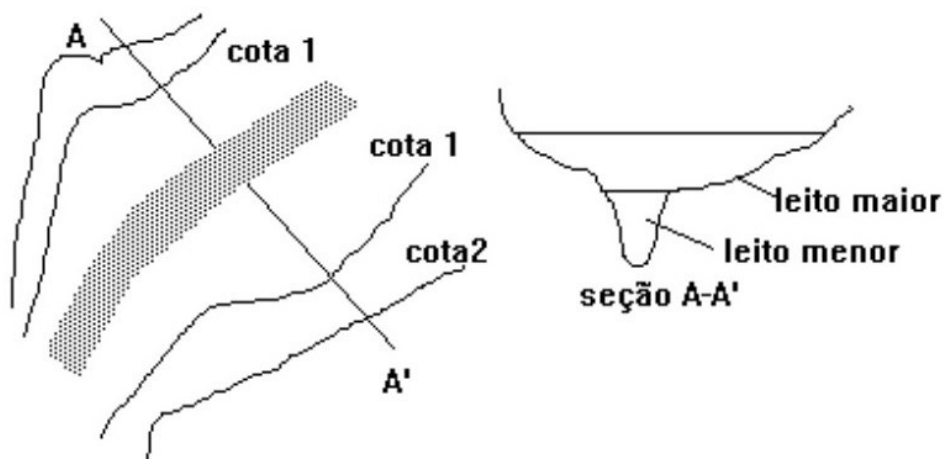


Figura 3.1 – Caracterização dos leitos de escoamento
Fonte: livro Água Doce, Tucci, 1997

3.2. Impacto no ciclo hidrológico

Com a alteração e/ou eliminação da cobertura vegetal ocorrem alterações no comportamento do ciclo hidrológico natural. Com a urbanização, a cobertura da bacia é substituída para pavimentos impermeáveis e são executados condutos para escoamento pluvial também impermeabilizados, gerando as seguintes alterações no referido ciclo (TUCCI, 1997):

1. Redução da infiltração no solo

As águas pluviais que deixam de infiltrar ficam na superfície, aumentam os volumes dos escoamentos superficiais. Além disso, como foram construídos condutos pluviais para águas, tornando seu escoamento mais rápido, ocorre a redução do tempo de deslocamento. Desta forma as vazões máximas também aumentam, antecipando seus picos no tempo.

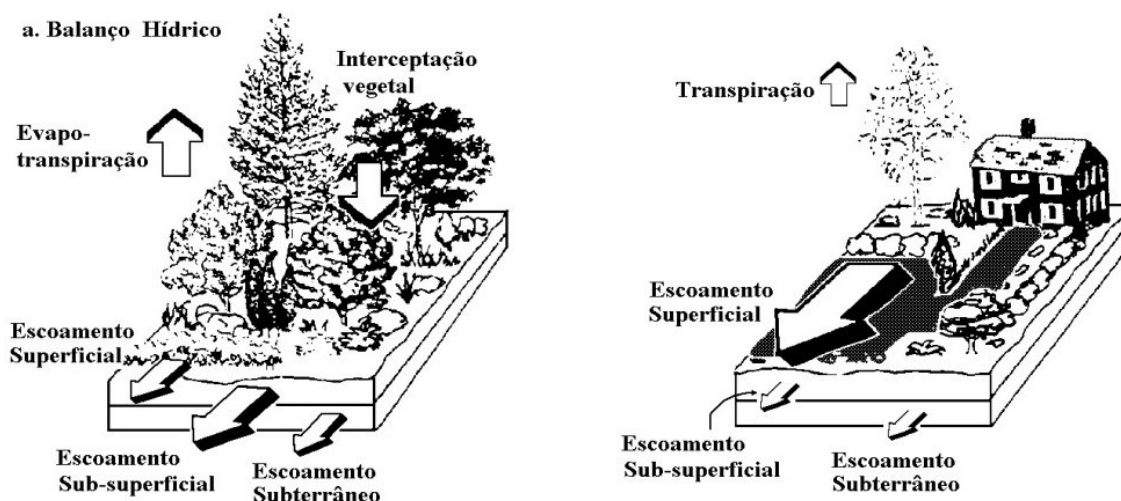


Figura 3.2 - Ciclo hídrico

Fonte: Schueler, 1987 citado por Tucci, 1997 no livro Água Doce

Com a redução da infiltração, o nível do lençol freático tende a diminuir por falta de alimentação, reduzindo o escoamento subterrâneo. As redes de abastecimento e cloacal possuem vazamentos que podem alimentar os aquíferos, tendo efeito inverso do mencionado.

A cobertura natural é substituída por superfícies impermeabilizadas, ocorre uma redução da evapotranspiração nas regiões das ocorrências das chuvas, já que a

superfície urbana não retém água como a cobertura vegetal e não permite a evapotranspiração das folhagens e do solo.

Nas figuras 3.3 e 3.4 respectivamente são caracterizadas as alterações no uso do solo devido a urbanização e seu efeito sobre o hidrograma e nos níveis de inundação e as características das alterações de uma área rural para urbana (Schueler, 1987).

Essas são as principais alterações quantitativas no balanço hídrico. À proporção que esses valores se alteram, variam de acordo com as condições de cada localidade, em função do tipo de solo, cobertura, geologia, pluviosidade e clima (Tucci, 1997).

Para uma localidade onde a cobertura é rochosa e impermeável provavelmente as alterações relativas serão menores. No entanto, para bacias onde o escoamento superficial é insignificante o impacto poderá ser maior. O impacto da urbanização é mais significativo para precipitações de maior frequência onde o efeito da infiltração é mais importante.

c. Resposta da geometria do escoamento

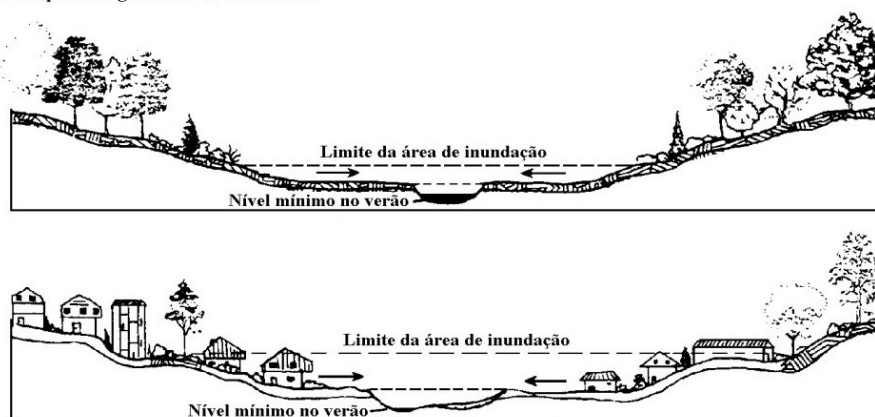


Figura 3.3 – Alteração dos limites da área de inundação após urbanização
Fonte: Schueler, 1987 citado por Tucci, 1997 no livro Água Doce

Para precipitações de baixa frequência (alto tempo de retorno) a relação entre as condições naturais e com urbanização são relativamente menores.

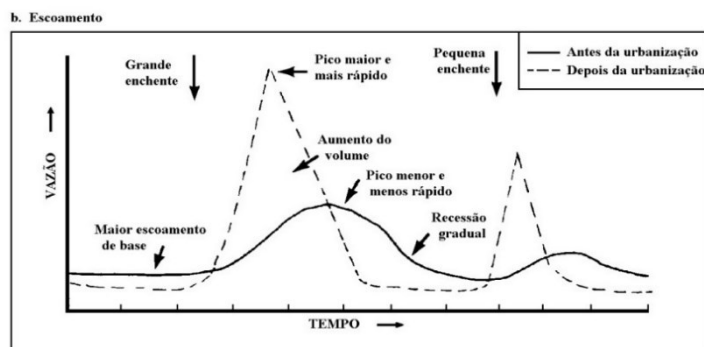


Figura 3.4 Gráfico de vazão x tempo de escoamento – comparativo antes e depois da urbanização

Fonte: Schueler, 1987 citado por Tucci, 1997 no livro Água Doce

Para uma enchente de risco alto, a proporção da precipitação que infiltra sobre o total precipitado, diminui, pois a infiltração tende a ser a mesma, independentemente da precipitação, já que esta é maior que a capacidade de infiltração. Como a rede pluvial está dimensionada para riscos pequenos, ocorrem alagamentos que funcionam como amortecedores, também observados nas condições naturais das bacias.

3.3. Tempo de Concentração

Plínio afirma que existem duas definições básicas de tempo de concentração:

Tempo de concentração é o tempo em que leva para que toda a bacia considerada contribua para o escoamento superficial das águas pluviais. O tempo de concentração é o tempo que leva uma gota de água mais distante até o trecho considerado na bacia. Existem somente três maneiras em que a água é transportada em uma bacia: a primeira é o escoamento superficial, a segunda é o escoamento em tubos e a terceira é o escoamento em canais incluso sarjetas. (PLÍNIO,2002, p.03)

Para Akan (1993) citado por Plínio (2002, p.05):

a fórmula de Kirpich é muito usada na aplicação do Método Racional, principalmente na chamada fórmula de Kirpich do Tennessee. No Tennessee, Kirpich fez estudos em seis pequenas bacias em áreas agrícolas perto da cidade de Jackson. A região era coberta com árvores de zero a 56% e as áreas variavam de 0,5ha a 45ha. As bacias tinham bastante declividade e os solos eram bem drenados (Wanielista et al.,1997). A equação de Kirpich conforme Chin, 2000 é a seguinte:

$$T_c = 0,019 \times L^{0,77} / S^{0,385}$$

Sendo:

T_c = tempo de concentração (min);

L= comprimento do talvegue (m);

S= declividade do talvegue (m/m).

Segundo (PORTO, 1993) citado por (TOMAZ, 2002), quando o valor de L for superior a 10.000m a fórmula de Kirpich subestima o valor de T_c . Segundo Chin, 2000 p. 354 a equação de Kirpich é usualmente aplicada em pequenas bacias na área rural em áreas de drenagem inferior a 80ha (oitenta hectares). Como o escoamento da bacia é sobre asfalto devemos corrigir o valor de T_c multiplicando por 0,4.

Um método que é mais realista para estimar o tempo de concentração de escoamento superficial é do FHWA, 1984. A única alteração é a introdução do coeficiente C de runoff, ficando assim:

$$T_c = \frac{6,92 \times L^{0,6} \times n^{0,6}}{(C \times I)^{0,84} \times S^{0,3}}$$

Sendo:

T_c = tempo de concentração do escoamento superficial (min)

L=comprimento do escoamento superficial (m)

n= coeficiente de rugosidade de Manning

C= coeficiente de runoff

S= declividade média da área de escoamento superficial (m/m)

I= intensidade da chuva (mm/h)

O método é resolvido da mesma maneira do anterior, isto é, por tentativa.

Tendo em vista a discrepância entre as diversas fórmulas do tempo de concentração, (Porto, 1993) recomenda que:

É sempre conveniente calcular a velocidade média do escoamento na bacia e compará-la com os valores fornecidos pela Tabela 3.1, a velocidade média em metros por segundo é obtida por:

$$V = L / (T_c \times 60),$$

sendo L em metros e T_c em minutos.

L= Comprimento do trecho com escoamento superficial cuja velocidade será calculada

Alguns parâmetros tais como rugosidades, coeficiente de escoamento superficial são determinados com um grau de incerteza relativamente alto. É conveniente proceder a análise de sensibilidade com relação a estes parâmetros.

Tabela 3.1 Parâmetro de comparação para velocidade média de escoamento

Cálculos Hidrológicos e Hidráulicos para obras municipais
Eng Plínio Tomaz 5/5/2002. Verificado em 1 de maio de 2007
Capítulo 5- Tempo de concentração

Tabela 5.4- Velocidades médias em m/s para o cálculo de t_c

Descrição do escoamento	Declividade 0 a 3%	Declividade 4 a 7%	Declividade 8 a 11%	Declividade > 12%
Em superfície				
florestas	0 a 0,5	0,5 a 0,8	0,8 a 1,0	acima de 1,0
pastos	0 a 0,8	0,8 a 1,1	1,1 a 1,3	acima de 1,3
áreas cultivadas	0 a 0,9	0,9 a 1,4	1,4 a 1,7	acima de 1,7
pavimentos	0 a 2,6	2,6 a 4,0	4,0 a 5,2	acima de 5,2
Em canais				
mal definidos	0-0,6	0,6 a 1,2	1,2 a 2,1	-----
bem definidos	Calcular pela fórmula de Manning			

Fonte: Porto et al. in Tucci, 1993

3.4. Parâmetros hidrológicos

Tempo de Retorno (T) – período que um determinado evento hidrológico é igualado ou superado pelo menos uma vez.

Tempo de concentração (T_c) - Áreas de drenagem urbana de até 0,50 km² o tempo de concentração deve ser calculado pelas fórmulas de Kirpich, representadas pela equação:

$$t_c = K \cdot \frac{L^{0.77}}{S^{0.385}} = K \cdot \left(\frac{L^2}{S}\right)^{0.385} = K \cdot \left(\frac{L^3}{\Delta H}\right)^{0.385} \quad \text{sendo } \frac{\Delta H}{L} = S$$

Tabela 3.2 Unidade para T_c, S e L do talvegue e valores da constante K

Tempo de concentração (t _c)	Declividade (S)	Talvegue (L)	Constante (K)
h	m/m	m	0.000326
min	m/m	m	0.01954
h	m/km	m	0.004653
min	m/km	m	0.2792
h	m/m	km	0.66485
min	m/m	km	3.984
h	%	km	0.3915
min	%	km	23.49
h	%	m	0.001917
min	%	m	0.115
h	m/km	km	0.95
min	m/km	km	57

Fonte: <http://www.hidromundo.com.br/codigo-vba-para-tempo-de-concentracao-parte-1/>. Acesso em: abr. 2021

$$T_c = K \times L^{0,77} \times S^{-0,385}$$

T_c = tempo de concentração (min);

L= comprimento do talvegue (m);

S= declividade do talvegue (m/m).

Duração da chuva de projeto (D) - A duração (D) da chuva de projeto deve igualar ao tempo de concentração (T_c).

Intensidade da chuva de projeto (I) - O método utilizado para determinação da chuva de projeto, é feito com base nas curvas IDF de BH, que relacionam a intensidade, a duração, e a frequência das chuvas na bacia. Cada região deve possuir uma curva IDF específica, que será utilizada como referência de limite mínimo para a definição da precipitação utilizada para o dimensionamento do projeto.

Constantes da IDF de Belo Horizonte

K= 682,87

a = 0,169

b = 3,993

c = 0,671

Fonte: Pluvio 2.1 (UFV) citado na

A partir dessas constantes, é determinada a equação IDF, que segue abaixo:

$$I = \frac{k \times T_r^a}{(t+b)^c}$$

I – Intensidade média da precipitação (mm/h);

T_r – tempo de recorrência/retorno (anos);

t – Duração da precipitação (min);

K,a,b,c – constantes de ajuste pluviométrico da região de Belo Horizonte.

Vazão De Projeto (Q_p) - Vazão de projeto entende-se como sendo o valor instantâneo de pico (ou o hidrograma de cheia), calculado indiretamente a partir da transformação da chuva de projeto em vazão do escoamento superficial. Dessa forma, será utilizado o Método Racional, descrito pela equação abaixo:

$$Q_p = C \times I \times A$$

Q_p = Vazão de projeto, em m^3/s ;

C = Coeficiente de escoamento superficial;

I = Intensidade da chuva de projeto, em mm/h

A = Área de drenagem, em ha.

Assim, é necessário obter o coeficiente de escoamento C, que varia de acordo com características da bacia. A Tabela 3.3 indica o coeficiente C de acordo com o uso do solo e a tabela 3.4 de acordo com o tipo de pavimento.

Tabela 3.3 Valor de C por tipo de ocupação

Descrição da Área	C
Área comercial/edificações muito densas: partes centrais, densamente contruídas, em cidades com ruas e calçadas pavimentadas.	0,70 - 0,95
Área comercial/edificações não muito densas: partes adjacentes ao centro, de menor densidade de habitação, mas com ruas e calçadas pavimentadas.	0,60 - 0,70
Área residencial:	
Residências isoladas; com muita superfície livre	0,35 - 0,50
Unidades múltiplas (separadas); partes residenciais com ruas macadamizadas ou pavimentadas	0,50 - 0,60
Unidades múltiplas (conjugadas)	0,60 - 0,75
Lotes com > 2000 m ²	0,30 - 0,45
Áreas com apartamentos	0,50 - 0,70
Área Industrial:	
Indústrias leves	0,50 - 0,80
Indústrias pesadas	0,60 - 0,90
Outros:	
Matas, parques e campos de esporte, partes rurais, áreas verdes, superfícies arborizadas e parques ajardinados	0,005 - 0,20
Parques, cemitérios; subúrbio com pequena densidade de construção	0,10 - 0,25
Playgrounds	0,20 - 0,35
Pátios ferroviários	0,20 - 0,40
Áreas sem melhoramentos	0,10 - 0,30

Fonte: Asce, 1969

Tabela 3.4 Valor de C por tipo de pavimento

Superfície	C
Pavimento:	
Asfalto	0,70 - 0,95
Concreto	0,80 - 0,95
Calçadas	0,75 - 0,85
Telhado	0,75 - 0,95
Cobertura: grama/areia:	
Plano (declividade 2%)	0,05 - 0,10
Médio (declividade de 2 a 7%)	0,10 - 0,15
Alta (declividade 7%)	0,15 - 0,20
Grama, solo pesado:	
Plano (declividade 2%)	0,13 - 0,17
Médio (declividade de 2 a 7%)	0,18 - 0,22
Alta (declividade 7%)	0,25 - 0,35

Fonte: Asce, 1969

Velocidades Médias dos escoamentos (V) - Considerando os escoamentos como permanentes e uniformes, será utilizado a fórmula de Manning para cálculo das velocidades.

Visando a proteção das estruturas contra os efeitos da abrasão e para a garantia da autolimpeza dos condutos, as velocidades médias deverão ser limitadas a valores máximos e mínimos

$$V = \frac{(R_h)^{2/3} \times i^{1/2}}{n}$$

V= velocidade média, em m/s;

R_h = raio hidráulico, em m;

i = declividade média do conduto, em m/m;

n = coeficiente de rugosidade (tabelado)

Os valores de n poderão ser de 0,014 para tubos de concreto

Velocidades máximas e mínimas consideradas para dimensionamento das redes tubulares

Tubo de concreto: $V_{\min} = 1\text{m/s}$ $V_{\max} = 5\text{m/s}$

Seção molhada da rede tubular - A seção transversal molhada máxima a ser adotada para a rede tubular igual a 84% da área da seção do tubo.

4. METODOLOGIA

Esse capítulo descreve sobre como foi realizado o trabalho para alcançar os objetivos específicos

4.1. Escolha da área de estudo

Para definição da área de estudo estabeleceu-se quatro áreas do município, sendo cada uma analisada para atender a um dos objetivos específicos

4.1.1. Contextualização

Contagem é um município brasileiro do estado de Minas Gerais, localizado na Região Sudeste do país, que faz parte da Região Metropolitana de Belo Horizonte e é o terceiro município mais populoso do estado, com 673.849 habitantes, segundo estimativa do IBGE de 2021.

O município está situado entre as principais rodovias do estado, o que provocou sua fusão geográfica com a capital, resultando em uma intensa conurbação com Belo Horizonte. Contagem faz parte da Grande BH e é um dos municípios mais importantes dessa aglomeração urbana.



Figura 4.1 Localização do município de Contagem
Fonte: Carta de Suscetibilidade de Contagem _ CPRM

A população do município em 2017, de acordo com uma estimativa realizada pelo IBGE, era de 658.580 habitantes, sendo o terceiro município mais populoso do estado e o 31º do Brasil. Ainda segundo o mesmo censo, 601.402 habitantes viviam na zona urbana e 7.248 na zona rural.

Em vistorias realizadas de 2017 a 2021 em todo o município, pode-se observar que, com o aumento populacional acelerado, o município enfrentou todos os problemas urbanos provocados pelo crescimento desordenado.

No que se refere ao manejo de águas pluviais, não é diferente, pois nos anos 80, segundo questionamentos a profissionais que atuavam nas obras municipais, não foram identificadas no acervo municipal nenhuma base de dados para acompanhar a necessidade imediata da população. Muitas pavimentações de vias com asfalto foram executadas e não foi feito o sistema de captação e transporte das águas pluviais na maioria das ruas pavimentadas.

Com o aumento das impermeabilizações sem um sistema de drenagem adequado, o município enfrenta hoje as consequências da falta de previsão de consequências futuras. Atualmente, o município possui drenagem pluvial com idade média de 30 anos, e quando foram construídas, o índice de impermeabilidade do solo era significativamente menor do que nos dias atuais.

