

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
Escola de Arquitetura
Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo

Leonardo Bicalho Polizzi

ÁGUAS PLUVIAIS NA CIDADE:
Proposta de aplicação de medidas compensatórias difusas na escala da sub-bacia do
Cercadinho em Belo Horizonte

Belo Horizonte, MG
2023

Leonardo Bicalho Polizzi

ÁGUAS PLUVIAIS NA CIDADE:

**Proposta de aplicação de medidas compensatórias difusas na escala da sub-bacia do
Cercadinho em Belo Horizonte**

Tese apresentada ao Programa de Pós-graduação
em Arquitetura e Urbanismo da Escola de
Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal de
Minas Gerais como requisito parcial à obtenção do
Título de Doutor em Arquitetura e Urbanismo

Área de Concentração: Teoria, Produção e
Experiência do Espaço.

Orientador: Roberto E. dos Santos

Belo Horizonte, MG

Escola de Arquitetura UFMG

2023

FICHA CATALOGRÁFICA

P766a Polizzi, Leonardo Bicalho.
Águas pluviais na cidade [manuscrito] : proposta de aplicação de medidas compensatórias difusas na escala da sub-bacia do Cercadinho em Belo Horizonte / Leonardo Bicalho Polizzi. – 2023.
181, [9] f. : il.

Orientador: Roberto E. dos Santos.

Tese (doutorado) – Universidade Federal de Minas Gerais, Escola de Arquitetura.

1. Planejamento urbano – Teses. 2. Chuvas – Teses. 3. Água – escoamento – Teses. 4. Drenagem – Teses. 5. Belo Horizonte (MG) – Teses. I. Santos, Roberto E. dos. II. Universidade Federal de Minas Gerais. Escola de Arquitetura. III. Título.

CDD 627.54



FOLHA DE APROVAÇÃO

Águas pluviais na cidade. Proposta de aplicação de medidas compensatórias difusas na escala da sub-bacia do Cercadinho em Belo Horizonte

LEONARDO BICALHO POLIZZI

Tese submetida à Comissão Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo da Escola de Arquitetura da UFMG como requisito para obtenção do grau de Doutor em Arquitetura e Urbanismo, área de concentração: Teoria, produção e experiência do espaço.

Aprovada em 29 de agosto de 2023, pela Comissão constituída pelos membros:

Roberto Eustaaquio dos Santos:27642755600
Digitally signed by Roberto Eustaaquio dos Santos:27642755600
Date: 2023.08.29 06:46:42 -03'00'

Prof. Dr. Roberto Eustaáquio dos Santos - Orientador
EA-UFMG

Rogério Palhares Zschaber de Araujo
Assinado de forma digital por Rogério Palhares Zschaber de Araujo
Dados: 2023.08.29 15:31:16 -03'00'

Prof. Dr. Rogério Palhares Zschaber de Araújo
EA-UFMG

Margarete Maria de Araujo Silva:55903509649
Assinado de forma digital por Margarete Maria de Araujo Silva:55903509649
Dados: 2023.09.01 16:10:58 -03'00'

Profa. Dra. Margarete Maria de Araújo Silva
EA-UFMG

Prof. Dr. Nilo de Oliveira Nascimento
EE-UFMG



Documento assinado digitalmente
NILO DE OLIVEIRA NASCIMENTO
Data: 09/09/2023 02:13:53-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>



Documento assinado digitalmente
LIZA MARIA SOUZA DE ANDRADE
Data: 09/09/2023 09:57:58-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Profa. Dra. Liza Maria Souza de Andrade
UnB



Documento assinado digitalmente
VIVIANE ZERLOTINI DA SILVA
Data: 12/09/2023 13:40:12-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Profa. Dra. Viviane Zerlotini da Silva
PUC MG

Belo Horizonte, 29 de agosto de 2023.

AGRADECIMENTOS

Gostaria de iniciar agradecendo ao Projeto Águas na Cidade. Obrigado a toda a equipe do projeto, alunos da graduação, colegas da pós-graduação, escolas da sub-bacia do Cercadinho que participaram do trabalho, e principalmente ao meu orientador Roberto E. dos Santos. Obrigado pelos ensinamentos, críticas construtivas e auxílio na construção da pesquisa. Acredito que um dos pontos mais importantes para o trabalho foi participar do Projeto.

Obrigado a UFMG, NPGAU e ao grupo de pesquisa MOM. Aos colegas e professores que tive contato ao longo da pós-graduação e contribuíram para o desenvolvimento da tese. Agradecimento especial aos professores que participaram da banca intermediária e que trouxeram importantes contribuições para a revisão e aprimoramento do trabalho, professor Nilo Nascimento, Rogério Palhares e Leta. Muito obrigado a todos, em especial a Leta, pelos ensinamentos desde os tempos da graduação na PUC Minas.

Obrigado a minha família e amigos pelo apoio e incentivo.

Os reflexos da urbanização intensa sobre os processos hidrológicos têm evidenciado os limites das soluções tradicionais de drenagem urbana. (NASCIMENTO; BAPTISTA, 2009, p.151).



O verde nasce na sarjeta impermeável. Mesmo sem querer aponta possíveis novos rumos para o manejo das águas pluviais na cidade.

RESUMO

Com o crescimento urbano e a excessiva impermeabilização do solo um dos grandes problemas com o qual nos deparamos hoje está relacionado à água, ou seja, às inundações nas regiões de fundo de vale e à poluição da grande maioria dos córregos urbanos. As águas, que antes eram percebidas como elementos essenciais para as cidades, passam a ser interpretadas como problema. Em razão do aumento da ocorrência de impactos negativos e desastres começou a ganhar força nas últimas décadas estudos que buscam ampliar o conhecimento sobre o tema e ações que buscam mitigar impactos da urbanização sobre o ciclo hidrológico por meio da adoção de técnicas compensatórias para o manejo das águas pluviais, medidas de controle que buscam prevenir ou minimizar os impactos das inundações na cidade. Partindo do estudo das diferentes soluções aplicadas para a drenagem urbana, análise do lugar e contato com a comunidade por meio de práticas pedagógicas realizadas junto a escolas do ensino fundamental e médio, a pesquisa propõe construir ações direcionadas à implantação de medidas compensatórias difusas (MCD) em vias urbanas da sub-bacia hidrográfica do Cercadinho, sub-bacia que integra a bacia do ribeirão Arrudas, na região Oeste de Belo Horizonte. O presente estudo que alia pesquisa, extensão e graduação foi estruturado a partir de três premissas centrais: estudo das MCD e sistematização de parâmetros que condicionam a aplicação das soluções; ações pedagógicas; e definição de pequenas bacias hidrográficas (circunstâncias) como unidades de planejamento. Os resultados da pesquisa são apresentados por meio de desenhos de MCD aplicadas a vias urbanas e simulações hidrológicas. Os desenhos tem como objetivo apresentar possibilidades de implantação de tais técnicas no contexto urbano e contribuir para ações de educação ambiental urbana desenvolvidas pelo Projeto Águas na Cidade. As simulações hidrológicas buscam mensurar e avaliar a redução dos impactos na área de estudo. A definição de pequenas bacias hidrográficas como unidade de planejamento visa estruturar a implantação das medidas de forma distribuída nas bacias, partindo das cabeceiras, de montante para jusante.

Palavras-chave: manejo das águas pluviais; drenagem urbana; técnicas compensatórias; pedagogia urbana; sub-bacia do Cercadinho.

ABSTRACT

With urban growth and excessive soil sealing, one of the major problems we face today is related to water, that is, flooding in valley bottom areas and the pollution of the vast majority of urban streams. Water, which used to be seen as an essential element for cities, is now seen as a problem. Due to the increase in the occurrence of negative impacts and disasters, studies have begun to increase in recent decades that seek to expand knowledge on the subject and actions that seek to mitigate the impacts of urbanization on the hydrological cycle by adopting compensatory techniques for managing rainwater, control measures that seek to prevent or minimize the impacts of flooding in the city. Based on the study of the different solutions applied to urban drainage, analysis of the location and contact with the community through pedagogical practices carried out with primary and secondary schools, the research proposes to build actions aimed at implementing diffuse compensatory measures (MCD) on urban roads in the Cercadinho sub-basin. This sub-basin is part of the Arrudas river basin, in the western region of Belo Horizonte. This study, which combines research, extension and undergraduate studies, was structured around three central premises: the study of MCDs and the systematization of parameters that condition the application of solutions; pedagogical actions; and the definition of small watersheds (circumstances) as planning units. The results of the research are presented in the form of MCD designs applied to urban roads and hydrological simulations. The designs aim to present possibilities for implementing such techniques in the urban context and to contribute to urban environmental education actions developed by the Waters in the City Project. The hydrological simulations seek to measure and evaluate the reduction of impacts in the study area. The definition of small watersheds as a planning unit aims to structure the implementation of measures in a distributed way in the watersheds, starting from the headwaters, from upstream to downstream.

Key words: rainwater management; urban drainage; compensatory techniques; urban pedagogy; Cercadinho sub-basin.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

| | |
|--|----|
| Figura 1: Diagrama com etapas da pesquisa | 22 |
| Figura 2: croqui linha do tempo da drenagem urbana | 28 |
| Figura 3: Plano de Belo Horizonte sobre o traçado do antigo arraial de Curral Del Rei | 30 |
| Figura 4: Plantas de Belo Horizonte: Aarão Reis x Saturnino de Brito | 31 |
| Figura 5: Intervenções para captação, armazenamento e infiltração da água | 35 |
| Figura 6: Diagrama estrutural da cidade..... | 38 |
| Figura 7: Diagrama proposto para a cidade | 40 |
| Figura 8: Ciclo Hidrológico na natureza e na cidade impermeabilizada | 41 |
| Figura 9: Bacia hidrográfica, em destaque a divisão da bacia em zonas ou partes | 43 |
| Figura 10: Perfil esquemático das enchentes e inundações..... | 47 |
| Figura 11: Esquema ilustrativo do sistema clássico e alternativo de drenagem urbana..... | 53 |
| Figura 12: Classificação das técnicas compensatórias de drenagem urbana | 55 |
| Figura 13: Tabela de técnicas compensatórias | 58 |
| Figura 14: Bacias de retenção em Belo Horizonte..... | 62 |
| Figura 15: execução de trincheira e vala de retenção no Campus da UFMG..... | 65 |
| Figura 16: trincheira de infiltração e execução de boca de lobo permeável em rua | 66 |
| Figura 17: Jardim de chuva no Parque Lagoa do Nado em Belo Horizonte | 68 |
| Figura 18: Corte esquemático de recuperação de voçoroca com entulho e colar protetor para proteção das regiões de fundo de vale..... | 69 |
| Figura 19: Aterro de resíduos (Belo Horizonte) e caixa drenante de gabião (condomínio em Nova Lima) | 70 |
| Figura 20: Parâmetros relacionados a instalação de caixa de captação em Belo Horizonte | 72 |
| Figura 21: Planilha PBH para cálculo dos dispositivos de drenagem urbana..... | 72 |
| Figura 22: Local de implantação e seleção de técnicas compensatórias | 78 |
| Figura 23: Exercício de seleção 1 (eliminação) – Lotes | 80 |
| Figura 24: Exercício de seleção 1 (eliminação) – Estacionamentos..... | 80 |

| | |
|---|-----|
| Figura 25: Exercício de seleção 1 (eliminação) – Ruas..... | 81 |
| Figura 26: Exercício de seleção 1 (eliminação) – Fundo de vale | 81 |
| Figura 27: tabela com critérios e técnicas - restrições a implantação e a operação das técnicas..... | 83 |
| Figura 28: Tela do programa TecAlt | 84 |
| Figura 29: Tabela com as técnicas classificadas a partir de critérios e parâmetros..... | 87 |
| Figura 30: Tabela com às técnicas compensatórias organizadas pelo local de implantação e funcionamento (detenção/infiltração) | 88 |
| Figura 31: Representação do fluxo de escoamento da água | 90 |
| Figura 32: Aplicação de técnica LID no SWMM..... | 91 |
| Figura 33: Em qual bacia hidrográfica você mora?..... | 94 |
| Figura 34: Diagrama ilustrativo Projeto Águas na cidade | 95 |
| Figura 35: Kit Bacias Projeto Águas na cidade..... | 96 |
| Figura 36: Material Mostra Córregos Vivos – Bacia do Cercadinho | 97 |
| Figura 37: Encontros escola Manoel Casa Santa – Bacia do Cercadinho..... | 98 |
| Figura 38: Encontros na escola Professor Efigênia Vidigal – sub-bacia do Cercadinho | 100 |
| Figura 39: Visita ao córrego e encontros na escola Professor Efigênia Vidigal..... | 100 |
| Figura 40: Desenho de MCD e perspectivas de ruas com as simulações de implantação | 102 |
| Figura 41: Perspectivas de ruas com simulações de implantação de MCD | 103 |
| Figura 42: Diagrama com etapas da pesquisa | 104 |
| Figura 43: Delimitação da sub-bacia Cercadinho e bairros | 106 |
| Figura 44: Vista panorâmica da Fazenda do Cercado..... | 108 |
| Figura 45: Planta da Fazenda Cercadinho em 1894 | 109 |
| Figura 46: Montagem Cadernetas 337 e 338 da Comissão Construtora da Nova Capital (CCNC)..... | 110 |
| Figura 47: Sequência de mapas retratando a evolução da mancha de ocupação na sub-bacia do Cercadinho e em Belo Horizonte | 111 |
| Figura 48: Dados para levantamento..... | 113 |

| | |
|--|-----|
| Figura 49: Mapa de altimetria da sub-bacia do Cercadinho | 114 |
| Figura 50: Mapas divisões da sub-bacia em microbacias e circunstâncias..... | 115 |
| Figura 51: Mapa geologia sub-bacia do Cercadinho | 116 |
| Figura 52: Mapa de predisposição a riscos na sub-bacia do Cercadinho..... | 117 |
| Figura 53: Mapa de áreas verdes da sub-bacia do Cercadinho | 118 |
| Figura 54: Mapa de declividade das vias na sub-bacia do Cercadinho..... | 119 |
| Figura 55: Gráfico contendo quantidade de vias dentro de cada intervalo..... | 120 |
| Figura 56: Imagens e mapa de pavimentação vias e rede de esgoto da sub-bacia do Cercadinho..... | 121 |
| Figura 57: Vista aérea e fotomontagem com estudo da bacia de retenção para implantação no córrego do Cercadinho | 122 |
| Figura 58: Mapa de uso e ocupação na sub-bacia do Cercadinho..... | 124 |
| Figura 59: Fotos que retratam ações de preservação e cuidado com o lugar | 125 |
| Figura 60: tabela com critérios e parâmetros para a sub-bacia do Cercadinho..... | 126 |
| Figura 61: Mapa síntese da sub-bacia do Cercadinho | 128 |
| Figura 62: Foto da sub-bacia do Cercadinho – Estação ecológica do Cercadinho | 128 |
| Figura 63: Mapa sub-bacia com demarcação das circunstâncias | 130 |
| Figura 64: Mapa circunstâncias da escola EMPEV | 133 |
| Figura 65: Desenho de tipologias MCD jardins de chuva..... | 135 |
| Figura 66: Mapa declividade das vias na circunstância EMPEV | 138 |
| Figura 67: Mapa com as vias selecionadas para implantação de MCD pelo critério da declividade..... | 138 |
| Figura 68: Mapas com informações da circunstância..... | 139 |
| Figura 69: Mapas com identificação dos tipos de vias na circunstância e informações relacionadas ao tipo A - Avenidas..... | 140 |
| Figura 70: Informações dos tipos de vias B, C e D presentes na circunstância | 141 |
| Figura 71: Tipos de jardins de chuva..... | 142 |
| Figura 72: Tipos de jardins de chuva e tipos de vias na circunstância da escola EMPEV | 144 |

| | |
|---|-----|
| Figura 73: Cruzamento preliminar de dados entre os tipos de jardins de chuva e os tipos de vias | 144 |
| Figura 74: Duas fichas elaborada pelos estudantes para a pesquisa de obras análogas | 145 |
| Figura 75: Tipo trincheira linear no passeio | 147 |
| Figura 76: Tipo vaga paralelo ocupando duas vagas | 147 |
| Figura 77: Tipo vaga acoplada a outro módulo triangular menor | 148 |
| Figura 78: Prancha contendo o desenho dos tipos de jardins de chuva | 149 |
| Figura 79: Prancha com o desenho dos jardins de chuva implantação em vias na circunstância EMPEV | 151 |
| Figura 80: Prancha com desenhos, quantificação e implantação de jardins de chuva na circunstância EMPEV | 152 |
| Figura 80: Prancha com desenhos, quantificação e implantação de jardins de chuva na circunstância EMPEV | 153 |
| Figura 82: Planilha geral com dados da circunstância EMPEV e MCD | 155 |
| Figura 83: Planilha geral com dados das MCD para vias e lotes | 157 |
| Figura 84: Mapa - estação meteorológica do Cercadinho em destaque..... | 160 |
| Figura 85: Notícia - evento que ocorreu no dia 07/12/2022, dados da chuva inseridos no SWMM..... | 161 |
| Figura 86: Mapa e dados da circunstância - Autocad e QGiz..... | 162 |
| Figura 87: Resultados comparativos das simulações dos cenários | 164 |
| Figura 88: Gráficos simulação cenários..... | 165 |
| Figura 89: Divisão da circunstância em microcircunstância | 168 |
| Figura 90: Mapa microcircunstância, maquetes circunstância e escola EMPEV..... | 169 |

LISTA DE GRÁFICOS

| | |
|---|----|
| Gráfico 1: Pergunta 1 da pesquisa relacionada as técnicas compensatórias..... | 74 |
| Gráfico 2: Pergunta 2 da pesquisa relacionada as técnicas compensatórias..... | 75 |
| Gráfico 3: Pergunta 3 da pesquisa relacionada as técnicas compensatórias..... | 76 |
| Gráfico 4: Pergunta 4 da pesquisa relacionada as técnicas compensatórias..... | 76 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|--|-----|
| Tabela 1: Resultados simulação cenário 0 | 162 |
| Tabela 2: Resultados simulação cenário 1 | 163 |
| Tabela 3: Resultados simulação cenário 2 | 163 |
| Tabela 4: Resultados simulação cenário 3 | 163 |

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANA – Agência Nacional das Águas
APP - Área de Preservação Permanente
BMPs – *Best Management Practices*
BH – Belo Horizonte
BHMap – Mapa oficial da Prefeitura Municipal de Belo Horizonte
BHTrans - Empresa de Transportes e Trânsito de Belo Horizonte S/A
CCNC – Cadernetas da Comissão Construtora da Nova Capital
CEMIG - Companhia Energética de Minas Gerais
COMAM - Conselho Municipal de Meio Ambiente
COPASA - Companhia de Saneamento de Minas Gerais
DRENURBS – Programa de Recuperação Ambiental e Saneamento de Fundos de Vale e dos Córregos em Leito Natural de Belo Horizonte
EMEI – Escola Municipal de Educação Infantil
EMPEPI – Escola Municipal Professor Edson Pisani
EMPEV – Escola Municipal Professor Efigênia Vidigal
ETE – Estação de Tratamento de Esgoto
GR - Grupo de Referência
IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas
IPTU – Imposto sobre a Propriedade Predial e Territorial Urbana
IUWM – *Integrated Urban Water Management*
LID - *Low Impact Development*
LPOUS – Lei de Parcelamento, Ocupação e Uso do Solo
MCD – Medidas Compensatórias Difusas
MOM – Morar de Outras Maneiras (grupo de pesquisa)
NAC - Núcleo de Alerta de Chuvas
ODC - Outorga Onerosa do Direito de Construir
ONG – Organização Não Governamental
ONU – Organização das Nações Unidas
OP – Orçamento Participativo
PAC – Programa de Aceleração do Crescimento
PBH – Prefeitura Municipal de Belo Horizonte
PDDUBH - Plano Diretor de Drenagem Urbana de Belo Horizonte

PEAR – Programa Estrutural em Áreas de Risco

PGE – Planos Globais Específicos

PRODABEL – Empresa de Informática e Informação do Município de Belo Horizonte

PUC Minas – Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais

RMBH – Região Metropolitana de Belo Horizonte

SIG - Sistema de Informação Geográfica

SUDECAP – Superintendência do Desenvolvimento da Capital

TDC - Transferência do Direito de Construir

TVA - Trama Verde e Azul

UFMG – Universidade Federal de Minas Gerais

UMEI – Unidades Municipais de Educação Infantil

URBEL – Companhia Urbanizadora de Belo Horizonte

USEPA - *United States Environmental Protection Agency*

WSUD - *Water Sensitive Urban Design*

ZEIS – Zona de Especial Interesse Social

SUMÁRIO

| | |
|--|-----------|
| 1. INTRODUÇÃO | 18 |
| 2. AS CIDADES E AS ÁGUAS | 27 |
| 2.1 As cidades e as águas na história – higienismo ao momento atual..... | 27 |
| 2.1.1 Sistemas modernos de infraestrutura – higienismo (1800/1850 – 1960)..... | 29 |
| 2.1.2 Higienismo racional e movimento ambiental (1960 – 2000)..... | 32 |
| 2.1.3 Higienismo tardio e hidrologia urbana (2000 – 2020)..... | 36 |
| 2.2 Água, cidade e infraestrutura urbana..... | 37 |
| 2.2.1 Infraestrutura geoambiental | 40 |
| 2.2.2 Infraestrutura – drenagem urbana clássica | 44 |
| 2.2.3 Urbanização e impactos ambientais..... | 46 |
| 3. MEDIDAS COMPENSATÓRIAS DIFUSAS (MCD) PARA O MANEJO DAS ÁGUAS PLUVIAIS NA CIDADE | 50 |
| 3.1 Medidas compensatórias difusas para o manejo das águas pluviais | 50 |
| 3.1.1 Planos e programas relacionados ao manejo das águas pluviais em Belo Horizonte e região metropolitana | 59 |
| 3.1.2 Pesquisas e experiências de aplicação das técnicas compensatórias em Belo Horizonte e região metropolitana | 64 |
| 3.1.3 Plano Diretor de Belo Horizonte – instrumentos de controle ambiental | 70 |
| 3.2 Técnicas compensatórias associadas ao local de implantação..... | 77 |
| 3.2.1 Sistematização e organização de parâmetros e critérios de implantação..... | 85 |
| 3.3 Modelagem hidrológica para a drenagem | 88 |
| 4. PEDAGOGIA URBANA – EDUCAÇÃO PELAS ÁGUAS | 93 |
| 4.1 Projeto Águas na Cidade - construção de um diálogo com as escolas | 95 |
| 4.2 Cartilhas e manuais – projeto como instrumento de informação | 101 |

| | |
|---|------------|
| 5. PROPOSTA DE ESTUDO DE CASO NA SUB-BACIA DO CERCADINHO | 104 |
| 5.1 Estudo de caso na sub-bacia do Cercadinho | 106 |
| 5.1.1 Cercadinho na história | 107 |
| 5.1.2 Leitura do lugar – sub-bacia do Cercadinho..... | 112 |
| 5.2 Síntese - proposta para a escala “macro” e “microlocal” | 125 |
| 6. PROPOSTA MCD JARDINS DE CHUVA PARA A CIRCUNSTÂNCIA EMPEV..... | 132 |
| 6.1 Proposta de MCD para a circunstância EMPEV e desenho de jardins de chuva para a escala da rua | 132 |
| 6.1.1 Levantamento das características das vias urbanas..... | 136 |
| 6.1.2 Definição e seleção de vias para implantação de MCD jardins de chuva | 138 |
| 6.1.3 Levantamento dos tipos de MCD jardins de chuva para vias urbanas..... | 141 |
| 6.1.4 Exercício de desenho integrado a disciplinas da graduação..... | 142 |
| 6.1.5 Quantificação de áreas das MCD jardins de chuva e pisos drenantes | 154 |
| 6.2 Simulação hidrológica - avaliação do escoamento superficial e infiltração da água..... | 157 |
| 6.3 Ações estruturadas a partir de microcircunstâncias – de montante para jusante..... | 166 |
| CONCLUSÃO..... | 171 |
| REFERÊNCIAS | 174 |
| APÊNDICE | 180 |

1. INTRODUÇÃO

A relação entre a cidade e as águas é hoje satisfatória? A julgar pelos problemas cotidianos ligados à poluição e à aceleração de desastres recorrentes, a resposta a essa questão é decerto negativa. O modelo de urbanização adotado na maioria das cidades brasileiras promoveu um afastamento da natureza, perceptível ao analisar o tratamento dado aos cursos d'água no meio urbano, escondidos, tamponados para abrir espaço para os carros, ou sendo utilizados como locais para lançamento de entulho, lixo e esgoto.

Com o crescimento das cidades e a excessiva impermeabilização do solo é possível afirmar que um dos grandes problemas urbanos hoje está vinculado a relação pouco harmoniosa das cidades com a água, ou seja, as inundações e a poluição da grande maioria dos rios urbanos. Junto com as águas, o carregamento dos solos e os processos de erosão e assoreamento também potencializam impactos negativos nas regiões à jusante. As águas, que antes eram entendidas como elementos essenciais para as cidades, hoje são interpretadas como problema.

Na medida que as cidades brasileiras crescem no século XX os conflitos se intensificam e o agravamento da relação entre cidade e natureza se torna mais perceptível. Não é possível destacar um único modelo de ocupação como causa do problema, tanto processos de ocupação informal conformados pela ausência ou instalação parcial da infraestrutura; quanto a ocupação formal pautada no desenho urbano e na engenharia sanitária estão associados aos problemas ambientais urbanos das cidades. A produção capitalista do espaço urbano e a dificuldade de acesso à terra com infraestrutura fez com que a cidade ocupasse diferentes áreas com ruas e construções, inclusive, regiões de cabeceiras junto a nascentes, e fundos de vale junto as várzeas dos córregos.

A consolidação do transporte individual motorizado moldou as cidades para receber carros, e nesse contexto as várzeas dos cursos d'água também foram incorporadas ao sistema viário por meio das avenidas sanitárias. As ruas escondem as águas, transformam os córregos em parte da rede de infraestrutura urbana da cidade. De áreas de lazer e espaços importantes para o equilíbrio ambiental das cidades, os córregos e suas margens passam a ser entendidos como parte do sistema de infraestrutura urbana, como locais de passagem e “não” lugares (de apropriação).

Apesar de perceptível nos fundos de vale não é apenas junto dos córregos que estão circunscritos os problemas relacionados a água, mas na cidade como um todo. A água é um

elemento que atua em todo território, percorrendo áreas urbanizadas e áreas precárias de infraestrutura, topos de morro, encostas e áreas a jusante nas regiões de fundo de vale. Um ponto que chama atenção é que os problemas das inundações, por exemplo, não estão relacionados a ausência de infraestrutura urbana e redes de drenagem; pelo contrário, hoje o problema ocorre em áreas com infraestrutura urbana instalada.

Em razão do aumento da ocorrência de impactos e de uma visão que busca uma diferente relação com a natureza é que começou a ganhar força nas últimas décadas um olhar ambiental para as cidades. Da mesma forma que os problemas são complexos, as soluções também não são simples pois envolvem diferentes escalas e processos. O desenho ambiental urbano deve conciliar questões sociais e econômicas com a preservação do meio ambiente, deve abrir espaço para outras formas de estruturar o crescimento urbano, e acima de tudo, buscar uma reconciliação entre homem e natureza.

Crescimento desordenado, inundações, diminuição das áreas verdes, aumento da poluição, entre outros problemas, reforçam a necessidade de mudança, de repensar as cidades a partir de uma visão que integre meio natural, cidade e moradores. A concepção das construções como objetos isolados se adapta muito bem às exigências de uma produção massificada, mas se mostra pouco funcional nas interações com a natureza (CARVALHO, 1999).

A cidade deve ser entendida a partir de uma visão sistêmica que incorpora espaço construído e lugar, infraestrutura geológica, infraestrutura urbana, edificações e pessoas. Integração e conexão são questões fundamentais para o fluxo das águas e pessoas na cidade (HERZOG; ROSA, 2010). Sendo a água um dos pontos centrais da pesquisa, enumero aqui algumas perguntas iniciais que orientaram essa investigação: como as cidades se relacionam com as águas pluviais? Quando chove como se dá o caminhamento das águas pluviais na cidade? Por que os problemas relacionados às inundações têm se agravado tanto?

As perguntas destacadas acima abrem questionamentos importantes para o estudo de alternativas para o manejo das águas pluviais, ou seja, para ampliar o debate sobre outros modos de produção e possíveis soluções para tratar ou minimizar o problema das inundações nas cidades. Ações que possam ser articuladas pela população a partir da escala microlocal.

As soluções alternativas para a drenagem urbana surgem como um contraponto à solução clássica que trabalha a partir da concentração e direcionamento das águas pluviais em canais impermeabilizados até o lançamento final em um curso d'água. Com o crescimento urbano e a excessiva impermeabilização do solo o sistema clássico de drenagem passa a receber volumes cada vez maiores de água agravando o problema das inundações com os picos de chuva. Ao lançar grandes volumes de água nas regiões a jusante o problema é potencializado pelo próprio sistema de infraestrutura urbana. Assim, cria-se um ciclo de resolver problemas que são criados pelo próprio sistema.

Com o objetivo de reduzir os impactos das inundações e reconectar as cidades com a natureza começam a ganhar espaço propostas alternativas de manejo das águas pluviais. As soluções alternativas também são conhecidas como técnicas compensatórias pois são medidas que tentam compensar ou conviver com as inundações nas cidades (TUCCI, 2012), são técnicas que buscam reter e infiltrar a água no solo. No presente trabalho as técnicas alternativas foram definidas como medidas compensatórias difusas (MCD). Como exemplo de MCD para manejo das águas pluviais, temos: jardins-de-chuva, biovaletas, coberturas verdes, pisos drenantes, aterros diques, bacias de infiltração e retenção, entre outras propostas.

A incorporação das medidas compensatórias à infraestrutura da cidade busca melhorar a qualidade ambiental das áreas urbanas e ampliar a infiltração e retenção das águas das chuvas no local onde a água atinge o solo. As MCD para manejo das águas pluviais partem de uma diferente percepção, que entende a infraestrutura como um sistema integrado, uma rede multifuncional que integra vegetação e água pluvial com os espaços da cidade, ruas, áreas livres e construções. Para além das águas e áreas verdes deve-se incorporar também a infraestrutura geológica à rede multifuncional, substituindo a ideia da infraestrutura convencional pelo conceito de cidade geossuportada (CARVALHO, 1999), onde as cidades são interpretadas como camadas que estão em constante interação. Não é apenas criar uma área verde na cidade, é construir relações entre as áreas verdes, águas, solo e edificações, integrando processos naturais à estrutura urbana.

Na pesquisa atual o estudo das alternativas técnicas para manejo das águas pluviais e o redesenho ambiental urbano leva em consideração o conceito de cidade geossuportada (CARVALHO, 1999), as bacias e microbacias hidrográficas como unidade de planejamento, e a educação ambiental como um ponto importante para construir estratégias de ação articuladas com a

comunidade (SANTOS et al., 2017). O trabalho ambiental pedagógico é uma ação desenvolvida pelo Projeto Águas na Cidade do grupo de pesquisa MOM-UFMG¹.

Assim, a pesquisa sobre as MCD é construída por meio da articulação entre o estudo de alternativas técnicas e ações educacionais junto a população de uma bacia hidrográfica da cidade Belo Horizonte. Para o presente estudo defini a sub-bacia hidrográfica do córrego do Cercadinho na região Oeste de Belo Horizonte como área de estudo. A sub-bacia do Cercadinho tornou-se objeto de pesquisa por apresentar um grande potencial de recuperação, com córregos em leito natural e matas, em oposição à paisagem urbana predominante marcada por córregos tamponados. Apesar disso, a região sofre com problemas comuns ao restante da cidade, como inundações, poluição dos córregos e a ocupação irregular de suas margens, além de estar fortemente ameaçada pela expansão imobiliária.

Para o estudo de caso na sub-bacia do Cercadinho três pontos centrais orientaram o trabalho: (1) Técnico – Drenagem; (2) Ambiental – Pedagógico; (3) Bacia hidrográfica – escala local de planejamento. Tendo em vista que estudos hidrológicos em nível macro comprovam a eficiência das medidas compensatórias difusas², optei por aprofundar no estudo das técnicas em escala microlocal. Assim, propus desenvolver a pesquisa articulando os pontos destacados anteriormente da seguinte forma: (1) Aspectos técnicos, desenho de medidas compensatórias difusas (MCD) de manejo de águas pluviais para as vias urbanas, quantificação, e avaliação da eficiência das MCD para retenção, detenção e infiltração; (2) Aspectos ambientais-pedagógicos, desenvolvimento de ações pedagógicas e produção de materiais didáticos com o intuito de envolver a comunidade para a construção de soluções coletivas; (3) Consideração da bacia hidrográfica e microbacias como unidade de planejamento de modo a ampliar o debate com a população, cuja adesão à proposta é imprescindível para a implementação das já citadas medidas. O diagrama a seguir apresenta as etapas do trabalho.

¹ O Projeto Águas na Cidade é um projeto de pesquisa do Grupo MOM-UFMG, coordenado pelo prof. Roberto E. dos Santos, e conta com a participação de alunos da pós-graduação, Leonardo Polizzi e Renata Oliveira, e estudantes de graduação, Lucas Nogueira e Isadora Ramos.

² Dissertação de mestrado de Deyvid Rosa (2017), orientado pelo professor Nilo de Oliveira Nascimento, avaliou de forma satisfatória a resposta hidrológica da Bacia do Córrego do Leitão em Belo Horizonte à implantação de técnicas compensatórias de drenagem urbana. A Palestra do professor Nilo de Oliveira Nascimento – Gestão de Águas Urbanas, realizada no III Simpósio da Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco (III SBHSF) no dia 18 de dezembro de 2022, no [youtube.com/c/bhsfrancisco](https://www.youtube.com/c/bhsfrancisco), também traz informações relevantes sobre o tema.