As redes eram localizadas nos fundos de vale e à jusante das microbacias, e essas redes foram construídas utilizando o conceito de que as águas devem escoar em um menor tempo possível, o que transfere os problemas para as áreas de planície ou para pontos de convergência das águas, devido à concentração de grandes volumes de água, em pequenos intervalos de tempo, provocando o colapso da micro e macrodrenagem do território em dias de chuva intensa.

Diante disso, há uniformização em toda a área territorial do município da demanda para esse tipo de problema, que ocorre tanto em pontos baixos, com as inundações, como em áreas localizadas em pontos topográficos mais altos, com os alagamentos.

Os talvegues de lançamento possuem declividade média de 3% e os bairros possuem ruas pavimentadas em áreas impermeabilizadas e com escoamento superficial, com declividades médias superiores a 10%, o que vem provocando o aumento das manchas vermelhas de inundação e grandes alagamentos no município, problema que repercute principalmente nas bacias da Pampulha e do Arrudas em Belo Horizonte, por estarem a jusante do município de Contagem.



Figura 4.2 Trecho de perfil longitudinal com declividade 34,5% e foto do trecho
 Fonte: Google Earth e as curvas de nível – 1981 obtidas no Informações Urbanísticas do Departamento de Licenciamento Urbanístico e Fiscalização, Secretaria de Desenvolvimento Urbano e Habitação disponível em: <http://www.contagem.mg.gov.br/?guia=892627>
 adaptado pela Autora

A figura 4.2 é ilustrativa e tem o intuito de fornecer uma noção espacial das declividades médias das ruas das regionais relacionadas abaixo. A figura é composta por imagem de trecho do perfil longitudinal da rua Maria Augusta Bacelar, localizada no bairro Ressaca, cuja declividade é 34,5%, e a foto correspondente a esse trecho.

A título de comparação, para o município de Belo Horizonte as declividades variam de acordo com os dados relacionados abaixo:

Declividade média em cada regional (%)

5,65%- Pampulha	8,21% - Norte
8,93% - Oeste	7,23% - Venda Nova
7,94% - Noroeste	9,00% - Nordeste
9,60% - Centro Sul	8,09% - Barreiro
9,76% - Leste	

Para a apresentação dos primeiros resultados do Mapa de Declividades, o IGC/UFMG preparou um mapa que mostra os resultados relativos a declividade de 8,33% até 72,51%.

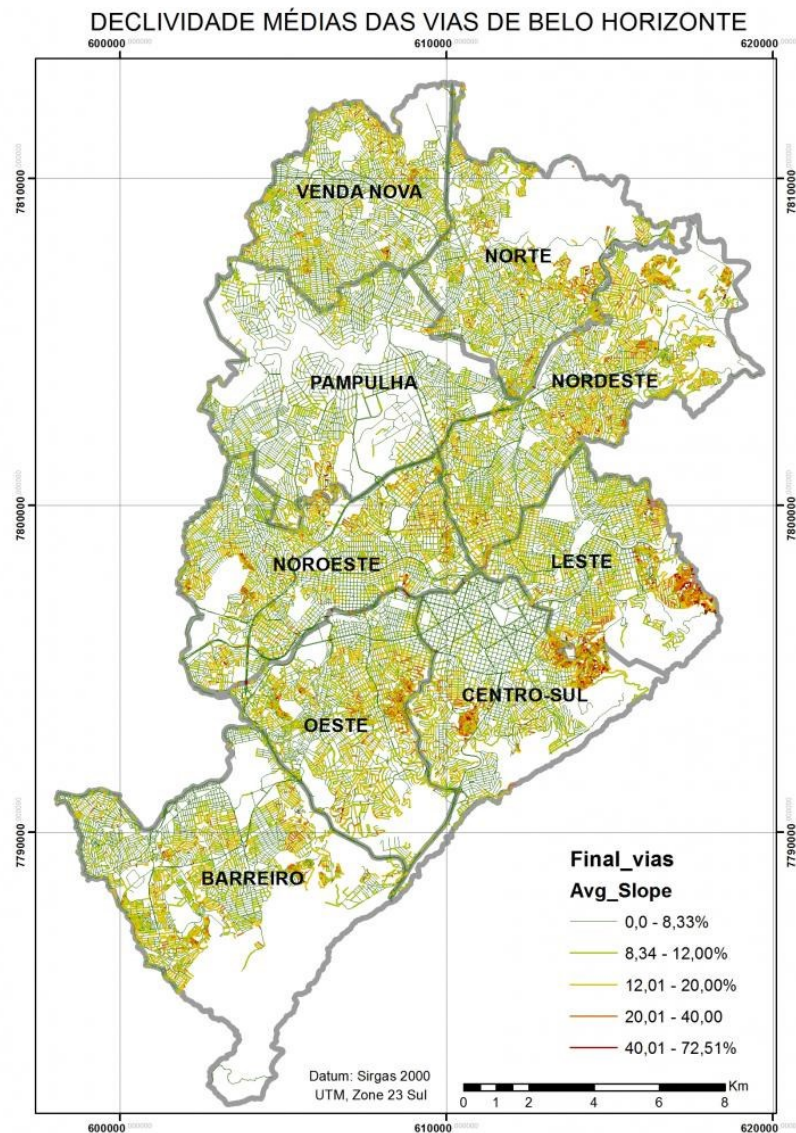


Figura 4.3: Declividade média das vias de Belo Horizonte
 Fonte: <https://www.thecityfixbrasil.org/2016/07/12/mapa-de-declividades-um-banco-de-dados-para-pensar-a-acessibilidade-em-belo-horizonte/> Acesso em: fev/2023

É possível consultar os valores de declividade tanto em graus quanto em porcentagem, para cada trecho - metro a metro - das vias da cidade. BH apresenta uma média de 12,51% de declive. Segundo informações da Assessoria de Comunicação da BHTrans, as regiões com trechos mais suaves são a Área Central e a Pampulha. A regional com menor declividade média é a Pampulha (8,69%). As regiões com maior concentração de trechos íngremes, como os próprios nomes indicam, são o Aglomerado da Serra, o Taquaril, o Morro das Pedras e o Aglomerado Santa Lúcia. A regional com maior declividade média é a Centro-Sul (16,17%).

Em nível macro, com a impermeabilização acelerada das vias públicas e áreas particulares, ocorre o desequilíbrio na distribuição das chuvas, pois nossas águas

caem e escoam rapidamente para os cursos d'água, interrompendo o processo de evaporação de forma uniforme e comprometendo a umidade ótima do solo e do ar, afetando assim o ciclo hidrológico.

Com a alteração das condições do ar, ocorre também uma mudança no comportamento das chuvas, que estão se tornando localizadas e intensas. É necessário, portanto, criar novos conceitos em relação ao manejo das águas pluviais.

4.1.2. Microbacias do Município de Contagem

Em Contagem existem 04 bacias hidrográficas, conforme Figura 4.3, e nossa área de estudo está localizada na bacia da Pampulha

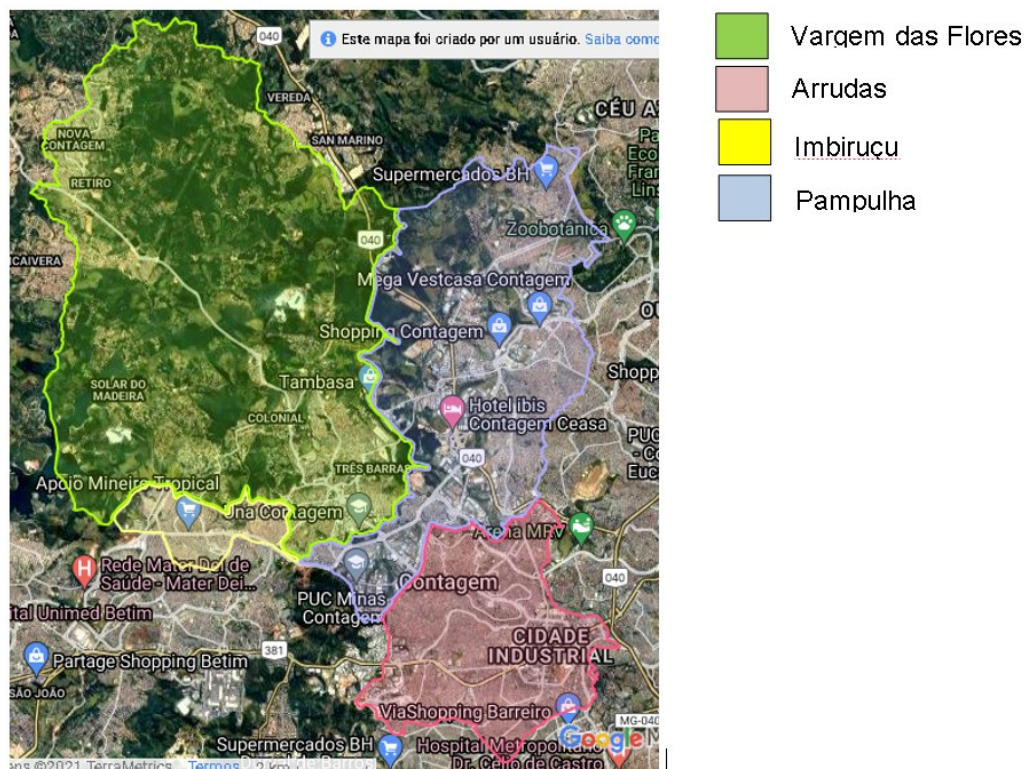


Figura 4.4 Microbacias do município de Contagem

Fonte: Google Earth e as curvas de nível – 1981 do município de Contagem obtidas no Informações Urbanísticas do Departamento de Licenciamento Urbanístico e Fiscalização, Secretaria de Desenvolvimento Urbano e Habitação disponível em: <http://www.contagem.mg.gov.br/?guia=892627>. Acesso em: jan. 2022

4.1.3. Bacia da Pampulha

Segundo Barrela (2001), bacia hidrográfica é definida como o conjunto de terras drenadas por um rio e seus afluentes. A bacia da Pampulha é composta por 44 córregos, sendo que 70% nascem em Contagem e 30% nascem em Belo Horizonte, além de 507 nascentes nas duas cidades. A área total da bacia é de 97 quilômetros quadrados e sua população estimada é de 400.000 habitantes. Os principais tributários da represa são os cursos d'água: Mergulhão, Tijuco, Ressaca, Sarandi, Água Suja, Baraúnas, córrego da AABB e microbacias do córrego Céu Azul.

Em Contagem, sua área possui 53,61 km², o que corresponde a 27,49% do território municipal. A bacia da Pampulha é ocupada por aproximadamente 188.089 habitantes. As regionais Nacional, Ressaca e uma pequena fração da Riacho e Sede pertencem a esta bacia.

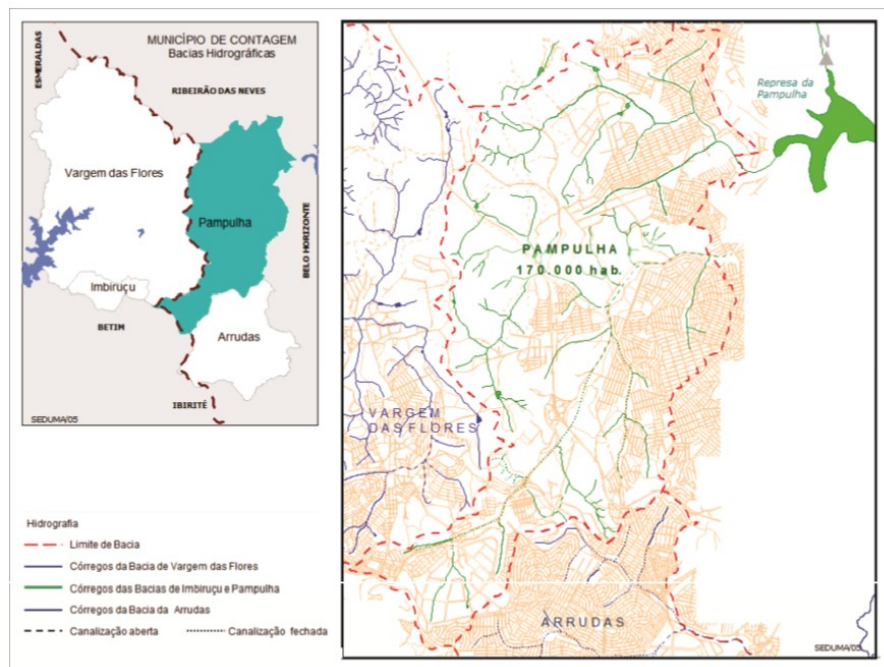


Figura 4.5 Limites hidrográficos da bacia da Pampulha e representação dos córregos
Fonte: Plano Municipal de Saneamento Básico de 2013 do município de Contagem

As regionais inseridas nesta bacia, dentro dos limites do município são drenadas pelos córregos Bom Jesus, Tapera, Córrego do Luzia, João Gomes e Sarandi.



Figura 4.6 Córregos principais da bacia da Pampulha e identificação dos pontos críticos
Fonte: Plano Municipal de Saneamento Básico de 2013 do município de Contagem

Nossa área de estudo contribui para a sub-bacia do córrego Bom Jesus, que deságua na Lagoa da Pampulha. Existem vários pontos de inundação e alagamentos na região, sendo os maiores mapeados abaixo. Como em toda bacia do município, as redes de drenagem pluvial estão concentradas nas áreas de planície e nas vias públicas localizadas nas áreas dos talwegues de lançamento das microbacias.

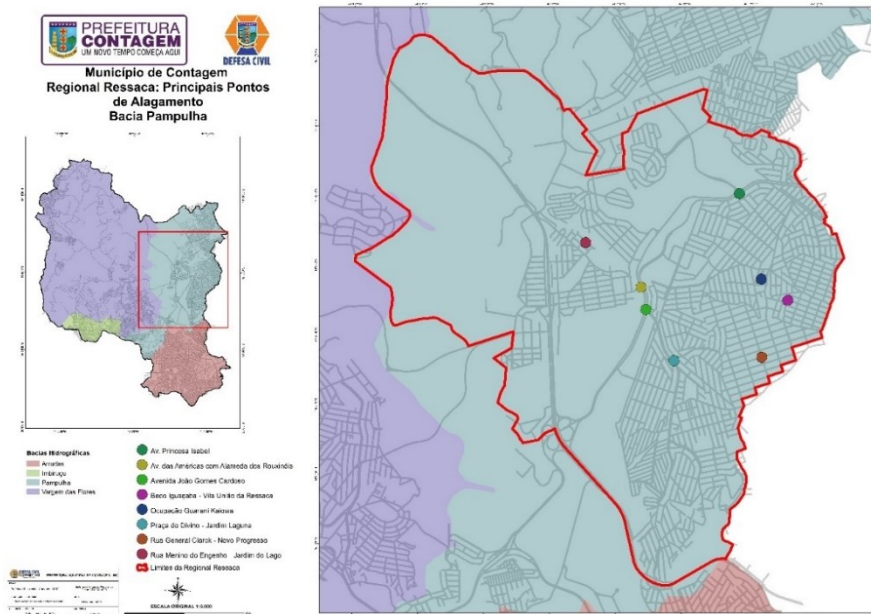


Figura 4.7 Localização dos pontos de inundação no território da bacia da Pampulha
Fonte: Defesa Civil de Contagem



Figura 4.8: Confluência do córrego João Gomes com Sarandi na avenida Severino Ballesteros

Fonte: Google maps, disponível em:

<https://www.google.com.br/maps/place/Av.+Jo%C3%A3o+Gomes+Cardoso+-+Jardim+Laguna,+Contagem>. Acesso em: jan.2022, adaptado pela autora



Figura 4.9 Inundação na praça do Divino, área de contribuição do córrego João Gomes

Fonte: Arquivo próprio 2021

Existem várias áreas na região com recorrência de inundação e alagamentos, sendo que os maiores eventos de grande magnitude ocorrem na Praça do Divino, por estar localizada sobre a canalização do Córrego João Gomes. Nos últimos anos, houve um significativo aumento horizontal das manchas de inundação nessa área. A confluência dos dois córregos apresenta problemas que requerem uma solução para a macrodrenagem da bacia.

Além do Ribeirão Sarandi e do Córrego João Gomes, há poucos cursos d'água canalizados na bacia. É importante mencionar o próprio Córrego João Gomes, cujo canal, nos trechos em que foi implantado, é uma estrutura retangular, fechada e feita de concreto armado. Há relatos de problemas de inundação frequente em um trecho de cerca de 500 metros, a montante de sua confluência com o Ribeirão Sarandi.

4.2. Etapas e métodos de desenvolvimento

4.2.1. Consequências das impermeabilizações

Para apontar as consequências das impermeabilizações aceleradas das áreas no município, foram analisados os resultados das vistorias de Defesa Civil de Contagem nos períodos de 2014 a 2017.

Os tópicos considerados para a análise foram as vistorias motivadas por inundações, alagamentos e rachaduras em edificações existentes devido a extinção de lençóis freáticos:

1. Para inundações e alagamentos:

- ✓ Definiu-se como áreas de estudo aquelas com maior índice de ocorrência dos eventos considerados;
- ✓ Foram realizadas vistorias de campo nessas áreas e estabelecido o nível de recorrência dos eventos;
- ✓ Para a área de inundação oficialmente confirmada, foi utilizado como parâmetro de análise o aumento médio da largura da mancha de inundação para os eventos ocorridos em 2011 e 2021;

- ✓ Para delimitar a área de atuação, foi realizada uma pesquisa com moradores locais, contendo três perguntas relacionadas abaixo, para identificar o aumento do número de moradias afetadas.

1.1- Em 2011 as águas inundaram esse local?

1.2- Se sim, você saberia mostrar a altura alcançada pelas águas no Posto Norte-Sul e Ginásio Califórnia?

1.3- Atualmente, qual é a altura que a água alcança?

- ✓ Comparou-se a área obtida pela análise das vistorias da Defesa Civil e a vistoria de campo com a carta de inundação do município de Contagem, elaborada pelo CPRM.
- ✓ Após a definição do local, delimitou-se a poligonal da área a ser analisada e quais os imóveis seriam alvo dos estudos e observação de campo. Como o Ginásio Califórnia e o Posto Norte-Sul são pontos de inundação com recorrência anual, foram eles os determinados para as coletas dos dados para análise.

2. Para extinção do lençol freático:

- ✓ Foi utilizado um local onde houve relato de extinção de águas superficiais e histórico de rachaduras sem causa identificada durante a vistoria realizada pela Defesa Civil.
- ✓ Diante da demanda definida, identificaram-se todos os imóveis do entorno com históricos de rachaduras recorrentes e delimitou-se a área de estudo.
- ✓ Foram realizadas três vistorias aos imóveis da poligonal delimitada e feitas as seguintes perguntas:
 - 2.1 Sua edificação possui pilares e vigas?
 - 2.2 Existia olho d'água ou cisterna em seu imóvel?
 - 2.3 Já houve reforço estrutural em sua edificação? Se sim, quantas vezes foram executadas recuperações de rachaduras?

4.2.2. Sistema de drenagem não atende ao ciclo hidrológico atual

Para demonstrar que o sistema de drenagem urbana existente está ineficiente e insuficiente para a situação atual do ciclo hidrológico, foram realizadas as seguintes análises:

- ✓ Foram realizadas vistorias amostrais em duas ruas asfaltadas com situação de recorrência de inundações e alagamentos, sendo a rua transversal General Mascarenhas Moraes e a rua Castelo Nuevo, localizada no fundo do vale, no bairro Novo Progresso;
- ✓ Foi considerada a existência da rede somente na rua Castelo Nuevo, pois é a que prevalece no município;
- ✓ Foi idealizado o eixo das ruas e traçados os perfis longitudinais para as duas ruas, com a utilização do Google Earth Pro;
- ✓ Foram realizados cálculos de velocidade da água para o escoamento superficial na rua General Mascarenhas Moraes, considerando a extensão e as declividades obtidas no perfil longitudinal;
- ✓ Foram executados cálculos para a velocidade de escoamento tubulado para a rua Castelo Nuevo;
- ✓ Para comparação dos dados, foi utilizada a mesma fórmula de cálculo da velocidade para escoamento tubulado e para o superficial;
- ✓ Os valores de velocidades obtidos foram comparados.

4.2.3. Elaboração de projeto de drenagem para demanda existente

Para a elaboração do projeto de drenagem para a área de alagamentos e inundações, foi selecionada uma demanda existente no município, e os seguintes passos foram seguidos:

1. Identificação do ponto de convergência de águas pluviais:
 - ✓ Para identificar o ponto de convergência, foram realizadas vistorias de campo em dias de chuva intensa;
 - ✓ Mapeou-se a localização dos problemas;
 - ✓ Foram realizadas vistorias em toda a área de contribuição de águas pluviais à montante do alagamento e à jusante, percorrendo todas as ruas da microbacia em dias de chuva intensa.

2. Delimitação da área cujas águas pluviais convergem para o ponto identificado:

- ✓ Traçou-se a poligonal da microbacia para a delimitação da área de contribuição do ponto com reincidência de alagamentos;
- ✓ Definiu-se o trajeto do ponto crítico de alagamento até a área de lançamento das águas pluviais no talvegue;
- ✓ Elaboração do traçado do trajeto utilizando o Google Earth Pro com as curvas de nível de 1981 do município de Contagem e o AutoCAD, por meio da sobreposição de imagens.