Figura 1: Diagrama com etapas da pesquisa



Fonte: Elaborado pelo autor, 2023.

O estudo das técnicas compensatórias e o levantamento de informações sobre a sub-bacia são fundamentais para o desenho das MCD, produção de material didático aplicado em ações educacionais, e para a definição das estratégias de ação.

No estudo das MCD a análise das “técnicas em relação ao lugar de implantação” é uma das etapas mais importantes da pesquisa pois avalia como aplicar as técnicas compensatórias de drenagem na cidade, ou seja, quais os lugares adequados para implantação dos dispositivos. Se por um lado existem planos e políticas públicas que incentivam a adoção das medidas compensatórias em meio urbano, por outro lado se observa uma falta de orientações técnicas claras, bem como um mapeamento detalhado da cidade que indique as áreas onde cada uma das MCD pode ser aplicada.

A proposta de desenho e implantação das MCD para a escala microlocal foi construída de forma coletiva junto ao projeto de pesquisa e extensão Águas na Cidade e a disciplinas de graduação dos cursos de Arquitetura e Urbanismo da UFMG e PUC Minas. O exercício projetual visa levantar, testar e quantificar um repertório de soluções compensatórias em uma microbacia de Belo Horizonte. Com o desenho e quantificação das medidas proponho, mesmo que preliminarmente, avaliar a eficácia dos dispositivos compensatórios para redução da vazão por meio do *software* SWMM de modelagem hidrológica. As simulações visam medir uma possível redução dos impactos com a incorporação de técnicas compensatórias na cidade. No exercício proponho simular diferentes cenários utilizando técnicas indicadas para as ruas e lotes: jardins de chuva, piso permeáveis, reservatórios individuais e desconexão de telhado. A simulação hidrológica pretende construir um diálogo entre o desenho urbano e engenharia hidráulica.

Na parte final da pesquisa descrevo uma estratégia de ação que parte das microbacias situadas a montante da área de estudo. Não é apenas desenhar, é entender a aplicação prática das medidas em um sistema que trabalha em rede. Apenas uma solução provavelmente não resolverá o problema, um (1) telhado verde ou um (1) jardim drenante trarão pouca contribuição para minimizar o impacto das inundações, mas se aplicadas em grande quantidade em diferentes regiões da bacia hidrográfica as MCD podem auxiliar na retenção e redução do volume de água em pontos críticos de inundação. Na organização da pesquisa optei por dividir o trabalho nos seguintes capítulos:

Capítulo 2 – As Cidades e as Águas: apresenta uma contextualização geral sobre a relação das cidades com as águas. Na primeira parte do capítulo apresento um resgate histórico tendo como ponto de partida a revolução industrial e o higienismo. Em seguida destaco a relação entre cidade, água e infraestrutura urbana onde enfatizo o conceito das cidades geossuportadas (CARVALHO, 1999). Outro ponto que ganha destaque é a compreensão da cidade por unidades de planejamento que são as bacias hidrográficas, sub-bacias, microbacias urbanas e “circunstâncias”. Para o estudo das microbacias urbanas utilizo a terminologia “circunstâncias” no presente trabalho. A definição das bacias hidrográficas como unidades de planejamento e a escala de atuação por meio das “circunstâncias” são conceitos que serão melhor detalhados no capítulo 2.

Capítulo 3 – Medidas Compensatórias Difusas (MCD) para o Manejo das Águas Pluviais na Cidade: apresenta pesquisa relacionada a técnicas de drenagem urbana. O estudo das medidas compensatórias de manejo das águas pluviais visa o levantamento e desenho de soluções para diferentes escalas, técnicas que levem em consideração o uso responsável de recursos, características locais e comunidade.

Na primeira parte do capítulo apresento uma contextualização geral sobre as MCD, principais técnicas utilizadas e suas características. Em seguida descrevo como a cidade de Belo Horizonte vem abordando a questão ambiental em termos de políticas públicas, programas, projetos e experiências locais. Com o estudo das técnicas discuto como aplicar as medidas nas cidades. Para a aplicação das MCD levantei e sistematizei parâmetros e critérios que auxiliam na definição e implantação das soluções. Tal análise, que avalia onde aplicar as MCD, cruza dados do local de implantação e técnicas, e tem por objetivo sistematizar e organizar critérios que auxiliarão na escolha das soluções para cada contexto.

Diferentes manuais já enumeraram parâmetros que condicionam a implantação das técnicas; contudo, avalio que é necessário aprofundar no estudo e na forma de organização dos parâmetros, principalmente para o contexto brasileiro. De maneira geral arquitetos, engenheiros e técnicos tem conhecimento das soluções, mas desconhecem como as medidas podem ser aplicadas, ou seja, quais questões influenciam e condicionam um bom funcionamento das técnicas em um lote, na rua, nas linhas de drenagem ou junto do córrego.

Na parte final do capítulo apresento uma explicação geral sobre a modelagem e simulação hidrológica. A modelagem hidrológica se constitui como uma importante ferramenta para simular situações ainda não conhecidas e avaliar o comportamento da água nas bacias hidrográficas. A proposta para a presente pesquisa é trabalhar com simulações simplificadas de diferentes MCD para uma microbacia urbana da área de estudo.

Capítulo 4 – Pedagogia Urbana - Educação pelas Águas: descreve o trabalho de educação ambiental realizado junto a escolas e comunidade da sub-bacia do Cercadinho. A proposta pedagógica é uma ação desenvolvida pelo Projeto Águas na Cidade e tem como objetivo ampliar o conhecimento sobre o tema, avaliar como a comunidade percebe os problemas relacionados as águas, e construir soluções coletivas com estudantes e moradores da sub-bacia. A proposta pedagógica utiliza maquetes, interfaces e materiais didáticos de caráter interdisciplinar como instrumentos de diálogo.

A pedagogia se constitui como uma etapa importante do trabalho. Propostas educacionais desenvolvidas na escala microlocal urbana estimulam a noção de pertencimento a uma bacia hidrográfica e contribuem para a instauração de postura individual e coletiva ativa de cuidado com o lugar. É uma ação que requer continuidade; a informação seria uma primeira etapa, a assessoria para execução e manutenção de propostas seriam possíveis estratégias futuras articuladas as ações pedagógicas.

Capítulo 5 – Proposta de Estudo para a Sub-bacia do Cercadinho: apresenta uma descrição geral das etapas do estudo de caso, metodologia, objetivos, informações sobre a sub-bacia e uma estratégia de ação para a área. A partir da análise de dados da sub-bacia hidrográfica do Cercadinho e dos parâmetros sistematizados no capítulo 3, busco cruzar informações e elaborar uma estratégia de ação para a área de estudo. As estratégias foram organizadas a partir de duas escalas de abordagem, uma primeira, para a sub-bacia do Cercadinho como um todo (diretrizes

para a escala “macro”), e uma segunda, para uma pequena bacia do Cercadinho (escala “microlocal”). Na escala microlocal foi desenvolvido o exercício de desenho, implantação, quantificação e simulação hidrológica das MCD.

Capítulo 6 – Proposta MCD Jardins de Chuva para a Circunstância EMPEV: detalha a proposta de desenho e implantação das MCD para a “escala microlocal”, bacia hidrográfica onde está localizada a escola Municipal Professor Efigênia Vidigal – EMPEV. Para o projeto priorizei o desenho e detalhamento de jardins de chuva para a escala das ruas em um exercício desenvolvido em conjunto com estudantes de arquitetura e urbanismo da UFMG e PUC Minas. As ruas retratam uma situação muito comum em nossas cidades, que é a ocupação do espaço urbano por veículos e vagas de estacionamento, superfícies impermeáveis e poucas áreas verdes. Vale destacar também que a vegetação existente quase nunca está integrada à drenagem urbana, reforçando a falta de articulação entre água pluvial e desenho urbano.

O objetivo do exercício de desenho de MCD para as ruas, redesenho de quarteirões e quantificação das áreas verdes acrescidas, é desenvolver uma proposta de atuação em pequenas bacias hidrográficas e discutir possibilidades de implantação das MCD para pequenos espaços da cidade, como as ruas e lotes. Outra questão importante, além dos exercícios de desenho e quantificação, é avaliar a eficiência das MCD para reter e infiltrar a água pluvial.

Assim, de posse dos quantitativos levantados, propus realizar simulação hidrológica simplificada por meio de software SWMM. A simulação hidrológica buscou medir uma possível redução dos impactos com a incorporação de técnicas compensatórias na bacia. A simulação hidrológica comparece no trabalho com o intuito de reforçar o diálogo com a engenharia hidráulica, de junção entre desenho urbano e os cálculos de vazão. Não adianta aplicarmos propostas de desenho urbano se não avaliarmos a eficiência das medidas.

Os exercícios de desenho e simulação realizados demonstram o grande potencial de transformação urbana que pode ser alcançado a partir da implantação de MCD para a escala microlocal (rua e lote), mas como devemos desenvolver as ações para implantação das MCD na cidade? Penso que partindo das pequenas circunstâncias à montante é possível estruturar ações minimizando impactos transferidos a jusante (SILVA, 2013). Na parte final do capítulo apresento uma estratégia para a implantação das MCD na cidade que parte das pequenas bacias localizadas à montante.

No capítulo da conclusão apresento as considerações finais e reflexões a respeito do estudo de caso na sub-bacia do Cercadinho, como: o estudo das MCD e o desenho de alternativas para a pequenos espaços (ruas e lotes), a sistematização de parâmetros e critérios que condicionaram a aplicação das MCD na bacia, a quantificação e a simulação como etapas importantes para avaliação da eficiência das medidas, as ações de educação ambiental urbana e a articulação com moradores como parte fundamental para o sucesso dos projetos, e as pequenas bacias (circunstâncias) como unidades de planejamento que devem estar articuladas de montante para jusante.

Propostas para implementação das MCD na cidade não podem ser entendidas como propostas pontuais e intermitentes, necessitam de um trabalho contínuo, ou seja, há um longo caminho para a implementação de uma gestão do manejo das águas pluviais por circunstâncias.

2. AS CIDADES E AS ÁGUAS

O presente capítulo aborda a relação entre água e cidade por meio do estudo do lugar, resgate histórico do tema, análise das bacias e microbacias hidrográficas, infraestruturas urbanas e impactos negativos potencializados pela produção capitalista da cidade.

[...] Leituras parciais da natureza, seguida de intervenções que lhe afetam a totalidade, constituem o problema fundamental da humanidade (CARVALHO, 1999, p.21).

2.1 As cidades e as águas na história – higienismo ao momento atual

Os assentamentos humanos sempre buscaram localizações estratégicas para fixação no território. A escolha do lugar dependia de diferentes fatores, mas os recursos naturais e as fontes de água sempre foram questões determinantes para a fixação e crescimento das cidades. As águas eram entendidas como fonte de riqueza, meio de circulação (fluvial), fonte de alimento e local de lazer.

As civilizações antigas entendiam a importância da água como recurso natural e fonte essencial para o funcionamento das cidades. No ano 2000 AC, por exemplo, já existiam leis contra a poluição das águas. Os povos antigos tiveram grande preocupação em trabalhar a condução das águas nas cidades, tendo sido encontradas evidências da existência de sistemas de infraestruturas urbanas desde o ano 3000 AC nas civilizações Indu, Persa, Mesopotâmia e Minoan (BURIAN; EDWARDS, 2002). A execução dos sistemas de infraestrutura urbana seguia um processo de “tentativa e erro”, e tinham como objetivo conduzir as águas para evitar inundações, coletar água da chuva e trabalhar o descarte dos resíduos. Os sistemas de drenagem urbana constituíam uma combinação de planejamento social com refinados dispositivos técnicos.

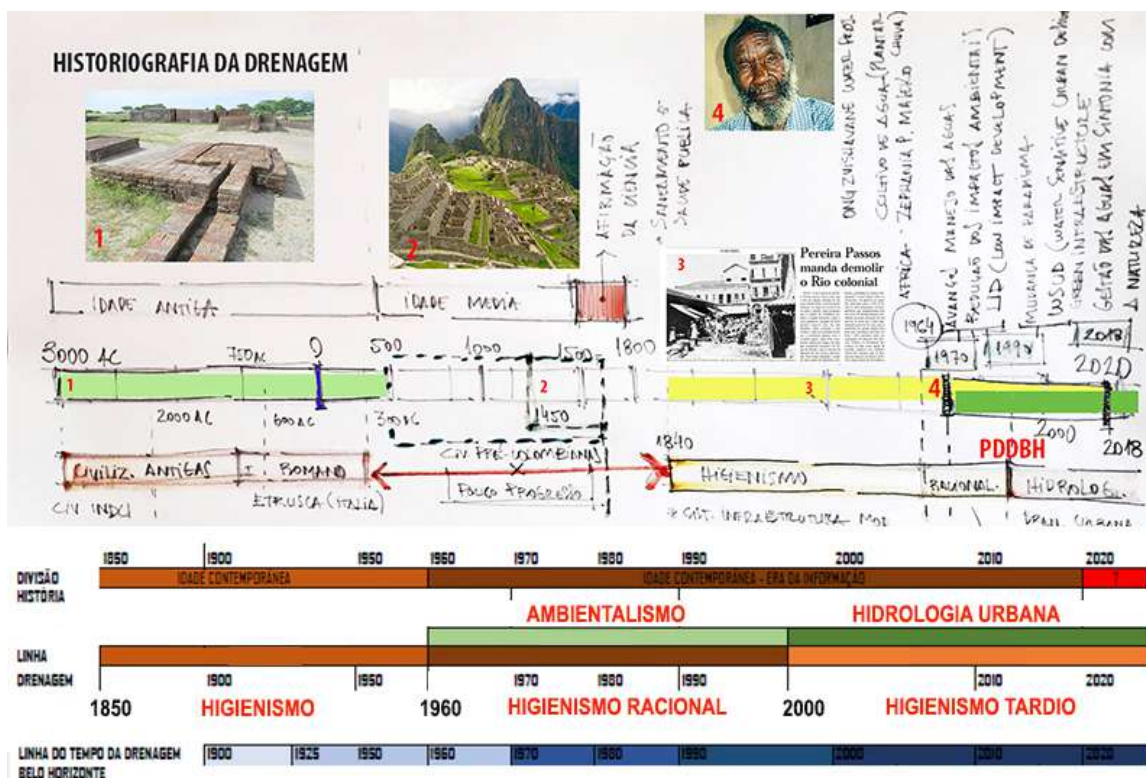
Se por um lado é possível destacar pontos positivos relacionados às águas e às cidades, por outro lado, também foi um relacionamento pautado por muitos problemas. O crescimento acelerado das áreas urbanas, a grande concentração de pessoas e a falta de condições adequadas impactaram diretamente na qualidade das águas. De recurso natural, as águas passam a ser entendidas como um sistema de infraestrutura urbana ou como um problema, recebem esgoto, lixo, acarretam doenças e inundações.

Com a revolução industrial o agravamento dos problemas acentua o distanciamento das cidades com a natureza. Ao explorar a relação entre água e espaço urbano Illich (1985) destaca que

a sociedade industrial transformou a água em um fluido que percorre a cidade, em um recurso material que é avaliado considerando sua distribuição, oferta, e capacidade de higienizar, ou seja, em um recurso que percorre canalizações, chega até as casas, abastece as moradias e indústrias. Segundo Illich (1985), os córregos e as águas que circulam em tubulações passam a ser entendidos como um sistema de infraestrutura urbana trabalhado pela engenharia e não como um elemento da natureza.

No presente tópico proponho desenvolver uma reflexão histórica sobre as águas e as cidades tendo como recorte de análise os últimos 200 anos aproximadamente, da revolução industrial até o momento atual. Período marcado por grandes avanços no desenho urbano e sistema sanitário, mas pautado também por muitos problemas. Para a análise cronológica dividi o período em três momentos: higienismo, higienismo racional/movimento ambiental, e higienismo tardio/hidrologia urbana.

Figura 2: croqui linha do tempo da drenagem urbana



Fonte: Elaborado pelo autor, 2021.

2.1.1 Sistemas modernos de infraestrutura – higienismo (1800/1850 – 1960)

A revolução industrial foi um período marcado por grandes mudanças nas cidades europeias. Se por um lado, foi uma época de grandes inovações e transformações nos modos de produção, também foi de grandes conflitos. O rápido adensamento das cidades europeias, a péssima qualidade das habitações e a ausência de sistemas adequados de infraestrutura urbana geraram graves problemas de saúde pública. A necessidade de resolver o problema de insalubridade e adaptar as cidades em expansão abre caminho para uma série de estudos com o intuito de repensar a ordenação do espaço urbano e entender as causas dos problemas sanitários.

Estudos da microbiologia e da epidemiologia coordenados por médicos evidenciaram a relação entre a falta de saneamento e a transmissão de diversas doenças nas cidades. Assim, junto com a necessidade de adaptar as cidades aos modos de produção capitalista, a saúde se torna também uma das preocupações centrais para a engenharia e para as políticas públicas. Nesse contexto surge o higienismo, sistema que tem como conceito principal trabalhar a higiene das áreas urbanas. Tratamento da água, coleta do lixo, instalação de banheiros públicos e redes de esgoto são questões que estão diretamente relacionadas aos projetos sanitários.

Segundo Pinheiro (2019), a salubridade tornou-se uma preocupação constante no projeto urbano e da infraestrutura sanitária e passa de fato a ser tratada como utilidade pública. Os princípios higienistas surgiram na Europa e se difundiram por todo o mundo. Um dos exemplos mais marcantes que representa o ideal transformador do período é o plano Haussmann em Paris, onde pela primeira vez, um conjunto de determinações pensadas para toda uma cidade é formulado em um plano e colocado em prática.

O plano Haussmann visava melhorias nas condições de salubridade e circulação, mas sobretudo tinha a intenção de transformar a cidade reforçando o controle, facilitando a distribuição de mercadorias e atendendo aos interesses do capital, onde a própria execução do plano oferecia uma oportunidade inédita de produção capitalista financiada pelo Estado. Assim, além de se tornar um ponto fundamental dos projetos urbanos, o saneamento também se transforma em um instrumento de dominação e controle do Estado (PINHEIRO, 2019, p.42).

O grande sucesso do modelo de reforma urbana que aliava engenharia sanitária à melhoria da circulação fez com que essa estrutura fosse reproduzida em muitos países. No Brasil destaco

duas cidades que seguem os preceitos de ordenação racional e higienismo, Rio de Janeiro com o plano Pereira Passos (1902-1906), e Belo Horizonte com o plano da nova capital de Minas Gerais (1894 - 1897).

Figura 3: Plano de Belo Horizonte sobre o traçado do antigo arraial de Curral del Rei



Fonte: Comissão Construtora da Nova Capital, s.d. (Arquivo Público Mineiro).

A cidade de Belo Horizonte foi planejada para ser a nova capital do estado, seu desenho inspirando nos planos de Paris e de Washington D.C. foi pensado a partir de um plano racionalista de linhas retas e diagonais. O projeto foi organizado com 3 anéis, zona urbana, zona suburbana e rural. A zona urbana da cidade foi desenhada como uma malha ortogonal cortada por diagonais, delimitada pela Avenida do Contorno e pelo Vale do Arrudas. A zona suburbana foi implantada como um segundo anel em volta da área urbana, com padrões de desenho mais flexíveis e como uma futura zona de expansão. A zona rural foi pensada como um cinturão verde para abastecimento da cidade. Embora apresentasse uma organização clara de espaços e funções o desenho racional da malha viária implantada na zona urbana desconsiderou o relevo sinuoso da região.

Mesmo não sendo incorporado ao desenho urbano de Aarão Reis, os elementos naturais e a abundância de água são fatores importantes para a escolha do sítio. A Serra do Curral e o Vale do Arrudas são elementos marcantes na cidade. É ao longo do Vale do Arrudas que foi implantada a

linha ferroviária e que teve início a ocupação. O limite da área urbana foi demarcado pelo ribeirão Arrudas em leito natural e pela linha da ferrovia. A cidade nasceu no fundo de vale junto ao ribeirão, no solo de gnaisses do complexo Belo Horizonte, e aos poucos foi subindo a serra. A lógica de crescimento do centro para as bordas não aconteceu na prática e vários núcleos começaram também a se formar fora da zona central antes mesmo que ela fosse completamente ocupada.

Figura 4: Plantas de Belo Horizonte: Aarão Reis x Saturnino de Brito



Fonte: Fundação João Pinheiro, 1977, p.44.

A rede hidrográfica e os cursos d'água que influenciaram na escolha do sítio da nova capital não compareceram no desenho de Aarão Reis senão como tênue representação (SILVA, 2013, p.45). A figura acima traz um comparativo entre o traçado geométrico de Aarão Reis e o traçado proposto por Saturnino de Brito. No plano de Aarão Reis o traçado sinuoso dos córregos é completamente desconsiderado. O projeto de Saturnino de Brito respeitava o traçado geométrico inicial, mas já admitia uma certa adaptação ao percurso dos córregos presentes na área do plano.

[...] a submissão dos cursos d'água à rigidez do traçado geométrico gerou inúmeros inconvenientes. Ainda que seus leitos fossem desviados e retificados para coincidirem com o traçado das ruas, os talwegues e depressões remanescentes no interior das quadras – moldados pelo relevo – frequentemente

são retomados pelas águas pluviais. O traçado alternativo de Saturnino de Brito visava, não apenas dispensar vultosas movimentações de terra para evitar inundações nessas áreas, como também facilitar a implantação futura de sistemas coletores de esgoto (SILVA, 2013, p.45).

O traçado rígido aplicado a cidade canalizou as águas e aos poucos foi escondendo os córregos. Na área central de Belo Horizonte todos os córregos estão canalizados e tamponados, apenas alguns trechos do ribeirão Arrudas é possível visualizar as águas do ribeirão encaixotadas em paredes de concreto e entre vias de circulação rápida.

A ideia inicial de tratar os efluentes antes de lançá-los no ribeirão Arrudas ou de depurá-los pelo solo não foi colocada em prática, assim, o esgoto passou a ser lançado sem tratamento nos córregos. O lançamento do esgoto diretamente nos córregos impactou diretamente na qualidade das águas, situação que foi se agravando com o crescimento da cidade.

A cidade de Belo Horizonte retrata uma situação comum de transformação da natureza imposta pelo desenho higienista. As obras de canalização e tamponamento dos córregos ao longo das décadas aceleraram a degradação das águas e reforçaram o afastamento da cidade da natureza, córrego, águas e áreas verdes.

2.1.2 Higienismo racional e movimento ambiental (1960 – 2000)

No segundo recorte da linha do tempo dois pontos ganham destaque: 1) higienismo racional - consolidação do modelo higienista com a utilização de cálculos hidrológicos para dimensionamento das obras; 2) ambientalismo - movimento ambiental aplicado a diferentes campos do conhecimento. O higienismo racional e o ambientalismo são duas questões que caminham em paralelo, uma de resgate e reaproximação com a natureza; e outra de reafirmação do modelo higienista dominante.

O higienismo racional ou racionalismo não altera o conceito do modelo higienista anterior, de trabalhar com o escoamento rápido das águas das cidades. A grande mudança está no desenvolvimento de cálculos hidrológicos para dimensionamento das obras (até então eram desenvolvidos métodos empíricos). O método racional foi desenvolvido no século XIX nos Estados Unidos e Inglaterra, e foi difundido no Brasil em 1957 com a publicação do estudo “Chuvas Intensas no Brasil”.

A etapa higienista foi sucedida pela da racionalização (desenvolvimento e aplicação do Método Racional) e normatização dos cálculos hidrológicos para o

dimensionamento das obras hidráulicas. Essa segunda etapa, que ainda manteve a premissa da evacuação rápida das águas pluviais, só foi possível com o advento de melhores instrumentos de medida das grandezas hidrológicas, tais como os pluviógrafos, que chegaram ao país na década de 1930 (PINHEIRO, 2019, p.44).

Um ponto destacado por Silveira (1998) diz respeito a importação dos métodos sem estudos mais aprofundados do contexto local que resultaram em soluções inadequadas e estruturas de drenagem mal dimensionadas. Os problemas constatados nas redes de infraestrutura reforçam as ideias de Feenberg sobre tecnologia. Segundo Feenberg (2010), há um grande equívoco quando interpretarmos as tecnologias como objetos isolados, separados do contexto à sua volta. A importação de soluções é ainda mais problemática quando a situação local não é a mesma, como a transferência de tecnologia de um país desenvolvido para um país menos desenvolvido, onde a produção do espaço e a oferta de infraestrutura são bem diferentes.

Importar tecnologias, procedimentos e materiais, e emprega-los de forma incompleta e parcial, é característica comum dos países em desenvolvimento (PELLI, 1998). Feita dessa forma, inevitavelmente produzirá reflexos negativos no contexto urbano, social e ambiental das cidades. Propostas desconectadas se adaptam muito bem a prática de reprodução de soluções iguais em diferentes contextos, onde uma determinada tecnologia pode ser importada de um local e implantada em um novo ambiente sem considerar as especificidades locais.

Até mesmo em uma mesma cidade ou região que tenha características distintas a reprodução em série de soluções vai produzir impactos negativos na relação de trocas com o lugar. Na cidade de Belo Horizonte, por exemplo, temos plataformas geológicas e solos formados por gnaisses e metassedimentares que apresentam diferentes constituições e comportamentos, por isso as soluções não deveriam ser padronizadas, mas considerar as características locais e o desempenho da sua plataforma geológica.

Ao importar soluções e desconsiderar as especificidades locais, dificulta-se ainda mais o desenvolvimento de abordagens genuinamente nacionais, regionais e locais. O percurso histórico da drenagem urbana no Brasil herdou uma matriz tecnológica e político administrativa dos países colonizadores, inicialmente de origem europeia e, após a Segunda Guerra Mundial, predominantemente norte-americana (PINHEIRO, 2019, p.46).

Também dentro do recorte histórico e contrapondo ao modelo higienista, ganha força o movimento ambientalista, corrente que busca a preservação do meio ambiente e a reaproximação da natureza. O ambientalismo é um movimento que surge em diferentes campos do conhecimento a partir de 1960. No contexto das cidades e da drenagem urbana o movimento ambientalista busca uma reaproximação das cidades com a natureza, surge como uma crítica ao higienismo e ao desenho urbano pensado para o automóvel e aos impactos decorrentes desse modelo, como inundações e congestionamentos.

No contexto da drenagem urbana, em diferentes países são desenvolvidas experiências de manejo de águas pluviais com o intuito de reduzir os impactos ambientais. São estudos que partem de uma diferente percepção, que entende a infraestrutura como um sistema integrado que incorpora vegetação e sistema hídrico ao desenho das cidades. Como são experiências locais, existem diferentes termos e denominações para os trabalhos, como por exemplo: *Best Management Practices* (BMPs), *Sustainable Urban Drainage Systems* (SUDs), *Low Impact Development* (LID), *Water Sensitive Urban Design* (WSUD) e *Integrated Urban Water Management* (IUWM). Estados Unidos, Canadá, Europa e Austrália, são os principais locais onde os estudos são desenvolvidos. Uma questão central das diferentes experiências é o projeto de cidades conectadas com os elementos naturais, tratando a água como o ponto de partida para melhorar a qualidade ambiental urbana das cidades.

No contexto brasileiro as propostas verdes para a drenagem urbana são conhecidas como medidas ou técnicas compensatórias de manejo das águas pluviais: jardins-de-chuva, biovaletas, coberturas verdes, pisos drenantes, são alguns exemplos de técnicas compensatórias que promovem a infiltração e retenção das águas das chuvas no local onde a água atinge o solo.

Muito embora tenham ganhado visibilidade em programas de países desenvolvidos, importantes iniciativas ocorreram em países periféricos. A ideia de “plantar chuva”, por exemplo, é uma estratégia que surgiu em uma região semiárida do Zimbábue com Zephaniah Maseko. O “plantar chuva” é uma forma de captar a água e aproveitá-la de forma inteligente no terreno, é uma iniciativa em pequena escala desenvolvida a partir da observação atenta do caminhar da água da chuva sobre o terreno.

Figura 5: Intervenções para captação, armazenamento e infiltração da água



Fonte: Site *harvestingrainwater* - <https://www.harvestingrainwater.com/2016/05/evolutions-on-mr-phiris-water-harvesting-plantation-1995-2016/> / *Warvestingrainwater.com* acessado em 29/06/2023

As fotos acima ilustram algumas intervenções realizadas por Maseko com o intuito de captar, armazenar e infiltrar a água da chuva. A sequência de fotos ilustra as seguintes intervenções: pequena barragem de pedras com vegetação localizada na parte alta do terreno utilizada para reter e infiltrar a água; trincheira de infiltração com pedras junto a linha de drenagem em área de erosão (voçoroca); poço de infiltração que recebe água das valas; e vala de infiltração posicionada junto a área de cultivo.

Analisando e compreendendo o percurso da água no terreno Maseko foi percebendo que em alguns trechos o cultivo dos alimentos não funcionava porque a água não infiltrava, em outros locais a água acumulava e causava erosões. Com o intuito de resolver os problemas locais ele foi moldando e criando um sistema de drenagem e armazenamento de água eficiente utilizando apenas a gravidade, água da chuva, vegetação e o próprio lugar.

Direcionando, diminuindo a velocidade de escoamento da água pluvial e criando pequenas barragens, reservatórios e poços, foi possível aumentar a infiltração da água no próprio terreno e abastecer o lençol freático. Junto com o trabalho de armazenamento e infiltração da água foi realizado o plantio de vegetação. As plantas funcionavam como “esponjas vivas”. As árvores e plantas que necessitavam de muita água foram plantadas nas linhas de drenagem e nas regiões onde a água acumulava. Nas regiões de topo foram plantadas espécies que necessitavam de menos água.

Com o intuito de compartilhar suas práticas Maseko criou a ONG *Zvishavane Water Project*. A experiência popular desenvolvida no Zimbábue serviu de referência para projetos que

impulsionaram políticas públicas em diferentes locais, como a técnica dos jardins de chuva da cidade de Tucson nos Estados Unidos. Experiências locais desenvolvidas na pequena escala são importantes exemplos para o desenho ambiental das cidades, principalmente se buscamos construir propostas coordenadas pelos moradores a partir da escala microlocal.

2.1.3 Higienismo tardio e hidrologia urbana (2000 – 2020)

No último recorte da linha do tempo os dois pontos destacados anteriormente continuam caminhando em paralelo, mas com algumas pequenas diferenças: 1) hidrologia urbana – observa-se avanços nas políticas ambientais com a adoção de soluções de preservação e recuperação de cursos d'águas. 2) higienismo tardio - práticas higienistas ainda permanecem com ações de intervenção na cidade. Embora destaque avanços no campo político não é possível evidenciar melhorias significativas pois as práticas higienistas persistem como modelo padrão.

A hidrologia urbana se constitui como um período importante pelos avanços conquistados nas políticas públicas, como a elaboração da “Lei das Águas”, Lei Federal de 1997, que instituiu a Política Nacional de Recursos Hídricos. No contexto de Belo Horizonte, por exemplo, Pinheiro (2019) destaca que a cidade entra na etapa da hidrologia urbana em 1995 com as novas premissas estabelecidas pelo PDDBH – Plano Diretor de Drenagem Urbana de Belo Horizonte, com a criação do programa Drenurbs – programa de recuperação ambiental de Belo Horizonte, e com o modelo de planejamento e gestão decorrentes da Política Municipal de Saneamento. Mais recentemente, no ano de 2019, destaco também o novo Plano Diretor de Belo Horizonte como um marco importante. O Plano Diretor introduz instrumentos da Nova Agenda Urbana, documento consolidado na terceira Conferência das Nações Unidas para Habitação e Desenvolvimento Sustentável.

Nas últimas décadas, assim como Belo Horizonte, diversas outras cidades têm implantado planos e projetos que seguem os conceitos da hidrologia urbana, de recuperação de cursos d'águas e ações para mitigar os impactos das inundações; contudo, no campo prático a adoção de técnicas compensatórias para o manejo das águas pluviais se restringiu a projetos de parques lineares e/ou bacias de retenção e detenção de águas pluviais, ações em grande escala e localizadas nas regiões de fundo de vale.

[...] embora tenham sido construídas bases legais e institucionais para uma mudança de rumo e que essas diretrizes estejam presentes no discurso de técnicos, políticos e lideranças populares ligados à temática ambiental, elas

ainda não estão refletidas de maneira abrangente na prática cotidiana de projeto e gestão urbanos no Brasil. (PINHEIRO, 2019, p.16)

É possível destacar que mesmo com a elaboração de planos de recuperação de cursos d'água e políticas concebidas com ideias inovadoras, o modelo rodoviarista higienistas de canalização e tamponamento dos rios é a prática padrão adotada, ou seja, o modelo higienista ainda está muito presente no contexto das obras públicas. No ano 2000 em Belo Horizonte, por exemplo, dois planos completamente opostos caminharam lado a lado na cidade, um de preservação e recuperação dos córregos que ainda estão em leito natural (Drenurbs), e outro de canalização e tamponamento do principal rio da cidade (Boulevard Arrudas). Duas propostas antagônicas caminhando juntas demonstra como é difícil superar por completo as estratégias e práticas higienistas para intervenções na cidade.

A divisão do recorte de análise a partir de 1960 em duas linhas que caminham em paralelo reforça as duas tendências descritas acima; se por um lado, é possível destacar avanços no campo político através de medidas que buscam uma reaproximação com a natureza; por outro lado, o modelo higienista, de resolver problemas urbanos através de obras de canalização ainda é muito presente no cotidiano das cidades brasileiras.

A proposta de construir uma breve reflexão histórica com a linha do tempo teve por finalidade entender melhor os problemas que produzem reflexos negativos até os dias de hoje no desenho urbano e drenagem, mas também entender possíveis caminhos que podem ser trabalhados, como as soluções locais de manejo das águas pluviais. No próximo item busco descrever melhor a relação entre água, cidade e infraestrutura urbana tendo como referência o conceito de cidade geossuportada (CARVALHO, 1999).