3. Definição das poligonais dos divisores de água da microbacia de contribuição para a área delimitada:

- ✓ Com os dados da vistoria de campo e de posse dos perfis longitudinais, foram identificados os pontos dos divisores de água de cada rua utilizando o projeto elaborado no AutoCAD.

4. Cálculo da taxa de impermeabilização atual:

- ✓ Para obtenção da área de referência utilizada como parâmetro de cálculo, foi utilizado o quarteirão localizado na rua Andrelândia, entre as ruas Ouraça e Colinas, cuja densidade demográfica é mais crítica;
- ✓ Esta área foi utilizada como referência de cálculo para toda a microbacia devido à tendência de ocupação dos outros quarteirões de se igualarem.
- ✓ Para obtenção dessas poligonais, foi utilizada a sobreposição de imagem aérea obtida do Google Earth.
- ✓ O cálculo da taxa de impermeabilização foi obtido pela área total do quarteirão, menos o total das áreas permeáveis, dividida pela área total do quarteirão.

5. Subdivisão da área total da microbacia em áreas menores correspondentes aos trechos de lançamentos para efeito de dimensionamento de rede:

- ✓ Como critério para definição de cada trecho e sua área de contribuição, foram utilizados os pontos de intercessão de todas as ruas pertencentes ao trecho selecionado, de montante para jusante.
- ✓ Para definição dessas áreas, foi utilizado o projeto da microbacia elaborado no AutoCAD.

6. Elaboração do levantamento planialtimétrico:

- ✓ Foi utilizado desenho extraído das curvas de nível – 1981 do município de Contagem através do Google Earth Pro.

7. Execução dos perfis longitudinais de todas as vias públicas existentes dentro do limite da poligonal da microbacia:

- ✓ Na elaboração dos perfis longitudinais foram utilizadas as medidas horizontais e verticais em uma escala de 1:1 no Autocad;
- ✓ Foram executados os perfis longitudinais extraídos do Google Earth Pro para a microbacia de contribuição para as ruas:
 - 1- Andrelândia;
 - 2- Alvinópolis;
 - 3- Açucena;
 - 4- Aracati;
 - 5- Caiçara;
 - 6- Dores do Campo;
 - 7- Carlos Chagas;
 - 8- Cajuri;
 - 9- Camanducaia;
 - 10-Criciúma,
 - 11-Ouraça;
 - 12-Colinas;
- ✓ Todos os perfis foram executados dentro dos limites da microbacia.

8. Determinação das declividades médias de todas as ruas inseridas na poligonal da microbacia:

- ✓ Foi utilizado o valor médio entre a cota máxima e mínima da rua. Essas cotas foram obtidas para todas as ruas para as quais foram executados os perfis topográficos.
- ✓ O cálculo foi efetuado subtraindo-se a cota máxima da mínima e dividindo pelo comprimento do perfil.

9. Identificação dos trechos de declividades críticas e superiores a 10%:

- ✓ Esses dados foram calculados através da subtração da cota máxima da mínima e dividindo pelo comprimento do perfil no trecho da rua que apresentou a declividade mais acentuada. Essas cotas foram obtidas dos perfis topográficos das ruas selecionadas.

1- Rua Açucena

2- Rua Andrelândia

3- Rua Camanducaia

4- Rua Carlos Chagas

5- Rua Colinas

6- Rua Ouraça

10. Cadastro da rede distribuidora e alimentadora de água potável – cadastro cedido pela Companhia de Saneamento de Minas Gerais – Copasa:

- ✓ Análise de interferência da rede a ser projetada com as redes existentes

11. Cadastro da rede coletora e interceptora de esgoto sanitário - Cadastro cedido pela Companhia de Saneamento de Minas Gerais – Copasa:

- ✓ Análise de interferência da rede a ser projetada com as redes existentes

12. Análise do volume de contribuição em dia de chuva intensa:

- ✓ Realizada através de vistoria no local durante momento de chuva intensa;
- ✓ Medição da altura da lâmina d'água formada no ponto crítico de alagamento em rua com largura média de 7,00m e pavimentação asfáltica.

13. Obtenção dos índices pluviométricos (IDF):

- ✓ Foi utilizado o IDF da região Metropolitana de Belo Horizonte

14. Cálculo da área de contribuição, volumes, vazões, velocidade e tempo médio para o escoamento superficial das águas pluviais nas vias públicas das áreas menores de cada trecho e da área total da microbacia para as taxas de ocupação de 60%, 70%, 80% e taxa atual:

- ✓ Foi adotada a área total da poligonal da microbacia obtida no Google Earth Pro;

- ✓ Devido à conformação topográfica da área e para o projeto da rede de drenagem, foram adotados quatro pontos de lançamento distintos no talvegue localizado na área de preservação permanente (APP) da Avenida Campo das Gerais;
- ✓ No dimensionamento dos diâmetros da rede, foram adotadas as áreas correspondentes a cada trecho e, para os trechos subsequentes, os somatórios das áreas dos trechos à montante da rede dimensionada;
- ✓ Para o cálculo dos volumes, vazões, velocidade e tempo médio de escoamento, foram adotadas as fórmulas correspondentes;
- ✓ A taxa atual adotada foi o resultado obtido na taxa de impermeabilização atual de cálculo;
- ✓ Foram identificadas as áreas de contribuição de cada trajeto;
- ✓ Foi realizado o cálculo das declividades críticas de cada trajeto;
- ✓ Foi feito o dimensionamento dos diâmetros das tubulações por trajeto;
- ✓ Foi realizado o dimensionamento da rede de drenagem;
- ✓ Foram localizados os pontos potenciais de alagamento para a locação das bocas de lobo;
- ✓ Foram calculados as vazões, velocidades, tempo de concentração e outros dados necessários para o dimensionamento da rede.

15. Idealização, dimensionamento e elaboração de projeto para sistema de drenagem pluvial:

- ✓ Foi utilizada a representação geométrica da rede de drenagem obtida a partir dos resultados de 3.2.4.14 no software Autocad;
- ✓ O melhor trajeto foi definido levando em consideração a conformação topográfica da área e garantindo a funcionalidade da rede de forma mais eficiente, considerando a viabilidade técnica, operacional e financeira.

16. Identificação dos percursos das águas pluviais até seu ponto de lançamento:

- ✓ Na identificação do percurso das águas pluviais após o seu lançamento no talvegue e quais seriam os cursos d'água afetados, foram utilizadas imagens aéreas no Google Earth Pro e as curvas de nível de 1981 do município de Contagem.

- ✓ Foi elaborado o perfil longitudinal com o objetivo de determinar a declividade média dos locais de lançamento das águas pluviais originadas das redes de drenagem projetadas.
- ✓ Foi realizado o mapeamento do percurso das águas pluviais desde o talvegue de lançamento até a Represa da Pampulha, definindo-se o seu comprimento até o canal da Avenida Nacional utilizando a poligonal traçada na imagem aérea obtida no Google Earth Pro.

17. Determinação da velocidade média de escoamento superficial e na rede de drenagem para as águas pluviais de todos os percursos existentes na microbacia, desde o ponto mais distante até o talvegue de lançamento

- ✓ Foram identificados nos projetos todos os percursos mais longos para cada um dos quatro pontos de lançamento da rede no talvegue.
- ✓ Para o cálculo da velocidade média de escoamento, foram utilizadas as fórmulas: $i_c = (C_{max} - C_{min}) / L \times 100$ e $V = 1/n \times (R_h^{2/3}) \times i_c^{(1/2)}$.
- ✓ Foram realizadas comparações entre a velocidade média de escoamento e a velocidade média da água no talvegue de lançamento.

18. Tabulação, comparação e análise dos resultados obtidos do tempo médio de escoamento por percurso de escoamento superficial e para a rede de drenagem idealizada:

- ✓ Foi elaborada a síntese dos resultados em planilhas do Excel, utilizando como critério de comparação o tempo médio de escoamento do percurso mais extenso e o tempo de concentração para os talvegues de lançamento.

4.2.4. Propostas de soluções sustentáveis.

Para propor soluções sustentáveis para redução das áreas de inundação, com foco em intervenções a serem executadas a montante das áreas das microbacias e considerando o controle na fonte, foram seguidos os conceitos e critérios:

- ✓ foram elaborados projetos específicos para solucionar as questões relacionadas à manutenção do ciclo hídrico e minimização do avanço horizontal das áreas de inundação.

- ✓ Foram apresentadas alternativas sustentáveis e inovadoras implantadas no município de Contagem para reduzir os impactos da impermeabilização do solo na região metropolitana.
- ✓ Foram implantadas redes piloto de drenagem pluvial com sistema de recarga hídrica, com controle quantitativo e qualitativo das águas de recarga dos lençóis freáticos, além de poços de visita com dissipadores de energia incorporados em 5 locais do município.
- ✓ Foram utilizadas imagens das obras implantadas na rua Liberdade, bairro Estaleiro, rua João Militão, bairro Fonte Grande e ruas Areias, Parati e Piatã, no bairro São Mateus.
- ✓ O processo metodológico completo de execução foi anexado no item 6.1 de resultados e discussões.

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1. As consequências das impermeabilizações

1. Para inundações e alagamentos

Os resultados obtidos para o ponto de inundação mapeado localizado na avenida Francisco Firmo de Matos, esquina com avenida Olímpio Garcia, conforme indicado pela seta na figura 5.1



Figura 5.1 Local de estudo do avanço vertical da mancha de inundação
 Fonte: Carta de suscetibilidade a movimentos gravitacionais de massa e inundação: município de Contagem, disponível em – MG, <https://rigeo.cprm.gov.br/jspui/handle/doc/14926>. Acesso em: jan. 2022, adaptado pela autora

Poligonal da área pesquisada com a indicação dos imóveis Ginásio Califórnia e o Posto Norte-Sul foi utilizado para pesquisa.



Figura 5.2 Poligonal da área de estudo do avanço vertical da mancha de inundação e os pontos de análise

Fonte: Google Earth e as curvas de nível – 1981 do município de Contagem obtidas no Informações Urbanísticas do Departamento de Licenciamento Urbanístico e Fiscalização, Secretaria de Desenvolvimento Urbano e Habitação disponível em: <http://www.contagem.mg.gov.br/?guia=892627>. Acesso em: jan. 2022, adaptado pela autora

Resultado da pesquisa de campo:

Respondente 01

1.1 Em 2011 as águas inundaram esse local? Ginásio Califórnia e Posto Norte Sul

Sim, porém não alcançavam o espaço do Ginásio Califórnia

1.2 Se sim, você saberia mostrar a altura alcançada pelas águas no Posto Norte-Sul e Ginásio Califórnia?

Nos limites da Avenida Francisco Firmo de Matos a água alcançava uma altura em torno de 30cm

1.3 Atualmente, qual é a altura que a água alcança?

Já presenciei inundação com altura aproximada de 1,0m

Respondente 02

1.1 Em 2011 as águas inundaram esse local? Ginásio Califórnia e Posto Norte Sul

Não sei informar

1.2 Se sim, você saberia mostrar a altura alcançada pelas águas no Posto Norte-Sul e Ginásio Califórnia?

1.3 Atualmente, qual é a altura que a água alcança? Você saberia informa?

Sim, no ano passado a água invadiu o Ginásio alcançando a rua existente atrás do Posto Norte Sul com uma altura aproximada de 40cm

Respondente 03

1.1 Em 2011 as águas inundaram esse local? Ginásio Califórnia e Posto Norte-Sul

Não, as águas subiam, mas ficavam somente na avenida

1.2 Se sim, você saberia mostrar a altura alcançada pelas águas no Posto Norte-Sul e Ginásio Califórnia?

1.3 Não alcançavam o Ginásio Califórnia, nem o Posto Norte-Sul

Considerando as respostas dadas, os níveis de inundação nas áreas estudadas tiveram um aumento médio de 60 cm, o que representa um aumento superior a 100% ao longo de um período de 10 anos.

Diante desse estudo, caso as alternativas de ocupação urbana apresentadas não sejam implementadas por meio de processos e métodos executivos que avaliem alternativas compensatórias, os níveis de inundação nos próximos dez anos atingirão patamares inimagináveis devido ao avanço acelerado da impermeabilização.

2. Para extinção do lençol freático

A área delimitada está situada na rua Vichy, entre os imóveis número 31 e 95. Ela é caracterizada por possuir sete imóveis que apresentaram histórico de rachaduras e extinção do lençol freático superficial. Esses imóveis foram monitorados. No entanto, de acordo com o relato dos proprietários, houve a recuperação das rachaduras.



Figura 5.3 Poligonal da área de estudo da área de análise da extinção do lençol freático
 Fonte: Google Earth e as curvas de nível – 1981 obtidas no Informações Urbanísticas do Departamento de Licenciamento Urbanístico e Fiscalização, Secretaria de Desenvolvimento Urbano e Habitação disponível em: <http://www.contagem.mg.gov.br/?guia=892627>
 adaptado pela Autora

Foram vistoriadas as edificações localizadas na rua Vichy, entre os imóveis de número 31 e 95, sendo que os imóveis da rua Limoges não foram considerados:

Respondente 01 – rua Vichy, 41, bairro Santa Cruz do Industrial

2.1 Sua edificação possui pilares e vigas?

Sim

2.2 Existia olho d'água ou cisterna em seu imóvel?

Sim

2.3 Já houve reforço estrutural em sua edificação? Se sim, quantas vezes foram executadas recuperação de rachaduras?

Sim, duas vezes

Respondente 02 - rua Vichy, 47, bairro Santa Cruz do Industrial

2.1 Sua edificação possui pilares e vigas?

Sim

2.2 Existia olho d'água ou cisterna em seu imóvel?

Nunca observei

2.3 Já houve reforço estrutural em sua edificação? Se sim, quantas vezes foram executadas recuperação de rachaduras?

Sim, uma vez

Respondente 03 - rua Vichy, 59, bairro Santa Cruz do Industrial

2.1 Sua edificação possui pilares e vigas?

Sim

2.2 Existia olho d'água ou cisterna em seu imóvel?

Sim

2.3 Já houve reforço estrutural em sua edificação? Se sim, quantas vezes foram executadas recuperação de rachaduras?

Sim, uma vez

Respondente 04 - rua Vichy, 71, bairro Santa Cruz do Industrial

2.1 Sua edificação possui pilares e vigas?

Sim

2.2 Existia olho d'água ou cisterna em seu imóvel?

Nunca identifiquei

2.3 Já houve reforço estrutural em sua edificação? Se sim, quantas vezes foram executadas recuperação de rachaduras?

Sim, uma vez

Respondente 05 - rua Vichy, 83, bairro Santa Cruz do Industrial

2.1 Sua edificação possui pilares e vigas?

Sim

2.2 Existia olho d'água ou cisterna em seu imóvel?

Sim

2.3 Já houve reforço estrutural em sua edificação? Se sim, quantas vezes foram executadas recuperação de rachaduras?

Sim, uma vez

Todas as evidências identificadas durante a vistoria aos imóveis levam a considerar a possibilidade de recalque de fundação devido à extinção do lençol freático. No entanto, o estudo ficou inconclusivo devido à falta de informações laboratoriais adicionais sobre a sondagem de solo da área estudada.

5.2. Sistema de drenagem não atende ao ciclo hidrológico atual

Como parâmetro de volume de escoamento foi considerada a formação de lâmina d'água com a altura de 0,05 cm em toda a extensão e largura da via analisada, convertendo-a em uma área tubular equivalente.

O limite de cada trecho é indicado pela seta vermelha na Figura 5.5.

5.2.1. Cálculo da velocidade de escoamento das águas pluviais para a rua General Mascarenhas Moraes:

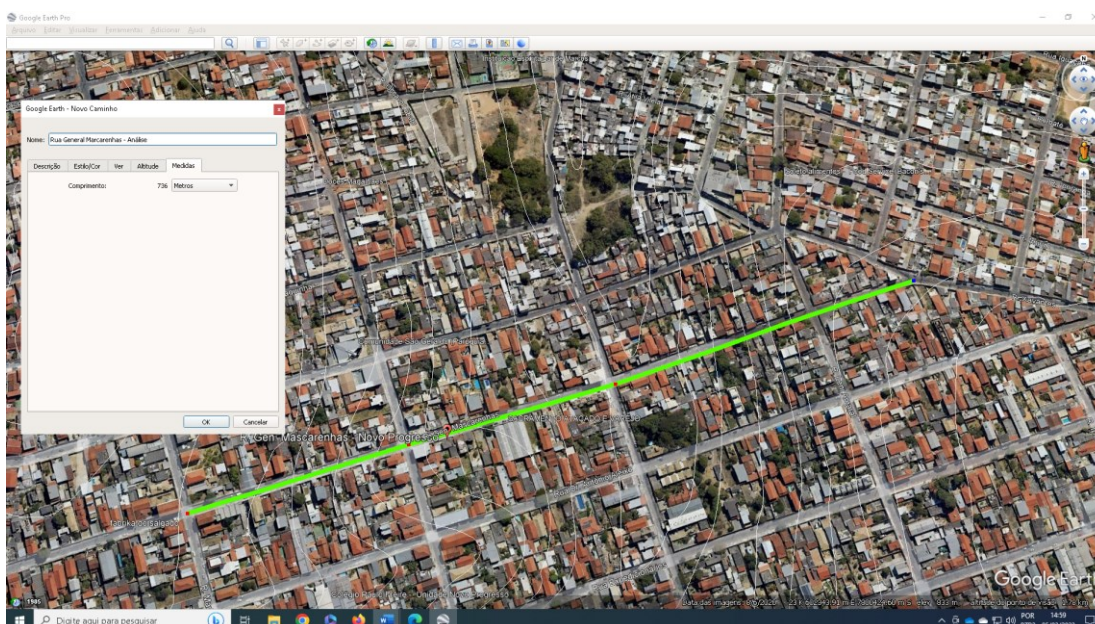


Figura 5.4 Eixo do perfil longitudinal da rua

Fonte: Google Earth e as curvas de nível – 1981 obtidas no Informações Urbanísticas do Departamento de Licenciamento Urbanístico e Fiscalização, Secretaria de Desenvolvimento Urbano e Habitação disponível em: <http://www.contagem.mg.gov.br/?guia=892627> adaptado pela Autora

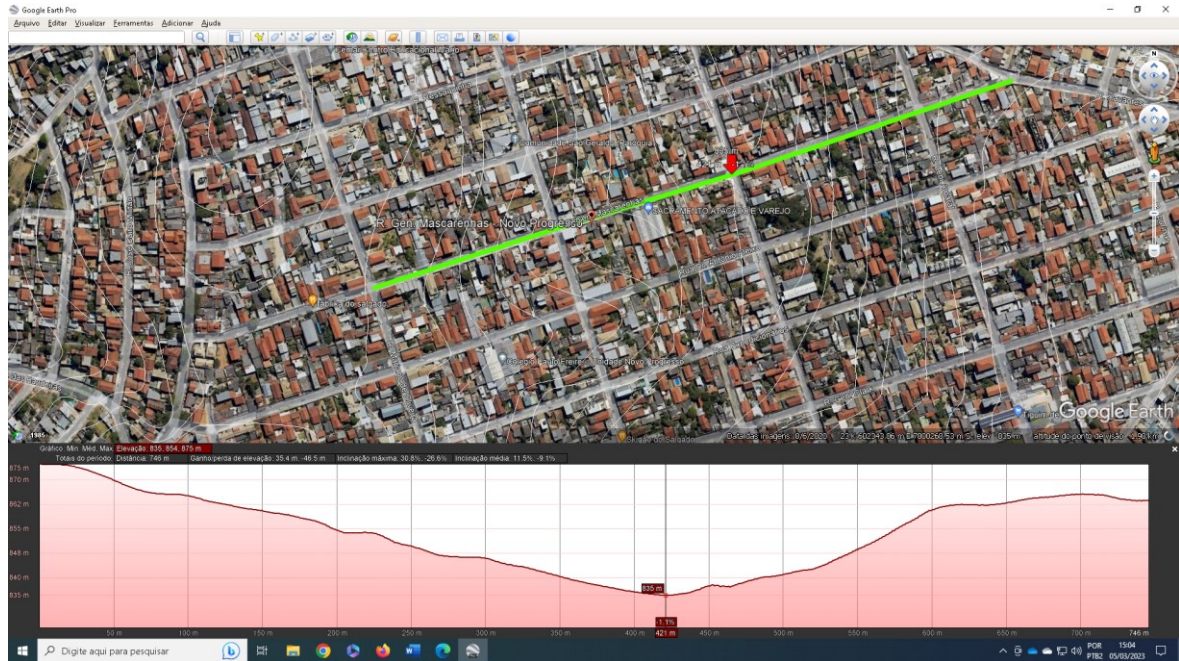


Figura 5.5 Perfil longitudinal da rua

Fonte: Google Earth e as curvas de nível – 1981 obtidas no Informações Urbanísticas do Departamento de Licenciamento Urbanístico e Fiscalização, Secretaria de Desenvolvimento Urbano e Habitação disponível em: <http://www.contagem.mg.gov.br/?guia=892627> adaptado pela Autora