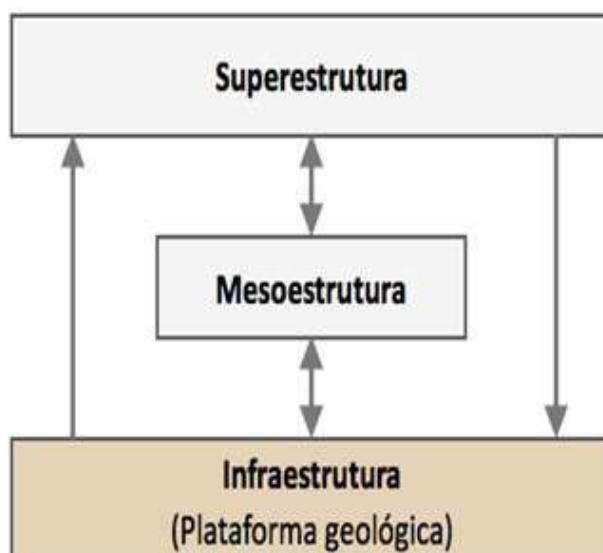
2.2 Água, cidade e infraestrutura urbana

O estudo histórico aponta que importantes adaptações nos sistemas de infraestrutura urbana ocorreram em decorrência de problemas relacionados ao crescimento das cidades e à insalubridade das áreas urbanas, ou seja, para resolver os problemas de saúde pública foi necessário repensar as técnicas aplicadas para o lançamento e tratamento dos esgotos, condução das águas pluviais e tratamento da água distribuída para a população.

Hoje também se discute como trabalhar a relação com o lugar e como estruturar o crescimento urbano, principalmente pelo agravamento dos problemas. Em outras palavras, está havendo um colapso generalizado nas práticas tradicionais de planejamento, projeto e gestão. Assim, para analisar de forma mais detalhada a relação entre “água, cidade e infraestrutura urbana” retomo com o conceito de cidade geossuportada proposto por Carvalho (1999) com a seguinte pergunta: como a cidade se relaciona com a água e o lugar à sua volta?

Um bom ponto de partida para compreender a relação entre cidade e meio é considerar a ideia de cidade conformada em camadas apresentada por Edézio Carvalho. A divisão proposta por Carvalho organiza a cidade em três camadas: infraestrutura (plataforma geológica), mesoestrutura e superestrutura.

Figura 6: Diagrama estrutural da cidade



Fonte: Adaptado de Carvalho, 1999, p.19.

A primeira camada é a infraestrutura geológica, entendida como as características do lugar e os fatores climáticos (clima e ambiente fisiográfico). A segunda camada é a mesoestrutura, que compreende os elementos comumente chamados de “infraestrutura urbana”, sistema viário, sistemas de abastecimento e coleta (água, esgoto, energia etc.). A terceira camada é a superestrutura, que engloba as edificações em geral (figura 06). Segundo Carvalho (1999), não é dada a devida atenção a relação de trocas entre as camadas e ao estudo do lugar no desenho das cidades, isto é, a análise das características do meio natural para o desenho de sistemas urbanos e da própria cidade.

Na terminologia corrente, a cidade é constituída a partir de duas camadas apenas, infraestrutura urbana (mesoestrutura) e superestrutura. A visão tradicional tende a desconsiderar a plataforma sobre a qual se constroem as cidades, isto é, as características geológicas e morfológicas do sítio natural. Eis o que se reflete na própria terminologia; afinal, infraestrutura é um termo que sugere que abaixo dela não há nada. Desconsiderar o meio local na produção do espaço construído vai ao encontro da prática vigente, que reproduz as mesmas soluções em diferentes lugares, independentemente das características de cada região.

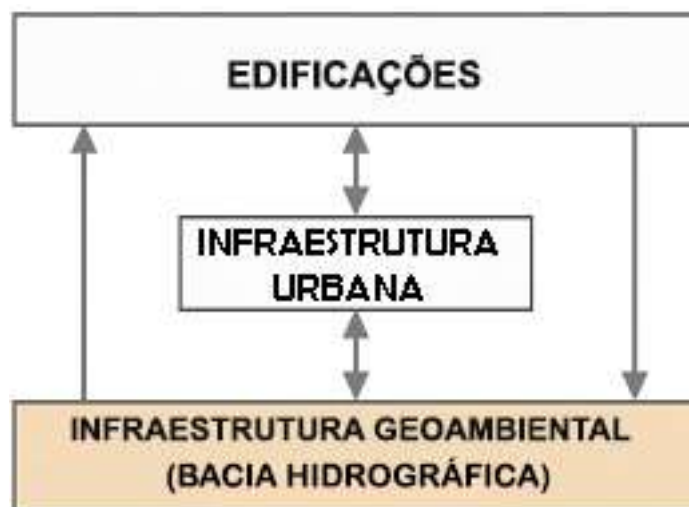
A concepção das edificações e cidades como objetos isolados se adapta muito bem às exigências de uma produção massificada, mas se mostra pouco funcional na interação com a natureza. De modo geral, as soluções aplicadas aos sistemas urbanos partem do princípio de que se deve proteger o objeto construído dos elementos naturais, desconsiderando as possibilidades de interação que podem ser construídas a partir de uma melhor compreensão do sistema. Um dos maiores problemas da humanidade está na compreensão parcial da natureza, seguida de intervenções que desconsideram suas características (CARVALHO, 1999, p.21). Repensar esses procedimentos significaria entender as cidades como elementos e camadas que estão em constante interação.

Na organização proposta por Carvalho (1999) a infraestrutura geológica exerce um papel fundamental, pois ela é o suporte que possibilita o funcionamento do sistema. A cidade geossuportada trabalha o entendimento da infraestrutura geológica e da relação de troca entre camadas como ponto de partida para o funcionamento correto da cidade. Assim, entender as características locais e como os impactos são gerados é de grande importância para o desenho de elementos de infraestrutura urbana (mesoestrutura) condizentes com os locais de instalação.

Nos assentamentos geossuportados a compreensão correta da infraestrutura geológica seguida de medidas corretivas pode produzir impactos positivos tendo como base o princípio de soluções compartilhadas. Carvalho destaca que é possível resolver um problema urbano com outro problema aparentemente independente, por exemplo, a recuperação de voçorocas e áreas erodidas com emprego de entulho da construção civil³.

³ O professor Edézio Carvalho desenvolveu proposta de reabilitação de áreas degradadas utilizando entulho da construção civil e materiais drenantes. A proposta que adota técnicas compensatórias e entulho para a recuperação de áreas urbanas será melhor detalhada mais à frente.

Figura 7: Diagrama proposto para a cidade



Fonte: Adaptado pelo autor de Carvalho, 1999.

Para o presente trabalho não adotarei a terminologia “mesoestrutura” por entender que “infraestrutura urbana” já é um termo consagrado. Para a organização das camadas proponho adotar terminologias simples para as três camadas: infraestrutura geoambiental, infraestrutura urbana e edificações, onde a primeira camada é a infraestrutura geoambiental; a segunda camada é a infraestrutura urbana; e a terceira camada são as edificações (figura 07). A mudança de terminologia não altera o conceito principal de entender a cidade como um sistema com camadas e elementos que estão em constante interação.

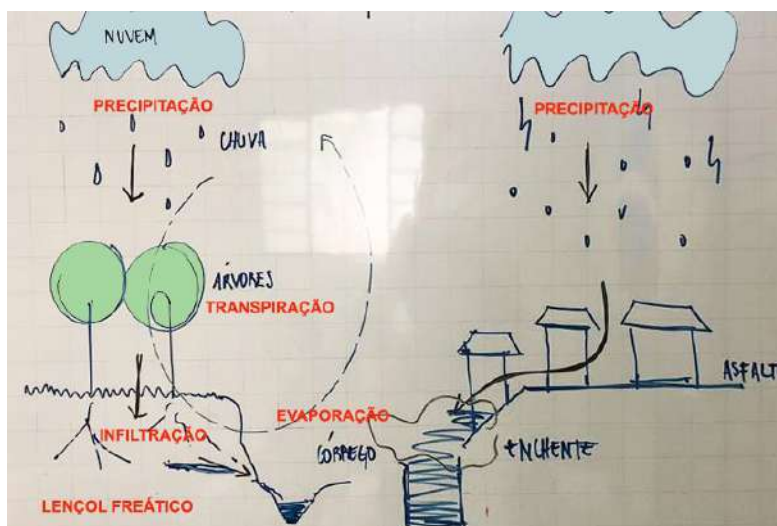
2.2.1 Infraestrutura geoambiental

O nome “infraestrutura geoambiental” para a primeira camada busca enfatizar as características do sítio natural para a compreensão da cidade, contemplando características da plataforma geológica e solo, cobertura vegetal, água e relevo. Outro fator importante que deve ser incorporado a infraestrutura geoambiental é o ambiente fisiográfico (chuvas, vento e conjunto de condições atmosféricas), principalmente no contexto das cidades brasileiras que estão localizadas em uma região com grande ocorrência de chuvas. A infraestrutura geoambiental e o ambiente fisiográfico são fatores integrados as demais camadas da cidade em um sistema interativo de trocas gerando impactos positivos e negativos no meio.

Para compreensão do funcionamento do sistema um ponto importante é o entendimento a dinâmica da água ou ciclo hidrológico na natureza. O ciclo hidrológico está relacionado ao fluxo da

água na atmosfera, oceanos e continente (superfície, solo e sub-solo). É um processo natural de movimentação da água em diferentes estados físicos sustentado pela força da gravidade e pela energia do sol. A evaporação das águas forma nuvens que provocam precipitações, a água precipitada escoa pela superfície ou infiltra no solo alimentando nascentes, lagos, rios e oceanos.

Figura 8: Ciclo Hidrológico na natureza e na cidade impermeabilizada



Fonte: Desenho elaborado pelo autor, 2022.

A figura acima ilustra o ciclo hidrológico em diferentes situações, na natureza e na cidade (impermeabilizada). Na foto extraída de uma aula do Projeto Águas na Cidade ministrada para estudantes do ensino fundamental no ano de 2022, o comparativo entre os diferentes modelos buscou evidenciar a importância das áreas verdes para infiltração das águas no solo e os impactos que podem ser potencializados em cidades excessivamente impermeabilizadas.

Segundo Tucci (2005), o ciclo hidrológico é constituído por diferentes processos físicos, químicos e biológicos. Quando o homem atua sobre o sistema produz grandes transformações que alteram o ciclo hidrológico acarretando impactos significativos na natureza que produz reflexos para o próprio homem. Carvalho (2009) pontua que mesmo conhecendo as propriedades físicas e químicas da água frequentemente esquecemos que ela é a única substância que pode ocorrer simultaneamente em três estados físicos num dado lugar. A água é componente itinerante do sistema geológico e pode influenciar diferentes processos, como: contaminação, poluição, purificação e acidentes geológicos (CARVALHO, 2009).

A infraestrutura geoambiental e os caminhos das águas no ciclo hidrológico formam um sistema integrado conformado por bacias e sub-bacias. Assim, para análise dos impactos é importante uma abordagem das cidades por unidades de planejamento que estão intimamente ligadas ao caminhar e a dinâmica das águas, relevo e solo; nesse caso, é preciso compreender as cidades a partir de unidades conformadas por bacias hidrográficas.

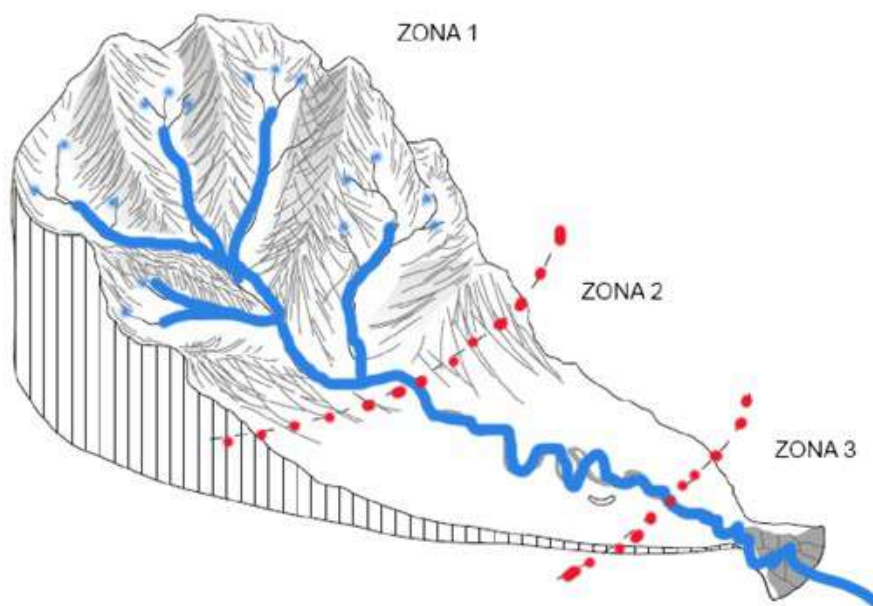
Gorsky (2010) define as bacias hidrográficas ou bacias de drenagem como território dotado de declividade que define o escoamento das águas direta ou indiretamente para um corpo de água. As bacias são formadas por um rio principal e seus afluentes, divisores de água e pelos fundos de vale. Os divisores de água, cristas de elevações e topos de morro, separam as diferentes bacias. Os vales são os drenos naturais do relevo ou os condutores das águas para os córregos e regiões situadas em níveis mais baixos. Os fundos de vale são áreas mais baixas que recebem a água a montante da bacia.

Assim, as unidades de planejamento que articulam o caminhar das águas na cidade são determinadas pelo relevo que definem os limites das bacias hidrográficas e sua área de contribuição. As bacias hidrográficas são unidades que estão articuladas e integradas. Grandes bacias hidrográficas são formadas por diversas pequenas bacias criando um sistema em rede. Dentro de uma “macro” bacia estão compreendidas diversas pequenas bacias que contribuem para a formação dos rios. Dado que os pequenos córregos abastecem os grandes rios com água limpa, a má conservação das pequenas bacias sempre impacta, em maior ou menor grau, as regiões a jusante. Conforme dito anteriormente, para o entendimento das dinâmicas e impactos negativos e positivos decorrentes das relações de trocas entre as diferentes camadas, é preciso analisar a cidade a partir da primeira camada (infraestrutura geoambiental) e por unidades de planejamento delimitadas pelas bacias e microbacias hidrográficas.

Ao analisar o caminhar das águas é possível dividir as bacias hidrográficas em partes: topo, superfície de transição e fundos de vale. A superfície de topo é a porção alta localizada a montante na bacia (forma convexa), área de cabeceiras e nascentes. A zona intermediária se caracteriza como superfície de transição (forma côncava). A região de fundo de vale é também denominada como várzea (planície de inundação). As regiões de fundo de vale recebem grande volume de água e sedimentos das partes a montante na bacia. Em geral, as regiões de transição e a

jusante são as áreas oferecidas pela legislação a urbanização. Silva⁴ destaca que a ocupação determinada pela legislação reflete a relação (compreensão) equivocada das cidades com a natureza.

Figura 9: Bacia hidrográfica, em destaque a divisão da bacia em zonas ou partes



Fonte: Adaptado pelo autor de Pinheiro (2019).

A compreensão dos problemas gerados a montante e a transferência de impactos negativos para bacias ou áreas localizadas a jusante reforçam a ideia de rede, ou seja, as bacias hidrográficas trabalham interligadas criando um sistema que conecta bacias principais e pequenas bacias. As bacias hidrográficas são unidades que estão articuladas e integradas segundo a lógica fractal. Assim, grandes bacias são formadas por diversas subdivisões (teoricamente infinitas) criando um sistema em rede a partir das bacias, sub-bacias, microbacias, circunstâncias⁵ e suas áreas de contribuição.

Como as bacias hidrográficas são unidades de planejamento que estão integradas, as pequenas bacias a montante podem contribuir para as bacias principais com interações positivas ou impactos negativos. Partindo das pequenas bacias localizadas a montante e reduzindo a

⁴ Comentário de Margarete Maria de Araújo Silva em relação a qualificação do trabalho em 2022.

⁵ "Circunstância" é um conceito em desenvolvimento por Roberto E. dos Santos e pelo Projeto Águas na Cidade que advém de uma perspectiva espacial, social e política, de articulação de habitantes e não de uma perspectiva estritamente física, constituindo uma unidade física mínima de análise sócio-espacial, e também de cálculos de escoamento, infiltração ou detenção.

transferências de impactos negativos podemos minimizar graves problemas a jusante, como as enchentes e inundações. Nesse sentido a compreensão correta da infraestrutura ambiental e bacias hidrográficas é fundamental para planejar ações na cidade. Tomando como ponto de partida as circunstâncias localizadas à montante é possível avaliar os problemas locais e construir ações coordenadas pelos moradores visando minimizar impactos transferidos para jusante na bacia.

2.2.2 Infraestrutura – drenagem urbana clássica

Na organização da cidade em camadas as infraestruturas urbanas tem papel importante pois trabalham a articulação entre as edificações e a infraestrutura geoambiental. No item atual apresento informações sobre as infraestruturas urbanas dando ênfase ao sistema clássico de drenagem urbana.

Os sistemas urbanos podem ser organizados sob diferentes critérios: sua função, posição no espaço, ou considerando seu funcionamento. De acordo com a posição dos elementos no espaço urbano as infraestruturas são divididas em:

- Aéreas (suspensas do solo), como as redes de energia elétrica e comunicação;
- Superficiais, como as vias de circulação e drenagem pluvial primária;
- Subterrâneos (distribuídos abaixo da superfície), como as redes de esgoto, água, drenagem pluvial secundária e gás canalizado. O nível subterrâneo também pode abrigar parte do sistema viário, principalmente o transporte coletivo (metrô).

Na organização baseada no seu princípio de funcionamento os sistemas são divididos em três grupos: os que não dependem da força da gravidade, como a energia elétrica; os que trabalham sob pressão, como as redes de água; e os dependentes da força da gravidade, como a drenagem pluvial e o esgotamento sanitário (ELOY, 2010, p.22).

A classificação mais usual é a que organiza as redes por funções, sistema viário, sanitário, drenagem pluvial, energético e comunicação. O viário compreende as redes de circulação de diferentes tipos (automotores, bicicletas, pedestres), exerce importante papel para os deslocamentos na cidade. Além da mobilidade urbana, o viário, exerce a função de distribuição dos demais sistemas urbanos, ou seja, é o local onde são instaladas, em geral, as redes de drenagem

pluvial, água potável, esgoto, energia e telecomunicações. Por abrigar diferentes redes e sistemas, o viário é foco de constantes conflitos ou disputas por espaço (MORETTI, 1997, p.59).

O sistema sanitário é formado pela rede de abastecimento de água potável e pela rede de esgotamento sanitário, ambos conformados na lógica de uma árvore, mas simétricos e opostos. O sistema energético é formado pelas redes de gás e energia elétrica. A rede de energia se divide em iluminação pública e distribuição de energia para edificações. O sistema de comunicação é integrado pelas redes de telefone, TV e lógica.

O sistema de drenagem tradicional é a rede de coleta e retorno aos rios da água precipitada sobre as superfícies urbanas. Nas áreas urbanizadas a coleta se inicia nas próprias vias urbanas que conduzem as águas pluviais para galerias subterrâneas (TUCCI, 2005). A solução usualmente empregada para a condução das águas da chuva na cidade está diretamente relacionada a lógica da concentração e condução das águas, por canais impermeabilizados até um corpo d'água no fundo de vale; solução que está vinculada ao desenho da rua e cidade. Dá-se o nome de drenagem urbana clássica ou convencional para essa abordagem de manejo das águas pluviais.

O sistema de drenagem clássico é composto por vias com abaulamento lateral em direção às sarjetas, guias, sarjetas, bocas de lobo, tubulações, sarjetões e componentes que auxiliam na descida da água, como as escadas dissipadoras (ELOY, 2010, p.27). O sistema de drenagem se inicia nas vias pavimentadas que conduzem as águas até a rede coletora pluvial. As guias e sarjetas, posicionadas entre a calçada e o leito carroçável, e os "sarjetões", valas instaladas no cruzamento entre vias, têm a função de direcionar as águas para as bocas de lobo. As bocas de lobo captam a água superficial e a direcionam para galerias pluviais instaladas abaixo do nível da rua. As galerias conduzem a água até seu lançamento final em um corpo d'água.

Os sistemas de drenagem urbana são classificados de acordo com suas dimensões, se dividindo em sistemas de microdrenagem urbana e macrodrenagem urbana. A microdrenagem ou rede primária urbana é constituída pelo sistema de condutos pluviais, sarjetas, canaletas. O sistema de microdrenagem é projetado para atender a precipitações com risco moderado. Já o sistema de macrodrenagem é constituído de canais, barramentos, diques, bacias de retenção, entre outros. Segundo Nascimento e Baptista (2009), a macrodrenagem é composta de canais de dimensões maiores ou escoamentos que ocorrem nos fundos de vale por meio dos cursos de água natural. Os cursos de água quando retificados e canalizados passam a fazer parte da rede de macrodrenagem.

Como o sistema é composto de dutos e canais impermeabilizados a implantação do sistema de drenagem clássico contribui para o rápido escoamento das águas pluviais e agravamento das inundações nas regiões a jusante. A canalização, retificação, redução da rugosidade dos canais fluviais e a eliminação de seus meandros transferem com maior rapidez um grande volume de água para jusante, reduzindo o tempo de concentração e aumentando os picos de vazão e frequência (PINHEIRO, 2019). Segundo Carvalho (2011), além de aumentar o risco das inundações, o escoamento das águas pluviais dentro de canais e galerias de concreto para as regiões de fundo de vale faz com que a cidade “jogue fora” a mesma água de que tanto precisa. Silva⁶ reforça que não jogamos fora apenas a água, mas água e solo dentro do binômio “terra + água”.

O crescimento urbano e o aumento da área impermeabilizada influenciam diretamente na infiltração e no aumento do escoamento superficial da água causando distúrbios na dinâmica natural. A água que antes infiltrava no solo e reabastecia o lençol freático hoje corre em galerias e é direcionada de forma rápida para o fundo de vale e curso d’água agravando o problema das inundações. O lançamento de esgoto nos córregos, as alterações de uso do solo, movimentações de terra e despejo de lixo de forma inadequada, contribuem para direcionar sedimentos e poluir as águas dos rios agravando o problema das enchentes e inundações nas bacias hidrográficas. No próximo item proponho descrever melhor a relação entre “urbanização e impactos ambientais”.

2.2.3 Urbanização e impactos ambientais

No sistema que integra cidade (edificações), infraestrutura urbana e infraestrutura geoambiental um dos grandes impactos no meio urbano hoje está relacionado à água por meio das enchentes e inundações nas regiões de fundo de vale. Na verdade, as enchentes são eventos considerados normais: com as chuvas é natural que ocorram cheias e o transbordamento dos rios e lagos. O grande problema é que hoje as enchentes e inundações afetam milhões de pessoas em diferentes partes do mundo e estão se transformando em grandes desastres naturais na medida que atingem áreas ocupadas.

As enchentes ou cheias são definidas como elevações temporárias do nível d’água ocasionadas pelo aumento da vazão em um canal de drenagem. Quando as águas das enchentes atingem vazões que superam a capacidade de descarga da calha do curso d’água e extravasam

⁶ Comentário de Margarete Maria de Araújo Silva em relação a qualificação do trabalho em 2022.

para áreas marginais ocupadas passam a ser chamadas de inundações. As áreas marginais são definidas como planície de inundação, várzea ou leito maior do rio (MINISTÉRIO DAS CIDADES/IPT, 2007).

Figura 10: Perfil esquemático das enchentes e inundações



Fonte: Ministério das Cidades/IPT (2007).

As inundações podem ser naturais ou ocasionadas pela urbanização, processos que podem ocorrer isoladamente ou combinados. As inundações naturais ocorrem no leito maior dos rios devido ao excesso de chuvas e escoamento pluvial, também conhecidas como inundações de áreas ribeirinhas. As inundações devido à urbanização estão relacionadas as intervenções de alteração do meio, impermeabilização do solo, canalização ou obstruções do escoamento da água (TUCCI, 2005).

Os eventos naturais são agravados pela urbanização, desmatamento, impermeabilização do solo, ocupação das margens, intervenções diversas junto ao curso d'água e sistema de drenagem (TELLES, 2013). O crescimento urbano e todos os aspectos descritos acima vistos sob um enfoque "imediatista" de ocupação do solo, refletem-se diretamente sobre o ciclo hidrológico urbano e cidade (NASCIMENTO; BAPTISTA, 2009, p.48).

É nítido que a ausência ou instalação parcial dos sistemas de infraestruturas urbanas vão potencializar impactos negativos na cidade; contudo, os problemas das inundações não são gerados pela falta ou instalação parcial dos sistemas, pelo contrário, são nas áreas melhor dotadas de infraestrutura urbana e rede de drenagem que as inundações ocorrem. Para resolver os problemas das inundações os municípios passam a canalizar a macrodrenagem, ou seja, reproduzem a mesma lógica que ocasionou o problema.

A falta de um planejamento adequado e a necessidade de resolver questões emergenciais após a ocorrência de graves inundações conduz a execução das soluções já comumente adotadas (NASCIMENTO; BAPTISTA, 2009). Assim, cria-se um ciclo de criar soluções que posteriormente tendem a potencializar os impactos da urbanização sobre os processos hidrológicos. A contínua reprodução das soluções convencionais podiam então ser justificadas pelo seu custo de instalação, contudo são onerosas, requerendo pesados investimentos, e de rápida obsolescência, necessitando de retrabalhos e reparos ao longo do tempo. Segundo Telles (2003), o processo de canalização como solução para resolver as inundações geralmente ocorre seguindo os seguintes estágios:

- Início da urbanização na bacia: ocupação ocorre de forma distribuída, mas com maior densificação a jusante já que a tendência de ocupação é no sentido de jusante para montante; surgem locais de inundação devido ao estrangulamento do curso d'água e urbanização.

- Canalizações: são executadas a jusante seguindo o modelo atual de urbanização; vazões máximas aumentam a jusante e o problema é temporariamente resolvido já que a bacia ainda não está totalmente ocupada e impermeabilizada.

- Com o contínuo processo de ocupação e canalização da bacia, inclusive nas áreas a montante, as inundações retornam. Com toda a bacia urbanizada a canalização transfere a inundação totalmente para jusante. A ocupação das áreas das várzeas e a falta de espaço para ampliação dos canais reduzem as soluções dos problemas para alternativas com custos elevados, como: aprofundamento do canal, elevação das margens, outras canalizações, diques com bombeamentos, barragens, entre outras propostas realizadas através de grandes obras.

O agravamento do problema está diretamente relacionado à ocupação do solo e à falta de propostas que trabalhem de forma harmônica a relação da cidade com as águas. Falta gestão e planejamento de ações integradas com o intuito de controlar os impactos das inundações. Carvalho (1999) destaca que ações integradas à infraestrutura geoambiental podem gerar impactos positivos; contudo, o que se observa de maneira geral é que os recursos hídricos ainda são tratados de forma setorializada, principalmente em planos e projetos urbanos.

A gestão centralizada em diferentes instâncias e secretarias que não dialogam diretamente entre si tende a priorizar ações que focam em questões específicas de cada setor. Outro ponto importante é a escala dos planos, quando integrados a grandes projetos urbanos, parecem cada vez mais orientados a estratégias de desenvolvimento e aumento de produtividade econômica da cidade

como um todo, deixando em segundo plano o reconhecimento das especificidades locais e melhorias na escala microlocal. Quanto mais vai se ampliando o universo de atuação, há um afastamento das pessoas, das dinâmicas já existentes nos espaços, e das tecnologias para uma aplicação mais flexível e heterogênea (POLIZZI, 2013).

Acredito que não apenas os recursos hídricos e infraestruturas urbanas devem trabalhar em conjunto, mas os setores em geral da sociedade, técnicos, comunidade, poder público e agentes. A população tem um papel chave; contudo, somente com o envolvimento de toda sociedade será possível reverter esse quadro. Outra questão chave é o conhecimento das alternativas de manejo das águas pluviais por todos os setores como um todo.

No contexto da drenagem urbana é possível constatar que mesmo ineficientes, limitadas e pouco flexíveis, ainda adotamos as técnicas clássicas de drenagem como a prática padrão; mas quando o sistema começa a gerar cada vez mais problemas abre-se espaço para repensar a forma de lidar com a água no meio urbano, abre-se espaço para aprofundarmos o estudo de alternativas para o manejo das águas pluviais na cidade.

Quais possibilidades e como as medidas compensatórias difusas para manejo das águas pluviais podem ser implantadas na cidade? No próximo capítulo proponho apresentar estudo relacionado as MCD. O estudo das medidas compensatórias difusas visa o levantamento das diferentes soluções, busca avaliar como e onde aplicar as MCD na cidade. Propostas articuladas com a comunidade que levem em consideração as características locais, escala de implantação, e o uso responsável de recursos.

3. MEDIDAS COMPENSATÓRIAS DIFUSAS (MCD) PARA O MANEJO DAS ÁGUAS PLUVIAIS NA CIDADE

No presente capítulo abordarei as medidas compensatórias difusas (MCD) para o manejo das águas pluviais na cidade. No primeiro item descrevo as diferentes técnicas e as escalas de aplicação. Para aproximar a discussão da cidade de Belo Horizonte descrevo projetos e experiências de implantação das MCD na cidade. Na sequência apresento as “técnicas compensatórias associadas aos locais de implantação”; o estudo das técnicas em relação aos locais de implantação visa detalhar os parâmetros que devem ser considerados para instalação das soluções na cidade. Por último descrevo a modelagem hidrológica como um procedimento para simular e avaliar as vazões em bacias hidrográficas.

3.1 Medidas compensatórias difusas para o manejo das águas pluviais

A sustentabilidade das cidades é um tema ainda em construção, aberto a diferentes interpretações e muito amplo, pois envolve múltiplas questões, tais como: integração entre os elementos naturais e construídos, conceitos relacionados ao ciclo hidrológico, unidades de planejamento conformadas por bacias hidrográficas, transformações do meio, impactos ambientais e comunidade; contudo, mesmo amplo e complexo, entendo que para construir uma melhor relação com a natureza é preciso abrir espaço para novas abordagens, tanto nos procedimentos e técnicas adotadas, como nos planos, programas de governo e formas de gestão.

É a partir das premissas destacadas acima que as abordagens ambientais para as cidades começam a ganhar espaço desde 1970, principalmente em países da Europa, América do Norte, Austrália e Japão. As propostas buscam repensar o desenho das cidades considerando a água e as infraestruturas urbanas como elementos centrais do planejamento. Como ponto importante para o funcionamento das cidades, as infraestruturas urbanas entram também no debate através do desenho de soluções “verdes”, propostas que buscam integrar o verde e a água ao desenho urbano.

A “infraestrutura verde” parte de uma diferente percepção, que entende a infraestrutura como um sistema integrado ao meio ambiente; surge como um contraponto à infraestrutura cinza, a um desenho urbano pensando para o automóvel, superfícies impermeáveis, e aos impactos decorrentes do modelo, como inundações e congestionamentos. Em termos gerais a infraestrutura verde

consiste em uma rede de fragmentos permeáveis vegetados interconectados, incluindo ruas, terrenos, áreas livres e construções.

Não é apenas criar um parque ou delimitar uma área de preservação, mas entender a relação entre natureza e cidade, ou seja, entre áreas verdes, áreas urbanas e as águas com o todo. Assim, a cidade é pensada e planejada a partir de conceitos ecológicos de conservação e proteção da biodiversidade, de buscar uma relação harmoniosa integrando processos naturais à estrutura urbana. Integração e conexão são pontos fundamentais para o fluxo das águas e pessoas na cidade (HERZOG; ROSA, 2010).

O planejamento da infraestrutura verde na cidade produz benefícios para além da drenagem urbana, ajuda a mitigar os efeitos das mudanças climáticas, reduzir ilhas de calor, e a poluição da água e do ar. Herzog e Rosa (2010) destacam que a infraestrutura verde favorece a mitigação de impactos ambientais e possibilitam uma melhor adaptação das cidades para enfrentar os problemas causados pelas alterações climáticas, como: chuvas mais intensas e frequentes, aumento das temperaturas nas áreas urbanas, desertificação e perda de biodiversidade.

As propostas de planejamento para as águas incluem os córregos e também o manejo das águas pluviais, ou seja, devem incorporar a água da chuva no desenho de áreas urbanas. Conforme destacado anteriormente, o rápido crescimento urbano e a excessiva impermeabilização do solo associados a um modelo de drenagem tradicional (que trabalha a partir da concentração e direcionamento da água pluvial para os fundos de vale e cursos d'água) evidenciam a necessidade de mudança. É preciso repensar o desenho urbano abrindo espaço para outras soluções.

Os reflexos da urbanização intensa sobre os processos hidrológicos têm evidenciado os limites das soluções tradicionais de drenagem urbana. Isso decorre da tendência das soluções tradicionais em agravar ou intensificar tais efeitos (NASCIMENTO; BAPTISTA, 2009, p.151).

Podemos destacar as seguintes abordagens que ganharam destaque com trabalhos na área do desenho ambiental urbano, como: a abordagem americana *Low Impact Development* - LID, denominado no Brasil por desenvolvimento urbano de baixo impacto, a abordagem australiana *Water Sensitive Urban Design* – WSUD, e a abordagem britânica *Sustainable Drainage Systems* – SUDs (SOUZA; CRUZ; TUCCI, 2012). A experiência brasileira não se configura como uma abordagem, mas os centros de pesquisa, universidades e governos tem estimulado a implantação

de técnicas compensatórias de manejo das águas pluviais através de incentivos a pesquisas, experiências práticas, contrapartidas e incentivos fiscais (IPTU verde, por exemplo).