Comprimento total do trecho analisado: 736m

Primeiro trecho analisado:

Comprimento L: 420m

Largura: 7,00m

Altura da lâmina d'água: 0,10m

Equivalência para área tubular: 7,00m x 0,05m = 0,35m²

$\Pi \times r^2 = 0,35\text{m}^2 = 0,24\text{m}$

Cota mínima: 835m

Cota máxima: 875m

$$i_c = \frac{C_{\max} - C_{\min}}{L} \times 100$$

L

$$i_c = \left\{ \frac{(875\text{m} - 835\text{m})}{420} \right\} \times 100 = 9,52\%$$

$$V = 1/n \left(R_h^{2/3} \times I^{1/2} \right)$$

$$V = 1/0,014(0,24^{2/3} \times 0,0952^{1/2})$$

$$V = 71,42(0,38 \times 0,31)$$

$$V = 8,41\text{m/s} \times 3,6$$

$$V = 30,29\text{km/h}$$

Segundo trecho analisado:

Comprimento L: 300m

Cota mínima: 835m

Cota máxima: 865m

$$i_c = \frac{865\text{m} - 835\text{m}}{300\text{m}} \times 100 = 10\%$$

$$V = 1/0,014(0,24^{2/3} \times 0,10^{1/2})$$

$$V = 71,42(0,38 \times 0,32)$$

$$V = 8,68\text{m/s} \times 3,6$$

$$V = 31,26\text{km/h}$$

5.2.2. Cálculo da velocidade de escoamento das águas pluviais para a rua Castelo Nuevo:

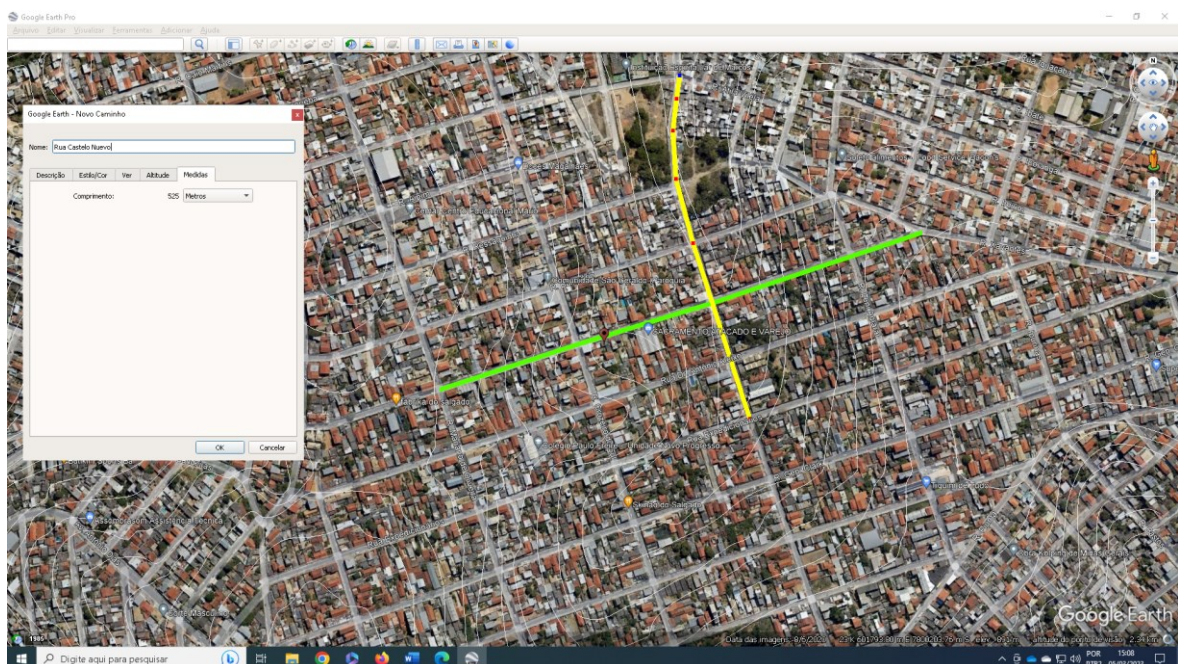


Figura 5.6 Eixo do perfil longitudinal da rua

Fonte: Google Earth e as curvas de nível – 1981 obtidas no Informações Urbanísticas do Departamento de Licenciamento Urbanístico e Fiscalização, Secretaria de Desenvolvimento

Urbano e Habitação disponível em: <http://www.contagem.mg.gov.br/?guia=892627>
adaptado pela Autora

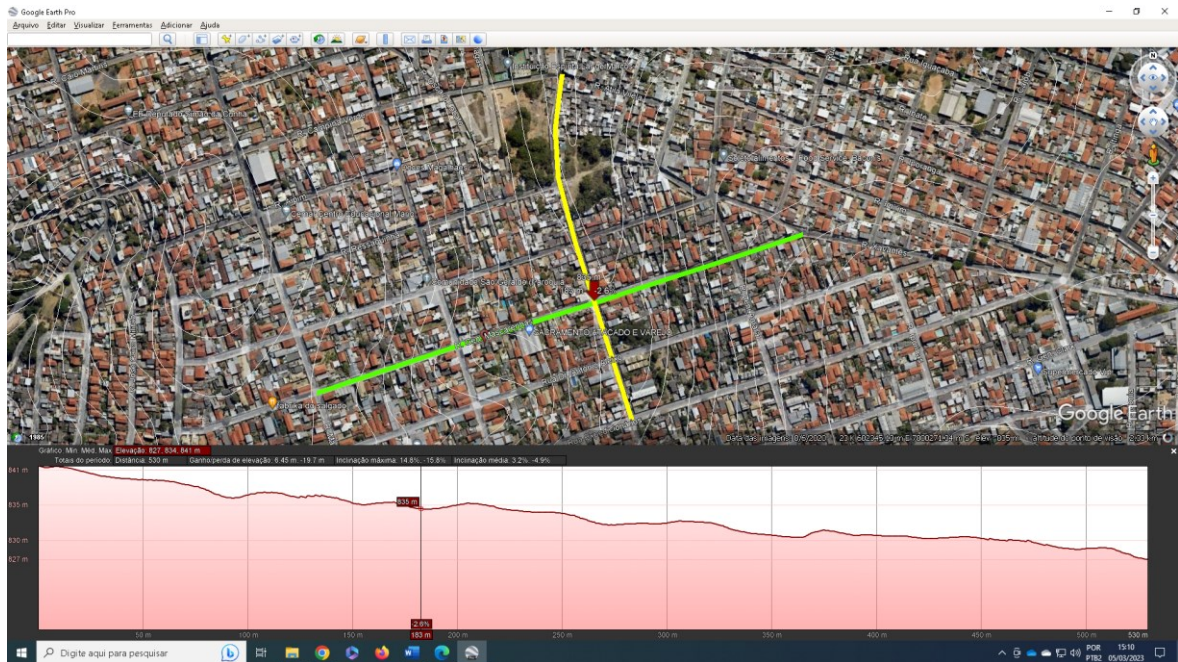


Figura 5.7 Perfil longitudinal da rua

Fonte: Google Earth e as curvas de nível – 1981 obtidas no Informações Urbanísticas do Departamento de Licenciamento Urbanístico e Fiscalização, Secretaria de Desenvolvimento Urbano e Habitação disponível em: <http://www.contagem.mg.gov.br/?guia=892627>
adaptado pela Autora

Comprimento L: 530m

Largura: 7,00m

Altura da lâmina d'água: 0,05m

Equivalência para área tubular: 7,00m x 0,05m = 0,35m²

$\Pi \times r^2 = 0,35\text{m}^2 = 0,24\text{m}$

Cota mínima: 827m

Cota máxima: 841m

$$i_c = \frac{841\text{m} - 827\text{m}}{530\text{m}} \times 100 = 2,64\%$$

$$V = 1/n (R_h^{2/3} \times I^{1/2})$$

$$V = 1/0,014 (0,24^{2/3} \times 0,0264^{1/2})$$

$$V = 71,42 (0,38 \times 0,16)$$

$$V = 4,34\text{m/s} \times 3,6$$

$$V = 15,63\text{km/h}$$

Os dois trechos da rua General Mascarenhas Moraes que convergem para a rua Castelo Nuevo apresentaram uma velocidade de deslocamento das águas pluviais duas vezes maior do que o escoamento da Castelo Nuevo. Portanto, caso não seja construída uma rede com declividade inferior a 3% a montante das vias que convergem para essa rua, ela será sempre considerada uma área suscetível a inundação, com potencial de aumento da mancha vermelha de inundação devido ao rápido aumento das áreas urbanas impermeabilizadas.

5.3. Elaboração de projeto para demanda existente.

Para elaboração do projeto de drenagem para demanda de área alagável e inundável foi executado

5.3.1. Identificação do ponto de convergência das águas pluviais da área de Projeto

Alagamento localizado na rua Andrelândia, esquina com rua Cajuri, no bairro Xangrilá. Essa área recebe o fluxo das águas provenientes das ruas Cajuri e Caraí, assim como de um trecho da rua Coronel Murta. Nas mencionadas ruas, o escoamento é superficial e, devido à conformação topográfica desfavorável na região do alagamento, ocorre a retenção dos volumes de água, resultando no escoamento excessivo por propriedades particulares.



Figura 5.8 Área alagada da rua Andrelândia, esquina com rua Cajuri
Fonte: arquivo próprio, 2021

5.3.2. Delimitação da área de convergência

Caracterização da área localizada em uma região urbana sem sistema de drenagem pluvial, com pavimentação mista de asfalto e poliédrico, resultando em escoamento superficial e prevalência de declividade das ruas superior a 10%.

Os divisores de água foram obtidos por meio de uma vistoria de campo em toda a área de contribuição e através da análise do perfil longitudinal das ruas inseridas na microbacia, utilizando as curvas de nível - 1981 do município de Contagem.

A área total da microbacia, utilizada para o dimensionamento da rede de drenagem, foi de 207.850,77 m².



Figura 5.9 Microbacia à montante e jusante da rua Andrelândia

Fonte: Google Earth e as curvas de nível – 1981 obtidas no Informações Urbanísticas do Departamento de Licenciamento Urbanístico e Fiscalização, Secretaria de Desenvolvimento Urbano e Habitação disponível em: <http://www.contagem.mg.gov.br/?guia=892627>, adaptado pela autora

5.3.3. Definição dos pontos dos divisores de água da microbacia de projeto:

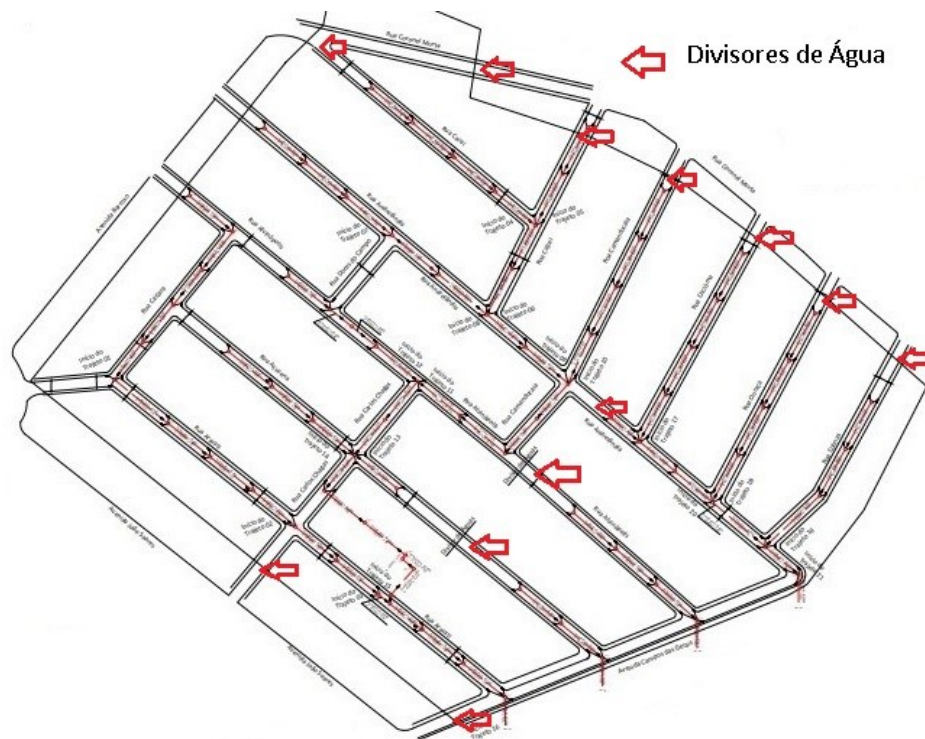


Figura 5.10 Indicação dos pontos dos divisores de águas
Fonte: autoria própria, 2021

5.3.4. Cálculo da taxa de impermeabilização atual

$$C = \frac{(A_t - A_p) \times 100}{A_t}$$

Sendo:

C= taxa de impermeabilização da microbacia

A_t = área total da poligonal da microbacia

A_p = área permeável da microbacia

$A_p = A_1 + A_2 + A_3$

$$C = \frac{11.065,00 - (390 + 378 + 306) \times 100}{11.065,00}$$

C= 90,29%

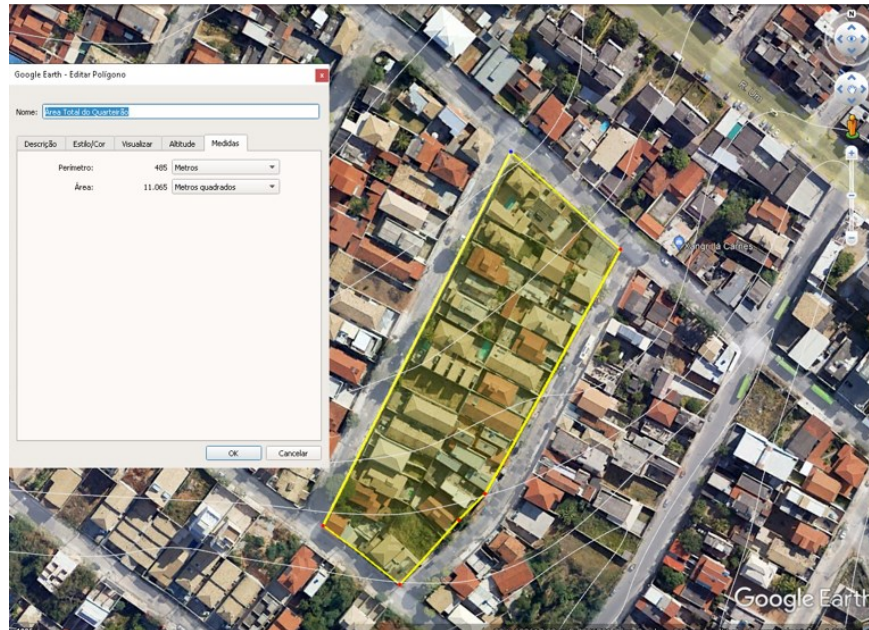


Figura 5.11 Poligonal do quarteirão da rua Andrelândia entre as ruas Ouraça e Colinas
 Fonte: Google Earth e as curvas de nível – 1981 obtidas no Informações Urbanísticas do Departamento de Licenciamento Urbanístico e Fiscalização, Secretaria de Desenvolvimento Urbano e Habitação disponível em: <http://www.contagem.mg.gov.br/?guia=892627>, adaptado pela autora

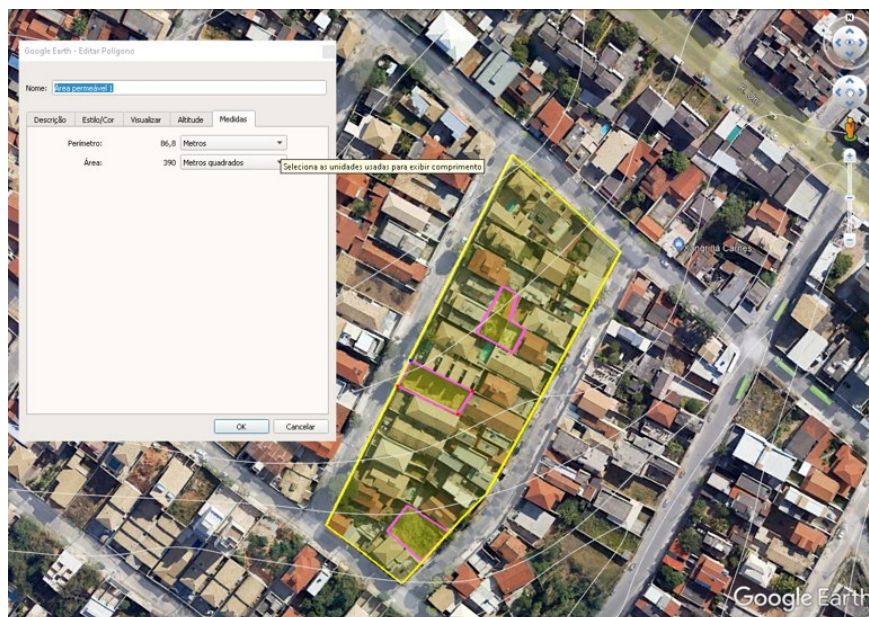


Figura 5.12 Áreas permeáveis pertencente à poligonal do quarteirão A1= 390,00m²
 Fonte: Google Earth e as curvas de nível – 1981 obtidas no Informações Urbanísticas do Departamento de Licenciamento Urbanístico e Fiscalização, Secretaria de Desenvolvimento Urbano e Habitação disponível em: <http://www.contagem.mg.gov.br/?guia=892627>, adaptado pela autora

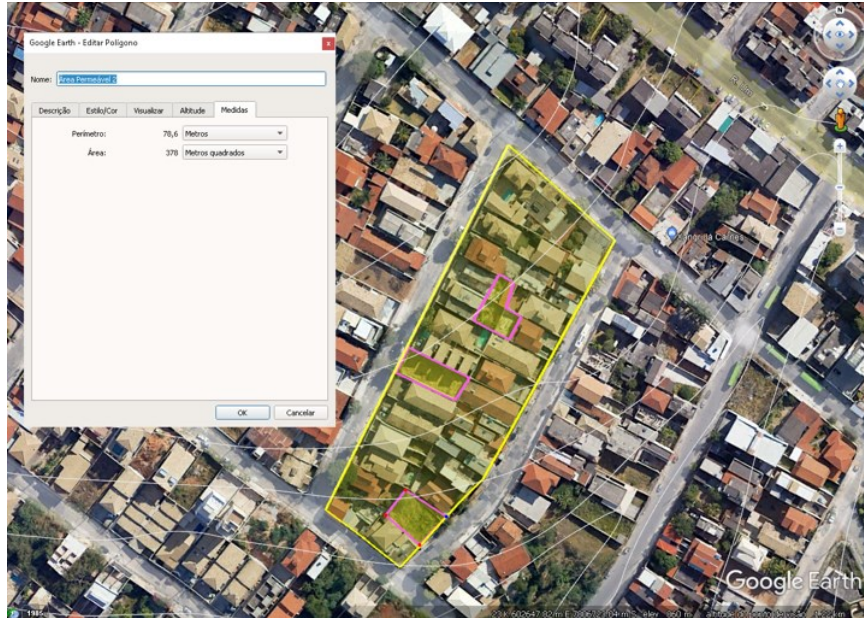


Figura 5.13: Áreas permeáveis pertencentes à poligonal do quarteirão A2= 378,00m²
 Fonte: Google Earth e as curvas de nível – 1981 obtidas no Informações Urbanísticas do Departamento de Licenciamento Urbanístico e Fiscalização, Secretaria de Desenvolvimento Urbano e Habitação disponível em: <http://www.contagem.mg.gov.br/?guia=892627>, adaptado pela autora

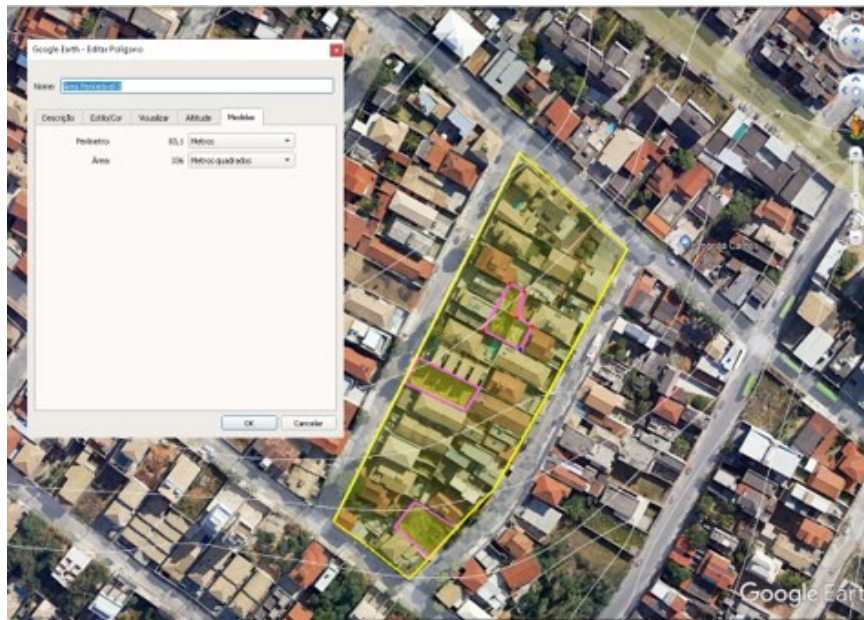


Figura 5.14: Áreas permeáveis pertencentes à poligonal do quarteirão A3= 306,00m²
 Fonte: Google Earth e as curvas de nível – 1981 obtidas no Informações Urbanísticas do Departamento de Licenciamento Urbanístico e Fiscalização, Secretaria de Desenvolvimento Urbano e Habitação disponível em: <http://www.contagem.mg.gov.br/?guia=892627>, adaptado pela autora

5.3.5. Subdivisão da área da microbacia para dimensionamento da tubulação dos trechos

Subdivisão da área total da microbacia em áreas menores correspondentes aos trechos de lançamentos para efeito de dimensionamento de rede.