O Desenvolvimento Urbano de Baixo impacto (LID) teve início no Estados Unidos com as tecnologias de biorretenção em meados da década de 1980. O projeto tinha por finalidade resolver as limitações de crescimento econômico e ambiental, e auxiliar no gerenciamento das águas pluviais. O objetivo da aplicação do LID é o manejo das águas pluviais por meio de técnicas de controle na fonte integradas à escala do edifício, à infraestrutura e ao paisagismo (ALMEIDA, 2014, p.21). As estratégias de ação integrada também são conhecidas como Práticas de Gestão Integradas (IMPs) e Melhores Práticas de Manejo (BMP).

Segundo Almeida (2014), a biorretenção é apenas uma das técnicas disponíveis no LID, poços de infiltração, trincheiras, bacias de retenção, pavimentos permeáveis e valas vegetadas, são outras técnicas que compõem as soluções de projeto que buscam o controle de poluentes, a redução do volume e gerenciamento do fluxo de escoamento das águas na cidade.

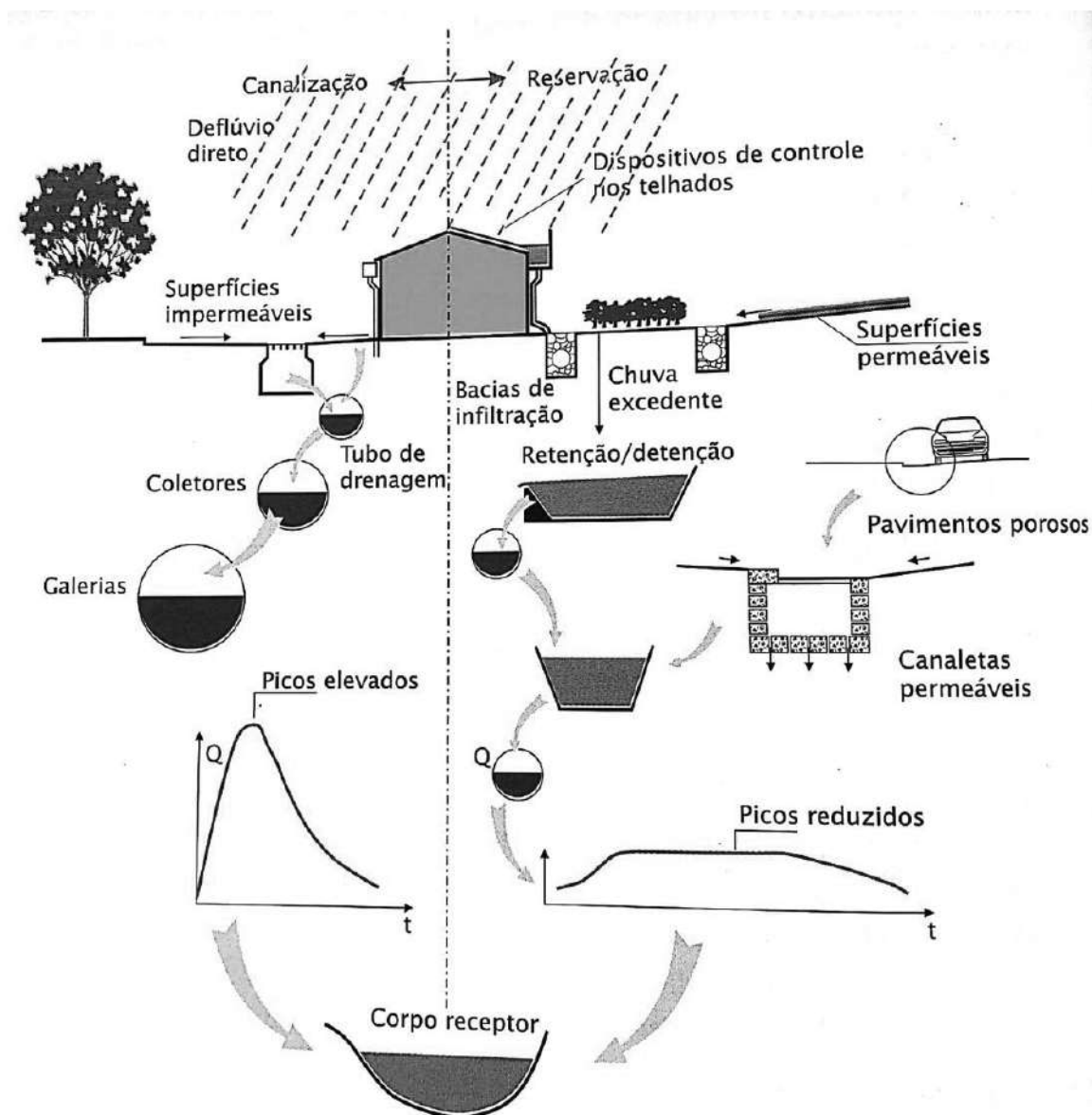
No Brasil as técnicas alternativas de drenagem urbana são conhecidas como técnicas compensatórias ou difusas de manejo das águas pluviais. Para a presente pesquisa as técnicas compensatórias foram definidas como medidas compensatórias difusas (MCD). As MCD são estratégias que promovem a infiltração e retenção da água da chuva no local onde a água atinge o solo; são alternativas ao tratamento pontual do problema. Segundo Brito (2006, p.09), diferente do sistema tradicional ou clássico, as técnicas alternativas funcionam basicamente pela retenção e infiltração das águas precipitadas, visando a diminuição do volume de água escoada e uma melhor distribuição das vazões.

As MCD têm como objetivo a preservação ambiental e a melhoria da qualidade de vida mediante a adoção de soluções que buscam compensar os impactos da urbanização sobre o ciclo hidrológico (BAPTISTA et al., 2005). Segundo Nascimento e Baptista (2009, p.151), o termo compensatório faz referência ao propósito central das técnicas que visam compensar ou minorar os impactos nas cidades.

Ao buscar integrar áreas verdes e água ao desenho urbano as técnicas compensatórias introduzem importantes mudanças e reabrem o debate sobre a concepção dos projetos urbanos tendo a água pluvial e córregos como elementos centrais para o desenho das cidades. A figura

abaixo apresenta um comparativo entre o sistema clássico de drenagem urbana e o sistema alternativo (medidas compensatórias difusas).

Figura 11: Esquema ilustrativo do sistema clássico e alternativo de drenagem urbana



Fonte: Canholi, 2014.

Ao analisar os dois sistemas é possível constatar que a instalação de dispositivos de controle e técnicas compensatórias favorecem a retenção e infiltração da água possibilitam uma redução dos picos de vazão no sistema alternativo de drenagem urbana. Souza et al. (2012) destaca os seguintes princípios associadas ao desenvolvimento urbano de baixo impacto para as cidades:

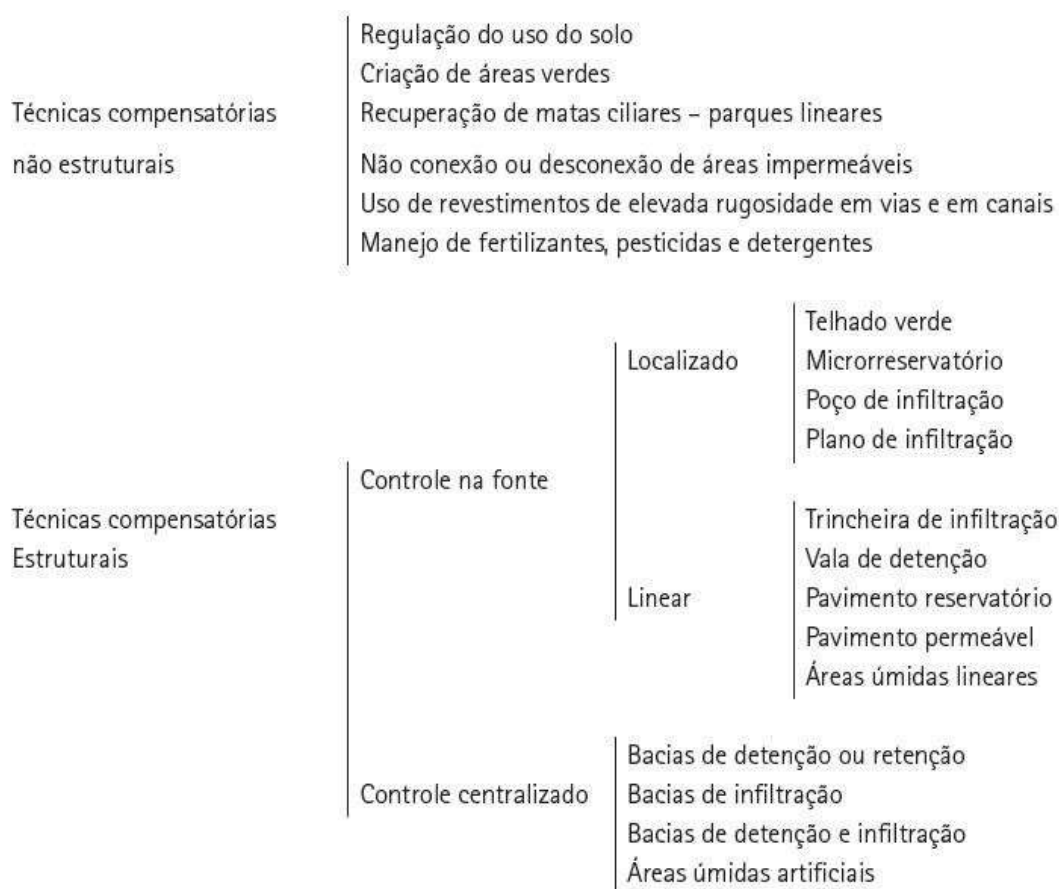
- Conservação — Preservação de vegetação e solo, minimizando a implantação de áreas impermeáveis e permitindo a manutenção de caminhos naturais de drenagem;
- Projetos locais únicos — Respeito às peculiaridades locais naturais e proteção de toda a bacia, em detrimento a padronizações;
- Direcionamento do escoamento para áreas vegetadas — Infiltração e recarga de aquíferos, terras úmidas e córregos, controle e tratamento realizados naturalmente;
- Controles distribuídos de pequena-escala — Empregar técnicas de manejo hídrico o mais próximo possível da fonte de geração do escoamento;
- Manutenção, prevenção à poluição e educação — Trabalhar a educação e envolvimento público para minimizar impactos e o aumento da eficiência e longevidade de sistemas de drenagem.

Os princípios destacados acima são questões que considero fundamentais para o desenvolvimento de propostas de MCD para as cidades, como: empregar técnicas para a pequena escala o mais próximo possível da fonte, potencializar a infiltração da água pluvial no solo, trabalhar a educação (ambiental) nos locais dos projetos para garantir o aumento da eficiência e longevidade do sistema.

Hoje é possível destacar diferentes soluções que podem ser trabalhadas integradas ao desenho urbano e a diversos usos, como exemplo podemos citar: telhados verdes armazenadores, poços de infiltração, jardins-de-chuva, valas de infiltração e detenção, trincheiras de infiltração e detenção, biovaletas, pisos drenantes, bacias de infiltração e detenção, aterros diques, entre outras soluções.

Para a organização das diferentes técnicas, normalmente, as soluções são classificadas e divididas em dois grupos: métodos não estruturais e estruturais. Os métodos não estruturais são ações indiretas, ligadas a planos e instrumentos da gestão pública. As soluções estruturais são ações diretas de intervenção na cidade. Na figura abaixo apresento organização das técnicas divididas em dois grupos, métodos não estruturais e estruturais. Os métodos estruturais são classificados a partir de sua localização na bacia, se dividindo em controle na fonte localizado, controle na fonte linear e controle centralizado em pontos determinados da bacia hidrográfica (NASCIMENTO; BAPTISTA, 2009, p.154).

Figura 12: Classificação das técnicas compensatórias de drenagem urbana



Fonte: Nascimento; Baptista, 2009, p.155.

Os procedimentos não estruturais são práticas indiretas que estabelecem recomendações, parâmetros de regulação de usos do solo e permeabilidade, ações para a criação e recuperação de áreas verdes, medidas de caráter preventivo contra inundações, ações de monitoramento de obras realizadas, zoneamento das áreas de risco, seguro contra inundações, e medidas de proteção individual.

As medidas não estruturais estão diretamente relacionadas a planos, instrumentos do planejamento e da gestão urbana. Importante destacar que as medidas não estruturais mesmo não atuando diretamente na realização de obras de drenagem urbana podem promover ganhos efetivos para as cidades, principalmente no momento atual que a sustentabilidade das cidades vem ganhando cada vez mais espaço nas políticas públicas. Abaixo listo as técnicas e medidas compensatórias não estruturais: regulação do uso do solo; zoneamento – área de risco de inundação; criação de áreas verdes; recuperação de matas ciliares – parques lineares; não conexão

ou desconexão de áreas impermeáveis; manejo de fertilizantes, pesticidas e detergentes; previsão e alerta de inundação; seguro e proteção individual contra inundação.

As medidas compensatórias não estruturais são ferramentas importante para minimizar o impacto das inundações e garantir a presença de áreas verdes na cidade; contudo, para ganhos efetivos o ponto de partida é entender o arranjo entre os instrumentos do planejamento e as ações práticas. De maneira geral, as estratégias municipais voltadas para a sustentabilidade ainda são ações restritas à educação e boas práticas ambientais que concedem incentivos e benefícios tributários, como o IPTU verde ou ecológico.

No contexto das cidades apenas ações pontuais não produzirão impactos significativos. Para ganhos efetivos é necessário integrar as políticas públicas ambientais e sociais com as políticas de saneamento, transporte e uso do solo. Outro ponto importante é o incentivo, estudo e implantação de técnicas verdes na cidade, como as técnicas compensatórias (estruturais) para manejo das águas pluviais

As técnicas compensatórias estruturais são práticas que atuam diretamente na cidade para promover o armazenamento e a infiltração das águas pluviais. São dispositivos implantados que trabalham em conjunto com o sistema clássico de drenagem e visam reduzir o volume de água pluvial que é escoado através da rede de drenagem urbana.

Ao contrário do conceito higienista de concentração e evacuação rápida das águas para jusante, as soluções estruturais trabalham a partir da dispersão, retenção e infiltração de água pluvial. As principais técnicas compensatórias estruturais, são: telhados verdes (captação e infiltração); microreservatórios; poço de infiltração; trincheira de infiltração ou detenção; vala ou valetas de infiltração ou detenção; jardins de chuva (células de biorretenção); pavimentos porosos ou permeáveis; áreas verdes gramadas; bacias de detenção e retenção; bacia de infiltração; áreas úmidas lineares; aterros diques; aterros de resíduos da construção civil - RCC; caixas de retenção (de sedimentos).

Segundo Tucci (2005), as medidas estruturais são obras implementadas para reduzir o risco de enchentes e podem ser aplicadas de forma extensivas ou intensivas nas bacias hidrográficas. As medidas extensivas são implantadas na bacia como um todo e visam modificar as relações entre precipitação e vazão. As medidas intensivas são aquelas aplicadas diretamente no córrego com o

intuito de retardar o escoamento (reservatórios e bacias de amortecimento), aumentar a capacidade de descarga, acelerar ou desviar o escoamento das águas pluviais através de obras (canais).

Dentre as formas de implantação das técnicas na bacia descritas por Tucci (2005), avalio as medidas extensivas como ações essenciais para aplicação em áreas urbanas. A implantação de medidas extensivas nas pequenas bacias (circunstâncias) está diretamente relacionada às estratégias que podem ser construídas para a pequena escala urbana, ações que podem ser implantadas de forma distribuída e articuladas com a população (propostas que serão melhor detalhadas mais à frente).

Cada solução estrutural tem características específicas que condicionam sua implantação na cidade. Os telhados verdes e microreservatórios, por exemplo, são técnicas indicadas para pequenas áreas e podem ser combinadas com a captação de águas dos telhados das edificações. As valas, trincheiras e jardins de chuva são soluções que se adaptam bem as ruas, passeios e pequenos espaços. As bacias de retenção, retenção e infiltração são técnicas que necessitam de grandes áreas para instalação e normalmente são executadas junto a regiões de fundo de vale ou linhas de drenagem. Os aterros de resíduos são técnicas utilizadas na recuperação de áreas degradadas, possibilitam a infiltração e recarga do lençol freático. As caixas de retenção trabalham a retenção de sedimentos e evitam o assoreamento dos cursos d'águas.

Algumas técnicas compensatórias trabalham apenas a retenção e retenção das águas pluviais, outras possibilitam também a infiltração da água no solo. As soluções que trabalham a infiltração reduzem o volume de água que é escoado pelo sistema clássico de drenagem e contribuem para a recarga do lençol freático. As técnicas de retenção realizam o armazenamento temporário das águas pluviais e contribuem para evitar a sobrecarga do sistema nos momentos de chuva. Tanto as técnicas que trabalham a infiltração, como as soluções de retenção das águas pluviais, têm como objetivo principal reduzir os picos de vazão e atenuar os impactos das inundações nas cidades. Além de contribuir para minimizar inundações, as soluções compensatórias podem melhorar a qualidade de vida na cidade reduzindo ilhas de calor, constituindo áreas verdes e espaço de uso público.

O quadro a seguir (figura 13) sistematiza de modo sumário as principais características das técnicas compensatórias mais utilizadas, tais como: vantagens, desvantagens, onde aplicar, como fazer e manutenção.

Figura 13: Tabela de técnicas compensatórias

| NOME | FOTO | DESCRIÇÃO | VANTAGENS | DESVANTAGENS | ONDE APLICAR | COMO FAZER | MANUTENÇÃO |
|-------------------------------|------|---|--|--|---|--|---|
| TELHADO VERDE | | Telhado vegetal de armazenamento temporário, são elaborados com dispositivos de regulação da vazão. | Retardamento ou redução do escoamento de águas pluviais; filtragem carga poluidora; boa integração em ambientes urbanos; isolamento térmico para a edificação (conforto térmico); | Verificação da estabilidade estrutural em telhados existentes; restrições em telhados com elevada declividade. | Telhados planos ou com ligeira declividade | Colocação da membrana a prova d'água; Barreira contênisora; sistema para drenagem da água; camada do tecido permeável; colocação da camada de terra e grama. | Necessária manutenção periódica da limpeza |
| MICRORESERVATÓRIOS | | Dispositivo de detenção subterrâneo para pequenas escalas. | Pouca interferência no uso e ocupação do solo; possibilita o reaproveitamento das águas pluviais para fins não potáveis; complemento o sistema de drenagem superficial aliviando a vazão em períodos de cheia; | Investimento relativamente alto por necessitar de escavação e não-de-obra especializada; garantir fácil acesso ao seu interior para manutenção; pouco eficientes na redução de poluentes; | Escavadas no solo e subsolo em: Escavadas no solo e subsolo de lotes (terreno), pilões ou ruas com pontos de alagamento críticos; | Escavação da sala onde será implantada; montagem da armação; concretagem; ligação de massa com a rede de drenagem; | Necessária manutenção periódica da limpeza |
| POÇO DE INFILTRAÇÃO | | Dispositivo pontual para captação, infiltração no solo e/ou armazenamento temporário das águas pluviais (diretamente ou por meio de tubulação); | Pouca interferência no uso e ocupação do solo; possibilita a recarga do lençol freático; demanda reduzida de espaço; baixo custo de implantação; possibilidade de utilização de materiais locais; | Não é adequado para local com lençol freático superficial (nível elevado), solos com baixa capacidade de infiltração e edificações ricas de contaminação do lençol freático; | Escavadas nos lotes (terreno), pilões ou áreas livres; | Escavação de poço vertical no solo; reveste com material poroso que promove a infiltração pontual no terreno; | Necessária manutenção periódica da limpeza e após cada evento de cheia significativas |
| TRINCHEIRA DE INFILTRAÇÃO | | Dispositivo linear implantado junto à superfície ou, pequena profundidade, captação, armazenamento temporário e infiltração da água pluvial. Apresentam formato linear e profundidade reduzida. Funcionam como pequenos reservatórios. | Infiltração e mitigação de água pluvial; recarga do lençol freático; boa integração ao meio urbano; fácil construção e baixo custo; possibilidade de valorização paisagística do espaço urbano; | Necessita de estudo de viabilidade técnica e manutenção regular; risco de contaminação do lençol freático; Restrição de eficiência em terrenos irregulares; | Escavadas ao longo da estrutura aérea, passadas e contênisoras centrais; estacionamentos e pilões; | Escavação do solo; preenchimento do local com material granular (brita e cacos); revestimento com manta geotêxtil (geotêxtil e top); cobertura com grama ou outro material drenante; | Necessária manutenção periódica da limpeza |
| VALA OU VALETA DE INFILTRAÇÃO | | Depressões escavadas no solo, trabalha a captação, armazenamento temporário e/ou infiltração da água pluvial. O armazenamento é feito no interior da vala, que posteriormente são escoadas através de infiltração ou por um exutório. | Infiltração temprana das águas; redução do volume de escoamento superficial; amortecimento das vazões; possibilita a evaporação e infiltração da água; local escogido; | Exigeção de espaço físico para sua implantação; restrição de eficiência em áreas com declividade acentuada; possibilidade de estagnação das águas; risco de contaminação do lençol freático; | Escavadas ao longo da estrutura aérea, passadas e contênisoras centrais; estacionamentos e pilões; | Escavação do solo para formar uma depressão com direção proporcional ao escoamento; pode receber revestimento vegetal e dispositivos de fundo para facilitar o escoamento; | Necessária manutenção periódica da limpeza |
| JARDIM DE CHUVA LINEAR | | Dispositivo linear implantado junto à superfície, trabalha a captação, armazenamento temporário e/ou infiltração da água pluvial. O armazenamento é feito no dispositivo, que posteriormente são escoadas através de infiltração ou por um exutório (semelhante as redes de infiltração); | Infiltração temprana das águas; redução do volume de escoamento superficial; amortecimento das vazões; possibilita a evaporação e infiltração da água; valorização paisagística das áreas; | Necessita de estudo de permeabilidade do solo; há limitação projetual quanto o nível de lençol subterrâneo e superficial; não indicado para áreas com espaços reduzidos; pode sofrer contaminação em áreas com aporte de sedimentos; restrição de eficiência em áreas com declividade acentuada; | Escavadas ao longo da estrutura aérea, passadas e contênisoras centrais; | Retirada da pavimentação; escavação das áreas; instalação dos raios permeáveis; concretagem das áreas de entrada e saída de água do escoamento vertical; preenchimento da estrutura com solo; preparação do solo e plantio da vegetação; | Necessária manutenção periódica da limpeza |
| VALA OU VALETA DE DETENÇÃO | | Depressões escavadas no solo, trabalha a captação e o armazenamento temporário da água pluvial. | Infiltração temprana das águas; amortecimento das vazões; possibilita a evaporação da água; não apresenta risco de contaminação do lençol freático; o tipo do solo não influencia na implantação; | Necessita de dispositivo de descarga; requer maior espaço para ser implantado junto ao sistema aéreo; | Escavadas ao longo da estrutura aérea, passadas e contênisoras centrais; estacionamentos e pilões; | Escavação do solo para formar uma depressão com direção proporcional ao escoamento; pode receber revestimento vegetal e concretagem e dispositivos de descarga; | Necessária manutenção periódica da limpeza |
| PAVIMENTO POROSO OU PERMEÁVEL | | Tratamento da superfície com material que possui porosidade ou permeabilidade capaz de influenciar no escoamento e infiltração da água; | Redução da velocidade e do volume de escoamento superficial; possibilidade de recarga subterrânea; custo de implantação similar aos pavimentos convencionais; | Recomendável em áreas com telhado pouco intenso de verticais; pode haver contaminação do lençol freático; no caso dos blocos porosos, é recomendada não usar rejunta; | Pode ser instalado em diferentes locais: estacionamentos e pilões, praças, calçadas, ruas com tráfego leve e áreas industriais; | Limpeza e preparo do terreno; compactação do subleito; assentamento do manto geotêxtil (opcional); espalhamento e compactação das camadas de brita; assentamento e rejunta do bloco permeável; | Não necessária de manutenção periódica |
| ÁREAS VERDES GRAMADAS | | Áreas verdes gramadas ou arborizadas na superfície; | Zona de escape para arborizadas; infiltração parcial dos escoamentos das superfícies impermeáveis urbanas; diminui a velocidade do escoamento artificial; redução das taxas de calor nos centros urbanos; função paisagística; | Possibilidade de sofrer com alagamento; necessidade de manutenção e limpeza regular; | Pode ser executado em diferentes locais: praças, parques, áreas públicas, lotes comerciais ou residenciais, áreas (carteiros); | Limpeza e preparo do solo; plantio da grama e demais vegetações; | Necessária manutenção periódica, para a irrigação |
| BACIA DE DETENÇÃO E RETENÇÃO | | Reservatório para acumulação temporária das águas pluviais. Devem ser executadas em regiões com disponibilidade de espaço. Bacia de retenção: reservatório com período mais longo de detenção das águas; | Podem ser implantadas em áreas públicas; regula as vazões pluviais; armazenam grande volume de água pluvial; quando secas podem ser usadas de modo recreativo pela população; | Acumula resíduos sólidos e sedimentos decorrentes do escoamento artificial; necessidade de manutenção regular; necessita de disponibilidade de espaço para ser implantada; alto custo de instalação; | Devem ser executadas em regiões com disponibilidade de espaço; praças, parques, reservatórios urbanos e lotes ociosos; | Estudo de viabilidade; cálculo de dimensionamento; escavação e taludes laterais; concretagem; construção de canal condutor das águas para a bacia; cobertura da calçada; cobertura vegetal; | Necessária manutenção periódica da limpeza e equipamentos eletromecânicos; |
| BACIA DE INFILTRAÇÃO | | Reservatório para acumulação temporária e infiltração das águas pluviais. Devem ser executadas em regiões com disponibilidade de espaço; | Podem ser implantadas em áreas públicas; promove a recarga do lençol freático; regula as vazões pluviais; armazenam grande volume de água pluvial; função paisagística; | Necessita de um pré-tratamento da água para garantir sua duração; necessita de manutenção regular em decorrer da vegetação; necessita de solo suficientemente permeável e com nível do lençol freático profundo; necessitam de maquinário para sua construção; | Devem ser executadas em regiões com disponibilidade de espaço; praças, parques, reservatórios urbanos e lotes ociosos; | Estudo de viabilidade; cálculo de dimensionamento; limpeza do terreno; escavação e taludes laterais; construção de canal condutor das águas para a bacia; cobertura da calçada; cobertura vegetal; | Necessária manutenção periódica da limpeza e remoção dos sedimentos acumulados; |
| ÁREAS ÚMIDAS NATURAS | | Áreas configuradas como de depressão no terreno; áreas alagadas naturais; | Proporcionam atenuação do escoamento das águas pluviais; contribui para a amenidade e biodiversidade; vegetação indígena ajuda na retenção de contaminantes; redução de escoamento artificial; | Demanda utilização de sistema de pré-tratamento; necessita de disponibilidade de espaço para ser implantada; necessita de estudo de estabilidade técnica; restrições de eficiência em casos de fechividade acentuada; alto custo; | Áreas sujeitas a enchentes; áreas alagadas naturais; | Estudo de viabilidade; limpeza do terreno; escavação e taludes laterais; pré-tratamento da água; preparação do solo; | Necessária manutenção periódica da limpeza |

Fonte: Elaborado pelo autor, 2022, a partir de adaptação de Baptista et al., 2005; Nascimento e Batista, 2009; Canhóli, 2014; Pinheiro, 2019.

No próximo tópico apresento os programas e as experiências relacionadas a aplicação das MCD em Belo Horizonte. A capital de Minas Gerais, além de ser a área de estudo da pesquisa, apresenta importantes projetos e experiências relacionadas a execução de MCD para o manejo das águas pluviais.

3.1.1 Planos e programas relacionados ao manejo das águas pluviais em Belo Horizonte e região metropolitana

Belo Horizonte se destaca no contexto das cidades brasileiras por meio de programas e ações relacionadas ao manejo das águas pluviais, principalmente no final da década de 1990 e do ano 2000, através do PDDU - Plano Diretor de Drenagem Urbana de Belo Horizonte e do programa Drenurbs.

Diante da situação de degradação de córregos e agravamento das inundações foi identificado nos estudos do Plano Diretor da cidade a necessidade de desenvolvimento de uma proposta de planejamento específico para as águas pluviais. Assim, junto com a elaboração do Plano Diretor de Belo Horizonte em 1996, é proposto também o PDDU – Plano Diretor de Drenagem Urbana. O PDDU é concebido a partir de uma visão que entende as águas como um dos elementos estruturadores da paisagem urbana e estabelece novos princípios para a drenagem, como:

- Gestão participativa: entendimento da diversidade territorial e social, criação de instâncias de participação da população nas decisões de interesse comum da cidade;
- Planejamento integrado das redes de infraestruturas urbanas: planejamento da drenagem integrado com as demais redes de infraestrutura urbanas;
- Desenvolvimentos de estudos e diagnósticos para conhecimento atualizado da cidade e redes de infraestrutura;
- Não transferência de impactos entre bacias evitando o agravamento das ocorrências a jusante;
- Revalorização e incorporação paisagística dos cursos d'água no tecido urbano;

O plano foi organizado em etapas e o ponto de partida dos trabalhos foi realizar o diagnóstico da situação atual municipal. O trabalho de diagnóstico dividiu o território em bacias elementares

para levantamento da situação dos cursos d'água, cadastramento das redes de macro e microdrenagem, e análise da estabilidade estrutural das galerias subterrâneas. Para análise dos córregos e das áreas de inundações foi implantado um sistema de informações geográficas de monitoramento hidrológico e medições de vazões. De posse dos dados foram realizadas simulações hidrológicas e hidráulicas que possibilitaram identificar os locais com maiores problemas de inundação e alagamentos no município. A partir dos resultados do PDDU, a Superintendência de Desenvolvimento da Capital - SUDECAP iniciou estudos para desenvolvimento de um programa de recuperação ambiental de Belo Horizonte – Programa Drenurbs (ARAÚJO; PINHEIRO, 2015).

O Programa Drenurbs trabalha ações integradas de preservação e recuperação ambiental dos cursos d'água, tratamento dos fundos de vale, redução dos riscos de inundação, e manejo das águas pluviais. O programa busca reverter o quadro de degradação ambiental fundamentado no tratamento integrado dos problemas sanitários e ambientais municipais tendo como base a recuperação dos recursos hídricos naturais e valorização das águas no nível da bacia hidrográfica. Conforme destacado pela prefeitura municipal de Belo Horizonte (PBH), o programa tem como diretrizes principais:

- Bacia hidrográfica como unidade para o planejamento das intervenções;
- Limitar à impermeabilização do solo;
- Opção pela estocagem de águas no lugar da evacuação rápida;
- Implantação do monitoramento hidrológico;
- Inserção dos cursos d'água na paisagem urbana;
- Adoção de técnicas alternativas aos procedimentos convencionais para as questões de drenagem;
- Inclusão e participação das comunidades beneficiadas na conservação das intervenções propostas.

Segundo Costa et al. (2015), a preservação dos córregos em leito natural definida pelo Drenurbs é uma mudança significativa no conceito de drenagem urbana, pois durante várias décadas a canalização dos córregos foi apresentada como a solução técnica indicada para tratar as situações de insalubridade e degradação dos cursos d'água. Entre as intervenções do programa destacam-se: a criação de parques lineares, áreas verdes, conservação e proteção de nascentes,

interceptação de esgotos, ampliação dos sistemas de limpeza urbana, tratamento e a recuperação das margens dos córregos, implantação de reservatórios para controle de inundações, remoção e reassentamento de famílias em situação de risco, além de ações de educação ambiental e de mobilização social.

O trabalho de educação ambiental urbana se apresenta como parte fundamental para compreensão da visão sistêmica de unidades de planejamento conformado por bacias e sub-bacias hidrográficas. Costa et al. (2015) destaca a importância das propostas sociais e ações educativas para o sucesso e manutenção das obras realizadas, principalmente para reforçar o envolvimento dos moradores e o cuidado com o lugar. As ações realizadas em conjunto com a população são fundamentais para a continuidade do programa e para manutenção física e institucional dos investimentos realizados.

Por integrar diferentes ações e envolver a comunidade através da educação ambiental o Programa Drenurbs se constitui como uma importante ação de recuperação ambiental de bacias hidrográficas urbanas, principalmente se considerarmos as primeiras experiências do programa em bacias hidrográficas menores. Na medida que os projetos passam a contemplar bacias maiores e diferentes ações, o trabalho perde em qualidade devido principalmente a execução parcial das propostas.

O aumento da complexidade das intervenções e a execução parcial das intervenções impactaram no resultado final dos projetos. Segundo Pinheiro (2019), a redução de recursos e a extensão das bacias fez com que importantes propostas paisagísticas e sociais não fossem implantadas; assim, os projetos ficaram limitados a execução de obras de contenções das inundações. A execução parcial das obras gerou muitas críticas por parte da população.

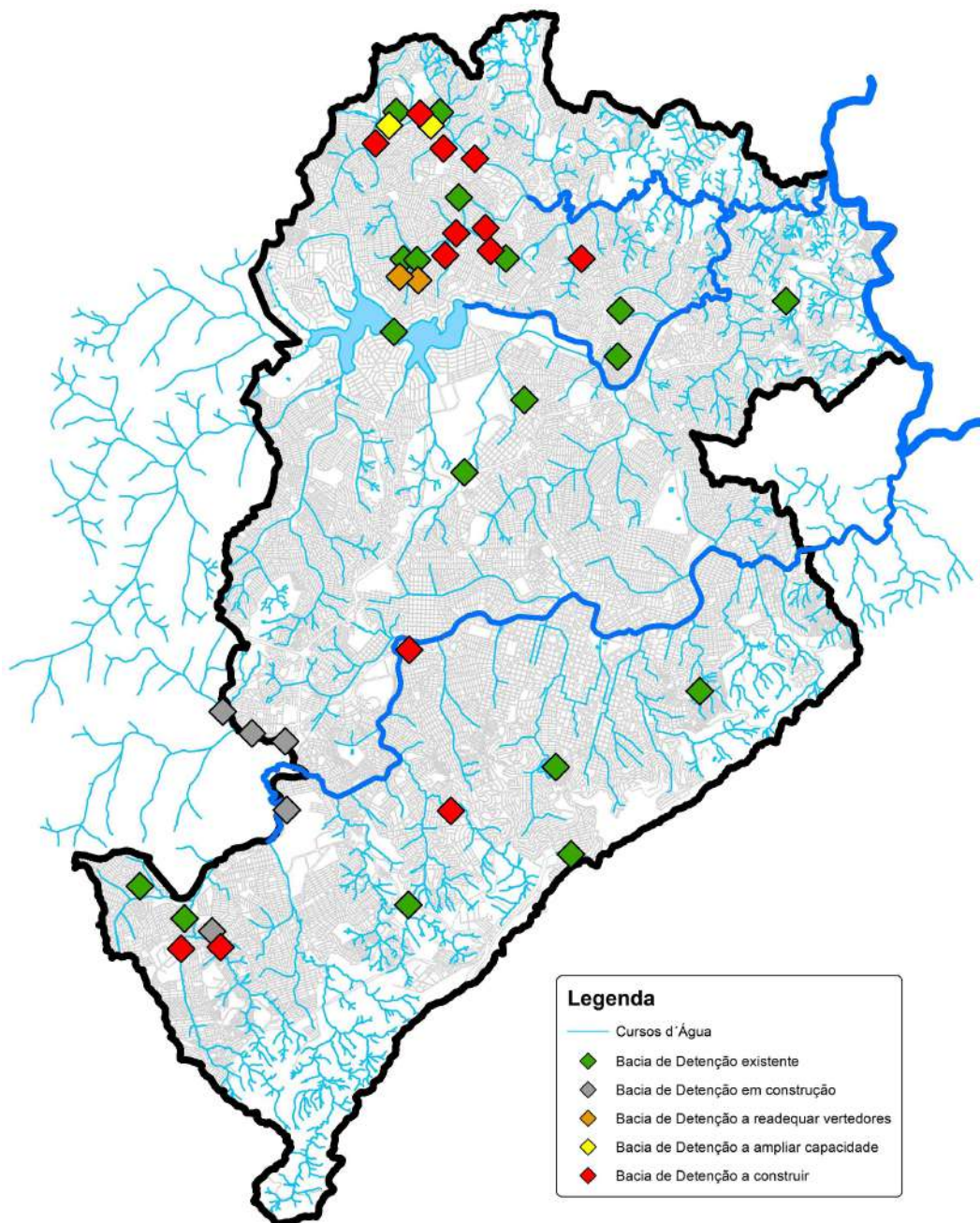
Quanto às soluções compensatórias para manejo das águas pluviais o que se observa é a priorização para implantação de bacias de retenção como estratégia de minimizar os impactos das inundações. As bacias ocupam grandes áreas e são instaladas nas regiões de fundo de vale, junto a linhas de drenagem, parques ou áreas verdes.

No final da década de 1990, essa solução passou a ter aplicação sistemática no município (e no país), fruto da disseminação dos conceitos do novo paradigma de drenagem urbana, sobretudo a partir de parcerias entre as gestões municipais e os centros de pesquisa universitários. É dessa época a implantação das bacias de retenção das avenidas Vilarinho e Liège e do Parque Lagoa do Nado, na

Regional Venda Nova, e da Lagoa Seca do bairro Belvedere, área de expansão urbana no vetor sul do município.

Nos anos 2000, com o PDDBH e o Drenurbs e, posteriormente, com o PAC, as bacias de detenção se consolidaram definitivamente em Belo Horizonte como solução para mitigação das inundações (PINHEIRO, 2019, p.221)

Figura 14: Bacias de detenção em Belo Horizonte.



Fonte: PBH, 2022.

As bacias exercem importante papel no controle das cheias, mas devem estar integradas a outros usos (lazer, social e uso produtivo) para uma efetiva apropriação dos lugares pela comunidade; se não, limitam-se a obras de infraestruturas. Em alguns casos as alterações no projeto para se enquadrarem as linhas de financiamento do governo priorizaram a execução de obras de avenidas sanitárias em detrimento de ações socioambientais (PINHEIRO, 2019). A execução parcial das obras, as alterações dos projetos, e a dificuldade de articular diferentes ações comprometeram a qualidade dos projetos executados.

Ao analisar o Programa Drenurbs destaco pontos positivos relacionados ao programa, como: a definição das bacias hidrográficas como unidade de planejamento, a inclusão da comunidade através de ações educacionais, a adoção de técnicas alternativas e a não canalização dos córregos em leito natural; contudo, no campo prático foram observados vários problemas, principalmente quando o projeto propôs ações em bacias maiores. Os diferentes eixos que devem ser trabalhados em programas dessa natureza e a complexidade das ações socioambientais apontam para estratégias desenvolvidas a partir da escala microlocal onde os moradores possam ter maior autonomia de ação. Inserido em grandes obras o programa apresentou resultados que se limitaram a respostas a problemas pontuais, principalmente questões viárias e de infraestrutura.

Para além dos planos e programas municipais é importante destacar também as propostas de planejamento territorial com o intuito de articular as dimensões ambientais e urbanas de Belo Horizonte e sua região metropolitana por meio da concepção de uma trama verde azul (TVA). Segundo Oliveira e Costa (2018), o conceito da “trama verde e azul” vem da ideia de sistema ou rede ecológica, tem como premissa a preservação dos processos e sistemas ambientais, conjuntos de espaços naturais e seminaturais nos territórios. A formação de corredores ecológicos estrutura a ideia da trama segundo o binômio “verde + água”.

No contexto da região metropolitana de Belo Horizonte a proposta da TVA surge com a elaboração do Plano Diretor de Desenvolvimento Integrado da RMBH de 2011 e Macrozoneamento do solo que inclui a trama como um elemento articulador do território metropolitano. Oliveira e Costa (2018) destacam que o PDDI já incorporava a dimensão ambiental no planejamento territorial metropolitano; contudo, a proposta de estudar o conceito da “trama verde azul” no Macrozoneamento visava situar as áreas verdes e as águas no centro do debate.

[...] pensar nessa trama como uma maneira de colocar, no centro do debate da estruturação metropolitana, elementos alternativos àqueles que tradicionalmente assumiram essa posição - as zonas industriais, o sistema viário e os centros de comércio e serviço (as centralidades). Pretendia-se propor uma articulação de outros elementos, como os rios, suas margens, as áreas livres (ou não construídas), vegetadas e permeáveis, com todo o potencial que podem ter na conformação de um espaço urbano mais inclusivo, diverso e democrático, oposto à lógica atual, onde o espaço produzido segundo os interesses do capital assume o protagonismo na orientação da ocupação urbana, enquanto espaços com alto valor de uso comum ficam relegados a uma condição residual, de precariedade” (OLIVEIRA; COSTA, 2018, p.548)

Dentro dessa trajetória que se iniciou no ano de 2011 a proposta da “trama verde e azul” não se concretizou de fato como um projeto para a região metropolitana de Belo Horizonte, mas se constitui como uma importante experiência de planejamento territorial em nível metropolitano. Para além de sua dimensão política, uma importante questão trazida pelo projeto foi a possibilidade de articulação e fortalecimento de movimentos e sujeitos envolvidos em práticas ambientais e agroecológicas, como: agricultores, ativistas da agroecologia urbana, movimentos de proteção de áreas verdes e nascentes, jardins comunitários e cicloativistas, sujeitos que buscam outros cotidianos possíveis a partir de uma perspectiva de transformação socioespacial (OLIVEIRA; COSTA, 2018).

O PDDU, Programa Drenurbs e a TVA são importantes trabalhos que necessitam de continuidade. Um ponto importante a ser avaliado seria como articular propostas de MCD em diferentes pontos da bacia. No programa Drenurbs, por exemplo, as bacias de retenção poderiam ser implantadas integradas a outras medidas compensatórias, como: jardins de chuva, valas e trincheiras, ou seja, poderiam ser aplicadas diferentes MCD nas bacias. No próximo item apresento pesquisas e experiências de MCD que enfocam diferentes escalas, como ruas, praças e lotes.

3.1.2 Pesquisas e experiências de aplicação das técnicas compensatórias em Belo Horizonte e região metropolitana

A Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG) por meio do Programa de Pesquisa em Saneamento Básico (PROSAB) desenvolveu projeto relacionado a pesquisa de soluções para o manejo de águas pluviais na cidade e controle da poluição em áreas urbanas. A experiência fez parte de Projeto Switch - *Sustainable Water Management Improves Tomorrow's Cities Health*, pesquisa que buscou difundir o conceito de gestão integrada das águas urbanas de forma prática e aplicada em 12 cidades de diferentes países.

Nas cidades selecionadas foram desenvolvidas ações relacionadas a implementação de projetos de pesquisa, experiências práticas de aplicação de técnicas compensatórias de manejo das águas pluviais e gestão de águas urbanas através de alianças de aprendizagem. Nos projetos executados foram avaliados a eficiência e a adequação das soluções aos contextos locais.

Em Belo Horizonte as MCD selecionadas para a pesquisa foram as trincheiras de infiltração, valas de retenção, bocas de lobo permeáveis, áreas úmidas artificiais (*wetlands*), bacias de retenção e reservatório para armazenamento e aproveitamento da água de chuva. As soluções foram aplicadas em diferentes contextos. As valas de retenção foram instaladas no Campus Pampulha da UFMG, próximas a avenida Carlos Luz. As trincheiras de infiltração foram instaladas no Campus da UFMG, Parque Nossa Senhora da Piedade e rua do bairro 1º de Maio. As bocas de lobo permeáveis foram instaladas em ruas do bairro Guaratã.

Figura 15: execução de trincheira e vala de retenção no Campus da UFMG



Fonte: Champs/Projeto Switch-PBH (apresentação).

Segundo relatório da Prefeitura Municipal de Belo Horizonte (PBH) o objetivo dos experimentos foi analisar o funcionamento das técnicas a partir dos seguintes aspectos:

- Analisar as fontes de poluição da área de estudo;
- Verificar os riscos de poluição do solo e das águas subterrâneas;
- Analisar os aspectos operacionais, custos de implantação e manutenção;
- Verificar e comparar a eficiência hidráulica das técnicas no controle do escoamento da microdrenagem e no controle da poluição difusa.

Figura 16: trincheira de infiltração e execução de boca de lobo permeável em rua



Fonte: PBH, 2010.

Para as soluções que necessitam de áreas maiores, como as wetlands, o objetivo foi a avaliação da proposta para controle e tratamento das águas em microbacias urbanizadas, redução da poluição e controle das cheias durante os eventos de chuvas. Em Belo Horizonte as wetlands foram implantadas em um trecho do córrego d'Água Funda no Jardim Zoológico.

As soluções aplicadas na escala do lote, como os reservatórios para armazenamento e aproveitamento da água de chuva, foram implantadas na Escola Municipal Anne Frank no bairro Confisco e no Jardim Produtivo do Barreiro. O objetivo da execução do reservatório foi monitorar a qualidade da água de chuva e estudar a viabilidade de utilização da água para a lavagem de pátio, irrigação de jardim e horta. Nos equipamentos urbanos também foram desenvolvidas ações sociais de educação ambiental e experiências de compartilhamento do conhecimento técnico/científico. O trabalho de educação ambiental evidencia um ponto importante que é a integração dos projetos com ações educacionais relacionadas às técnicas (reservatórios) e as águas.

No Projeto Switch o contato com moradores foi estruturado por meio da formação de Alianças de Aprendizagem (Aas) que visavam debater questões relacionada à gestão dos recursos hídricos, bem como construir coletivamente ações futuras. Para garantir a replicabilidade do conhecimento, preservação e manutenção das obras era importante promover a disseminação de conhecimento das novas tecnologias junto à comunidade local. Segundo a Prefeitura Municipal de Belo Horizonte as atividades compreenderam: o planejamento, articulação, capacitação de parceiros e a disseminação de conhecimento através da produção de material informativo, como: *website*, jornais, grupos de discussão, cursos, *workshops* e a interface com outros programas relacionados a gestão das águas (PBH, 2010). Pinheiro (2019) destaca a importância da articulação e contato com a comunidade local para o sucesso das intervenções.

[...] como uma primeira experiência, importantes fatores puderam ser observados, tais como a importância da participação e aceitação da comunidade, que, no caso do *wetland* e do reservatório ficaram bastante evidentes: na primeira, a ausência de um trabalho mais amplo e continuado de mobilização, comunicação e educação ambiental resultou em ações de vandalismo e invasão da área do experimento por animais, que inviabilizaram a continuidade da pesquisa e, na segunda, a transmissão do conhecimento por meio de cursos oferecidos aos funcionários responsáveis pela limpeza da escola resultaram em uma boa aceitação do sistema, que segue em operação” (PINHEIRO, 2019, p.196)

A colocação acima reforça a importância de articular junto aos projetos ações de conscientização e educação ambiental, ou seja, é fundamental envolver os moradores como parte importante dos projetos. Outro ponto a ser destacado sobre o Switch é a abertura para experiências que focam na pequena escala, vias da cidade e equipamentos municipais (escola).

Seguindo a mesma abordagem do Switch, o Projeto INTERACT-Bio tem como objetivo fomentar o desenvolvimento de soluções baseadas na natureza para as cidades; participam da iniciativa três países, Brasil, Índia e Tanzânia. No Brasil foram selecionadas para o projeto as cidades de Belo Horizonte, Campinas e Londrina. O projeto INTERACT-Bio oferece aos países em expansão a oportunidade de aprofundarem o envolvimento e a contribuição dos governos na implementação de estratégias ambientais. O trabalho é coordenado pelo ICLEI - Governos Locais pela Sustentabilidade e conta com apoio do governo da Alemanha.

Em Belo Horizonte o projeto participa de duas iniciativas: mapeamento metropolitano do potencial ambiental de uma trama verde azul (apresentado anteriormente) e a valorização das áreas verdes na cidade através da proposta de implantação de jardins de chuva em praças, parques e ruas.

A proposta de implantação de jardins de chuva em Belo Horizonte e cidades da região metropolitana pretende demonstrar a viabilidade do projeto. Recentemente, em 2022, foi inaugurado o projeto de um jardim de chuva no Parque Municipal Fazenda Lagoa do Nado, em Belo Horizonte. Os jardins drenantes funcionam também como instrumentos educativos ao apresentar para a população a técnica implantada na cidade. Estão previstos a execução de outros jardins de chuva em Belo Horizonte e na Praça Presidente Tancredo Neves em Contagem.

Figura 17: Jardim de chuva no Parque Lagoa do Nado em Belo Horizonte



Fonte: Projeto Águas na Cidade, 2022.

Tanto o Projeto Switch, quanto o Projeto INTERACT-Bio, são programas desenvolvidos em diferentes países que buscam apresentar soluções sustentáveis, demonstrar e testar a aplicabilidade das MCD (jardins de chuva, trincheiras de infiltração, valas de detenção, entre outras medidas) para melhoria ambiental e redução dos impactos das inundações na cidade. Nos projetos é possível destacar também a articulação entre ações práticas e ações educacionais como um ponto importante das propostas. Sendo técnicas pouco conhecidas pela população em geral, a informação e o conhecimento das medidas são questões essenciais para a aceitação, manutenção e reprodução das soluções em outros pontos da cidade.

Para além dos projetos descritos acima gostaria de destacar também importantes experiências locais (Minas Gerais) que vem sendo desenvolvidas fora da esfera dos programas e projetos governamentais. As propostas ganham destaque pelo desenvolvimento de projetos que seguem os princípios das cidades geossuportadas.

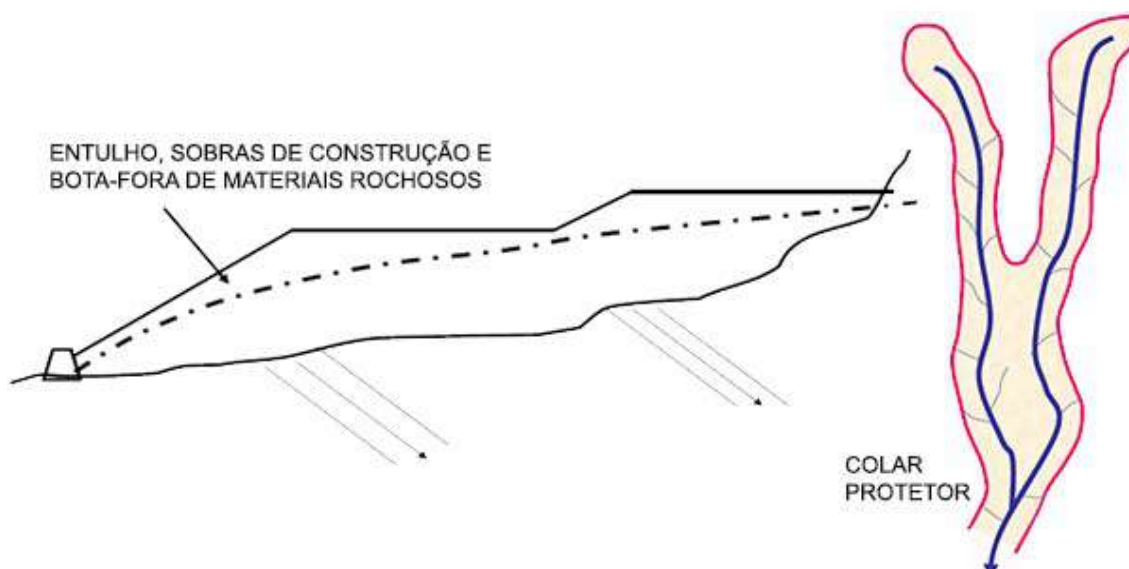
Edézio Carvalho, geólogo mineiro, apresenta importantes contribuições relacionadas a compreensão da cidade e sua relação com lugar, água e solo. No capítulo 2 abordei o entendimento da cidade a partir de três camadas que estão em constante interação. Na organização proposta por Carvalho a compreensão da infraestrutura geoambiental é de extrema importância para o funcionamento da cidade e também para solucionar problemas ambientais urbanos.

Segundo Carvalho (1999), o conceito de cidade geossuportada e o princípio de soluções compartilhadas pode ser aplicado para solucionar impactos negativos nas cidades, onde podemos resolver uma adversidade utilizando outro problema urbano; como a recuperação de áreas erodidas com entulhos gerados na construção civil (demolições e construções). Assim, áreas degradadas e voçorocas podem ser recuperadas com materiais drenantes, entulho inertes e terra, possibilitando a

infiltração da água e a recarga do lençol freático. As áreas degradadas recuperadas futuramente podem receber novos usos, como parques urbanos e praças.

Ao desenvolver propostas que possibilitam a recuperação de áreas degradadas e a infiltração das águas potencializamos impactos positivos para a escala da bacia hidrográfica. Seguindo o princípio de possibilitar a infiltração da água, barrar o carregamento de sedimentos para os córregos e proteger os fundos de vale, Carvalho propõe a execução de um colar protetor como medida para ser aplicada nas bacias hidrográficas. O que polui o rio não é percolação no solo das águas contaminadas, mas o fluxo superficial dessa água que carrega e lança sedimentos diretamente nos cursos d'água (CARVALHO, 2012).

Figura 18: Corte esquemático de recuperação de voçoroca com entulho e colar protetor para proteção das regiões de fundo de vale



Fonte: Geolurb – Edézio Carvalho, 2012.

O colar protetor combina diferentes técnicas, como: aterro-dique, aterro de RCC (resíduos da construção civil), muretas de pé de talude, valetas de infiltração e caixas de retenção de sedimentos. Os aterros e diques devem ser posicionados nos vales formando um colar protetor e as valetas de infiltração nas vertentes controlando e impedindo a chegada de sedimentos e poluentes nos cursos d'água. Os aterros de RCC e as técnicas de infiltração a montante possibilitam a infiltração e recarga do lençol freático, além de contribuir para a proteção e recuperação dos córregos e regiões de fundo de vale.

Figura 19: Aterro de resíduos (Belo Horizonte) e caixa drenante de gabião (condomínio em Nova Lima)



Fonte: Geolurb – Edézio Carvalho e Leonardo Polizzi, 2012.

Na figura acima apresento imagens que ilustram as seguintes MCD: aterro de resíduos com dique retentor em gabião e caixa drenante de gabião executada no condomínio Vale dos Cristais, em Nova Lima (região metropolitana de Belo Horizonte). A caixa é posicionada no caminho das águas e funciona como um filtro, barrando e evitando que os sedimentos sejam carregados para o fundo de vale assoreando o córrego. Como os sedimentos vão se acumulando na caixa drenante o dispositivo deve receber manutenção periódica.

Da mesma forma que as caixas drenantes, outras técnicas compensatórias como os jardins de chuva, precisam de manutenção periódica de limpeza. Se não forem executadas manutenções a capacidade de infiltração e armazenamento da técnica vai reduzindo com o tempo.

3.1.3 Plano Diretor de Belo Horizonte – instrumentos de controle ambiental

Tanto no campo de planos e experiências práticas, quanto nos instrumentos da política urbana, podemos destacar incentivos para a adoção de técnicas de infraestrutura verde e manejo das águas pluviais em Belo Horizonte. O Plano Diretor de 2019 (Lei 11.181/2019) apresenta uma evolução em termos de mitigação dos impactos da urbanização nas águas pluviais e fluviais ao incorporar instrumentos de controle ambiental e parâmetros da Nova Agenda Urbana com o intuito de garantir a gestão sustentável dos recursos naturais, como:

- Constituição de rede de áreas de estruturação ambiental, incluindo conexões verdes e conexões de fundo de vale;

- Implantação de ruas e espaços públicos seguros, inclusivos, acessíveis, verdes e de qualidade;
- Ações para promover medidas de redução de risco de desastres, mitigação e de adaptação às alterações climáticas na concepção de espaços, edifícios, serviços e infraestruturas. Com atenção à resiliência e a área permeável vegetada em terreno natural nos lotes.

No contexto dos instrumentos da legislação, as soluções sustentáveis estão sendo aplicadas como mecanismos de compensação em estudos de impactos e como benefícios urbanísticos em projetos. As contrapartidas sustentáveis dizem respeito a áreas verdes permeáveis, mobilidade urbana, tratamento dos resíduos, economia energética, água e gás. Os benefícios urbanísticos previstos no plano diretor de Belo Horizonte estão relacionados, por exemplo, a áreas não computadas para o cálculo de área líquida e a outorga gratuita. A Prefeitura Municipal de Belo Horizonte (PBH, 2020) elaborou materiais informativos no formato de E-books⁷ que descrevem os instrumentos e parâmetros.

Na adequação de edificação residencial as medidas sustentáveis estão relacionadas a implantação de área permeável no afastamento frontal e em porção do terreno coincidente com área de vegetação relevante, áreas de fruição pública, instalação de caixas de captação nos terrenos e diretrizes para o atendimento a taxa de permeabilidade por meio da adoção de mecanismos de compensação. Para concessão do benefício urbanístico deverão ser adotadas soluções técnico-construtivas no empreendimento, como: acréscimo de área verde em relação à taxa de permeabilidade exigida ou a cobertura vegetal em área de uso comum. A concessão do benefício está condicionada ao atendimento a um número mínimo de pontos (medidas realizadas no empreendimento).

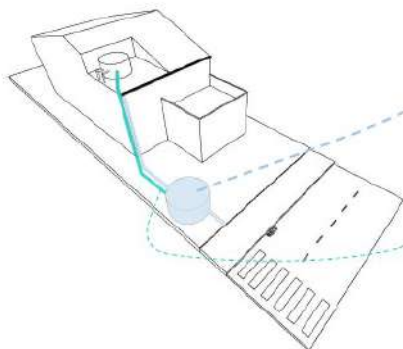
A caixa de captação nos terrenos é um dispositivo complementar para atendimento da taxa de permeabilidade (TP). A instalação da caixa tem função de regular o lançamento da água pluvial na rede pública (equivalente a vazão do terreno em condições naturais). Outro ponto importante é a possibilidade de utilizar a água armazenada para uso no próprio lote (reuso da água pluvial).

⁷ Link para consulta E-books da Prefeitura Municipal de Belo Horizonte <https://prefeitura.pbh.gov.br/politica-urbana/planejamento-urbano/plano-diretor/proposta> Acessado em setembro de 2023.

Figura 20: Parâmetros relacionados a instalação de caixa de captação em Belo Horizonte

Caixa de captação

A caixa de captação constitui **dispositivo complementar à TP**, com **função de amortecimento da descarga de água pluvial na rede pública de drenagem**, bem como de **melhoria do funcionamento do sistema de micro e macrodrenagem**, sendo **objeto de exigência** conforme disposto em regulamento.



A instalação deve garantir que o lançamento de águas pluviais na rede pública de drenagem seja **equivalente à sua vazão em condições naturais**.



A caixa de captação poderá ser utilizada como **reservatório para reuso das águas pluviais**.



São de **responsabilidade do proprietário** do imóvel a **manutenção e a limpeza** periódica da caixa de captação, de forma a garantir o cumprimento efetivo de sua função.

Fonte: E-book Plano Diretor de Belo Horizonte, 2020.

Telhados verdes e jardins de chuva drenantes são dispositivos complementares que podem ser conectados a caixas de captação. O cálculo da vazão dos dispositivos de drenagem deve garantir que a vazão do terreno seja equivalente à vazão primitiva (terreno não impermeabilizado). Em Belo Horizonte, a norma urbanística prevê que o cálculo seja realizado de forma parametrizada em área específica na planilha de cálculo do projeto (imagem abaixo).

Figura 21: Planilha PBH para cálculo dos dispositivos de drenagem urbana.

| DISPOSITIVOS DE DRENAGEM | |
|---|---|
| Área permeável em jardineira e/ou piso intertravado (m ²) mantidos conforme aprovada em legislação anterior a Lei 11.181/2019 | - |
| Volume da caixa de captação referente às jardineiras (L) mantido conforme aprovado em legislação anterior a Lei 11.181/2019 | - |
| Área permeável em terreno natural, vegetada e arborizada (m ²) | |
| Área permeável total (m ²) | - |
| Jardim Drenante (m ²) | |
| Área de telhado verde com substrato acima de 50cm (m ²) | |
| Área de telhado verde com substrato entre 20 e 50cm (m ²) | |
| Volume a ser adotado para a caixa de captação (m ³) | Volume calculado automaticamente após a inserção da área do terreno |

Fonte: PBH, acessado em julho de 2023. https://docs.google.com/document/d/e/2PACX-1vRF-WKd1YseyGJc6Pz8cJ01YnlMRNMIG941P-Pe9yiWKhpuYU9HWL1Q2ZxR_hb5-BhV9vff9uFEOEY/pub

A outorga gratuita e a transferência do direito de construir (TDC) são outros instrumentos da política urbana que podem ser alcançados mediante a preservação de áreas verdes e a adoção de soluções sustentáveis nos projetos.

A TDC é o instrumento pelo qual o Executivo autoriza o proprietário de imóvel urbano a alienar ou a exercer em outro local o direito de construir. A TDC é um instrumento muito utilizado em imóveis tombados que devem ser preservados. Além de bens tombados, lotes que apresentam relevância ambiental, também podem ser geradores de TDC. A lei de uso e ocupação municipal define que a geração de TDC referente aos imóveis destinados ao atendimento de interesse ambiental é condicionada à sua preservação ou recuperação. Terrenos situados em zona de preservação ambiental (PA-1) poderão ser geradores de TDC, desde que implantada reserva particular ecológica de caráter perpétuo e aberta ao público (Lei 11181/2019 de Belo Horizonte). A geração de TDC condicionada a preservação ambiental ainda é um instrumento pouco explorado na cidade.

A outorga gratuita para soluções projetuais está relacionada ao acréscimo de áreas verdes no projeto. Para atendimento da outorga a área permeável deve estar posicionada no afastamento frontal da edificação ou em porção coincidente com área de vegetação relevante. Para a área permeável no afastamento frontal a legislação estipula que no mínimo 50% da exigência legal relativa à TP deve estar localizada no afastamento frontal (lotes com testada menor ou igual a 15 metros). Para terrenos com testada maior que 15 metros, no mínimo 80% da exigência legal relativa à TP deve estar posicionada no afastamento frontal. A outorga gratuita também pode ser adquirida mediante a adoção de áreas de fruição pública, espaço contíguo ao logradouro público destinado à ampliação de áreas verdes e à formação de faixas, largos e praças para convívio coletivo (Lei 11181/2019 de Belo Horizonte).

Segundo as instruções técnicas da prefeitura de Belo Horizonte (PBH, 2022), as técnicas alternativas ou compensatórias podem trabalhar em conjunto com o sistema convencional ou separadamente, e devem seguir os seguintes princípios:

- Armazenamento: armazenamento e amortecimento do fluxo de água antes da sua transferência para áreas a jusante. O armazenamento pode ser realizado em bacias, valas, micro reservatórios e telhados. Projetos que objetivam diminuir o pico de vazão e estender a duração do escoamento.

- **Infiltração:** infiltração e recarga de aquíferos. A infiltração pode ser realizada em planos, valas e trincheiras de infiltração, jardins de chuva, dispositivos de percolação e pavimentos porosos. As soluções de infiltração objetivam reduzir o volume de água que é direcionado para áreas a jusante.

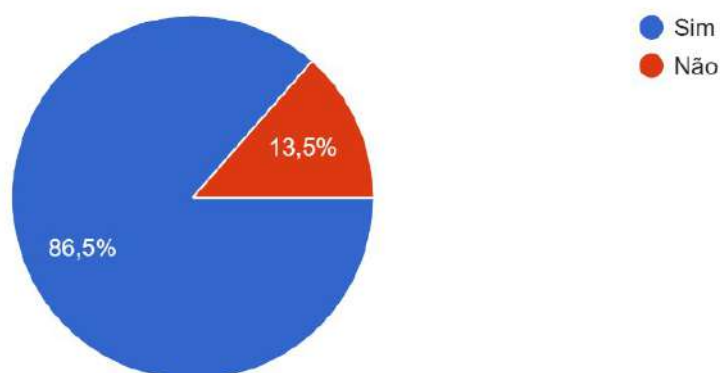
Com o objetivo de entender melhor como os arquitetos de Belo Horizonte estão trabalhando as medidas compensatórias nos projetos arquitetônicos e urbanos municipais realizei breve pesquisa para levantamento de informações com profissionais da área no ano de 2023. A pesquisa foi realizada com arquitetos urbanistas de Belo Horizonte e região metropolitana. A pesquisa contou com a participação de profissionais que trabalham com projetos em geral, não foi selecionado um grupo específico, como por exemplo, arquitetos que trabalham com projetos de licenciamento ambiental.

A pesquisa foi estruturada a partir de perguntas simples. Você conhece as técnicas compensatórias de drenagem urbana? Já utilizou alguma das MCD em projetos ou obras? A utilização das MCD foi para atender condicionantes para a aprovação do projeto na prefeitura municipal? Você já utilizou de soluções verdes como mecanismos de compensação em estudos de impactos ou como benefício urbanístico na aprovação de projetos? Quais?

Gráfico 1: Pergunta 1 da pesquisa relacionada as técnicas compensatórias

Você conhece as técnicas compensatórias de drenagem urbana?

37 respostas



Fonte: elaborado pelo autor, 2023.

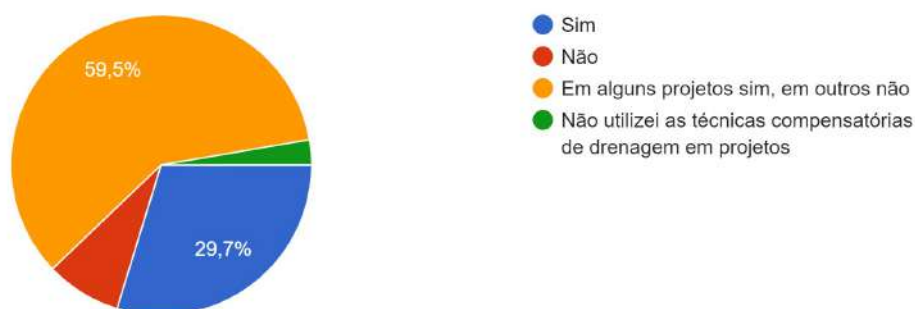
A pesquisa contou com a participação de trinta e sete (37) profissionais, mesmo sendo um número reduzido é possível levantar dados importantes sobre o tema. Com a pesquisa foi

possível constatar que 86,5% dos profissionais entrevistados tem conhecimento das técnicas compensatórias de drenagem urbana e que uma parcela significativa (59,5%) utiliza as técnicas compensatórias em diferentes situações, tanto para viabilizar a aprovação dos projetos, quanto para ganho de qualidade em trabalhos que não estão relacionados ao atendimento de uma exigência legal de aprovação. A aplicação das MCD para atender exclusivamente a condicionantes de aprovação de projetos representaram 29,7% dos casos (gráfico 2). Apenas 8,1% dos entrevistados utilizam as MCD sem esse objetivo (como condicionante para aprovação de projetos em prefeituras municipais).

Gráfico 2: Pergunta 2 da pesquisa relacionada as técnicas compensatórias

A utilização das técnicas compensatórias de drenagem urbana foi para atender condicionantes para a aprovação do projeto na prefeitura municipal?

37 respostas



Fonte: elaborado pelo autor, 2023.