Numeração do trecho de montante para jusante e com as áreas de cada trecho a ser dimensionado.

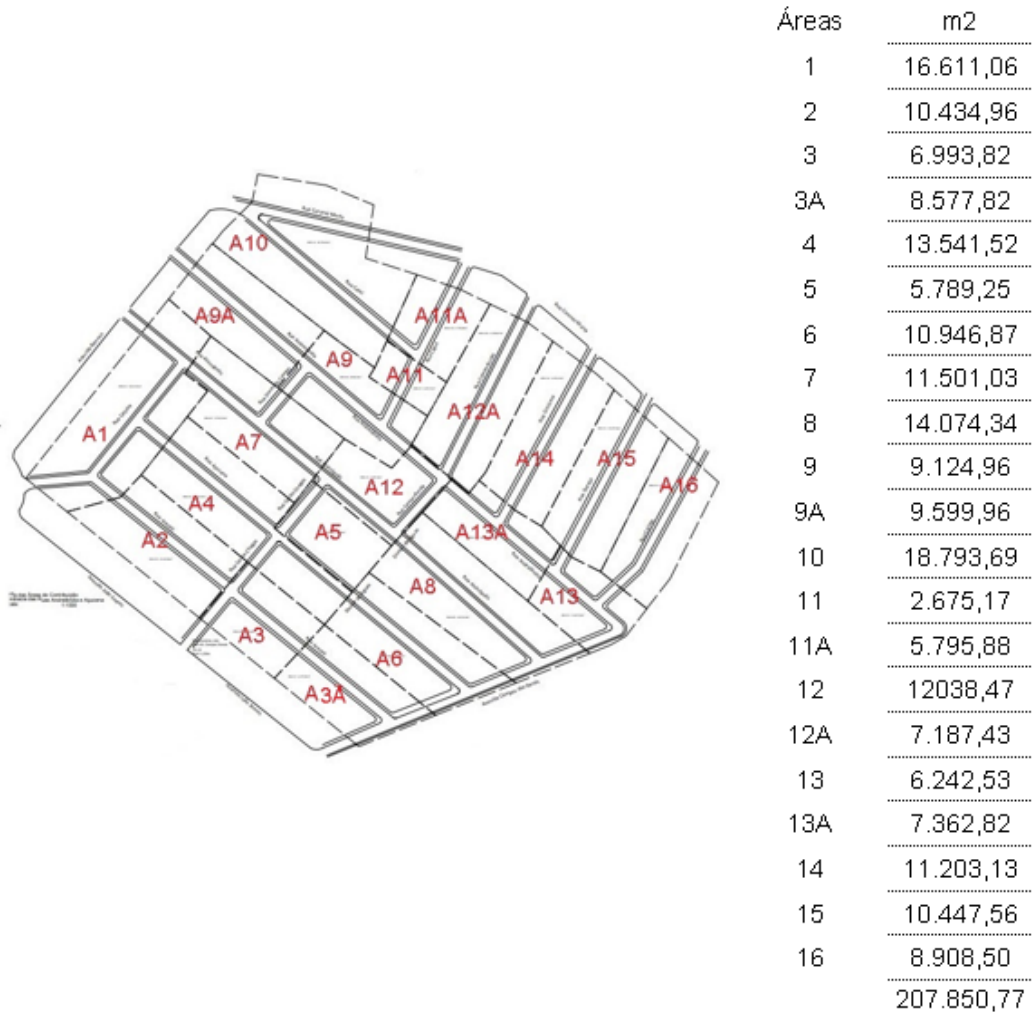


Figura 5.15 Área de cada trecho
Fonte: Autoria própria, 2021

5.3.6. Elaboração do levantamento planialtimétrico;



Figura 5.16 Curvas de nível da área projetada – base para perfis longitudinais
 Fonte: Google Earth e as curvas de nível – 1981 obtidas no Informações Urbanísticas do Departamento de Licenciamento Urbanístico e Fiscalização, Secretaria de Desenvolvimento Urbano e Habitação disponível em: <http://www.contagem.mg.gov.br/?guia=892627>, adaptado pela autora

5.3.7. Execução dos perfis longitudinais

Execução dos perfis longitudinais de todas as vias públicas existentes dentro do limite da poligonal da microbacia

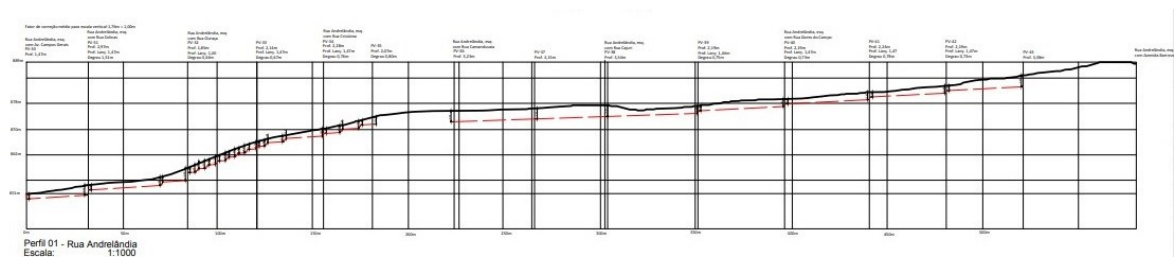


Figura 5.17: Perfil longitudinal da rua Andrelândia
 Fonte: autoria própria, 2021

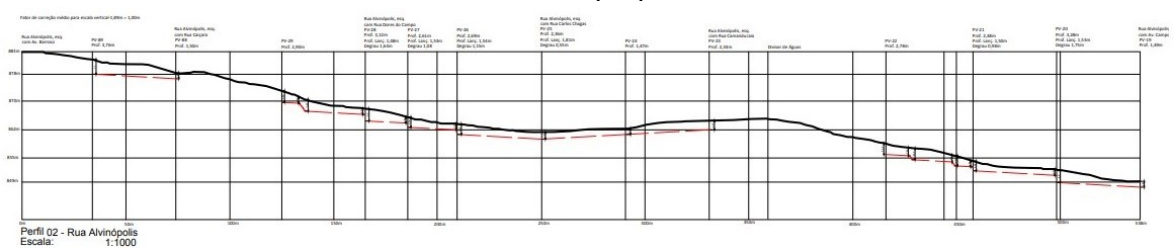


Figura 5.18 Perfil longitudinal da rua Alvinópolis
 Fonte: autoria própria, 2021

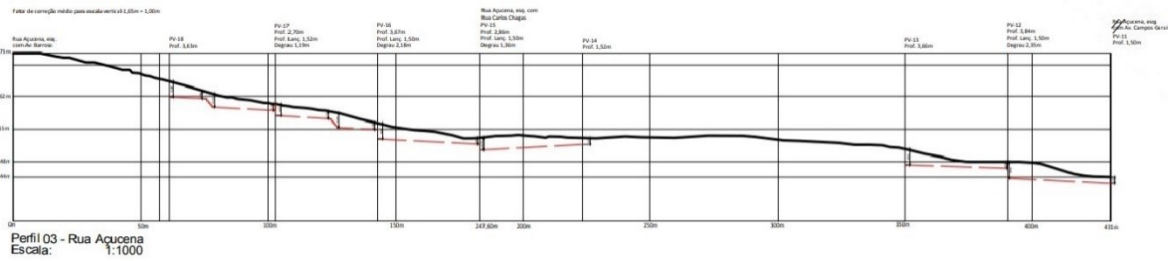


Figura 5.19 Perfil longitudinal da rua Açucena
 Fonte: autoria própria, 2021

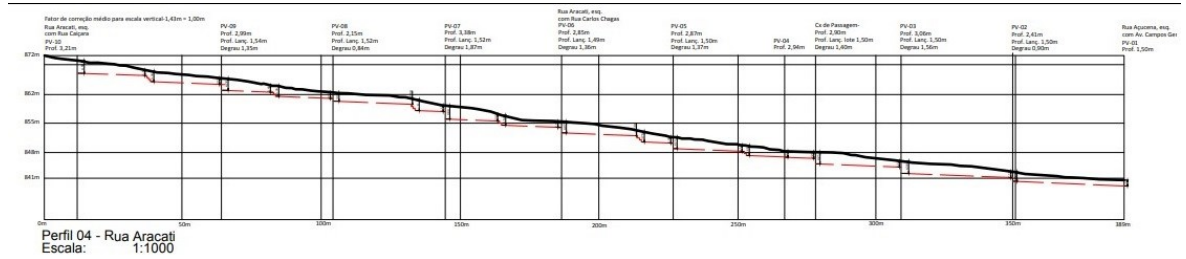


Figura 5.20 Perfil longitudinal da rua Aracati
 Fonte: autoria própria, 2021

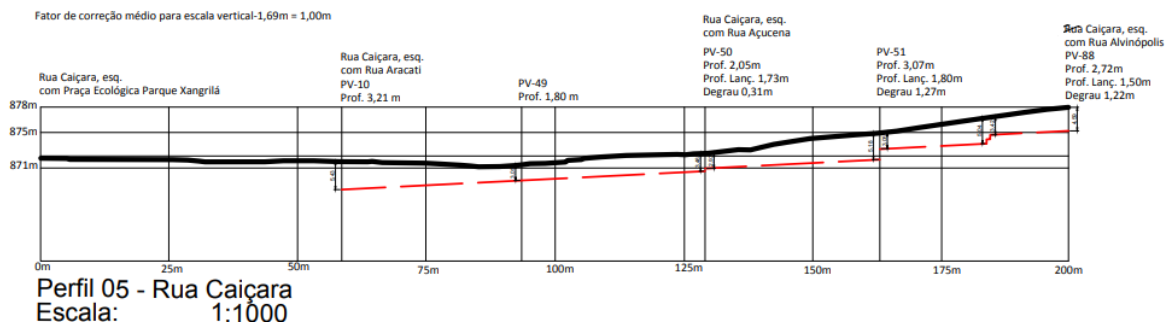


Figura 5.21 Perfil longitudinal da rua Caiçara
 Fonte: autoria própria, 2021



Figura 5.22 Perfil longitudinal da rua Dores do Campo
 Fonte: autoria própria, 2021

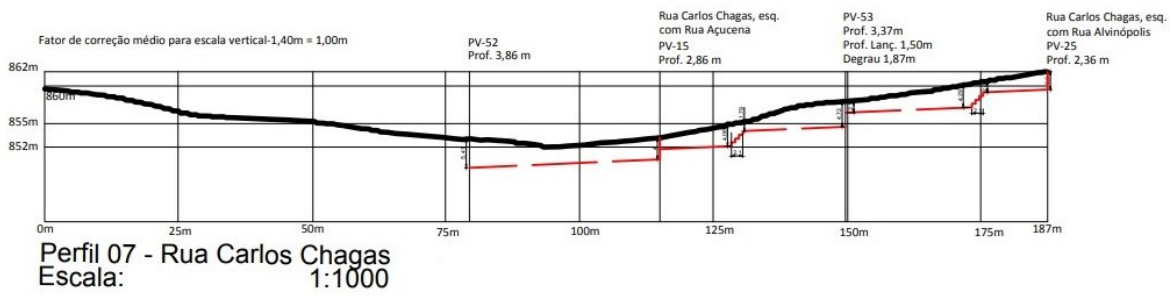


Figura 5.23 Perfil longitudinal da rua Carlos Chagas
Fonte: autoria própria, 2021

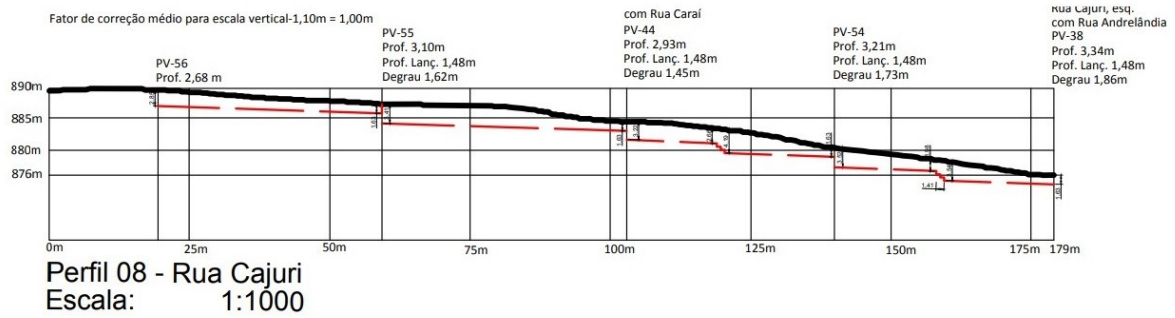


Figura 5.24 Perfil longitudinal da rua Cajuri
Fonte: autoria própria, 2021

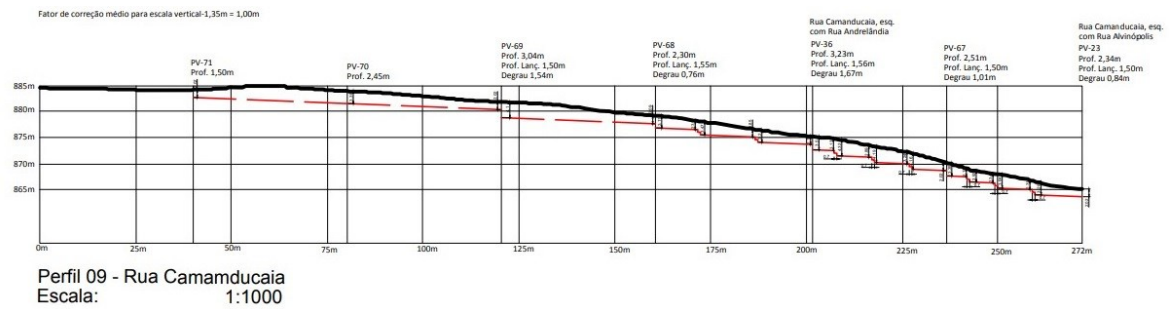


Figura 5.25 Perfil longitudinal da rua Camanducaia
Fonte: autoria própria, 2021

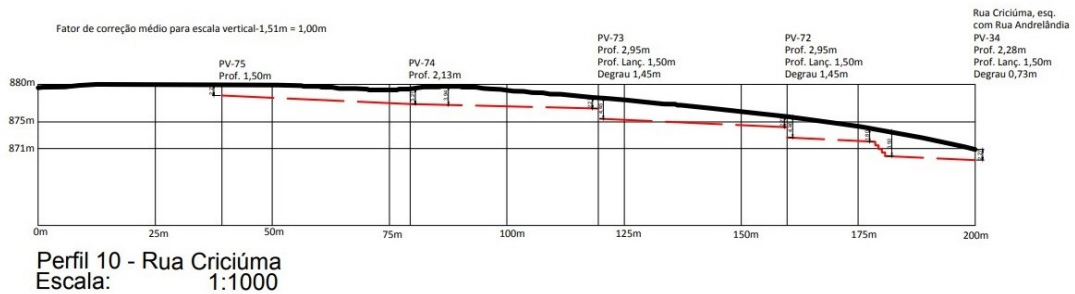


Figura 5.26 Perfil longitudinal da rua Criciúma
Fonte: autoria própria, 2021

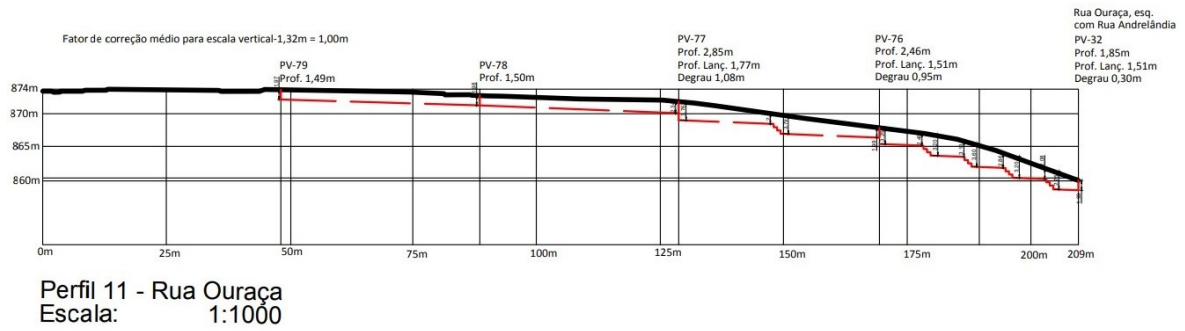


Figura 5.27 Perfil longitudinal da rua Ouraça
Fonte: autoria própria, 2021

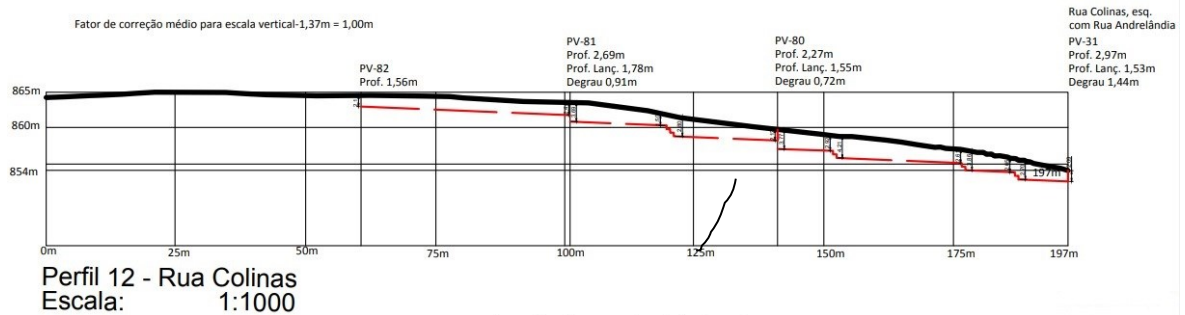


Figura 5.28 Perfil longitudinal da rua Colinas
Fonte: autoria própria, 2021

5.3.8. Determinação das declividades média das ruas

Determinação das declividades médias de todas as ruas inseridas nas poligonais

Adotado $T = 10$ anos

Comprimento do talvegue em toda extensão do lançamento à Av. Nacional $L = 1.103,00\text{m}$

Cota do lançamento da rede da Avenida Campo das Gerais = 850

Cota do lançamento do canal da Av Nacional = 834

$\Delta H = 26,00\text{m}$

$$i = \frac{C_{\text{sup}} - C_{\text{inf}}}{L} \times 100$$

sendo:

i = declividade média;

C_{sup} = cota à montante da rua;

C_{inf} = cota à jusante da rua

L= comprimento de todo o perfil longitudinal

1- Rua Andrelândia

$$i = \frac{889 - 851}{580} \times 100 = 6,5\%$$

2- Rua Alvinópolis

$$i = \frac{883 - 849}{538} \times 100 = 6,3\%$$

3- Rua Açucena

$$i = \frac{873 - 844}{431} \times 100 = 6,7\%$$

4- Rua Aracati

$$i = \frac{872 - 841}{389} \times 100 = 8,0\%$$

5- Rua Caiçara

$$i = \frac{878 - 871}{200} \times 100 = 3,5\%$$

6- Rua Dores do Campo

$$i = \frac{879 - 868}{81,4} \times 100 = 13,5\%$$

7- Rua Carlos Chagas

$$i = \frac{862 - 852}{187} \times 100 = 5,3\%$$

8- Rua Cajuri

$$i = \frac{890 - 876}{179} \times 100 = 7,8\%$$

9- Rua Camanducaia

$$i = \frac{885 - 865}{272} \times 100 = 7,4\%$$

10- Rua Criciúma

$$i = \frac{880 - 871}{200} \times 100 = 4,5\%$$

11- Rua Ouraça

$$i = \frac{874 - 860}{209} \times 100 = 6,7\%$$

12- Rua Colinas

$$i = \frac{865 - 854}{197} \times 100 = 5,6\%$$

A microbacia é composta por ruas com declividades médias adequadas. No entanto, algumas vias, como a rua Carlos Chagas e a rua Andrelândia, apresentam pontos de convergência das águas pluviais devido à falta de possibilidade para o escoamento adequado.