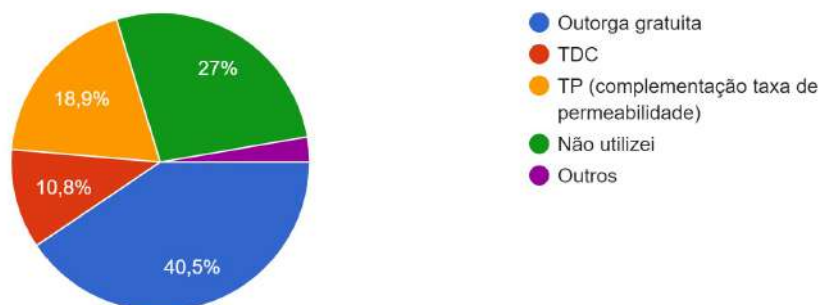
Tendo como base as perguntas iniciais da pesquisa é possível afirmar que a maioria dos profissionais conhece as técnicas e utiliza de certa forma as MCD para viabilizar a aprovação de projetos na PBH, mas uma quantidade pequena dos técnicos desconhece por completo as MCD.

Dos projetos que utilizaram das MCD para atender condicionantes de aprovação a outorga gratuita foi o instrumento da política urbana mais utilizado. A outorga gratuita representou 40,5% dos casos (gráfico 3). Conforme descrito anteriormente, a outorga gratuita é o ganho de potencial construtivo adicional adquirido mediante ao atendimento de determinadas soluções ambientais no projeto.

Gráfico 3: Pergunta 3 da pesquisa relacionada as técnicas compensatórias

Você já utilizou de soluções verdes como mecanismos de compensação em estudos de impactos ou como benefício urbanístico na aprovação de projetos? Quais?

37 respostas



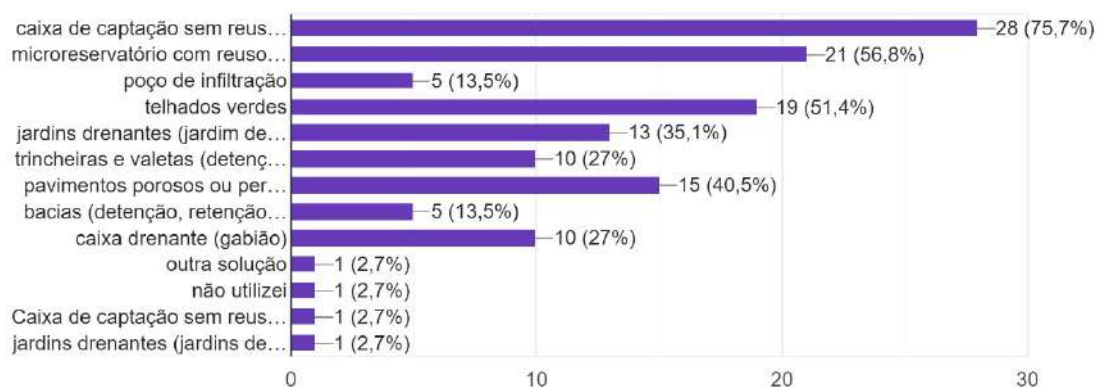
Fonte: elaborado pelo autor, 2023.

Na pergunta sobre as soluções técnicas é possível constatar que as soluções mais aplicadas atualmente são as caixas de captação sem reuso da água, microreservatórios, telhados verdes e pavimentos permeáveis (gráfico 4). Acredito que a caixa de captação tenha ganhado destaque na pesquisa por ser um dispositivo complementar para atendimento da taxa de permeabilidade nos projetos de aprovação da prefeitura municipal de Belo Horizonte.

Gráfico 4: Pergunta 4 da pesquisa relacionada as técnicas compensatórias

Já utilizou alguma destas técnicas em projetos ou obras?

37 respostas



Fonte: elaborado pelo autor, 2023.

A introdução das medidas sustentáveis no Plano Diretor demonstra uma abertura dos órgãos municipais para adoção das soluções compensatórias para a pequena escala, mas na prática são ações em geral que visam o atendimento a parâmetros urbanos com o intuito para ganhos de potencial construtivo ou para viabilizar a aprovação dos projetos. Mesmo que uma parcela dos

arquitetos aplique as MCD para atender condicionantes municipais, o que se observa é que aos poucos os dispositivos compensatórios vão sendo introduzidos no desenho da cidade a partir de experiências piloto ou contrapartidas para aprovação de projetos. Um ponto positivo é que a disseminação das soluções verdes pode contribuir para um melhor entendimento das técnicas compensatórias, principalmente para o desenvolvimento de propostas para escalas menores (lotes, ruas e pequenos espaços).

O conhecimento das medidas é o primeiro passo para fomentar a replicação das soluções compensatórias pela cidade. Por outro lado, o desconhecimento das MCD por uma parte dos técnicos e grande parte da população em geral dificultam a disseminação das propostas. Outro obstáculo que dificulta a difusão das soluções é romper com a lógica de produção capitalista do espaço centrada em grandes intervenções. Assim, para intensificar a aplicação das MCD na cidade é preciso um estudo aprofundado, tanto das técnicas, quanto do lugar, pois há pouca informação de como fazer, onde e como aplicar. Faltam informações e instruções técnicas claras relacionadas a aplicação dos dispositivos compensatórios na cidade.

No próximo tópico proponho aprofundar no estudo das “técnicas associadas ao local de implantação” com o intuito de organizar e sistematizar informações relacionadas ao “onde aplicar” as MCD na cidade.

3.2 Técnicas compensatórias associadas ao local de implantação

O estudo das “técnicas associadas ao local de implantação” é uma das etapas mais importantes da pesquisa pois avalia como aplicar as técnicas compensatórias de drenagem na cidade, ou seja, quais os lugares adequados para implantação dos dispositivos. Se por um lado existem planos e políticas públicas que incentivam a adoção das medidas compensatórias em meio urbano, por outro lado se observa uma falta de orientações técnicas claras, bem como um mapeamento detalhado da cidade que indique as áreas onde cada uma das MCD pode ser aplicada. Assim, chega-se a outra pergunta importante: quais critérios devem ser considerados para execução de técnicas compensatórias de drenagem urbana na cidade? Como elas devem ser articuladas? Como implementá-las nas bacias?

Para aprofundar na análise das “técnicas compensatórias associadas ao local de implantação” proponho utilizar terminologias simples para a classificação e divisão das técnicas

compensatórias, associando as soluções a nomes usais de elementos dos espaços urbanos. Seguindo a divisão pela localização na bacia apresentada anteriormente classifico as técnicas compensatórias estruturais em:

- **Controle no lote/edificação** (Controle na fonte localizado): técnicas associadas a pequenas áreas e superfícies de drenagem, ações direcionadas para a escala microlocal e lotes.
- **Controle no estacionamento/pátio** (Controle na fonte localizado - linear): técnicas que podem ser aplicadas em extensas áreas, como estacionamentos descobertos.
- **Controle na rua/passeio** (Controle na fonte linear): técnicas que podem ser aplicadas junto ao sistema viário e passeio.
- **Controle no fundo de vale/junto do córrego** (Controle na fonte centralizado): técnicas associadas a grandes áreas, linhas de drenagem e aplicadas a jusante na bacia hidrográfica. Podem ser integradas a áreas verdes e parques.

Abaixo apresento quadro que reúne as técnicas compensatórias descritas no trabalho e a classificação a partir do local de implantação.

Figura 22: Local de implantação e seleção de técnicas compensatórias

| LOCAL DE IMPLANTAÇÃO | X | TÉCNICAS COMPENSATÓRIAS |
|-------------------------------------|---|--|
| A. Lote - edificação | | 1. Telhados verdes (captação e infiltração); |
| B. Estacionamentos - pátios | | 2. Microreservatórios; |
| C. Ruas - passeios | | 3. Poço de infiltração; |
| D. Fundo de vale – junto do córrego | | 4. Trincheira de infiltração ou detenção; |
| | | 5. Vala ou valetas de infiltração ou detenção; |
| | | 6. Jardins de Chuva (células de bioretenção); |
| | | 7. Pavimentos porosos ou permeáveis |
| | | 8. Áreas verdes gramadas; |
| | | 9. Bacias de detenção e retenção; |
| | | 10. Bacia de infiltração; |
| | | 11. Áreas úmidas lineares; |
| | | 12. Aterros diques |
| | | 13. Aterros de RCC |
| | | 14. Caixas de retenção (de sedimentos) |

Fonte: adaptado pelo autor, 2022.

Para a implantação das MCD na cidade é importante analisar as características e a localização na bacia hidrográfica pois cada solução tem especificidades que vão condicionar sua instalação. Segundo Nascimento e Baptista (2009), o estudo das técnicas compensatórias e o levantamento de alternativas na fase de planejamento permitem maior flexibilidade para a escolha das soluções. Na etapa de projeto o desenho das propostas estaria incorporado à fase de planejamento e desenho urbano.

O planejamento pode estar relacionado ao desenho de novas áreas, mas também de bacias já urbanizadas, áreas formais e informais da cidade. Parto do pressuposto que uma questão fundamental no contexto atual das cidades é como incorporar as MCD de forma satisfatória nas áreas já urbanizadas. Por se tratar de intervenções em áreas consolidadas a aplicação de técnicas compensatórias em áreas urbanizadas representa um grande e importante desafio; contudo, diversos estudos científicos e experiências práticas realizadas reafirmam o potencial de execução das medidas se executadas da forma correta. Assim, sistematizar informações e parâmetros que auxiliem na implantação das MCD é uma etapa importante para disseminar sua aplicação.

Para a instalação das MCD na cidade existem muitas ferramentas disponíveis e diretrizes que podem ser consideradas para a escolha das soluções mais adequadas, como as características físicas da bacia, ocupação e uso do solo, fatores de desempenho, meio ambiente e participação da população (ROSA, 2017, p.45). Segundo Baptista et al. (2005), para a aplicação de técnicas compensatórias em um determinado lugar é necessário desenvolver um projeto que leve em consideração o estudo das técnicas e dos lugares de implantação.

Um método para implantação das técnicas é realizar uma análise em duas etapas, sendo a primeira etapa de eliminação (ou seleção) e a segunda etapa de tomada de decisão. A análise em etapas compara dados e informações dos princípios de funcionamento das MCD com os critérios que podem influenciar ou não seu emprego, como o local de implantação. Em um exercício inicial de análise para a eliminação de soluções inadequadas para um determinado lugar avaliei o local de implantação como um primeiro critério para eliminação de soluções inadequadas para uma determinada escala. Partindo do quadro que reúne “técnicas compensatórias associadas ao local de implantação” apresento a seguir diagramas com hipóteses do cruzamento das MCD para as quatro (4) escalas: lote/edificação, estacionamento/pátio, rua/passeio, e fundo de vale/junto do córrego.

Figura 23: Exercício de seleção 1 (eliminação) – Lotes

- | | |
|---|--|
| <p>A. Lote - edificação</p> <p>B. Estacionamentos - pátios</p> <p>C. Ruas - passeios</p> <p>D. Fundo de vale – junto do córrego</p> | <p>1. Telhados verdes (captação e infiltração);</p> <p>2. Microreservatórios;</p> <p>3. Poço de infiltração;</p> <p>4. Trincheira de infiltração ou detenção;</p> <p>5. Vala ou valetas de infiltração ou detenção;</p> <p>6. Jardins de Chuva (células de bioretenção);</p> <p>7. Pavimentos porosos ou permeáveis</p> <p>8. Áreas verdes gramadas;</p> <p>9. Bacias de detenção e retenção;</p> <p>10. Bacia de infiltração;</p> <p>11. Áreas úmidas lineares;</p> <p>12. Aterros diques</p> <p>13. Aterros de RCC</p> <p>14. Caixas de retenção (de sedimentos)</p> |
|---|--|

Fonte: adaptado pelo autor, 2022.

Figura 24: Exercício de seleção 1 (eliminação) – Estacionamentos

- | | |
|---|--|
| <p>A. Lote - edificação</p> <p>B. Estacionamentos - pátios</p> <p>C. Ruas - passeios</p> <p>D. Fundo de vale – junto do córrego</p> | <p>1. Telhados verdes (captação e infiltração);</p> <p>2. Microreservatórios;</p> <p>3. Poço de infiltração;</p> <p>4. Trincheira de infiltração ou detenção;</p> <p>5. Vala ou valetas de infiltração ou detenção;</p> <p>6. Jardins de Chuva (células de bioretenção);</p> <p>7. Pavimentos porosos ou permeáveis</p> <p>8. Áreas verdes gramadas;</p> <p>9. Bacias de detenção e retenção;</p> <p>10. Bacia de infiltração;</p> <p>11. Áreas úmidas lineares;</p> <p>12. Aterros diques</p> <p>13. Aterros de RCC</p> <p>14. Caixas de retenção (de sedimentos)</p> |
|---|--|

Fonte: adaptado pelo autor, 2022.

Figura 25: Exercício de seleção 1 (eliminação) – Ruas

- | | |
|--|--|
| <p>A. Lote - edificação</p> <p>B. Estacionamentos - pátios</p> <p>C. Ruas - passeios</p> <p>D. Fundo de vale – junto do córrego</p> | <p>1. Telhados verdes (captação e infiltração);</p> <p>2. Microreservatórios;</p> <p>3. Poço de infiltração;</p> <p>4. Trincheira de infiltração ou detenção;</p> <p>5. Vala ou valetas de infiltração ou detenção;</p> <p>6. Jardins de Chuva (células de bioretenção);</p> <p>7. Pavimentos porosos ou permeáveis</p> <p>8. Áreas verdes gramadas;</p> <p>9. Bacias de detenção e retenção;</p> <p>10. Bacia de infiltração;</p> <p>11. Áreas úmidas lineares;</p> <p>12. Aterros diques</p> <p>13. Aterros de RCC</p> <p>14. Caixas de retenção (de sedimentos)</p> |
|--|--|

Fonte: adaptado pelo autor, 2022.

Figura 26: Exercício de seleção 1 (eliminação) – Fundo de vale

- | | |
|--|--|
| <p>A. Lote - edificação</p> <p>B. Estacionamentos - pátios</p> <p>C. Ruas - passeios</p> <p>D. Fundo de vale – junto do córrego</p> | <p>1. Telhados verdes (captação e infiltração);</p> <p>2. Microreservatórios;</p> <p>3. Poço de infiltração;</p> <p>4. Trincheira de infiltração ou detenção;</p> <p>5. Vala ou valetas de infiltração ou detenção;</p> <p>6. Jardins de Chuva (células de bioretenção);</p> <p>7. Pavimentos porosos ou permeáveis</p> <p>8. Áreas verdes gramadas;</p> <p>9. Bacias de detenção e retenção;</p> <p>10. Bacia de infiltração;</p> <p>11. Áreas úmidas lineares;</p> <p>12. Aterros diques</p> <p>13. Aterros de RCC</p> <p>14. Caixas de retenção (de sedimentos)</p> |
|--|--|

Fonte: adaptado pelo autor, 2022.

As hipóteses de seleção (eliminação) realizadas não definem a solução indicada para implantação. Na verdade, o exercício apresenta as medidas que se adaptariam melhor a cada contexto de uma forma geral.

Considerando o exercício acima é possível destacar alguns pontos interessantes para discussão, tais como: áreas verdes gramadas e pavimentos permeáveis são soluções que podem ser aplicadas em diferentes situações; medidas que trabalham a captação e o armazenamento da água dos telhados são indicadas para a escala dos lotes; para os estacionamentos/pátios e ruas/passeios diferentes técnicas podem ser trabalhadas (aproximadamente oito das quatorze técnicas apresentadas podem ser aplicadas nas áreas); já as bacias (infiltração/detenção/retenção) podem e deveriam ser implantadas de forma descentralizada em diferentes pontos da bacia, mas em geral, são medidas implantadas junto dos córregos nos fundos de vale.

O resultado do exercício de seleção traz apenas sugestões das técnicas e pode sofrer alterações na medida que cruzamos o local de implantação com outros critérios, ou seja, é necessário analisar diferentes características dos locais para a definição das soluções adaptáveis a um determinado contexto, se não levantamos apenas recomendações gerais. Para determinar as opções possíveis para uma determinada situação devemos analisar diferentes parâmetros, como: urbanísticos, de uso do solo, sociais, econômicos e físicos ambientais.

Cada uma das diferentes técnicas deve ser confrontada com os vários requisitos e implicações pertinentes que podem ou não limitar seu emprego, possibilitando a identificação das técnicas efetivamente viáveis para uma dada situação. (NASCIMENTO; BAPTISTA, 2009, p.159).

Embora a geologia, morfologia e a presença de áreas verdes na área de projeto sejam preponderantes para a tomada de decisão, diversos são os fatores que condicionam a aplicação. Estudos que focam apenas nas características físicas do lugar deixam de considerar outros aspectos que também são essenciais para a seleção, como critérios sociais e urbanísticos. Dentre os diferentes critérios destaco a importância do critério social relacionado a articular ações com a população para o desenvolvimento das propostas. Nos exemplos apresentados no item anterior, por exemplo, os projetos que integraram ações sociais/educacionais junto da instalação das técnicas compensatórias obtiveram resultados significativamente melhores que ações isoladas (Programa Drenurbs e Projeto Switch – Belo Horizonte).

Segundo Rosa (2017), a comparação de diferentes critérios de uma bacia hidrográfica pode contribuir para o desenvolvimento de uma proposta descentralizada para a drenagem urbana que considera a solução tendo em vista diferentes estratégias. Para o desenvolvimento de projetos de drenagem Romnée et al. (2015) desenvolveram um método que compara diferentes critérios de uma

bacia hidrográfica, como: relevo, capacidade de infiltração do solo, rede de áreas verdes, rede hidrográfica, mapeamento de vias (arborização, estacionamento, canteiro central), lotes e quadras (espaços livres e taxa de ocupação), e edificações (tipo de cobertura, área e declividade dos telhados); após a análise dos parâmetros foram definidas estratégias para a implantação de técnicas compensatórias em diferentes escalas na bacia.

Martins (2017), Batista et al. (2005), Nascimento e Baptista (2009), organizaram em tabelas as características do lugar e as diretrizes técnicas que devem ser consideradas para a instalação das soluções (figura a seguir). A tabela apresenta um comparativo entre as técnicas e os critérios que podem restringir a operação e instalação dos projetos. Um ponto importante apresentado é a identificação do grau de importância para cada situação. A indicação de pequena importância para uma determinada técnica significa que o critério não influencia diretamente a implantação. A classificação de grande importância indica o contrário, que o critério deve ser analisado com profundidade pois pode inviabilizar a instalação da solução.

Figura 27: tabela com critérios e técnicas - restrições a implantação e a operação das técnicas

| TÉCNICA | RESTRIÇÕES À IMPLANTAÇÃO E À OPERAÇÃO DAS TÉCNICAS | | | | | |
|--------------------------------|--|-------------|-----------------------|------------------------------|---------------------------|-------------------|
| | Permeabilidade do solo | Declividade | Proximidade do lençol | Proximidade de leito rochoso | Restrições ao uso do solo | Aporte de sólidos |
| Bacia de detenção | + | + | + | ++ | +++ | ++ |
| Bacia de infiltração | +++ | + | +++ | +++ | +++ | +++ |
| Valas e valetas de detenção | + | ++ | + | ++ | ++ | ++ |
| Valas e valetas de infiltração | +++ | +++ | +++ | +++ | ++ | +++ |
| Pavimentos porosos | ++ | +++ | ++ | + | + | +++ |
| Revestimentos permeáveis | ++ | +++ | ++ | + | + | +++ |
| Trincheiras de detenção | + | ++ | ++ | ++ | ++ | + |
| Trincheiras de infiltração | +++ | +++ | +++ | +++ | ++ | + |
| Poços de infiltração | +++ | + | +++ | +++ | ++ | + |
| Telhados armazenadores | + | + | + | + | + | + |
| Reservatórios individuais | + | + | ++ | ++ | + | + |

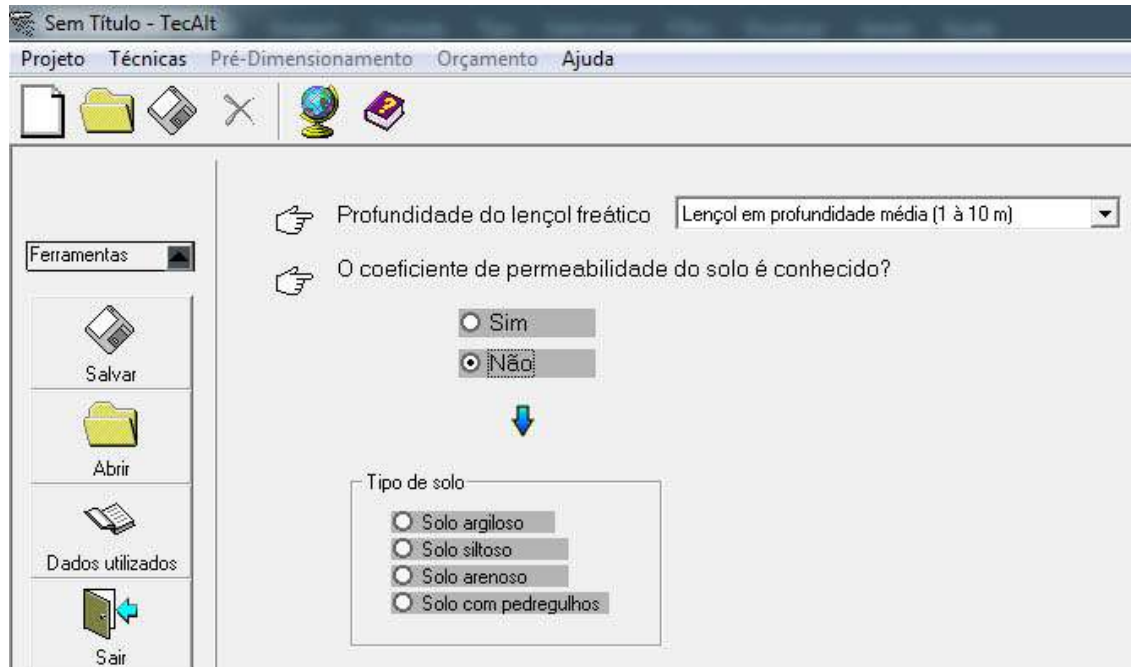
+++ = GRANDE IMPORTÂNCIA; ++ = MÉDIA OU POSSÍVEL IMPORTÂNCIA; + = IMPORTÂNCIA PEQUENA OU NULA.

Fonte: Nascimento; Baptista, 2009, p.162.

As tabelas organizam as informações de forma objetiva ao confrontar os parâmetros com as MCD. O cruzamento dos dados e as restrições impostas pelas características locais (solo, declividade, proximidade do lençol, uso do solo e aporte de sólidos) se constituem em uma espécie de ferramenta que auxilia na tomada de decisão para eliminação de técnicas inadequadas para uma determinada situação e lugar. As tabelas podem ser entendidas também como uma interface física que auxilia a eliminação de soluções que não funcionariam bem para uma determinada situação.

Outro método que pode ser utilizado para auxiliar na tomada de decisão é a comparação de parâmetros utilizando softwares e programas do computador. Diferente da interface física, os programas ou aplicativos funcionam como uma interface digital para auxílio na decisão. Como exemplo temos o programa desenvolvido pelo departamento de Engenharia e Recursos Hídricos da UFMG - TecAlt (FERNANDES; BAPTISTA, EE-UFMG)⁸. O programa é organizado a partir de perguntas e repostas sobre os parâmetros relacionados ao lugar de implantação.

Figura 28: Tela do programa TecAlt



Fonte: TecAlt – UFMG, adaptado pelo autor, 2022

Os critérios utilizados no programa estão relacionados a área de implantação, tipo de empreendimento, tipo de solo, profundidade do lençol freático, entre outros. O programa trabalha a

⁸ O programa TecAlt pode ser baixado na página <https://www.ehr.ufmg.br/downloads/>

partir do cruzamento de dados com perguntas e respostas em sequência até chegar ao resultado com as possíveis opções técnicas que podem ser instaladas. A análise do empreendimento é ampla e envolve o uso do solo, área, tipo (novo ou existente a ser renovado) e parâmetros urbanísticos. Outros parâmetros presentes nas análises são critérios físicos relacionados a características da área, como: permeabilidade do solo e profundidade do lençol freático, existência ou não de exutório⁹ e restrição de vazão.

Em comparação aos estudos que confrontam diferentes critérios (relevo, capacidade de infiltração do solo, áreas verdes, rede hidrográfica, vias, uso e ocupação do solo) foi constatado que faltam análises relacionadas a relevo, vias e rede hidrográfica. A ausência de perguntas relacionadas à declividade da área é um ponto negativo já que diferentes trabalhos destacam a importância do relevo para a escolha e implantação de uma determinada técnica, principalmente para a instalação de soluções que trabalham a infiltração da água no solo.

Mesmo com as observações destacadas acima avalio o TecAlt como uma interface digital muito interessante para testar possibilidades e experimentar soluções. A organização das perguntas em etapas e com respostas em múltipla escolha facilita a entrada de dados no programa. Por ser uma ferramenta digital possibilita também uma fácil interação com o usuário e a realização de estudos rápidos.

No item atual busquei levantar e analisar os critérios/parâmetros que devem ser considerados para a implantação das técnicas compensatórias. O objetivo de levantar os diferentes parâmetros é avançar na proposta de sistematização das informações que serão melhor detalhadas em quadros (tabelas) na sequência do trabalho.

3.2.1 Sistematização e organização de parâmetros e critérios de implantação

De maneira a organizar o processo de tomada de decisão apresento abaixo divisão e organização dos critérios e parâmetros que devem ser considerados no processo de seleção de técnicas compensatórias para aplicação na cidade. Proponho organizar os parâmetros a partir dos seguintes critérios: físicos, urbanísticos, sanitários e socioeconômicos, conforme descrito abaixo:

⁹ Exutório é o ponto final de uma bacia hidrográfica, também chamado de foz. O exutório recebe toda a água de escoamento superficial da bacia hidrográfica.

- **Crítérios físicos:** os aspectos físicos que devem ser considerados são as características do solo (capacidade de infiltração e permeabilidade do solo), relevo (declividade da área e morfologia - superfícies côncavas e convexas), profundidade mínima do lençol freático e existência ou não de exutório.
- **Crítérios urbanísticos:** os aspectos urbanísticos estão relacionados a disponibilidade de espaço para construção e a restrições relacionadas ao uso do solo. A disponibilidade de espaço corresponde ao local de implantação. Para a implantação de MCD em vias urbanas, por exemplo, é importante a análise das características da rua para a definição da solução mais indicada para cada situação. As MCD para vias largas com canteiros centrais inevitavelmente serão diferentes de vias estreitas.
- **Crítério sanitários:** os aspectos sanitários estão relacionados ao risco de poluição das águas e dos solos, avaliados com base na qualidade das águas a serem escoadas e a vulnerabilidade do meio receptor (corpos d'água superficiais, lençol d'água e solo).
- **Crítérios socioeconômicos:** os aspectos socioeconômicos estão relacionados à aceitação (apropriação) de técnicas compensatórias pela população e o conhecimento de que se dispõe sobre os modos de funcionamento e de operação (NASCIMENTO; BAPTISTA, 2009). Outros parâmetros importantes estão relacionados ao custo da obra e a necessidade de manutenção. Destaco que para a escala microlocal (rua e lote) o parâmetro social é um critério fundamental para o desenvolvimento de ações articuladas com a população (gestão e participação direta da comunidade).

Na tabela abaixo apresento as diferentes técnicas compensatórias associadas aos critérios e parâmetros destacados acima. A tabela segue a proposta de sistematizar as informações a partir de um comparativo entre os critérios (e seus respectivos parâmetros): físicos (declividade, permeabilidade do solo e profundidade do lençol freático); urbanístico (disponibilidade de área e restrição ao uso do solo); sanitário (qualidade das águas); socioeconômicos (participação popular, custo e manutenção). Para evidenciar a relevância de cada parâmetro indico também o grau de importância para cada situação, sendo (PI+) pouca importância, (MI++) média importância, e (G+++ grande importância (NASCIMENTO; BAPTISTA, 2009, p.162).

Figura 29: Tabela com as técnicas classificadas a partir de critérios e parâmetros

| TÉCNICAS | CRITÉRIOS | | | | | | | | |
|------------------------------|-------------|------------------------|------------------------------|-------------------------|---------------------------|----------------------|----------------------|--------|------------|
| | FÍSICOS | | | URBANÍSTICOS | | SANITÁRIOS | SÓCIOECONOMICOS | | |
| | Declividade | Permeabilidade do solo | Profundidade lençol freático | Disponibilidade de área | Restrições ao uso do solo | Qualidade das águas- | Participação popular | Custo | Manutenção |
| Telhado verde (armazenador) | PI + | PI + | PI + | PI + | PI + | PI + | GI +++ | PI + | GI +++ |
| Microreservatório | PI + | PI + | MI ++ | PI + | PI + | PI + | GI +++ | PI + | GI +++ |
| Poço de infiltração | PI + | GI +++ | GI +++ | PI + | MI + | PI + | MI ++ | PI + | MI ++ |
| Trincheira de infiltração | GI +++ | GI +++ | GI +++ | MI ++ | MI ++ | PI + | MI ++ | PI + | GI +++ |
| Vala/Valeta de Infiltração | GI +++ | GI +++ | GI +++ | MI ++ | MI ++ | GI +++ | GI +++ | PI + | PI + |
| Vala e Valeta de Detenção | MI ++ | PI + | PI + | MI ++ | MI ++ | MI ++ | GI +++ | PI + | PI + |
| Pavimento intertravado | GI +++ | GI +++ | GI +++ | MI ++ | PI + | GI +++ | MI ++ | MI ++ | MI ++ |
| Áreas verdes gramadas | MI ++ | GI +++ | M ++ | MI ++ | PI + | GI +++ | GI +++ | PI + | PI + |
| Bacia de detenção - retenção | PI + | PI + | PI + | GI +++ | GI +++ | MI ++ | PI + | GI +++ | MI ++ |
| Bacia de infiltração | PI + | GI +++ | GI +++ | GI +++ | GI +++ | GI +++ | PI + | GI +++ | MI ++ |

Fonte: Adaptado pelo autor de Baptista et al. (2005), Nascimento e Baptista (2009), e Martins (2017).

Na próxima tabela as MCD foram organizadas considerando a escala de aplicação (lote, rua e fundo de vale). As medidas que trabalham a infiltração da água foram separadas das soluções de detenção. A separação por escala e princípio de funcionamento das MCD (infiltração ou detenção) visa facilitar a aplicação das técnicas em diferentes situações nas bacias hidrográficas urbanas.

Figura 30: Tabela com às técnicas compensatórias organizadas pelo local de implantação e funcionamento (detenção/infiltração)

| TÉCNICAS | CRITÉRIOS | | | | | | | | | | |
|---|-------------|------------------------|--------------------------------------|--------------------------|---|---------------------------|----------------------------------|---|--------------------------------------|-------|------------|
| | FÍSICOS | | | | URBANÍSTICOS | | | SANITÁRIOS | SÓCIOECONÔMICOS | | |
| ESCALA | Declividade | Permeabilidade do solo | Profundidade min. do lençol freático | Curso d'água / Vegetação | Disponibilidade de área para a construção | Restrições ao uso do solo | Incentivos Municipais legislação | Qualidade das águas - Aporte de sólidos | Atuação de técnicas comunidade local | Custo | Manutenção |
| LOTE - DETENÇÃO | PI + | PI + | PI + | PI + | PI + | PI + | GI + | PI + | GI + | PI + | GI + |
| LOTE - INFILTRAÇÃO | PI + | GI + | GI + | PI + | PI + | MI + | GI + | PI + | GI + | PI + | MI + |
| RUA - DETENÇÃO | MI + | PI + | PI + | PI + | MI + | MI + | GI + | MI + | GI + | PI + | MI + |
| RUA - INFILTRAÇÃO | GI + | GI + | GI + | PI + | MI + | MI + | GI + | GI + | GI + | PI + | MI + |
| F. VALE - DETENÇÃO | PI + | PI + | PI + | MI + | GI + | GI + | GI + | MI + | GI + | GI + | MI + |
| F. VALE - INFILTRAÇÃO | PI + | GI + | GI + | MI + | GI + | GI + | GI + | GI + | GI + | GI + | MI + |
| PI + PEQUENA IMPORTANCIA MI + MEDIA IMPORTANCIA GI + GRANDE IMPORTANCIA | | | | | | | | | | | |

Fonte: Adaptado pelo autor de Baptista et al (2005), Nascimento e Baptista (2009), e Martins (2017).

Para técnicas que trabalham a infiltração, os critérios físicos (tipo de solo e profundidade do lençol freático) são parâmetros preponderantes, independente da escala. Para a implantação de soluções para a escala da rua, o parâmetro de declividade das vias condiciona a implantação. Os critérios urbanísticos auxiliam na definição do tipo e no desenho da solução de MCD. O critério socioeconômico, relacionado a articulações das ações junto à comunidade, se destaca pela importância de se promover uma gestão participativa a partir da escala local; e é neste âmbito que construímos as ações da pedagogia urbana que serão explicitadas a seguir.

3.3 Modelagem hidrológica para a drenagem

A modelagem hidrológica se constitui em uma importante ferramenta para simular situações ainda não conhecidas e avaliar o comportamento da água nas bacias hidrográficas. Com os avanços da tecnologia da computação e o desenvolvimento de softwares específicos, cidades como São Paulo, Belo Horizonte e Recife, já utilizam programas de simulação para medir a eficácia, avaliar o funcionamento dos sistemas de drenagem e o impacto das inundações em diferentes situações. Os dados coletados com as simulações em bacias hidrográficas são importantes informações para orientar estratégias e planos de ação pelos governos.

A modelagem é uma representação matemática do fluxo de água e uma importante ferramenta para entender o comportamento da água em uma bacia hidrográfica (MARTINS, 2017). Os modelos hidrológicos trabalham considerando dados de entrada (precipitação) e dados de saída (vazão escoada no exutório). Segundo Meller et al. (2007), os modelos de simulação descrevem o processo de transformação chuva-vazão e incluem, em geral, dois componentes, transformação da precipitação em escoamento superficial, e propagação do escoamento em redes de condutos e canais.

Atualmente existem diversos modelos de simulação que são utilizados em diferentes países. Para áreas urbanas destacam-se o modelo SWMM - *Storm Water Management Model*, de chuva-vazão para a drenagem urbana; e o HydroWORKS, modelo baseado no SWMM para eventos de precipitação. No Brasil destacam-se o IPH II, que simula o escoamento superficial; o ABC6 para análise de ondas de cheia em bacias complexas; e o modelo de escoamento de células MODCEL (MARTINS, 2017).

Como existem diferentes softwares e possibilidades de simulação, a escolha do modelo para um determinado trabalho deve se basear no objetivo principal da simulação, como: objetivos do projeto, características da bacia hidrográfica, disponibilidade de dados, familiaridade com o modelo, disponibilidade de recursos financeiros e computacionais (ROSA, 2017).

Para o presente trabalho selecionei o modelo SWMM, software amplamente utilizado na modelagem hidrológica de bacias urbanas. Segundo Rosa (2017), o SWMM é um dos poucos modelos disponíveis que simula com eficácia o comportamento hidrológico e hidráulico de técnicas compensatórias de drenagem em áreas urbanas.

O SWMM é um software desenvolvido pela *United States Environmental Protection Agency* (Usepa) para a modelagem hidrológica, sua primeira versão é da década de 1970, mas desde então vem sendo aprimorado por diversos pesquisadores. Por ser um software livre, parcialmente integrado com outros softwares de informação geográfica e desenho, como o CAD e SIG, o programa é um dos mais utilizados para simulação da drenagem urbana.

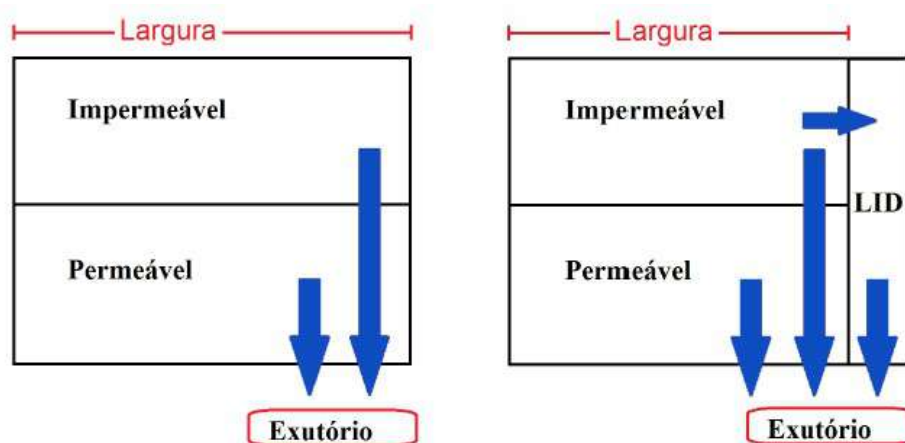
O modelo desenvolve análises quali-quantitativas de controle do escoamento relacionados à drenagem convencional e a medidas compensatórias. As diferentes soluções são avaliadas através de simulações que fornecem como resultados hidrogramas, polutogramas e cargas de poluentes (MELLER, 2004). O SWMM é capaz de representar uma série de processos hidrológicos, como a variabilidade de chuva ao longo do tempo, evaporação da água, infiltração no solo; e análise do comportamento da água em relação ao sistema de drenagem e lugar (bacia hidrográfica). A partir da versão 5.0 já é possível a incorporação de técnicas compensatórias em simulações de cenários futuros para a drenagem urbana (MARTINS, 2017).

Como o SWMM possui diversos métodos para simulações fica a critério do pesquisador a escolha do método mais adequado para realizar o trabalho. Na pesquisa atual a escolha pelo

programa SWMM se dá pelo objetivo de simular de forma simplificada a inserção de técnicas compensatórias em uma bacia hidrográfica da cidade de Belo Horizonte. Para a simulação é necessário inserir no modelo dados necessários para seu funcionamento, como: chuva (precipitação), características físicas das áreas de contribuição (área, declividade, permeabilidade do solo, etc.), e informações do sistema de drenagem urbana.

Para simulações hidrológicas sem dispositivos compensatórios a cobertura do solo da bacia se divide em duas áreas, impermeáveis e permeáveis. Para simulações considerando a inserção de técnicas compensatórias no programa a cobertura do solo se divide em três áreas: permeáveis, impermeáveis sem e com capacidade de retenção. Nesse caso, o fluxo da água das áreas impermeáveis se divide, parte para o exutório, e parte para o dispositivo compensatório que posteriormente também direcionará o fluxo excedente para o exutório (MARTINS, 2017).

Figura 31: Representação do fluxo de escoamento da água



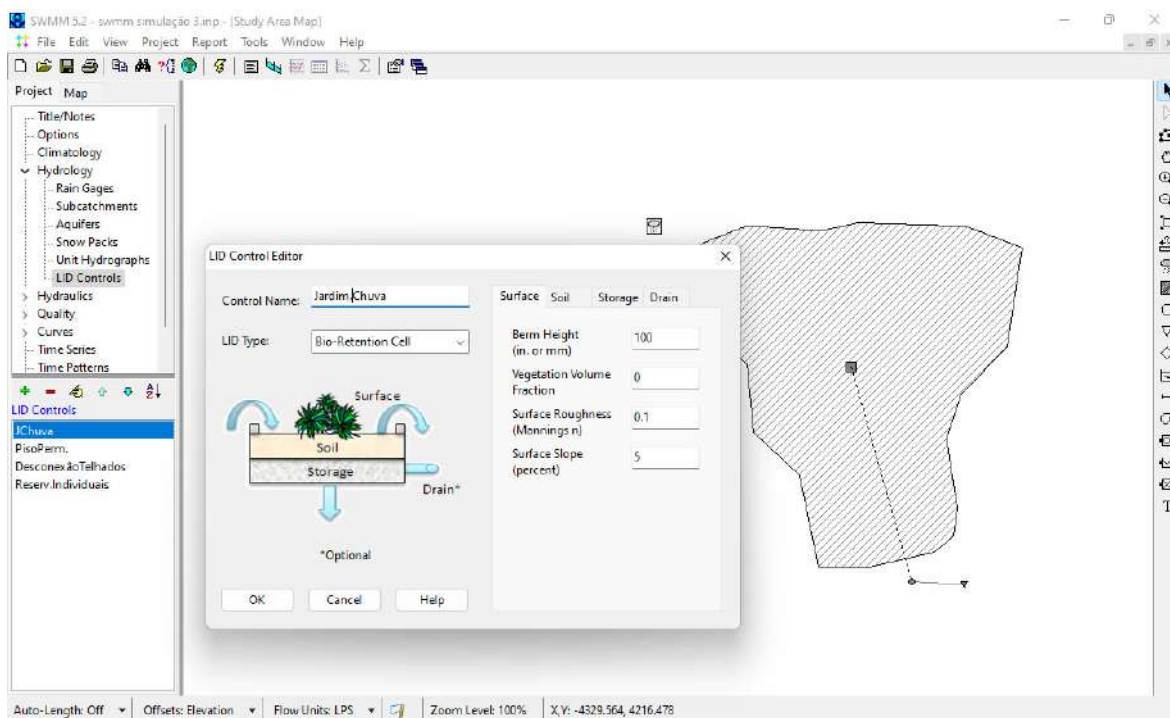
Fonte: Martins, 2017.

O SWMM permite a simulação de 8 (oito) tipos de técnicas compensatórias: células de bioretenção, jardins de chuva, telhados verdes, trincheiras de infiltração, pavimentos permeáveis, microreservatórios, desconexão telhado e valas vegetadas. No programa, a simulação é realizada utilizando a inserção dos dados em camadas existentes para as técnicas LID – *Low Impact Development*, sendo elas: superfície, pavimento, solo, armazenamento e dreno.

A camada de “superfície” é relacionada ao terreno; o “pavimento” diz respeito a camada de pavimento poroso ou material de preenchimento; a camada “solo” está relacionada a dispositivos como telhados verdes ou jardins de chuva; o “armazenamento” se refere a camada de material

granular existente em dispositivos de infiltração; já a camada “dreno” está relacionada a dispositivos que possuem drenos de saída de água para o sistema de drenagem existente. Cada uma das camadas possui parâmetros específicos.

Figura 32: Aplicação de técnica LID no SWMM.



Fonte: SWMM adaptado pelo autor, 2023.

A figura acima apresenta tela do programa SWMM contendo a janela de edição das técnicas LID com informações da MCD jardim de chuva inseridas no projeto com suas respectivas camadas. Segundo Martins (2017), a possibilidade de simulação de diferentes técnicas trabalhando separadamente ou em conjunto ampliou significativamente a aplicabilidade do programa. Na janela inferior esquerda (*LID Controls*) é possível visualizar as diferentes técnicas que estão inseridas no projeto.

Um método muito utilizado nos trabalhos é primeiramente simular a situação atual sem os dispositivos de LID, e posteriormente, simular a mesma área aplicando as técnicas compensatórias, ou seja, simulando cenários com a implantação das diferentes MCD. De posse dos dados é possível fazer um comparativo e avaliar a redução dos volumes de pico em diferentes situações. Martins (2017), Rosa (2017) e Silva (2010), desenvolveram estudos de simulação e modelagem hidrológico utilizando o SWMM em São Paulo, Belo Horizonte e Recife, e avaliaram a redução dos impactos das inundações a partir da instalação de técnicas compensatórias em bacias hidrográficas urbanas. Os

trabalhos simularam as seguintes técnicas: jardins de chuva, telhados verdes, trincheiras de infiltração, pavimentos permeáveis, bacias de retenção, entre outras.

Os estudos realizados trazem resultados satisfatórios de simulação indicando que as técnicas compensatórias trabalhando em conjunto com o sistema de drenagem clássico se constituem como importantes instrumentos para redução das inundações; entretanto, a aplicação de determinadas técnicas em alguns locais não apresentou resultados satisfatórios apontando que a avaliação deve ser feita levando-se em conta as características de cada bacia hidrográfica.

A proposta para a presente pesquisa foi realizar em uma pequena bacia (circunstância) da sub-bacia do Cercadinho simulações simplificadas utilizando o mesmo método descrito acima. Realizar simulação da situação atual e simulações aplicando diferentes MCD, e de posse dos dados, realizar comparativo entre as opções simuladas. Considero o exercício como simplificado pois não serão simulados diferentes eventos para calibração e validação do modelo. A intenção do exercício de simulação proposto não é desenvolver cálculos detalhados, mas evidenciar a importância de integração do desenho urbano com a engenharia hidráulica.

As simulações propostas visam medir uma possível redução dos impactos com a incorporação de técnicas compensatórias na escala microlocal ao qual chamamos de “circunstância” da escola EMPEV. No exercício proponho simular diferentes cenários utilizando técnicas indicadas para as ruas e lotes: jardins de chuva, piso permeáveis, reservatórios individuais e desconexão de telhado. No capítulo 6 detalho o projeto e as simulações das MCD para a circunstância EMPEV.

No próximo capítulo descrevo outro ponto importante do trabalho que são ações da pedagogia urbana a partir do trabalho desenvolvido pelo projeto Águas na Cidade junto à comunidade e escolas da sub-bacia do Cercadinho.

4. PEDAGOGIA URBANA – EDUCAÇÃO PELAS ÁGUAS

Integrado ao estudo das técnicas de drenagem, a pedagogia urbana é outro ponto crucial para projetos de intervenções urbanas, e neste caso, para construir possibilidades de ações locais para o manejo das águas pluviais em bacias urbanas. A proposta de articulação das águas pluviais com as práticas educacionais ambientais parte do princípio de ampliar o conhecimento da população sobre o tema com o intuito de fortalecer iniciativas locais. Ações educacionais na escala microlocal podem contribuir para estimular a noção de pertencimento à uma bacia hidrográfica e incentivar postura individual e coletiva ativa de cuidado com o lugar.

De maneira geral uma grande parcela da população tem conhecimento apenas parcial sobre o tema, entende que o grande volume de chuva potencializa a ocorrência de inundações, mas desconhece a dinâmica das águas no contexto urbano e a leitura da cidade fundamentada em unidades de planejamento definidas por bacias hidrográficas.

Conforme destacado anteriormente nos planos e projetos do capítulo 3, experiências práticas e projetos que contaram com ações educacionais, compartilhamento de informação e envolvimento direto com a comunidade, obtiveram resultados melhores que outros projetos onde o trabalho educacional não foi de fato realizado. O entendimento do ciclo da água, das causas dos problemas e possíveis ações que podem ser realizadas na escala microlocal podem contribuir para estimular medidas ambientais de preservação ou reforçar práticas existentes. O trabalho de educação ambiental junto à comunidade é uma ação construída em etapas, a primeira seria a informação, a segunda etapa possível seria a assessoria a ações em curso. O trabalho é contínuo e deve ser adaptado a cada contexto.

Atualmente, como pesquisador e professor de Urbanismo, um questionamento que coloco para os estudantes é: todos nós sabemos em que bairros nós moramos, mas vocês sabem em qual bacia hidrográfica residem? Sabem para onde vai a água que cai sobre sua casa? A partir das perguntas é possível destacar diferentes questionamentos relacionados à cidade; todos nós sabemos onde moramos, qual o nosso bairro e região, mas de maneira geral desconhecemos por completo qual o rio que corre ao lado de nossas casas e como se dá o caminhar da água pluvial na cidade. Interessante perceber que simples perguntas podem levantar pontos tão importantes para discussão.

Figura 33: Em qual bacia hidrográfica você mora?



Fonte: Trabalho desenvolvido por estudantes de Arquitetura e Urbanismo adaptado pelo autor, 2019.

A proposta ambiental pedagógica é uma ação do Projeto Águas na Cidade e tem como objetivo avaliar como a comunidade percebe os problemas relacionados as águas. A motivação do projeto parte de uma constatação simples, conforme dito anteriormente, grande parcela da população desconhece as manifestações concretas do ciclo hidrológico, embora reconheçam os problemas, como, por exemplo, qual rua alaga na cidade, poucos entendem a causa das inundações e quais alternativas podem ser desenvolvidas para além das intervenções já comumente trabalhadas pelo poder público.

[...] uma mudança de posturas e de ações individuais e coletivas a esse respeito depende, para além de instrumentos técnicos e administrativos, de uma ampliação do horizonte do conhecimento. ÁGUAS NA CIDADE, <http://www.mom.arq.ufmg.br/mom/index.html>, acessado em 2022.

A proposta do Projeto é trabalhar junto a escolas do ensino fundamental e médio, e para isto, utiliza materiais didáticos de caráter interdisciplinar aplicados em práticas pedagógicas. Dentro das práticas são abordadas também as possibilidades para tratar o problema das inundações a partir de soluções de drenagem urbana, ou seja, o material didático deve instigar a troca de informação e a construção de ações.

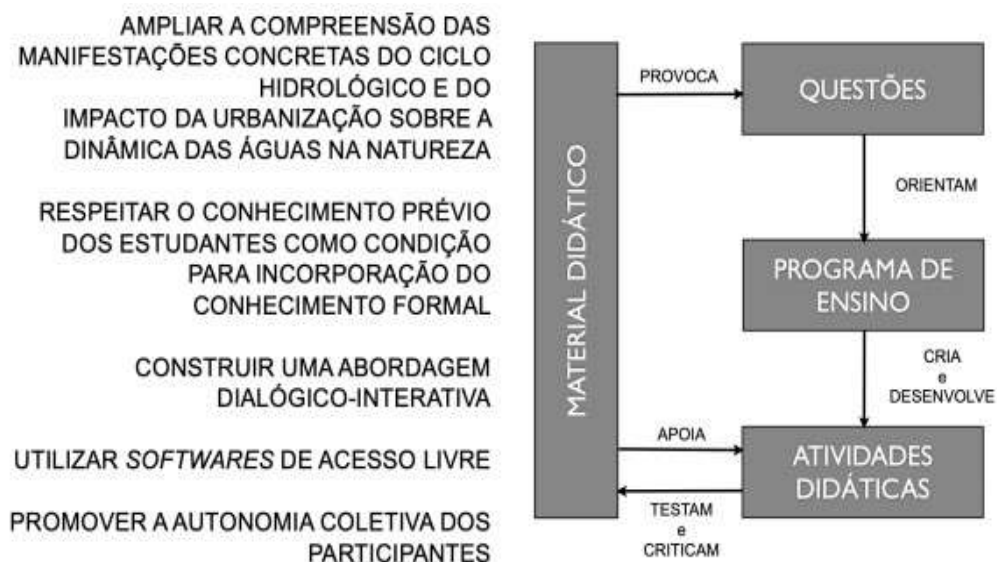
No presente capítulo descrevo as ações pedagógicas que foram desenvolvidas na sub-bacia do Cercadinho e busco explicar a importância da pedagogia pelas águas, de relacionar as técnicas de manejo das águas pluviais com as ações educacionais.

4.1 Projeto Águas na Cidade - construção de um diálogo com as escolas

O Projeto Águas na Cidade¹⁰ vem sendo desenvolvido desde 2016 pelo grupo de pesquisa Morar de Outras Maneiras (MOM), sediado no Departamento de Projetos e no Núcleo de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo da Escola de Arquitetura da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG).

O Projeto tem como objetivo principal a democratização do conhecimento sobre o comportamento das águas na cidade como premissa para práticas mais resilientes de produção do espaço urbano e reconciliação entre os habitantes da cidade e as águas urbanas. Como objetivo específico, visa desenvolver material didático de caráter interdisciplinar e aplicável a diversas disciplinas escolares, com a finalidade de ser utilizado em escolas do ensino fundamental e médio. Os materiais didáticos são entendidos como instrumentos de diálogo de apoio a práticas pedagógicas, provocam questões e instigam conversas relacionadas a água, cidade e problemas ambientais urbanos.

Figura 34: Diagrama ilustrativo Projeto Águas na cidade



Fonte: Santos, 2021.

¹⁰ Atualmente o grupo que compõe o Projeto Águas na Cidade é formado por estudantes da graduação e pós-graduação em arquitetura e urbanismo e pelo coordenador, o professor do curso de arquitetura e urbanismo Roberto E. dos Santos.

A primeira experiência do Projeto Águas na Cidade aconteceu em 2016 e 2017 na sub-bacia do Cardoso na Vila Nossa Senhora de Fátima em Belo Horizonte, junto a Escola Municipal Professor Edson Pisani (EMPEPI). Posteriormente, se juntou ao trabalho o Grupo Água em Foco, do Centro Pedagógico da UFMG.

Nas oficinas realizadas com as escolas foram desenvolvidos vários materiais, como maquetes e o kit Bacias. Segundo Santos et al. (2017), o kit é um material de destaque do projeto pois tem grande potencial para uso generalizado em práticas de ensino, mobiliza conhecimentos e habilidades necessárias ao trabalho de interpretação de mapas e maquetes. Trata-se de uma interface que possibilita atividades pedagógicas com diversos tipos de abordagem, como identificação de elementos morfológicos do relevo, introdução à linguagem cartográfica, transposições de escala, delimitação de bacias e confecção de maquetes.

Figura 35: Kit Bacias Projeto Águas na cidade



Fonte: MOM - Projeto Águas na Cidade adaptado pelo autor 2023.

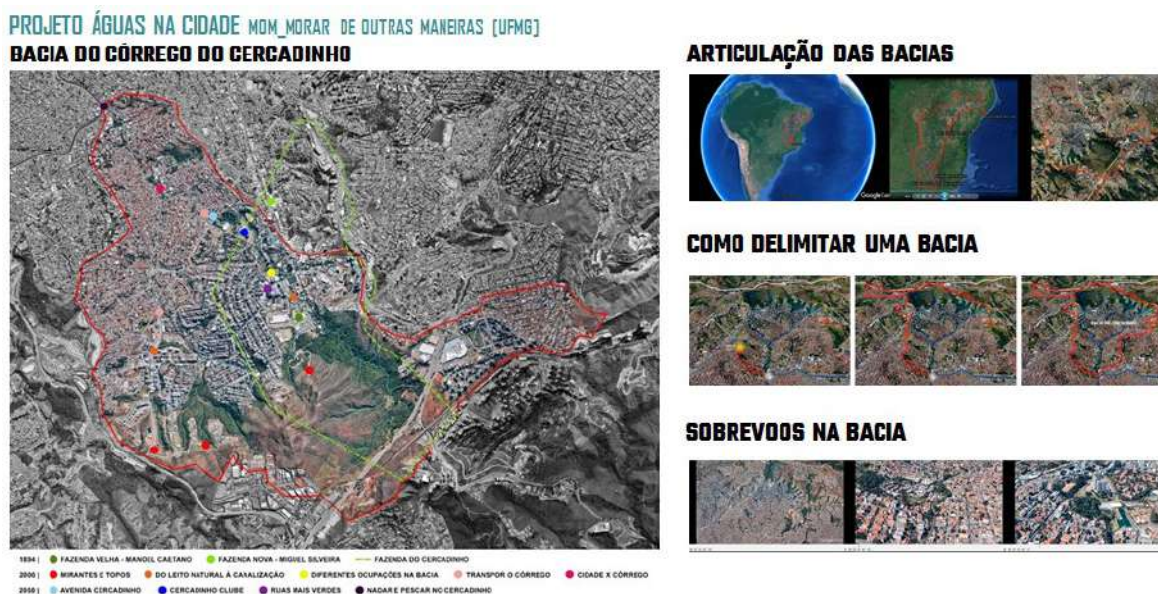
Os princípios pedagógicos que orientaram o processo de produção do material didático partiram de quatro premissas principais: (1) ampliar a compreensão das manifestações concretas do ciclo hidrológico e do impacto da urbanização sobre a dinâmica das águas na natureza; (2) respeitar o conhecimento empírico prévio dos estudantes como condição para incorporação do conhecimento formal para construir uma abordagem dialógico-interativa; (3) utilizar procedimentos simples e softwares livres, de modo a facilitar a universalização do acesso ao material didático; (4) promover a autonomia coletiva de todos participantes do projeto.” (SANTOS et al, 2017)

É a partir dos princípios destacados acima que o Projeto Águas na Cidade está desenvolvendo uma segunda experiência em outra bacia hidrográfica da cidade de Belo Horizonte, a sub-bacia do Cercadinho, localizada na região Oeste da capital. Não participei da primeira experiência do Projeto realizado na sub-bacia do Cardoso, mas participo diretamente do trabalho que o Projeto Águas na Cidade está realizando na sub-bacia do Cercadinho.

No ano de 2020 iniciamos o projeto no Cercadinho em Belo Horizonte. Desde então trabalhamos com a produção de materiais didáticos e ações na sub-bacia. No segundo semestre de 2020, fomos selecionados para participar da 1ª Mostra Córregos Vivos, trabalho que visava desenvolver investigações, experimentações, debates e propostas para a região. Diferente da primeira experiência do Projeto realizada na sub-bacia do Cardoso, os materiais didáticos iniciais produzidos para a sub-bacia do Cercadinho foram virtuais, como vídeos, gifs e montagens.

Os materiais didáticos elaborados para a Mostra contam a história do Cercadinho, destacam a importância da região como manancial de abastecimento de água de Belo Horizonte, trazem percepções do morar na bacia e apontam projeções futuras. Como o objetivo do projeto é a produção de materiais de apoio a práticas pedagógicas, produzimos também vídeos que explicam o comportamento da chuva na sub-bacia, a articulação entre as bacias e a delimitação da sub-bacia do Cercadinho. Diante das limitações impostas pelo isolamento social, participar da Mostra e produzir materiais virtuais foi uma boa oportunidade para ampliar o alcance do trabalho para a população local, dialogando com outros grupos, artistas, lideranças e moradores da bacia.

Figura 36: Material Mostra Córregos Vivos – Bacia do Cercadinho



Fonte: Projeto Águas na cidade, 2021.

O trabalho realizado na 1ª Mostra Córregos Vivos possibilitou o contato com lideranças locais e escolas do ensino fundamental e médio do Cercadinho, Escola Estadual Manuel Casasanta e Escola Municipal Professora Efigênia Vidigal (EMPEV). No primeiro semestre de 2021 começamos a realizar encontros virtuais com as escolas com o objetivo de construir em conjunto um trabalho. O

isolamento social por causa da Covid não permitia encontros presenciais o que dificultou o andamento das atividades, mas no segundo semestre de 2021 realizamos os primeiros encontros com estudantes da Escola Estadual Manuel Casasanta.

O trabalho com a Escola Estadual Manuel Casasanta foi organizado em sábados letivos com estudantes do ensino médio. Foram realizados 5 (cinco) encontros virtuais aos sábados letivos com participação de professores, alunos e integrantes do projeto Águas na Cidade. Nos encontros abordamos os seguintes temas: relação das águas com a cidade, rios invisíveis, o que é a sub-bacia do Cercadinho, como estão as águas do Cercadinho, causas das inundações e quais são as alternativas para tratar o problema. Os materiais didáticos produzidos sobre a sub-bacia foram utilizados como instrumentos de diálogos nas oficinas virtuais. As informações e impressões foram coletadas através de diferentes interfaces onde todos podiam inserir seus registros e opiniões. Os dados coletados geraram nuvens de palavras, gráficos, registros de fotos, vídeos, e discussões de propostas para a sub-bacia. A figura abaixo traz alguns registros dos encontros.

Figura 37: Encontros escola Manoel Casa Santa – Bacia do Cercadinho



Fonte: Projeto Águas na cidade, 2021.

No ano de 2022, com a possibilidade de organizar encontros presenciais realizamos atividades semanais na Escola Municipal Professora Efigênia Vidigal (EMPEV) com estudantes do 4º e 5º ano da Escola Integrada. Nos primeiros encontros conversamos sobre as águas, a região do Cercadinho e o reconhecimento dos elementos morfológicos utilizando o Kit Bacias para a produção

de uma maquete genérica com os alunos. A proposta foi começar com questões e perguntas simples, como: alguém já viu ao vivo ou na televisão uma enchente em dias de chuva forte? Sabe porque as enchentes acontecem? Alguém sabe o que é água pluvial? Como funciona o ciclo da água na natureza? O que é bacia hidrográfica? Alguém sabe em que bacia hidrográfica a escola fica?

Interessante perceber que a grande maioria dos alunos relataram problemas relacionados ao excesso de lixo nas ruas, inundações próximas de suas casas (a água não cabe no rio foi a frase de um estudante para evidenciar o problema), e o desmoronamentos de barrancos causados pela água pluvial. Percebemos que os alunos descreviam com detalhes diferentes problemas relacionados ao cotidiano da cidade, mas não tinham conhecimento das causas dos problemas e do próprio nome do córrego que está ao lado da escola. As conversas iniciais serviram de ponto de partida para explicarmos por meio de ilustrações e vídeos o ciclo da água e as bacias hidrográficas.

Na próxima atividade com os alunos conversamos sobre a sub-bacia do Cercadinho utilizando mapa com imagens de satélite, mapa com desenho do parcelamento e maquete da sub-bacia. A vista aérea e a maquete despertaram grande interesse nos alunos, e desde o início procuraram encontrar referências espaciais, como a escola, a EMEI, suas residências ou a casa de algum parente. As crianças tiveram dificuldade em identificar o córrego, o limite da sub-bacia do Cercadinho e a relação com a cidade de Belo Horizonte. De modo geral, as referências espaciais se relacionaram à equipamentos urbanos, o shopping, o posto de saúde, escola ou a rua principal que concentra o comércio do bairro; as referências da natureza não estavam presentes nos relatos da escala local. Ao realizarmos uma atividade de desenho livre alguns alunos representaram o Cercadinho, mas muitos estudantes desenharam o planeta terra, destacando a necessidade de preservar e cuidar do planeta, ou seja, a referência de cuidado com a natureza apareceu em uma escala global.

A conversa sobre a bacia e a escola introduziu a produção de uma segunda maquete com foco na microbacia da escola. O ponto mais interessante na confecção da maquete é perceber que um dos primeiros recortes da vista aérea colado no meio da maquete foi a própria escola (circulada de vermelho na foto abaixo). As fotos abaixo retratam os primeiros encontros realizados com a escola EMPEV.

Figura 38: Encontros na escola Professor Efigênia Vidigal – sub-bacia do Cercadinho



Fonte: Projeto Águas na cidade, 2022.

No segundo semestre de 2022 demos continuidade as atividades trabalhando também a escala da própria escola. Com o intuito de trabalhar a percepção da água em diferentes escalas desenvolvemos uma maquete da escola EMPEV. A proposta foi aprofundar a conversa a partir da escola, entorno e pequena bacia hidrografia (circunstância) onde está localizada a EMPEV. Para trabalhar a percepção concreta de lugar realizamos uma caminhada da escola até o córrego Ponte Queimada, e outra caminhada dentro da própria escola. Nas caminhadas tentamos identificar as referências, o percurso que a água da chuva fazia no entorno e dentro da EMPEV, e os problemas na escala local. Na escola um dos problemas identificados com as chuvas foi de alagamento no pátio. Por estar localizada em uma linha de drenagem a EMPEV recebe um grande volume de água das áreas a montante na bacia.

Figura 39: Visita ao córrego e encontros na escola Professor Efigênia Vidigal



Fonte: Projeto Águas na cidade, 2022.

Ao longo do segundo semestre de 2022 trabalhamos também atividades complementares como leituras e desenhos que abordavam o ciclo da água e o comportamento da água pluvial em uma área urbanizada e em uma região com área verde (não urbanizada). Nas atividades complementares buscamos reforçar pontos importantes relacionados as águas e as cidades, por

exemplo, como diferentes bacias estão conectadas e como pequenas unidades de planejamento podem contribuir para potencializar problemas que estão em outras bacias a jusante.

O Projeto Águas na Cidade continua o trabalho com a escola EMPEV em 2023. Avaliamos como muito importante a continuidade do projeto pois o trabalho de educação não é uma ação de curto prazo, pelo contrário, é um trabalho que precisa prosseguir para colher frutos. Avalio que o trabalho com as escolas é crucial para estimular o cuidado com o lugar e direcionar ações futuras, principalmente, para construir coletivamente propostas para a escala microlocal, circunstância, rua, lote (escola) e seu entorno.

Imaginamos as escolas de ensino fundamental como irradiadoras do conhecimento acerca do comportamento da água nas bacias e como referências locais para construção de soluções coletivas, envolvendo toda comunidade em torno da recuperação e da preservação das condições ambientais nas bacias. Os problemas identificados nos encontros e atividades realizadas, como o alagamento no pátio da escola devido as chuvas, poderia ser uma das ações práticas desenvolvidas em etapas futuras do projeto.

No horizonte da pesquisa de doutorado o contato com a comunidade e escolas trouxe importante discussões, identificando potencialidades e fraquezas locais, bem como desafios e oportunidades de construir propostas buscando solucionar problemas locais, como o desenho de MCD para a escala da circunstância (pequenas bacias hidrográficas) e lote (escola EMPEV).

Para o exercício de desenho das MCD propus uma conexão da pesquisa com disciplinas de graduação dos cursos de Arquitetura e Urbanismo da UFMG e PUC Minas. As disciplinas abordaram o estudo do lugar e o desenvolvimento de propostas para a circunstância onde está localizada a escola EMPEV. O exercício de desenho das MCD para a circunstância EMPEV será detalhado no capítulo 6.

4.2 Cartilhas e manuais – projeto como instrumento de informação

As atividades desenvolvidas pelo Projeto Águas na Cidade com as escolas demonstram o potencial dos materiais didáticos, interfaces e desenhos como instrumentos de diálogo em ações educacionais. No âmbito da pesquisa de doutorado, e como maneira de ilustrar e explicar a implantação de técnicas compensatórias difusas, propus para o exercício de desenho das MCD apresentar as técnicas a partir de simulações de implantação. As simulações ilustram as

possibilidades de transformação da área com a implantação das medidas na circunstancia (pequena bacia). Além de apresentar e demonstrar as possíveis alterações na cidade, os desenhos são ótimos instrumentos de diálogo para o trabalho de educação ambiental.

Diferentes trabalhos já apresentaram soluções de MCD e detalharam a execução das medidas. O desenho das técnicas compensatórias e perspectivas que ilustram a implantação das soluções em vias urbanas está presente, por exemplo, em cartilhas internacionais para o desenho de ruas verdes, como o *City of Philadelphia Green Streets Design Manual* (2014). O manual da cidade de Philadelphia é um material que apresenta o desenho dos jardins de chuva separados das vias (desenho de diferentes tipos) e ilustrações das transformações nas vias urbanas a partir da instalação dos jardins drenantes.

Figura 40: Desenho de MCD e perspectivas de ruas com as simulações de implantação



Fonte: *City of Philadelphia Green Streets Design Manual*, 2014.

O manual, ao apresentar o desenho de tipos de jardins de chuva e perspectivas das ruas que ilustram o “antes e depois” da implantação das técnicas, se constitui em um material com grande potencial para explicar as alterações possíveis em vias urbanas. Os desenhos na escala da rua ilustram as possibilidades de aplicação através de um comparativo das ruas atuais sem os

dispositivos, e posteriormente, com a instalação das técnicas MCD. O manual apresenta os seguintes tipos de jardins de chuva: jardins de chuva em áreas de estacionamentos paralelos as vias, canteiros com arvores no passeio, trincheiras com árvores e sarjetas verdes¹¹. Ao demonstrar com clareza as transformações o manual se constitui também como uma ferramenta (instrumento de diálogo) importante de informação.

Figura 41: Perspectivas de ruas com simulações de implantação de MCD



Fonte: *Kitsap Green Streets Plan*, 2014.

É possível destacar os seguintes objetivos com as ilustrações: (1) caráter informativo, demonstrar as possibilidades de alteração das vias urbanas com a implantação de técnicas compensatórias MCD; (2) caráter quantitativo, com o desenho dos módulos nas ruas é possível quantificar em termos de área o espaço que os jardins de chuva vão ocupar na via; (3) caráter educacional, material didático para ações de educação ambiental urbana.