Tanto na rua Carlos Chagas como na rua Andrelândia, as águas pluviais convergem para propriedades particulares. Para a rua Andrelândia, existe a possibilidade de executar uma rede de drenagem contra-greide dentro da própria via pública. Porém, na rua Carlos Chagas, essa opção inviabiliza a execução da rede em todos os aspectos - financeiro, técnico e econômico. Portanto, é necessário criar uma faixa de servidão para resolver o problema.

5.3.9. Identificação dos trechos de declividades críticas e superiores a 10%

$$i_c = \frac{C_{\max} - C_{\min}}{L} \times 100$$

sendo:

i_c = declividade crítica;

C_{\max} = cota máxima do trecho com declividade crítica;

C_{\min} = cota mínima do trecho com declividade crítica

L_c = comprimento do trecho com declividade crítica

1- Rua Açucena

$$i = \frac{873 - 855}{150} \times 100 = 12,0\%$$

2- Rua Andrelândia

$$i = \frac{870 - 862}{50} \times 100 = 16,0\%$$

3- Rua Camanducaia

$$i = \frac{872,5 - 865}{47} \times 100 = 16,0\%$$

4- Rua Carlos Chagas

$$i = \frac{862 - 852}{87} \times 100 = 11,5\%$$

5- Rua Colinas

$$i = \frac{860 - 854}{57} \times 100 = 10,5\%$$

6- Rua Ouraça

$$i = \frac{870 - 860}{59} \times 100 = 17,0\%$$

Foram identificados 06 trechos com declividade acima de 10%. Nessas áreas, a velocidade do escoamento superficial ultrapassa os 6,50 m/s, o que aumenta o risco de inundações. É importante destacar que a declividade dos talwegues de lançamento possui uma média de 2,36% e uma velocidade média de escoamento de 3,10 m/s.

5.3.10. Obtenção dos índices pluviométricos

Foi utilizado IDF⁽²⁾ da região Metropolitana de Belo Horizonte extraídos do Software Pluvio 2.1 da Universidade Federal de Viçosa

5.3.11. Cálculos das áreas de contribuição, volumes, vazões, velocidades dos trechos para taxas de impermeabilização de 60%, 70%, 80%, e atual

Para o cálculo da velocidade de escoamento da água em cada trecho, foi utilizada a fórmula:

$$V = 1/n(R_n^{2/3} \times I^{1/2})$$

Para a vazão a fórmula:

$$Q = CiA$$

Tabela 5.1 Valores obtidos para as velocidades e vazões e dimensionamento da rede para C=60%

DIMENSIONAMENTO DE REDE DE DRENAGEM PLUVIAL

Endereço: Rua Andreilândia, Açucena e Carlos Chagas Bairro: Xangrilá Regional: Nacional Município: Contagem

Parâmetros de Cálculo

Precipitação: 70mm em 20min

Coef. De rugosidade de Manning (n): 0,014

Coef. de escoamento superficial ou run off (C): 0,90

Material considerado: Tubo de concreto

Trajetos	70mm (m)	20min (s)	Área Contrib. m ²	C	Q m ³ /s	Dados do Tubo				I	Rh	In	Pp ²⁰	P ²⁰	V m/s	Análise obrigatório Q/E		
						D m	r m	Área Seção m ²	Perim. m							Vol.tubo p/lm	Vol.tubo 84% p/lm	Capac. Escoam. (E) p/diám. p/lm
1	0,07	1200	16611,06	0,60	0,58	0,60	0,30	0,2826	1,884	0,03	0,15	71,43	0,2823	0,1732	3,4927	0,2826	0,2374	0,8291
2	0,07	1200	27046,02	0,60	0,95	0,80	0,40	0,5024	2,512	0,03	0,20	71,43	0,3420	0,1732	4,2311	0,5024	0,4220	1,7856
3	0,07	1200	34039,84	0,60	1,19	0,80	0,40	0,5024	2,512	0,03	0,20	71,43	0,3420	0,1732	4,2311	0,5024	0,4220	1,7856
4	0,07	1200	9599,96	0,60	0,34	0,60	0,30	0,2826	1,884	0,03	0,15	71,43	0,2823	0,1732	3,4927	0,2826	0,2374	0,8291
5	0,07	1200	18793,69	0,60	0,66	0,60	0,30	0,2826	1,884	0,03	0,15	71,43	0,2823	0,1732	3,4927	0,2826	0,2374	0,8291
6	0,07	1200	37518,61	0,60	1,31	0,80	0,40	0,5024	2,512	0,03	0,20	71,43	0,3420	0,1732	4,2311	0,5024	0,4220	1,7856
7	0,07	1200	14074,34	0,60	0,49	0,60	0,30	0,2826	1,884	0,03	0,15	71,43	0,2823	0,1732	3,4927	0,2826	0,2374	0,8291
8	0,07	1200	23199,30	0,60	0,81	0,60	0,30	0,2826	1,884	0,03	0,15	71,43	0,2823	0,1732	3,4927	0,2826	0,2374	0,8291
9	0,07	1200	45869,66	0,60	1,61	0,80	0,40	0,5024	2,512	0,03	0,20	71,43	0,3420	0,1732	4,2311	0,5024	0,4220	1,7856
10	0,07	1200	12038,47	0,60	0,42	0,60	0,30	0,2826	1,884	0,03	0,15	71,43	0,2823	0,1732	3,4927	0,2826	0,2374	0,8291
11	0,07	1200	58026,13	0,60	2,03	1,00	0,50	0,785	3,14	0,03	0,25	71,43	0,3969	0,1732	4,9097	0,785	0,6594	3,2375
12	0,07	1200	11501,03	0,60	0,40	0,60	0,30	0,2826	1,884	0,03	0,15	71,43	0,2823	0,1732	3,4927	0,2826	0,2374	0,8291
13	0,07	1200	69529,16	0,60	2,43	1,00	0,50	0,785	3,14	0,03	0,25	71,43	0,3969	0,1732	4,9097	0,785	0,6594	3,2375
14	0,07	1200	19541,52	0,60	0,47	0,60	0,30	0,2826	1,884	0,03	0,15	71,43	0,2823	0,1732	3,4927	0,2826	0,2374	0,8291
15	0,07	1200	83070,66	0,60	2,91	1,20	0,60	1,1304	3,768	0,03	0,30	71,43	0,4481	0,1732	5,5443	1,1304	0,9495	5,2645
16	0,07	1200	11710,52	0,60	0,40	1,20	0,60	1,1304	3,768	0,03	0,30	71,43	0,4481	0,1732	5,5443	1,1304	0,9495	5,2645
17	0,07	1200	1203,13	0,60	0,39	0,60	0,30	0,2826	1,884	0,03	0,15	71,43	0,2823	0,1732	3,4927	0,2826	0,2374	0,8291
18	0,07	1200	10447,56	0,60	0,37	0,60	0,30	0,2826	1,884	0,03	0,15	71,43	0,2823	0,1732	3,4927	0,2826	0,2374	0,8291
19	0,07	1200	8908,50	0,60	0,31	0,60	0,30	0,2826	1,884	0,03	0,15	71,43	0,2823	0,1732	3,4927	0,2826	0,2374	0,8291
20	0,07	1200	18565,95	0,60	0,65	0,60	0,30	0,2826	1,884	0,03	0,15	71,43	0,2823	0,1732	3,4927	0,2826	0,2374	0,8291
21	0,07	1200	44184,54	0,60	1,55	0,80	0,40	0,5024	2,512	0,03	0,20	71,43	0,3420	0,1732	4,2311	0,5024	0,4220	1,7856

Fonte: autoria própria, 2022

Tabela 5.2 Valores obtidos para as velocidades e vazões e dimensionamento da rede para C=70%

DIMENSIONAMENTO DE REDE DE DRENAGEM PLUVIAL

Endereço: Rua Andreilândia, Açucena e Carlos Chagas Bairro: Xangrilá Regional: Nacional Município: Contagem

Parâmetros de Cálculo

Precipitação: 70mm em 20min

Coef. De rugosidade de Manning (n): 0,014

Coef. de escoamento superficial ou run off (C): 0,90

Material considerado: Tubo de concreto

Trajetos	70mm (m)	20min (s)	Área Contrib. m ²	C	Q m ³ /s	Dados do Tubo				I	Rh	In	Pp ²⁰	P ²⁰	V m/s	Análise obrigatório Q/E		
						D m	r m	Área Seção m ²	Perim. m							Vol.tubo p/lm	Vol.tubo 84% p/lm	Capac. Escoam. (E) p/diám. p/lm
1	0,07	1200	16611,06	0,70	0,68	0,60	0,30	0,2826	1,884	0,03	0,15	71,43	0,2823	0,1732	3,4927	0,2826	0,2374	0,8291
2	0,07	1200	27046,02	0,70	1,10	0,80	0,40	0,5024	2,512	0,03	0,20	71,43	0,3420	0,1732	4,2311	0,5024	0,4220	1,7856
3	0,07	1200	34039,84	0,70	1,39	0,80	0,40	0,5024	2,512	0,03	0,20	71,43	0,3420	0,1732	4,2311	0,5024	0,4220	1,7856
4	0,07	1200	9599,96	0,70	0,39	0,60	0,30	0,2826	1,884	0,03	0,15	71,43	0,2823	0,1732	3,4927	0,2826	0,2374	0,8291
5	0,07	1200	18793,69	0,70	0,77	0,60	0,30	0,2826	1,884	0,03	0,15	71,43	0,2823	0,1732	3,4927	0,2826	0,2374	0,8291
6	0,07	1200	37518,61	0,70	1,53	0,80	0,40	0,5024	2,512	0,03	0,20	71,43	0,3420	0,1732	4,2311	0,5024	0,4220	1,7856
7	0,07	1200	14074,34	0,70	0,57	0,60	0,30	0,2826	1,884	0,03	0,15	71,43	0,2823	0,1732	3,4927	0,2826	0,2374	0,8291
8	0,07	1200	23199,30	0,70	0,95	0,80	0,40	0,5024	2,512	0,03	0,20	71,43	0,3420	0,1732	4,2311	0,5024	0,4220	1,7856
9	0,07	1200	45869,66	0,70	1,88	1,00	0,50	0,785	3,14	0,03	0,25	71,43	0,3969	0,1732	4,9097	0,785	0,6594	3,2375
10	0,07	1200	12038,47	0,70	0,49	0,60	0,30	0,2826	1,884	0,03	0,15	71,43	0,2823	0,1732	3,4927	0,2826	0,2374	0,8291
11	0,07	1200	58026,13	0,70	2,37	1,00	0,50	0,785	3,14	0,03	0,25	71,43	0,3969	0,1732	4,9097	0,785	0,6594	3,2375
12	0,07	1200	11501,03	0,70	0,47	0,60	0,30	0,2826	1,884	0,03	0,15	71,43	0,2823	0,1732	3,4927	0,2826	0,2374	0,8291
13	0,07	1200	69529,16	0,70	2,84	1,00	0,50	0,785	3,14	0,03	0,25	71,43	0,3969	0,1732	4,9097	0,785	0,6594	3,2375
14	0,07	1200	19541,52	0,70	0,55	0,60	0,30	0,2826	1,884	0,03	0,15	71,43	0,2823	0,1732	3,4927	0,2826	0,2374	0,8291
15	0,07	1200	83070,66	0,70	4,78	1,20	0,60	1,1304	3,768	0,03	0,30	71,43	0,4481	0,1732	5,5443	1,1304	0,9495	5,2645
16	0,07	1200	11710,52	0,70	0,46	1,20	0,60	1,1304	3,768	0,03	0,30	71,43	0,4481	0,1732	5,5443	1,1304	0,9495	5,2645
17	0,07	1200	1203,13	0,70	0,46	0,60	0,30	0,2826	1,884	0,03	0,15	71,43	0,2823	0,1732	3,4927	0,2826	0,2374	0,8291
18	0,07	1200	10447,56	0,70	0,43	0,60	0,30	0,2826	1,884	0,03	0,15	71,43	0,2823	0,1732	3,4927	0,2826	0,2374	0,8291
19	0,07	1200	8908,50	0,70	0,36	0,60	0,30	0,2826	1,884	0,03	0,15	71,43	0,2823	0,1732	3,4927	0,2826	0,2374	0,8291
20	0,07	1200	18565,95	0,70	0,76	0,60	0,30	0,2826	1,884	0,03	0,15	71,43	0,2823	0,1732	3,4927	0,2826	0,2374	0,8291
21	0,07	1200	44184,54	0,70	1,80	1,00	0,50	0,785	3,14	0,03	0,25	71,43	0,3969	0,1732	4,9097	0,785	0,6594	3,2375

Fonte: autoria própria, 2022

Tabela 5.3 Valores obtidos para as velocidades e vazões e dimensionamento da rede para C=80%

DIMENSIONAMENTO DE REDE DE DRENAGEM PLUVIAL

Endereço: Rua Andreilândia, Açucena e Carlos Chagas Bairro: Xangrilá Regional: Nacional Município: Contagem

Parâmetros de Cálculo

Precipitação: 70mm em 20min

Coef. De rugosidade de Manning (n): 0,014

Coef. de escoamento superficial ou run off (C): 0,90

Material considerado: Tubo de concreto

Trajetos	70mm (ml)	20min (s)	Área Contrib. m ²	C	Q m ³ /s	Dados do Tubo				I	R _h	1/n	R _h ^{2/3}	V m/s	Análise obrigatório Q/E			
						D m	r m	Área Seção m ²	Perim. m						Vol tubo pl/m	Vol tubo 84% pl/m	Capac. Escoam. (E) pl/dãm. pl/m	
1	0.07	1200	16611,06	0,80	0,78	0,60	0,30	0,2826	1,884	0,03	0,15	71,43	0,2823	0,1732	3,4927	0,2826	0,2374	0,8291
2	0.07	1200	27046,02	0,80	1,26	0,80	0,40	0,5024	2,512	0,03	0,20	71,43	0,3420	0,1732	4,2311	0,5024	0,4220	1,7856
3	0.07	1200	34039,84	0,80	1,53	0,80	0,40	0,5024	2,512	0,03	0,20	71,43	0,3420	0,1732	4,2311	0,5024	0,4220	1,7856
4	0.07	1200	3599,96	0,80	0,45	0,60	0,30	0,2826	1,884	0,03	0,15	71,43	0,2823	0,1732	3,4927	0,2826	0,2374	0,8291
5	0.07	1200	16733,69	0,80	0,88	0,60	0,30	0,2826	1,884	0,03	0,15	71,43	0,2823	0,1732	3,4927	0,2826	0,2374	0,8291
6	0.07	1200	37516,61	0,80	1,75	0,80	0,40	0,5024	2,512	0,03	0,20	71,43	0,3420	0,1732	4,2311	0,5024	0,4220	1,7856
7	0.07	1200	14074,34	0,80	0,86	0,60	0,30	0,2826	1,884	0,03	0,15	71,43	0,2823	0,1732	3,4927	0,2826	0,2374	0,8291
8	0.07	1200	23199,30	0,80	1,08	0,80	0,40	0,5024	2,512	0,03	0,20	71,43	0,3420	0,1732	4,2311	0,5024	0,4220	1,7856
9	0.07	1200	45989,66	0,80	2,15	1,00	0,50	0,785	3,14	0,03	0,25	71,43	0,3969	0,1732	4,9097	0,785	0,6594	3,2375
10	0.07	1200	12038,47	0,80	0,56	0,60	0,30	0,2826	1,884	0,03	0,15	71,43	0,2823	0,1732	3,4927	0,2826	0,2374	0,8291
11	0.07	1200	59026,13	0,80	2,71	1,00	0,50	0,785	3,14	0,03	0,25	71,43	0,3969	0,1732	4,9097	0,785	0,6594	3,2375
12	0.07	1200	15910,03	0,80	0,54	0,80	0,40	0,5024	2,512	0,03	0,20	71,43	0,3420	0,1732	4,2311	0,5024	0,4220	1,7856
13	0.07	1200	69529,16	0,80	3,24	1,00	0,50	0,785	3,14	0,03	0,25	71,43	0,3969	0,1732	4,9097	0,785	0,6594	3,2375
14	0.07	1200	13541,52	0,80	0,63	0,60	0,30	0,2826	1,884	0,03	0,15	71,43	0,2823	0,1732	3,4927	0,2826	0,2374	0,8291
15	0.07	1200	83070,68	0,80	3,88	1,20	0,60	1,1304	3,768	0,03	0,30	71,43	0,4481	0,1732	5,5443	1,1304	0,9495	5,2645
16	0.07	1200	11710,52	0,80	0,47	1,50	0,75	1,76625	4,71	0,03	0,38	71,43	0,5200	0,1732	6,4336	1,76625	1,4837	3,5452
17	0.07	1200	1203,13	0,80	0,52	0,60	0,30	0,2826	1,884	0,03	0,15	71,43	0,2823	0,1732	3,4927	0,2826	0,2374	0,8291
18	0.07	1200	10447,56	0,80	0,49	0,60	0,30	0,2826	1,884	0,03	0,15	71,43	0,2823	0,1732	3,4927	0,2826	0,2374	0,8291
19	0.07	1200	8909,50	0,80	0,42	0,60	0,30	0,2826	1,884	0,03	0,15	71,43	0,2823	0,1732	3,4927	0,2826	0,2374	0,8291
20	0.07	1200	16965,95	0,80	0,87	0,80	0,40	0,5024	2,512	0,03	0,20	71,43	0,3420	0,1732	4,2311	0,5024	0,4220	1,7856
21	0.07	1200	44164,54	0,80	2,06	1,00	0,50	0,785	3,14	0,03	0,25	71,43	0,3969	0,1732	4,9097	0,785	0,6594	3,2375

Fonte: autoria própria, 2022

Tabela 5.4 Valores obtidos para as velocidades e vazões e dimensionamento da rede para C=90%

DIMENSIONAMENTO DE REDE DE DRENAGEM PLUVIAL

Endereço: Rua Andreilândia, Açucena e Carlos Chagas Bairro: Xangrilá Regional: Nacional Município: Contagem

Parâmetros de Cálculo

Precipitação: 70mm em 20min

Coef. De rugosidade de Manning (n): 0,014

Coef. de escoamento superficial ou run off (C): 0,90

Material considerado: Tubo de concreto

Trajetos	70mm (ml)	20min (s)	Área Contrib. m ²	C	Q m ³ /s	Dados do Tubo				I	R _h	1/n	R _h ^{2/3}	V m/s	Análise obrigatório Q/E			
						D m	r m	Área Seção m ²	Perim. m						Vol tubo pl/m	Vol tubo 84% pl/m	Capac. Escoam. (E) pl/dãm. pl/m	
1	0.07	1200	16611,06	0,90	0,87	0,60	0,30	0,2826	1,884	0,03	0,15	71,43	0,2823	0,1732	3,4927	0,2826	0,2374	0,8291
2	0.07	1200	27046,02	0,90	1,42	0,80	0,40	0,5024	2,512	0,03	0,20	71,43	0,3420	0,1732	4,2311	0,5024	0,4220	1,7856
3	0.07	1200	34039,84	0,90	1,73	0,80	0,40	0,5024	2,512	0,03	0,20	71,43	0,3420	0,1732	4,2311	0,5024	0,4220	1,7856
4	0.07	1200	3599,96	0,90	0,50	0,60	0,30	0,2826	1,884	0,03	0,15	71,43	0,2823	0,1732	3,4927	0,2826	0,2374	0,8291
5	0.07	1200	16733,69	0,90	0,59	0,60	0,30	0,2826	1,884	0,03	0,15	71,43	0,2823	0,1732	3,4927	0,2826	0,2374	0,8291
6	0.07	1200	37516,61	0,90	1,37	0,80	0,40	0,5024	2,512	0,03	0,20	71,43	0,3420	0,1732	4,2311	0,5024	0,4220	1,7856
7	0.07	1200	14074,34	0,90	0,74	0,60	0,30	0,2826	1,884	0,03	0,15	71,43	0,2823	0,1732	3,4927	0,2826	0,2374	0,8291
8	0.07	1200	23199,30	0,90	1,22	0,80	0,40	0,5024	2,512	0,03	0,20	71,43	0,3420	0,1732	4,2311	0,5024	0,4220	1,7856
9	0.07	1200	45989,66	0,90	2,41	1,00	0,50	0,785	3,14	0,03	0,25	71,43	0,3969	0,1732	4,9097	0,785	0,6594	3,2375
10	0.07	1200	12038,47	0,90	0,63	0,60	0,30	0,2826	1,884	0,03	0,15	71,43	0,2823	0,1732	3,4927	0,2826	0,2374	0,8291
11	0.07	1200	59026,13	0,90	3,05	1,00	0,50	0,785	3,14	0,03	0,25	71,43	0,3969	0,1732	4,9097	0,785	0,6594	3,2375
12	0.07	1200	15910,03	0,90	0,60	0,60	0,30	0,2826	1,884	0,03	0,15	71,43	0,2823	0,1732	3,4927	0,2826	0,2374	0,8291
13	0.07	1200	69529,16	0,90	3,65	1,20	0,60	1,1304	3,768	0,03	0,30	71,43	0,4481	0,1732	5,5443	1,1304	0,9495	5,2645
14	0.07	1200	13541,52	0,90	0,71	0,60	0,30	0,2826	1,884	0,03	0,15	71,43	0,2823	0,1732	3,4927	0,2826	0,2374	0,8291
15	0.07	1200	83070,68	0,90	4,36	1,20	0,60	1,1304	3,768	0,03	0,30	71,43	0,4481	0,1732	5,5443	1,1304	0,9495	5,2645
16	0.07	1200	11710,52	0,90	0,65	1,50	0,75	1,76625	4,71	0,03	0,38	71,43	0,5200	0,1732	6,4336	1,76625	1,4837	3,5452
17	0.07	1200	1203,13	0,90	0,59	0,60	0,30	0,2826	1,884	0,03	0,15	71,43	0,2823	0,1732	3,4927	0,2826	0,2374	0,8291
18	0.07	1200	10447,56	0,90	0,55	0,60	0,30	0,2826	1,884	0,03	0,15	71,43	0,2823	0,1732	3,4927	0,2826	0,2374	0,8291
19	0.07	1200	8909,50	0,90	0,47	0,60	0,30	0,2826	1,884	0,03	0,15	71,43	0,2823	0,1732	3,4927	0,2826	0,2374	0,8291
20	0.07	1200	16965,95	0,90	0,97	0,80	0,40	0,5024	2,512	0,03	0,20	71,43	0,3420	0,1732	4,2311	0,5024	0,4220	1,7856
21	0.07	1200	44164,54	0,90	2,32	1,00	0,50	0,785	3,14	0,03	0,25	71,43	0,3969	0,1732	4,9097	0,785	0,6594	3,2375

Fonte: autoria própria, 2022

A diferença na vazão entre áreas com taxa de impermeabilização de 60% e 90% é de 33,3%. Através desse parâmetro, podemos concluir que, mesmo ao utilizar escoamentos tubulados, se continuarmos a impermeabilizar as áreas urbanas, o aumento do nível das enchentes será inevitável.

Para o dimensionamento das redes de drenagem, é importante que a declividade dos trechos não ultrapasse 3%. Nos trechos das vias em que a declividade é crítica, é obrigatória a presença de dissipadores de energia, como escadas hidráulicas, com espelhos dos degraus com alturas inferiores a 50cm e pisos com larguras iguais ou superiores a 70cm.

5.3.12. Idealização, dimensionamento e elaboração de projeto

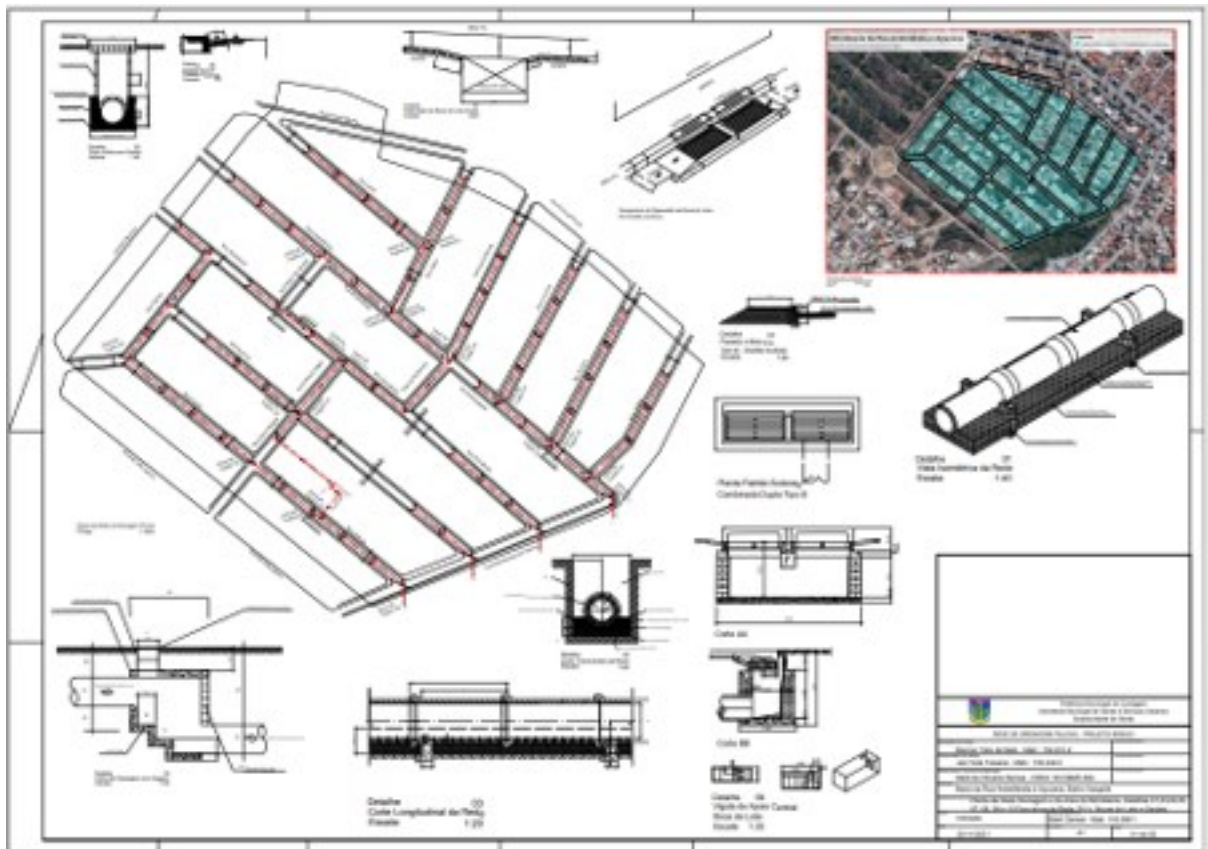


Figura 5.29 Projeto da rede de drenagem e detalhes construtivos
Fonte: autoria própria, 2021

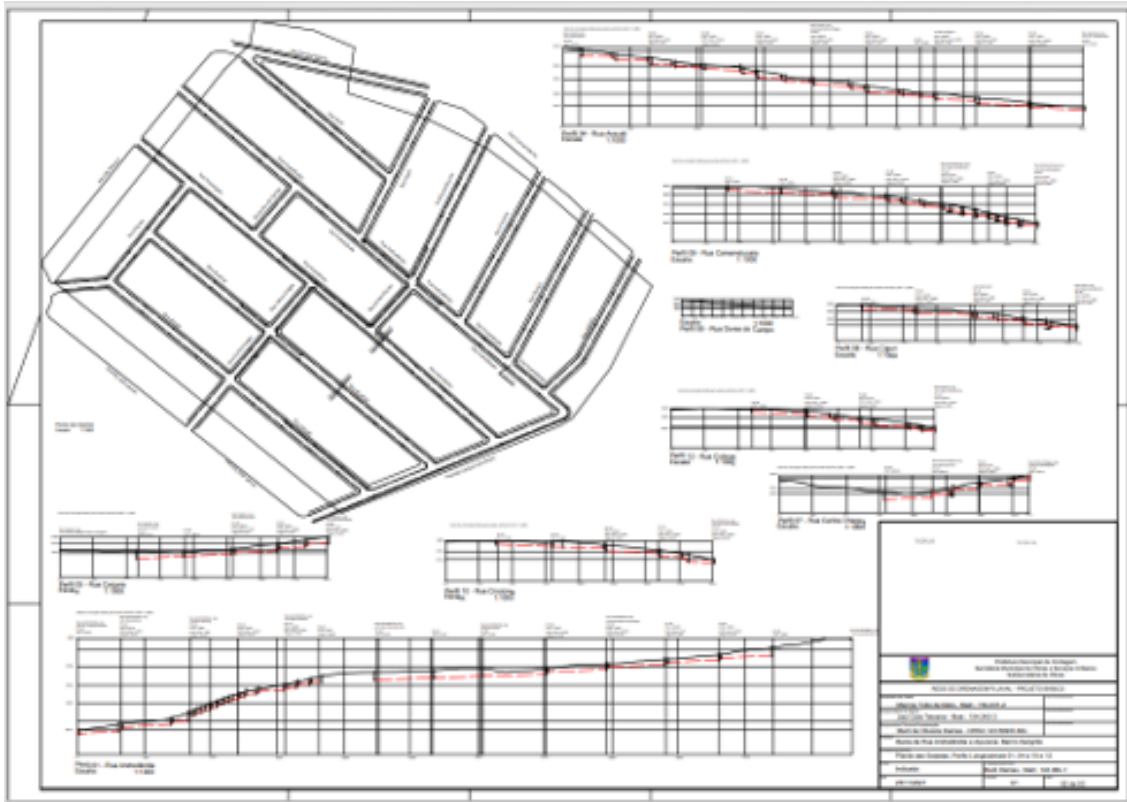


Figura 5.30 Projeto das sarjetas e perfis longitudinais
Fonte: autoria própria, 2021

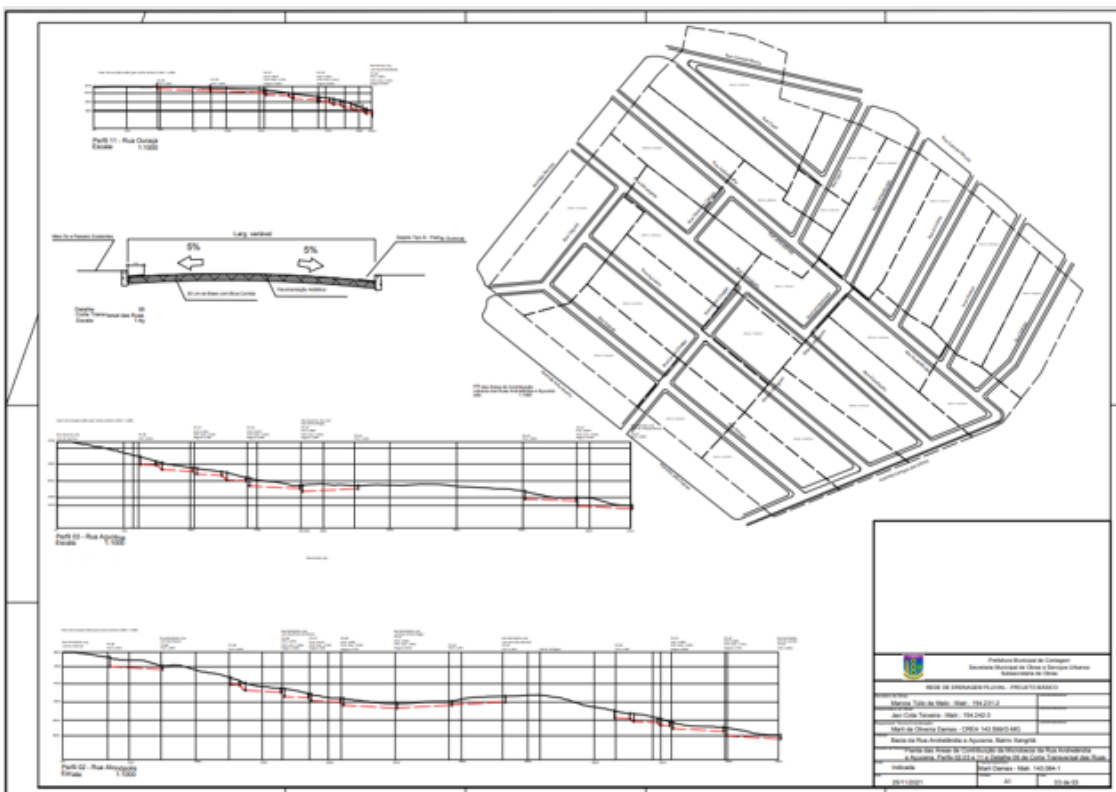


Figura 5.31 Projeto das áreas dos trechos, representação do greide e perfis longitudinais
Fonte: autoria própria, 2021

5.3.13. Identificação do percurso das águas pluviais até o canal de lançamento

O percurso das águas pluviais do talvegue de lançamento, localizado em uma área de preservação permanente (APP) da Avenida Campo das Gerais, até o canal da Avenida Nacional, foi analisado. Foi obtido o perfil longitudinal do percurso, incluindo a determinação da declividade média (i).



Figura 5.32 Percurso percorrido pelas águas da microbacia

Fonte: Google Earth e as curvas de nível – 1981 obtidas no Informações Urbanísticas do Departamento de Licenciamento Urbanístico e Fiscalização, Secretaria de Desenvolvimento Urbano e Habitação disponível em: <http://www.contagem.mg.gov.br/?guia=892627>, Acesso em: jan. 2022. Adaptado pela autora



Figura 5.33 Percurso percorrido pelas águas da microbacia até o canal da Av. Nacional
 Fonte: Google Earth e as curvas de nível – 1981-Informações Urbanísticas do Departamento de Licenciamento Urbanístico e Fiscalização, Secretaria de Desenvolvimento Urbano e Habitação disponível em: <http://www.contagem.mg.gov.br/?guia=892627>, Acesso em: jan. 2022. Adaptado pela autora

$$i = \frac{852 - 824}{1103,00} \times 100 = 2,538\%$$

Foi realizado o mapeamento do percurso das águas pluviais, desde o talvegue de lançamento até a represa da Pampulha, e definido o comprimento do percurso até o canal da Avenida Nacional, utilizando o Google Earth Pro.

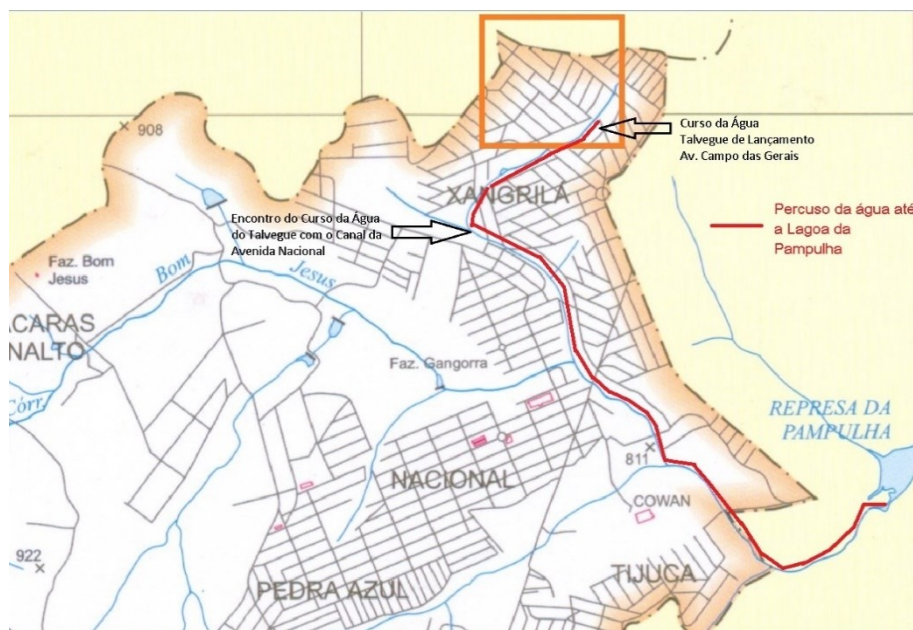


Figura 5.34 Percurso percorrido pelas águas da microbacia até a lagoa da Pampulha
 Fonte: Informações Urbanísticas do Departamento de Licenciamento Urbanístico e Fiscalização, Secretaria de Desenvolvimento Urbano e Habitação, disponível em: <http://www.contagem.mg.gov.br/?guia=892627>. Acesso em: jan. 2022. Adaptado pela autora

5.3.14. Determinação da velocidade média dos percursos

Determinação da velocidade média de escoamento superficial e na rede de drenagem para as águas pluviais dos percursos existentes na microbacia, desde o ponto mais distante até o talvegue de lançamento.

Para o cálculo da velocidade média de cada trecho, utilizamos a fórmula apresentada na página 68. Os valores de V₁, V₂, V₃...V₂₁ foram adotados com base nos valores obtidos na tabela 5.4 de dimensionamento da rede para a taxa de impermeabilização de 90%.

$$V_m = \frac{V_1 + V_2 + V_3 + \dots + V_{21}}{21}$$

$$V_m = \frac{3,49 + 4,23 + 4,23 + 3,49 + 3,49 + 4,23 + 3,49 + 4,23 + 4,91 + 3,49 + 4,91 + 3,49 + 5,54 + 3,49 + 5,54 + 6,43 + 3,49 + 3,49 + 3,49 + 4,23 + 4,91}{21} = \underline{88,29} = 4,20 \text{ m/s}$$

$$\mathbf{V_{m \text{ rede}} = 4,20 \text{ m/s}}$$

Para o cálculo da velocidade média do talvegue de lançamento utilizamos a fórmula:

$$V = L / (T_c \times 60),$$

sendo L em metros e T_c em minutos.

L = Comprimento do trecho com escoamento superficial, cuja velocidade será calculada.

Como não foi possível prever as diferentes trajetórias possíveis para o líquido no talvegue, utilizou-se a fórmula do California Culverts Practice and Public Work

$$T_c = 57 \times (L^2 / I_{eq})^{0,385}$$

Em que:

T_c – tempo de concentração, minutos;

L – comprimento do talvegue, Km;

I_{eq} – declividade equivalente do talvegue, m.Km-1

$$T_c = 57 \times (1,103^2 / 25,38)^{0,385}$$

$$T_c = 57 \times (1,216 / 25,38)^{0,385}$$

$$T_c = 17,698 \text{ min}$$

T_c = tempo de concentração (min);

L = comprimento do talvegue (m);

S = declividade do talvegue (m/m).

$$V = 1103 / (17,698 \times 60),$$

$$V = 1103 / 1061,88,$$

$$\mathbf{V_{m \text{ talvegue}} = 1,039 \text{ m/s}}$$

5.3.15. Tabulação, comparação e análise dos resultados

Tabulação, comparação e análise dos resultados obtidos da velocidade média de escoamento por percurso de escoamento superficial no talvegue (V_m talvegue) de lançamento e para a rede de drenagem idealizada (V_m rede)

Tabela 5.5 Valor de V_m para o deslocamento da água na tubulação e no talvegue de lançamento

V_m rede	V_m talvegue
4,20m/s	1,04m/s

Fonte: autoria própria

A velocidade média do fluxo na rede projetada foi de 4,2 m/s, enquanto a velocidade média da água no talvegue foi de 1,04 m/s. Isso nos leva a concluir que o projeto idealizado, sem os dissipadores de energia, resultará em inundação a jusante.

6. PROPOSTAS DE SOLUÇÃO

Neste capítulo, serão apresentadas as propostas de engenharia para o manejo de águas pluviais nas áreas urbanas, aplicando o controle na fonte tanto para vias públicas quanto para áreas particulares. São eles: o tubo permeável com filtros acoplados e obras piloto de implantação, os dissipadores de energia para a rede de drenagem pluvial e os poços de retenção e infiltração de águas pluviais.

6.1. Tubo permeável com filtros acoplados

Esse tubo possui filtros acoplados no terço médio inferior de suas paredes e é utilizado para o controle na fonte em vias públicas. Foi desenvolvido com o objetivo de proporcionar uma filtragem preliminar das águas pluviais, controlar a vazão de infiltração do líquido no solo e impedir processos erosivos sob a rede.



Figura 6.1 Tubo permeável com filtros acoplados e detalhe dos filtros
Fonte: arquivo próprio, 2019

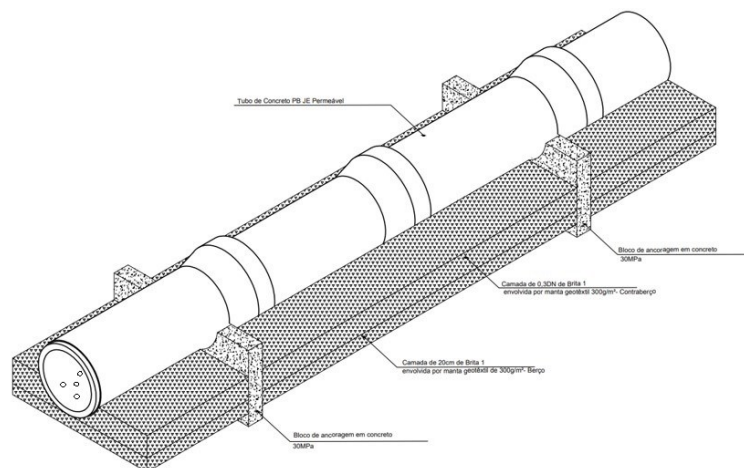


Figura 6.2 Perspectiva da rede com tubo permeável com filtros acoplados
Fonte: arquivo próprio, 2019

Neste subtópico, foram utilizadas imagens das obras piloto implantadas nas seguintes ruas: Liberdade, no bairro Estaleiro; João Militão, no bairro Fonte Grande; e Areias, Parati e Piatã, no bairro São Mateus.

As redes foram executadas seguindo as etapas executivas:

1. Corte de pavimento: A largura do corte dependerá do tipo de escoramento e da cota de corte da vala. Deverá ser executado de forma linear e não ultrapassar a largura estabelecida pelo projetista ou especificada pela NBR 12266 e NBR 15645.



Figura 6.3 Corte pavimento asfáltico
Fonte: Arquivo Próprio, 2020

2. Escavação mecânica de vala: A vala será aberta no sentido de jusante para montante, a partir dos pontos de lançamento, e deve ser escavada seguindo a linha de eixo. É importante respeitar o alinhamento e as cotas indicadas no projeto. O material escavado deverá ser depositado a uma distância de 1,00m da vala.



Figura 6.4 Escavação de vala
Fonte: Arquivo Próprio, 2020

3. Escoramento da vala: O escoramento é obrigatório para valas com profundidades superiores a 1,25m, a menos que haja evidências de tendências de movimentação de solo. Em casos onde há tais evidências, o escoramento deve ser executado mesmo em valas com profundidades inferiores. O tipo de escoramento será definido em projeto e não pode ser substituído, a menos que haja uma justificativa bem fundamentada e autorização da fiscalização.

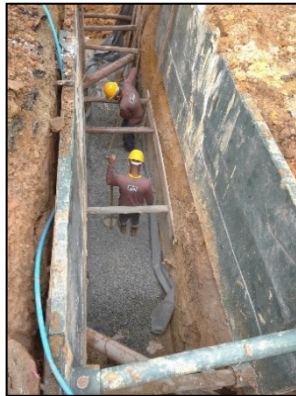


Figura 6.5 Blindado
Fonte: Arquivo Próprio, 2020



Figura 6.6 Pontaiteamento
Fonte: Arquivo Próprio, 2020

4. Acerto, regularização e nivelamento do fundo da vala: O fundo da vala deve ser regular e uniforme, seguindo a declividade prevista no projeto e sem apresentar saliências ou reentrâncias. Caso existam saliências ou reentrâncias, elas devem ser preenchidas com material adequado e compactado para garantir as condições adequadas de suporte de carga em todo o fundo da vala. O nivelamento do fundo da vala deve ser realizado por meio de equipamentos topográficos, com a precisão necessária para atender às declividades exigidas no projeto.



Figura 6.7 Regularização do fundo da vala
Fonte: Arquivo Próprio, 2020

5. Fixação da manta geotêxtil no fundo da vala: Após o nivelamento da vala, a manta geotêxtil de gramatura 300g/m^2 é instalada em toda a extensão, sendo fixada com grampos em barras de ferro de $4,2\text{mm}$. Os grampos devem ser espaçados a cada $1,50\text{m}$, tanto no fundo quanto nas laterais da vala. Nas emendas horizontais e verticais, é necessário um trespasse maior ou igual a 60cm . Essa manta será utilizada para envolver a brita 01, que é o material drenante do berço.



Figura 6.8 Fixação/Grampeamento da manta geotêxtil do Berço no Fundo e Laterais da Vala
Fonte: Arquivo Próprio, 2020

6. Lançamento de material drenante do berço: realiza-se o lançamento de 20cm de brita 1 sobre a manta instalada

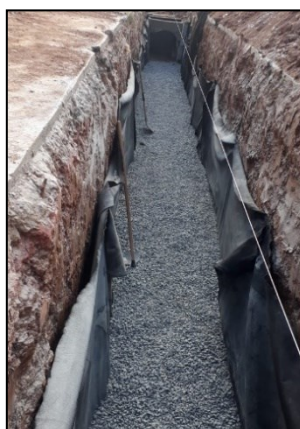


Figura 6.9 Lançamento da camada 20cm de brita 01 do berço
Fonte: Arquivo Próprio, 2020

7. Envelopamento do material drenante: Após o lançamento dos 20cm de brita 01, retiram-se os grampos das laterais da vala e sobrepõem-se a manta sobre

a brita com um trespasse maior ou igual a 0,60m. Devem ser tomadas as precauções necessárias para evitar a contaminação da camada drenante com solo. A emenda deve ser grampeada com grampos em barra de ferro de 4,2mm a cada 2,00m.



Figura 6.10 Berço de Brita 01 envelopado com manta geotêxtil

Fonte: Arquivo Próprio, 2020

8. Fixação da junta elástica na ponta do tubo: Verificar se os anéis estão livres de sujeira, especialmente óleos e graxas. Limpar a face externa da ponta e a interna da bolsa do tubo, principalmente no local onde o anel será fixado. Colocar o anel no chanfro localizado na ponta do tubo, tomando as devidas precauções para evitar qualquer movimento de torção do anel durante o encaixe da ponta na bolsa.



Figura 6.11 Detalhe de fixação do anel

Fonte: <https://www.grupoartsul.com.br/produtos.html>. Acesso em: jan. 2022



Figura 6.12 Fixação prévia do anel na ponta do tubo
Fonte: Arquivo Próprio, 2020

9. Içamento e assentamento do tubo: Içar o tubo utilizando uma retroescavadeira ou equipamento equivalente. Alinhar o tubo no eixo da vala, com os filtros direcionados para baixo e a bolsa sempre voltada para montante da rede.



Figura 6.13 Içamento do tubo com filtros direcionados para baixo
Fonte: Arquivo Próprio, 2020



Figura 6.14 Alinhamento em relação ao eixo da vala
Fonte: Arquivo Próprio, 2020

10. Encaixe da ponta na bolsa: Após o alinhamento, posicionar a ponta do tubo a ser assentado junto à bolsa do tubo subsequente. Realizar o encaixe empurrando-o manualmente com o auxílio de uma alavanca, tifer ou ferramenta equivalente, sem aplicar esforços de tração, torção e compressão no anel.



Figura 6.15 Assentamento do tubo
Fonte: Arquivo Próprio, 2020



Figura 6.16 Encaixe ponta na bolsa dos tubos
Fonte: Arquivo Próprio, 2020

11. Execução do contraberço com material drenante: Colocar a manta geotêxtil de gramatura 300g/m^2 , fixada com grampos em barra de ferro com diâmetro de $4,2\text{mm}$ a cada $1,5\text{m}$ em uma das laterais, enquanto na outra lateral manter o excedente da manta sobre o tubo assentado. Lançar a brita 01 sobre a manta fixada até atingir uma altura de $0,3$ vezes o diâmetro externo do tubo. Envelopar o contraberço com um trespasse na emenda da manta igual ou maior que $0,30\text{m}$.



Figura 6.17 Execução do contraberço
Envelopado por Manta Geotêxtil
Fonte: Arquivo Próprio, 2020

12. Reaterro manual das laterais da rede: Deve ser executado com material proveniente da escavação ou importado de outras jazidas, conforme determinado pela fiscalização, nos casos em que a qualidade do material não atenda aos requisitos técnicos necessários para a preservação da qualidade do reaterro. O material utilizado deve estar livre de pedras e outros corpos estranhos. A compactação deve ser realizada de forma alternada entre as laterais da rede, manualmente, em camadas de 20cm, até atingir a primeira camada de recobrimento do tubo.

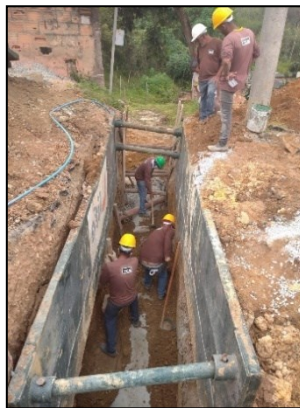


Figura 6.18 Reaterro manual das laterais ao tubo da rede

Fonte: Arquivo Próprio, 2020

13. Reaterro mecanizado da vala: Deve ser executado em camadas de 20cm, a partir da região central em direção às laterais, evitando a formação de bolsões sem compactação, o que pode causar danos estruturais, desalinhamento da rede ou afundamento do pavimento, resultando em retrabalho. (Sudecap, 2013)



Figura 6.19 Compactação mecanizada da vala

Fonte: Arquivo Próprio, 2020

14. Término da obra: Para finalizar, são executadas as recomposições de todos os tipos de pavimentos demolidos e é realizada a limpeza geral da obra.

Foram implantadas redes piloto de drenagem pluvial com sistema de recarga hídrica, com controle quantitativo e qualitativo das águas de realimentação dos lençóis freáticos, e poços de visita com dissipadores de energia incorporados em 05 locais do município.

6.2. Dissipador de energia para redes tubulares

As redes de drenagem devem ser executadas com declividades inferiores a 3%. No caso de redes localizadas em vias públicas com declividades acentuadas, devem ser utilizados dissipadores de energia, como escadas hidráulicas, com degraus de altura igual ou inferior a 50cm e patamares com largura maior ou igual a 70cm.

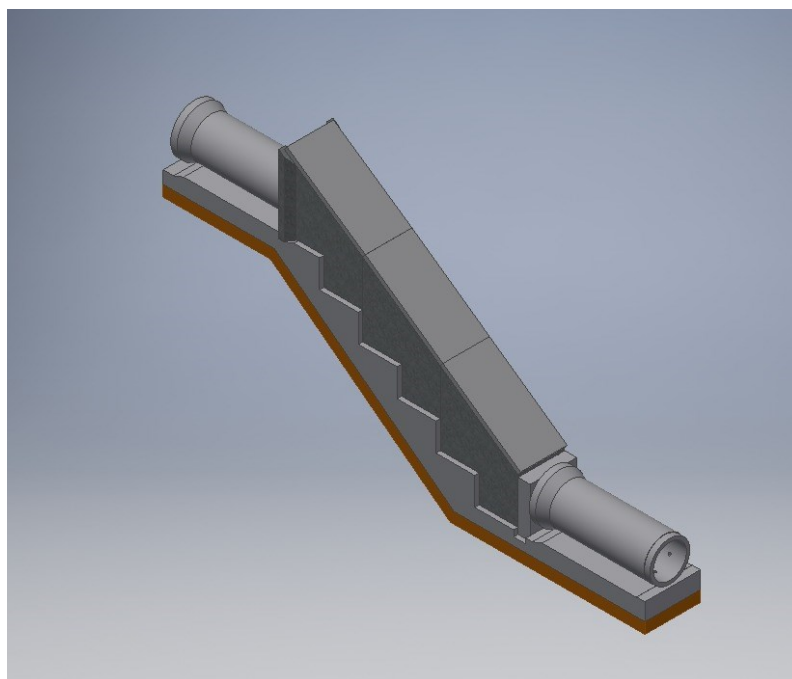


Figura 6.20 Dissipador de energia para rede de drenagem
Fonte: Arquivo Próprio, 2020

6.3. Poço de retenção e infiltração

Como solução de controle na fonte para áreas particulares, foi desenvolvido um poço de retenção e infiltração para as águas pluviais provenientes dos telhados e outras

áreas impermeabilizadas. O poço é composto por anéis pré-moldados com filtros acoplados, sendo recomendado para residências e áreas particulares construídas.

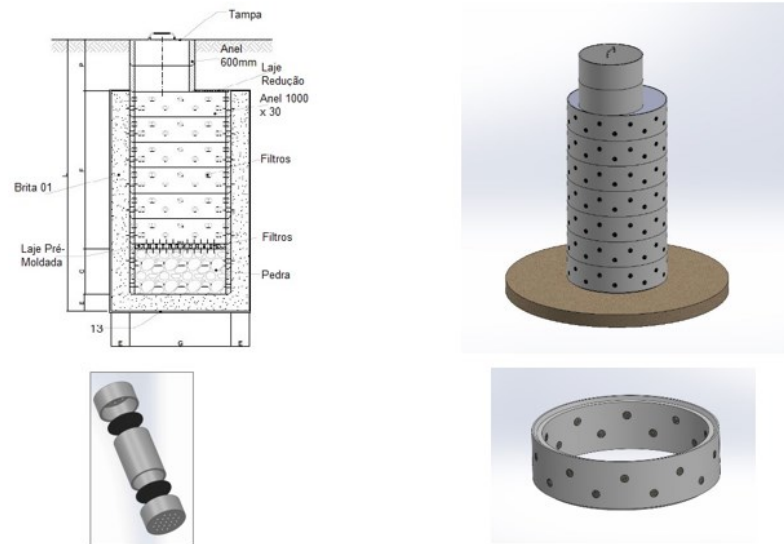


Figura 6.21 representação do poço de recarga hídrica
Fonte: arquivo próprio, 2019

O objetivo desse poço é permitir a infiltração parcial das águas pluviais no solo no perímetro urbano, de forma uniforme e com quantidade e qualidade adequadas. Isso é alcançado por meio do processo de filtragem preliminar, o que garante a restituição da recarga hídrica dos lençóis freáticos e, conseqüentemente, a manutenção do ciclo hídrico.

7. CONCLUSÃO

Após os estudos realizados, análise das observações e resultados obtidos, pode-se concluir que no município de Contagem:

- ✓ Há regiões com um alto grau de impermeabilização do solo, que chega a ultrapassar 90%;
- ✓ Algumas áreas apresentam lençóis freáticos em processo de extinção e com umidade do solo reduzida, o que vem interferindo nas soluções de engenharia para os tubulões concretados in loco. O solo com baixa umidade está absorvendo a água do concreto e produzindo a desidratação precoce, comprometendo a qualidade das fundações. Essa situação tem gerado formação de colchões de ar e consequente recalque diferencial nas fundações de imóveis existentes, resultando em rachaduras nas edificações;
- ✓ As soluções de drenagem urbana utilizadas atualmente transferem o volume de escoamento o mais rápido possível para jusante de suas microbacias, resultando no aumento do tamanho das manchas vermelhas e frequência das inundações nessas áreas;
- ✓ Nas vias, a montante dos lançamentos, os escoamentos são superficiais, o que gera uma velocidade de escoamento muito alta. As ruas possuem declividade média de 8%, e em algumas regiões, a declividade ultrapassa 60% nas áreas de declividade crítica. A presença de redes antigas somente nos fundos de vale não atende a demanda atual de escoamento das águas pluviais;
- ✓ A declividade média obtida nos talwegues e canais de lançamento das águas pluviais não ultrapassa 3%. Somado à predominância do escoamento superficial em vias com declividades acentuadas e pavimentação asfáltica, isso tem provocado o aumento das inundações;
- ✓ Todas as microbacias analisadas apresentaram ocupação do leito maior das margens dos rios por edificações e/ou vias públicas que estão sofrendo com os impactos da recorrência anual de inundações;
- ✓ É necessário estudar alternativas de medidas estruturantes para evitar a obsolescência precoce do sistema de drenagem urbana. Medidas que atuem como redutores de energia no deslocamento das águas de montante para jusante através de redes com declividades inferiores a 3%, com dissipadores

de energia intermediários para impedir os altos volumes instantâneos de água nas planícies e minimizar os riscos de inundações;

- ✓ É fundamental avaliar a viabilidade técnica, operacional e financeira para todos os projetos públicos idealizados através de análises por profissionais que conheçam profundamente a real situação do funcionamento do sistema atual, garantindo assim uma maior vida útil e eficiência do sistema de drenagem pluvial;
- ✓ Para assegurar que uma rede de drenagem implantada funcione adequadamente, é necessário realizar uma análise abrangente, considerando que cada microbacia faz parte de uma sub-bacia, que, por sua vez, faz parte de uma bacia maior. Dessa forma, todos os impactos resultantes da construção de uma obra de drenagem devem ser avaliados em todos os níveis, a fim de garantir a continuidade da eficácia do sistema.
- ✓ É essencial implementar o controle na fonte, ou seja, aqueles que geram o aumento de fluidos lançados nas vias públicas devem ser responsáveis por reter esse aumento em seus próprios terrenos, por meio de mecanismos de retenção da água com volume obrigatório para infiltração. Isso garante que a umidade adequada do solo seja mantida e que os lençóis freáticos sejam recarregados.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS). Tubos de concreto de seção circular para águas pluviais e esgotos sanitários – Requisitos e métodos de ensaio. - Procedimento. **NBR 8890** Errata 1 de Março 2008.

ASPECTOS DE DIMENSIONAMENTO DOS PROJETOS DE INFRAESTRUTURA URBANA EM REDES DE ÁGUA, ESGOTO E DRENAGEM DE ÁGUAS PLUVIAIS. Portal Tratamento de Água 2019. Disponível em <<https://www.tratamentodeagua.com.br/artigo/drenagem-urbana-aguas-pluviais/>>. Acesso em: 10 de ago. de 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, **NBR 12266**: Projeto e execução de valas para assentamento de tubulação de água, esgoto ou drenagem urbana. Rio de Janeiro, abr. 1992.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, **NBR 15645**: Execução de obras de esgoto sanitário e drenagem de águas pluviais utilizando-se tubos e aduelas de concreto. Rio de Janeiro, dez, 2008.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, NBR 8890: Tubo de concreto de seção circular para águas pluviais e esgotos sanitários - Requisitos e métodos de ensaios. Rio de Janeiro, out, 2007.

AULA DE HIDROLOGIA DO PROFESSOR LUCAS SANT'ANA – Método Racional - Hidrologia e Drenagem Urbana – escoamento Superficial disponível <https://www.slideshare.net/lukazoxboy/aula-hidrologia-mtodo-racional>. Acesso em: jan. 2022

BAPTISTA, M. B.; NASCIMENTO, N. O.; BARRAUD, S. Técnicas compensatórias em drenagem urbana. Porto Alegre: ABRH, 2005 BARBOSA, Luís Carlos. O ensino de cálculo nas engenharias. **Revista de Produção**, São Paulo, v.18, ano 3, p. 12-49, jul. 2006.

BRASIL. Saneamento básico. Lei Federal N. 11.445, de 05 de janeiro de 2007: **Estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico**. Brasília: DOU:2007.

BUETTNER, Miriam Greiffo Von. **Sistema de captação e reaproveitamento das águas pluviais**. Curitiba, 94 p. Monografia de especialização em Gestão Técnica do Meio Urbano, Pontifícia Universidade Católica do Paraná Université de Technologie de Compiègne France, 1944.

CANHOLI, Aluísio Pardo. **Drenagem Urbana e Controle de Enchentes**. 4 ed. Oficina de Textos, 2015.

DRUMOND, P.de. P. **Estudo da influência da reservação de águas pluviais em lotes no município de Belo Horizonte, MG**: Avaliação hidráulica e hidrológica. 2012.

GUTIERREZ, L. A. R. **Avaliação da qualidade da água de chuva e de um sistema filtro-vala-trincheira de infiltração no tratamento do escoamento superficial direto predial em escala real em São Carlos – SP**. 198 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana) – Universidade Federal de São Carlos. São Carlos: UFSCar, 2011.

GUTIERREZ, Adriana Idalina Rojas; RAMOS, Ivanete Carpes. **Guia de Técnicas Sustentáveis em Drenagem Urbana**. 30 p. Monografia de Pós-graduação em Gestão da Drenagem Urbana, da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, 2017.

NAÇÕES UNIDAS BRASIL. Página da internet. Disponível em: <https://nacoesunidas.org/pos2015/> . Acesso em 27/07/2021.

OTTONI, Adacto Benedicto; ROSIN, Jeane Ap. R. de Godoy; FOLONI, Fernanda Moço (orgs). **Drenagem Urbana: Soluções Alternativas Sustentáveis.** 1 ed. – Tupã: ANAP, 2018.

REIS, R. P. A.; OLIVEIRA, L. H.; SALES, M. M. **Sistemas de drenagem na fonte por poços de infiltração de águas pluviais.** *Ambiente Construído, Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído.* Porto Alegre, v. 8, n. 2, p. 99-117, abr./jun. 2008.

SUPERINTENDÊNCIA DE DESENVOLVIMENTO DA CAPITAL. **Caderno de Encargos da Sudecap.** 3.ed. Belo Horizonte, dez. 2008.

TUCCI, C. E. M. **Hidrologia: Ciência e Aplicação.** 4. ed. Porto Alegre: UFRGS/ABRH, 2014.

TUCCI, Carlos E. M. **Controle de enchentes urbanas. Seminário: Hidráulica computacional aplicada a problemas de drenagem urbana.** São Paulo São Paulo. 6p. 1994.

TUCCI, C. E. M. **Água no meio urbano.** Capítulo 14 do Livro Água Doce. UFRGS. 1997.

- (1) Adaptação do texto: A Pampulha é uma Bacia Hidrográfica em BH e Contagem, disponível <http://www.mariliacampos.com.br/secao/>. Acesso em: jan. 2022
- (2) IDF extraído da monografia: Dimensionamento de Bacia de Detenção na Sub-bacia do Ribeirão Arrudas, na Região Oeste de Belo Horizonte Utilizando o Modelo SWMM, disponível <https://www.dcta.cefetmg.br/wp-content/uploads/sites/21/2019/03/DANIEL-TEIXEIRA-REZENDE-COELHO.pdf>. Acesso em: jan. 2019