No caso de Belo Horizonte, cidade conformada por vias que apresentam diferentes características (hierarquias, largura de vias e passeios) pode-se fazer um exercício levando em consideração as principais características de cada tipo de via para o desenho de jardins de chuva adaptáveis a cada contexto. Nos próximos capítulos apresento a explicação da proposta e o estudo de caso que une MCD de manejo das águas pluviais e pedagogia urbana em um estudo de caso na sub-bacia do Cercadinho em Belo Horizonte.

¹¹ Tradução realizada pelo autor

5. PROPOSTA DE ESTUDO DE CASO NA SUB-BACIA DO CERCADINHO

Conforme descrito nos capítulos anteriores, para a pesquisa no Cercadinho defini três aspectos centrais que orientaram o desenvolvimento do trabalho: 1) Técnico – Drenagem, estudo das MCD para aplicação na cidade; 2) Ambiental – Pedagógico, educação ambiental urbana e articulação direta com moradores e estudantes da sub-bacia; 3) Unidade de Planejamento - Bacia hidrográfica, pequenas bacias e circunstâncias como unidade de planejamento e projeto.

O diagrama abaixo ilustra de forma esquemática as etapas e a organização do método da pesquisa. O estudo das técnicas de manejo de águas pluviais e a sistematização de parâmetros/critérios, somados ao levantamento de informações da sub-bacia do Cercadinho e ações pedagógicas são fundamentais para elaborar as propostas de MCD e estratégias para atuar em pequenas bacias (circunstâncias).

Figura 42: Diagrama com etapas da pesquisa



Fonte: Elaborado pelo autor, 2022.

O estudo das diferentes MCD é o ponto de partida para o desenho de soluções ambientalmente corretas com uso responsável de recursos. A análise das técnicas compensatórias associadas ao local de implantação tem como objetivo a sistematização de parâmetros e critérios que orientem a implantação das MCD em bacias hidrográficas urbanas na escala microlocal, como as vias urbanas e lotes.

A análise da sub-bacia do Cercadinho e circunstância EMPEV (detalhada a seguir na pesquisa) leva em consideração os critérios e parâmetros apresentados anteriormente: físicos (solo, declividade, água e cobertura vegetal); urbanísticos e sanitários (características viárias,

infraestrutura urbana, ocupação do solo e instrumentos urbanos/legislação); e socioeconômicos (gestão, participação popular, custo e manutenção).

A partir da análise de dados da sub-bacia e dos critérios e parâmetros sistematizados busco cruzar informações e elaborar uma estratégia de ação para sub-bacia (diretrizes para a escala “macro”), e uma proposta de implantação de MCD em uma pequena bacia do Cercadinho (escala “microlocal”). O exercício de desenho das MCD para a escala microlocal detalha a proposta de desenho e implantação das MCD jardins de chuva para as vias urbanas da circunstância da escola Municipal Professor Efigênia Vidigal – EMPEV.

O exercício de desenho das MCD para vias da circunstância EMPEV foi construído em etapas e de forma coletiva em um exercício desenvolvido em conjunto com estudantes de arquitetura e urbanismo da UFMG e PUC Minas. O exercício de desenho possibilitou levantar diferentes tipos de jardins de chuva e tipos de vias. O resultado final são ensaios que apresentam a implantação das MCD em quarteirões da circunstância.

O redesenho dos quarteirões possibilitaram também a quantificação das áreas ocupadas pelas MCD. De posse dos quantitativos levantados realizei simulações hidrológicas simplificadas por meio do software SWMM. A simulação hidrológica busca medir uma possível redução dos impactos com a incorporação das MCD na bacia. A intenção da pesquisa não é desenvolver cálculos detalhados, mas evidenciar a importância de avaliarmos a eficácia das MCD no contexto urbano (acredito que os engenheiros que trabalham no campo da hidrologia têm capacidade de realizar os cálculos e simulações com muito mais apuro e precisão); contudo, mesmo preliminarmente, a simulação é um ponto essencial para evidenciar que o trabalho não se encerra com o desenho das técnicas compensatórias, é preciso avaliar a eficiência das medidas.

A simulação hidrológica comparece no trabalho com o intuito de reforçar o diálogo com a engenharia hidráulica. Assim como o edifício não pode ser construído sem os cálculos de dimensionamento de sua estrutura, as soluções compensatórias de manejo das águas pluviais não podem ser aplicadas na cidade sem os devidos estudos de dimensionamento e avaliação da eficácia das medidas.

Não é apenas desenhar, é entender a aplicação prática das medidas em um sistema que trabalha em rede. Apenas uma solução não resolverá o problema, um (1) telhado verde ou um (1) jardim drenante trarão pouca contribuição para minimizar o impacto das inundações, mas se aplicadas em grande quantidade em diferentes regiões da bacia hidrográfica as MCD podem ser

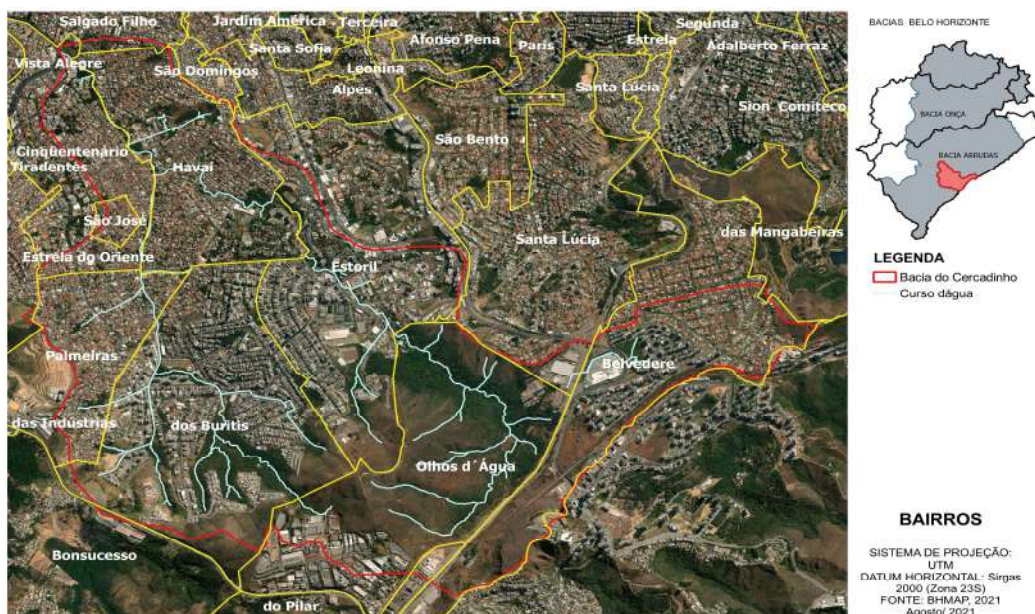
importantes para melhoria da qualidade das cidades. Daí a importância de envolver a população como parte fundamental do projeto e estruturar propostas a partir de escala menores (circunstâncias).

Foi considerando os pontos destacados acima que na etapa final da pesquisa procuro construir uma estratégia de aplicação das MCD na cidade a partir de “microcircunstâncias”¹². A proposta busca articular as ações pelas circunstâncias localizadas à montante, das cabeceiras para as bacias a jusante. Partindo das pequenas bacias à montante é possível estruturar ações minimizando impactos transferidos a jusante (SILVA, 2013). Nos próximos itens detalho o estudo de caso na sub-bacia do Cercadinho e a proposta de trabalho.

5.1 Estudo de caso na sub-bacia do Cercadinho

A sub-bacia hidrográfica do Cercadinho está localizada na região Oeste de Belo Horizonte, entre as regiões Centro-Sul e Barreiro. Na figura abaixo apresento a localização da sub-bacia no município de Belo Horizonte e os bairros que fazem parte da área de estudo: Buritis, Estrela Dalva, Estoril, Mansões, Havaí, Palmeiras e parte dos bairros Belvedere e Olhos d’água.

Figura 43: Delimitação da sub-bacia Cercadinho e bairros



Fonte: BHMap adaptado pelo autor, 2022.

¹² Divisões da circunstância e bacias menores

A sub-bacia do Cercadinho está inserida na bacia do Arrudas que tem como divisor de águas à sudeste a Serra do Curral. A área está localizada em uma região de importantes vias de articulação da cidade, como Avenidas Raja Gabaglia, Barão Homem de Melo, Tereza Cristina, Anel Rodoviário, BR-040 e Av. Nossa Senhora do Carmo.

A sub-bacia do Cercadinho tornou-se objeto de pesquisa por apresentar um grande potencial de recuperação, contendo ainda córregos em leito natural e matas, em oposição à paisagem urbana predominante marcada por córregos canalizados e tamponados. Apesar disso, a região sofre também com problemas comuns ao restante da cidade, como inundações, poluição dos córregos e a ocupação de suas margens, além de ser fortemente ameaçada pela expansão imobiliária.

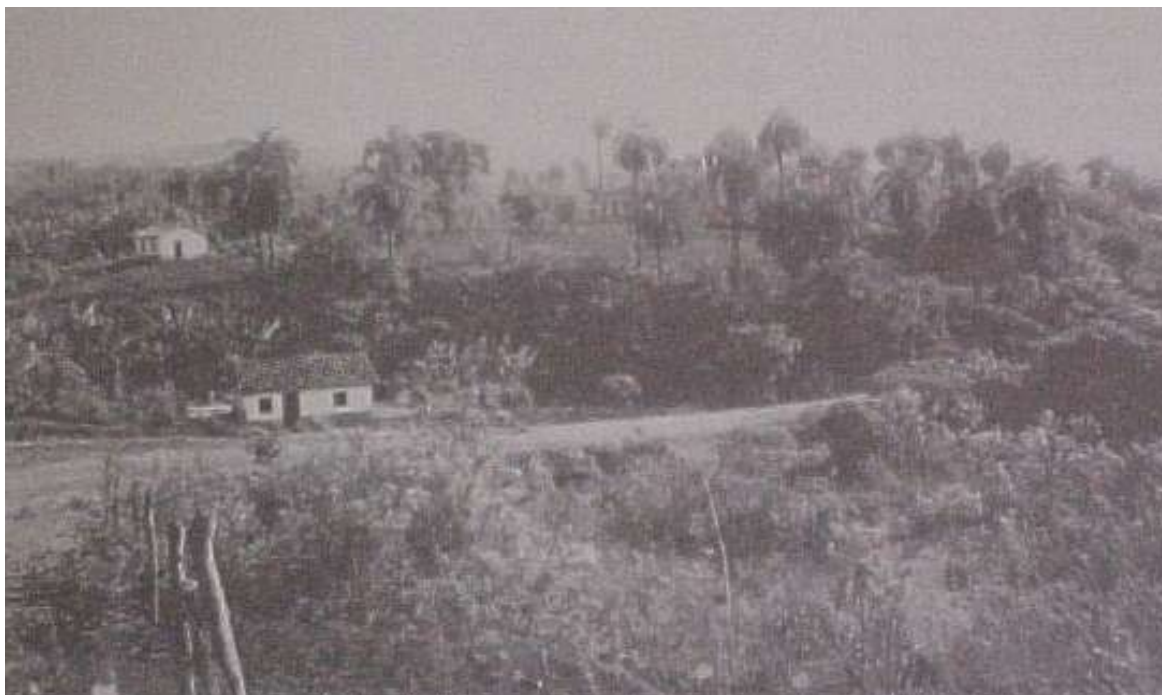
A escolha do Cercadinho deve-se também à possibilidade de desenvolver proposta para o manejo das águas pluviais urbanas integrada a áreas verdes. A junção das áreas verdes e água é uma das características principais das MCD. O novo Plano Diretor de Belo Horizonte apresenta instrumentos da política urbana que reforçam essa integração por meio da constituição de redes de áreas de estruturação ambiental na cidade, como “conexões de fundo de vale” junto aos córregos e “conexões verdes” em vias públicas.

Nos próximos itens apresento análise das informações da sub-bacia. O levantamento e cruzamento dos dados tem como objetivo elaborar uma estratégia de ação para sub-bacia considerando diferentes escalas, diretrizes para a escala “macro” e proposta de implantação de medidas compensatórias difusas para a escala “micro”.

5.1.1 Cercadinho na história

A ocupação do Cercadinho é antiga. Há registros de moradores na região antes da construção da cidade de Belo Horizonte. Segundo Mendonça (2007), por volta de 1701 bandeirantes e aventureiros começaram a ocupar as margens do Rio das Velhas e a região atual das cidades de Sabará e Belo Horizonte. Nas encostas da Serra do Curral o paulista Silva Ortiz estabeleceu ali uma fazenda com criações e escravos que recebeu o nome de Fazenda do Cercado. Barreto (1996) destaca que a sede da Fazenda do Cercado estaria localizada na sub-bacia do córrego do Cercadinho (atualmente bairros Havaí e Santa Lúcia).

Figura 44: Vista panorâmica da Fazenda do Cercado

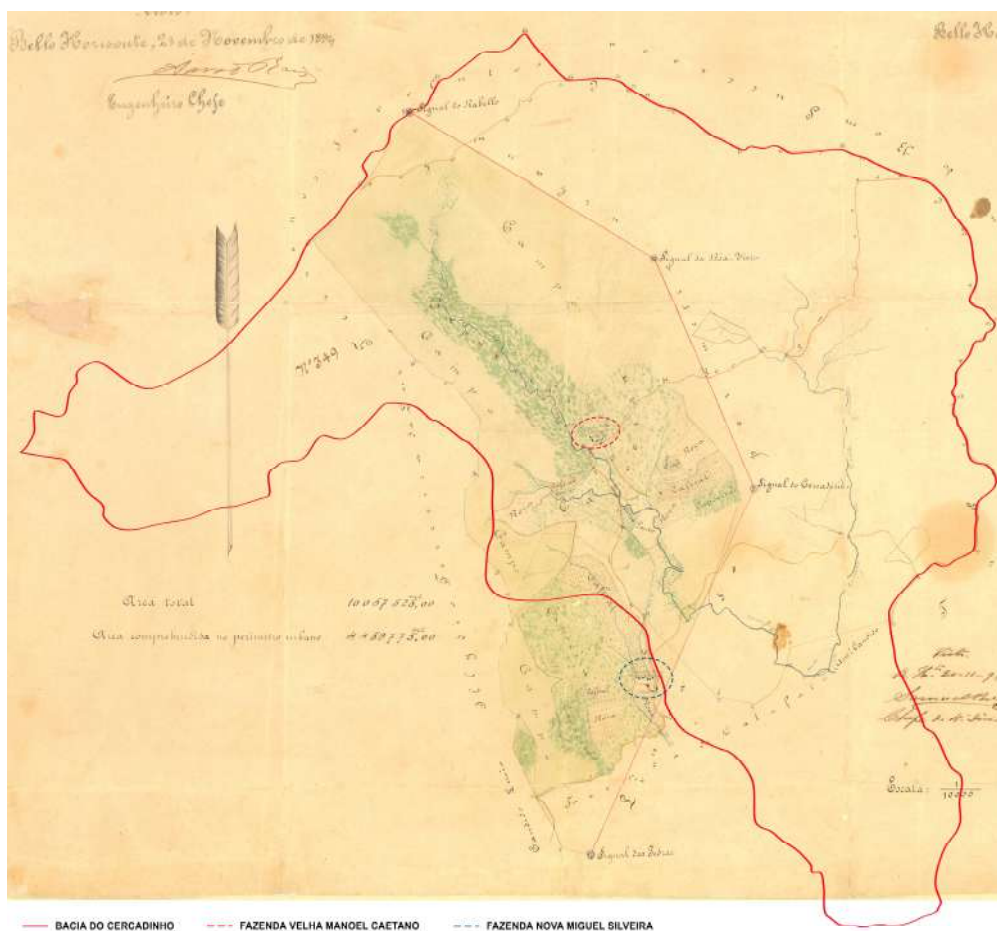


Fonte: Barreto, 1996.

A região do antigo Arraial Curral del Rei foi inicialmente ocupada por fazendas que foram sendo divididas e vendidas ao longo do tempo. No processo divisão surgiu na região do Cercadinho outra fazenda, chamada de Fazenda do Cercadinho. No final do século XIX, fazendas como a do Cercadinho eram pequenas unidades produtivas que compunham comunidades que ali viviam e trabalhavam. A Fazenda do Cercadinho foi desapropriada pelo Estado em 1894 na época da construção da nova capital mineira (MENDONÇA, 2007, p.77).

O mapa abaixo representa a Planta da Fazenda do Cercadinho onde existiam duas casas de morada, a Fazenda Velha, de propriedade de Manoel Caetano, e a Fazenda Nova, de propriedade de Miguel da Silveira. As fazendas da época eram compostas pela casa de morada do proprietário, casas de agregados e outros trabalhadores, roças, áreas de plantio e criações; detalhes do mapa fornecem indícios do modo de vida na fazenda e a relação com o lugar e córrego. Em um exercício de localização da Fazenda do Cercadinho destaco no mapa o limite da sub-bacia do Cercadinho (linha em vermelho).

Figura 45: Planta da Fazenda Cercadinho em 1894

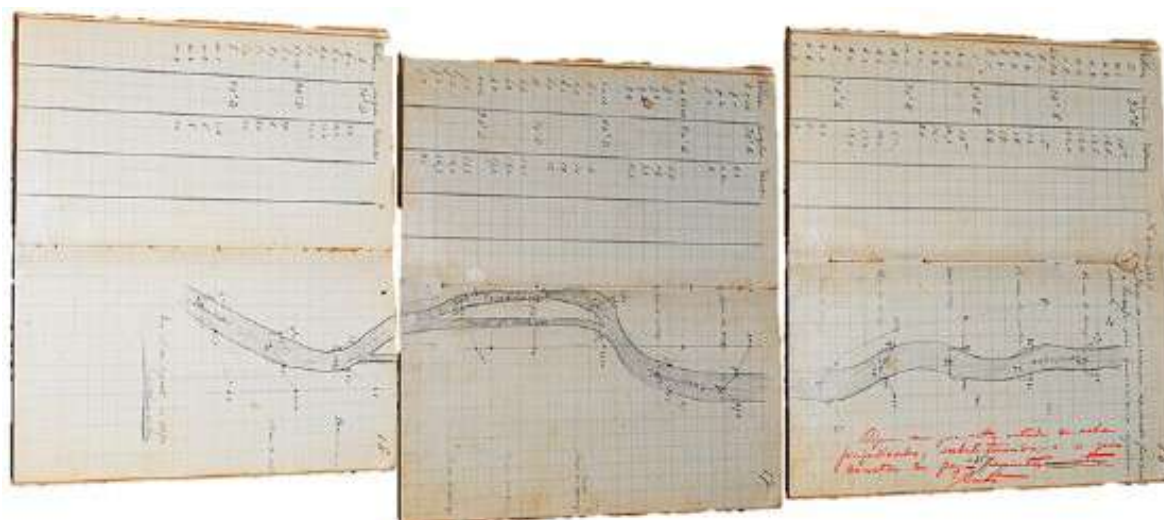


Fonte: Comissão Construtora da Nova Capital APCBH/FMC, adaptação Projeto Águas na Cidade (MOM-UFMG), 2021.

Desenhos encontrados nas Cadernetas da Comissão Construtora da Nova Capital (CCNC) contendo informações sobre os córregos e Fazenda do Cercadinho registram os levantamentos realizados na sub-bacia do Cercadinho na época de construção da cidade. O levantamento geodésico e topográfico realizado pela CCNC visava recolher dados físicos sobre o sítio em que se implantaria Belo Horizonte. Entre 1894 e 1898 foram produzidas 670 cadernetas¹³. As Cadernetas 337 e 338 registram o levantamento da Fazenda do Cercadinho; além de croquis do percurso do córrego elas trazem o cadastro das edificações existentes na Fazenda, informações relacionadas ao sítio de implantação, cursos d'água, propriedades e suas benfeitorias.

¹³ Este acervo está hoje sob a guarda do Museu Histórico Abílio Barreto (MHAB). Em 2015, o material produzido pela CCNC, do qual fazem parte as cadernetas, foi selecionado pela UNESCO para integrar o Programa Memória do Mundo (MOW – *Memory of the World*), passando a ser considerado patrimônio da humanidade, na categoria arquivística.

Figura 46: Montagem Cadernetas 337 e 338 da Comissão Construtora da Nova Capital (CCNC)



Fonte: CCNC - adaptação Projeto Águas na Cidade, 2021.

O contexto histórico retrata a importância da região na história da cidade. Mesmo localizada distante da área central de Belo Horizonte, a região do Cercadinho exerceu influência para a escolha do sítio da nova capital devido a sua importância como manancial de abastecimento de água para a cidade. É possível perceber a relevância das águas da sub-bacia até os dias de hoje já que uma grande área continua ainda preservada. Ao contrário das demais sub-bacias hidrográficas constituintes da bacia do ribeirão Arrudas, que tiveram suas áreas de cabeceiras junto a serra do Curral ocupadas, o Cercadinho possui uma extensa área verde preservada.

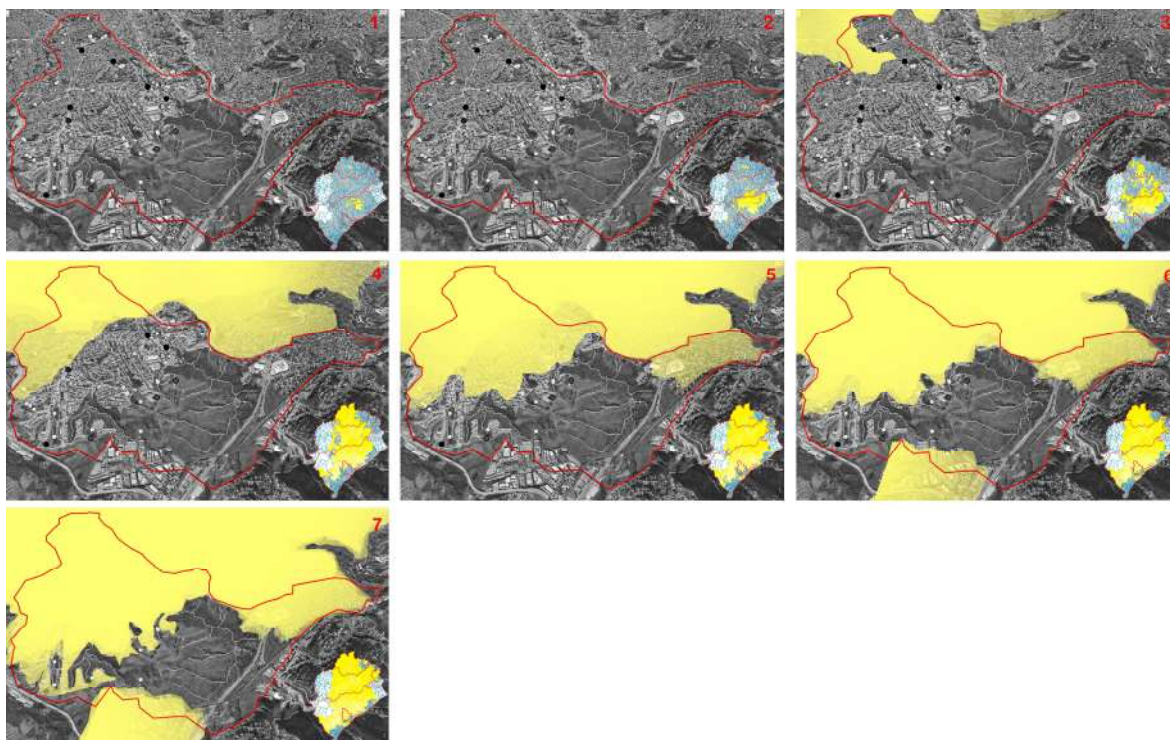
Apesar de sua importância histórica para Belo Horizonte a ocupação do Cercadinho não se deu nas primeiras décadas da cidade. Inicialmente há uma grande concentração de pessoas habitando a área central da cidade (zona urbana) e em núcleos espalhados em outras regiões (zona suburbana e rural do plano proposto). O processo de crescimento disperso da cidade de Belo Horizonte, de fora para dentro, foi reflexo do alto custo da terra localizada na zona urbana parcelada.

O processo de ocupação da região Oeste de Belo Horizonte, região onde está localizada a sub-bacia, se inicia a partir do Vale do Arrudas e do núcleo agrícola existente onde é hoje o bairro Carlos Prates. Segundo Mendonça (2007), o ribeirão foi a primeira referência para a ocupação da região, que se intensificou a partir da abertura da antiga estrada que ligava Belo Horizonte à fazenda Cercadinho, inaugurada em 1926. Na década de 1920 a região a Oeste é um dos eixos de expansão mais importantes da cidade.

Por volta de 1924, a região oeste era a que mais se expandia. Na continuidade do bairro Prado, surgiu uma ex-colônia agrícola que abrigava operários e imigrantes, e que se transformou no atual bairro Calafate. Em 1926, surge o bairro Nova Suíça e a Vila Adelina que localizava-se na atual confluência das avenidas Amazonas e Silva Lobo. Três anos depois, em 1929, surgiram os bairros Jardim América, Vila Ambrosina e a Vila Progresso [...] (MENDONÇA, 2007, p.89)

A sequência de mapas abaixo demonstra a evolução da mancha de ocupação na sub-bacia do Cercadinho e na cidade de Belo Horizonte. Os mapas em sequência de 1 a 7 retratam os seguintes anos: (1) 1918, (2) 1935, (3) 1950, (4) 1977, (5) 1999, (6) 2007, e (7) 2018. A partir da análise dos mapas é possível constatar a importância do Vale do Arrudas na expansão urbana nas primeiras décadas da cidade. Entre 1935 e 1950 é possível perceber o crescimento da cidade para os eixos Norte e Oeste, e uma intensificação do crescimento entre os anos de 1950 e 1977.

Figura 47: Sequência de mapas retratando a evolução da mancha de ocupação na sub-bacia do Cercadinho e em Belo Horizonte



Fonte: BHMmaps 2021, adaptação Autor/Águas na Cidade (MOM-UFMG), 2021.

A ocupação na sub-bacia do Cercadinho se inicia na década 1950, no mapa 3 é possível notar a mancha de ocupação na parte da foz do córrego do Cercadinho. Entre 1950 e 1977 há um grande avanço da ocupação na parte baixa da sub-bacia do Cercadinho. No ano de 1977 (mapa 4), a parte baixa da sub-bacia já está quase toda ocupada. Segundo Mendonça (2007), é em 1966 que

surgem os bairros Cinquentenário e Marajó, e posteriormente, os bairros Havaí e Nova Barroca. Entre os anos de 1950 e 1977 é importante destacar também as ocupações no entorno do Cercadinho, na região dos bairros Santa Lúcia, São Bento e Belvedere.

Entre os anos de 1977 e 1999 é notável a expansão na parte média do Cercadinho e na região do bairro Belvedere. No ano de 1979 foi construído o Conjunto Habitacional Estrela Dalva, e na década de 1980 surgiu o bairro Buritis, que impulsionou a ocupação da região. O Buritis foi inicialmente planejado para ser um bairro residencial unifamiliar com baixa densidade e baixa altimetria das edificações, mas a mudança de zoneamento na lei de uso e ocupação de 1988 admitiu a verticalização do bairro e o adensamento da área. Hoje é perceptível o contraste entre a ocupação verticalizada de prédios no Buritis com os demais bairros da sub-bacia do Cercadinho.

Ao analisar a sequência dos mapas é possível constatar o sentido de crescimento da ocupação, da foz para a cabeceira dos córregos Cercadinho e Ponte Queimada, ou seja, subindo as encostas em direção as áreas verdes protegidas. Em função da existência da estação ecológica da Copasa e Parque Ageo Pio Sobrinho grande parte da região alta da sub-bacia do Cercadinho continua ainda preservada.

5.1.2 Leitura do lugar – sub-bacia do Cercadinho

O levantamento dos dados do lugar é parte fundamental para a identificação de problemas, potencialidades e principais características da sub-bacia hidrográfica. O cruzamento das informações coletadas se constitui como a primeira etapa de análise.

A leitura do lugar pode ser organizada de diversas maneiras e utilizando diferentes metodologias. No presente trabalho estruturei a leitura a partir de eixos de análise que correspondem as camadas de organização da cidade. Assim, organizo as informações a partir de 3 (três) camadas, sendo a primeira camada os dados da infraestrutura geoambiental, como o relevo, solo, hidrografia e vegetação. A segunda camada apresenta dados da infraestrutura urbana, como o sistema viário e as redes de infraestrutura. Na terceira camada estão organizados dados relacionados ao uso e ocupação, população e legislação. Para cada camada selecionei e analisei informações que estão relacionadas aos critérios e parâmetros apresentados anteriormente.

Figura 48: Dados para levantamento

| | | |
|-----------------------------------|------------------------------|---------------------------------------|
| Estrutura Geoambiental | Infraestrutura Urbana | Ocupação |
| RELEVO | SISTEMA VIÁRIO | USO E OCUPAÇÃO |
| SUB-BACIA - CIRCUNSTÂNCIAS | INFRAESTRUTURA URBANA | POPULAÇÃO - AÇÕES EDUCACIONAIS |
| PEDOLOGIA - SOLO | LIXO | LEGISLAÇÃO |
| ÁREAS DE RISCO | | |
| CURSOS D'ÁGUA | | |
| VEGETAÇÃO | | |

Fonte: Elaborado pelo autor, 2023.

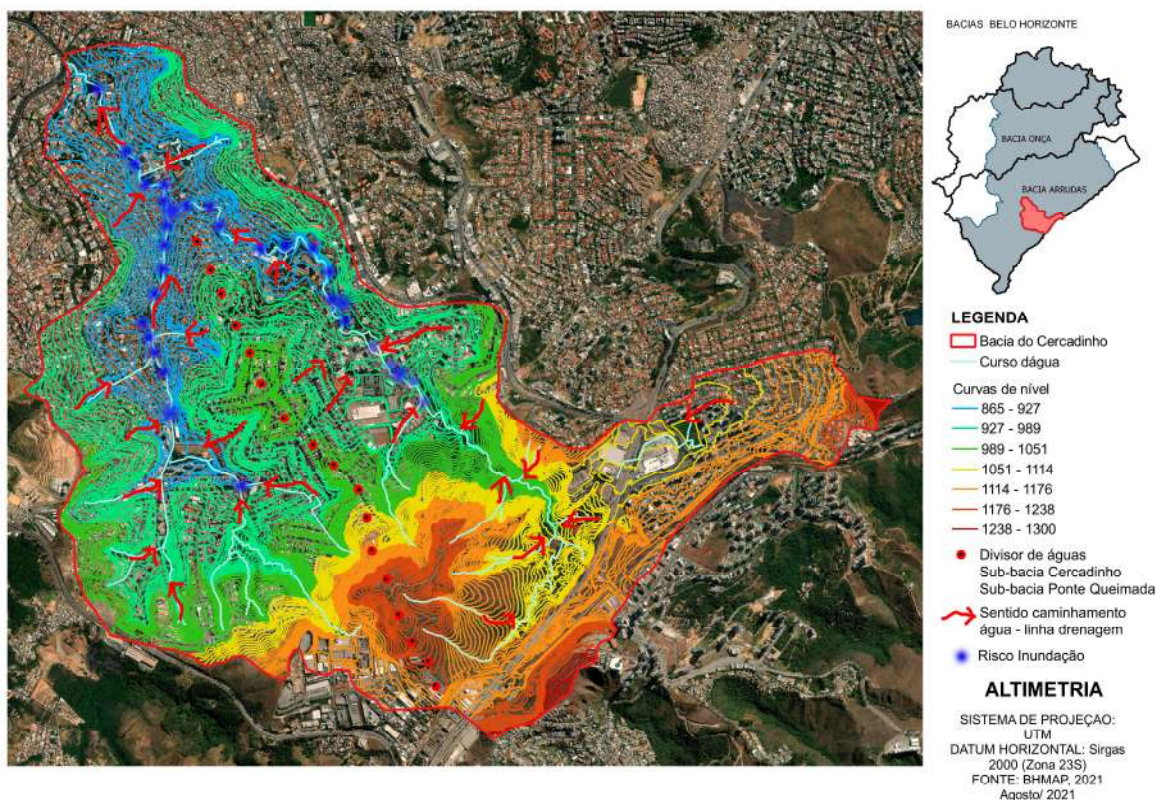
Com o objetivo de levantar informações que auxiliem na aplicação e simulação das técnicas MCD na sub-bacia busquei cruzar os dados e estabelecer o grau de importância de cada parâmetro. O resultado das análises são mapas sínteses e uma proposta de trabalho. Martins (2017), utilizou a técnica de “álgebra de mapas” para o cruzamento das informações da área de estudo e produção de “mapas de adequabilidade” que correspondem aos locais para implantação das técnicas de drenagem. No presente trabalho proponho um método similar que parte da análise e cruzamento de dados da sub-bacia do Cercadinho para definição de e construção de mapas.

- Estrutura Geoambiental

O relevo da sub-bacia do Cercadinho apresenta variação de amplitude de 435 metros (dados BHMap), indo de 865 metros de altitude nas áreas de fundo de vale e foz, até as partes mais elevadas com 1300 metros na crista da Serra do Curral e nas regiões das cabeceiras junto a estação ecológica da Copasa; contudo, se considerarmos a parte média e baixa do Cercadinho, a variação altimétrica é pequena, de apenas 124 metros (intervalo de 865 metros até 989 metros de altitude - cores azul e verde claro no mapa abaixo).

No mapa de altimetria com curvas de nível é possível analisar a variação de amplitude e também a morfologia da sub-bacia do Cercadinho, com encostas côncavas e convexas formando divisores de águas e linhas de drenagem bem demarcadas (setas em vermelho no mapa ilustram o sentido de caminamento das águas nos córregos principais e contribuintes). Com a análise do relevo da sub-bacia do Cercadinho foi possível subdividir a área em unidades de planejamento menores, microbacias e circunstâncias.

Figura 49: Mapa de altimetria da sub-bacia do Cercadinho

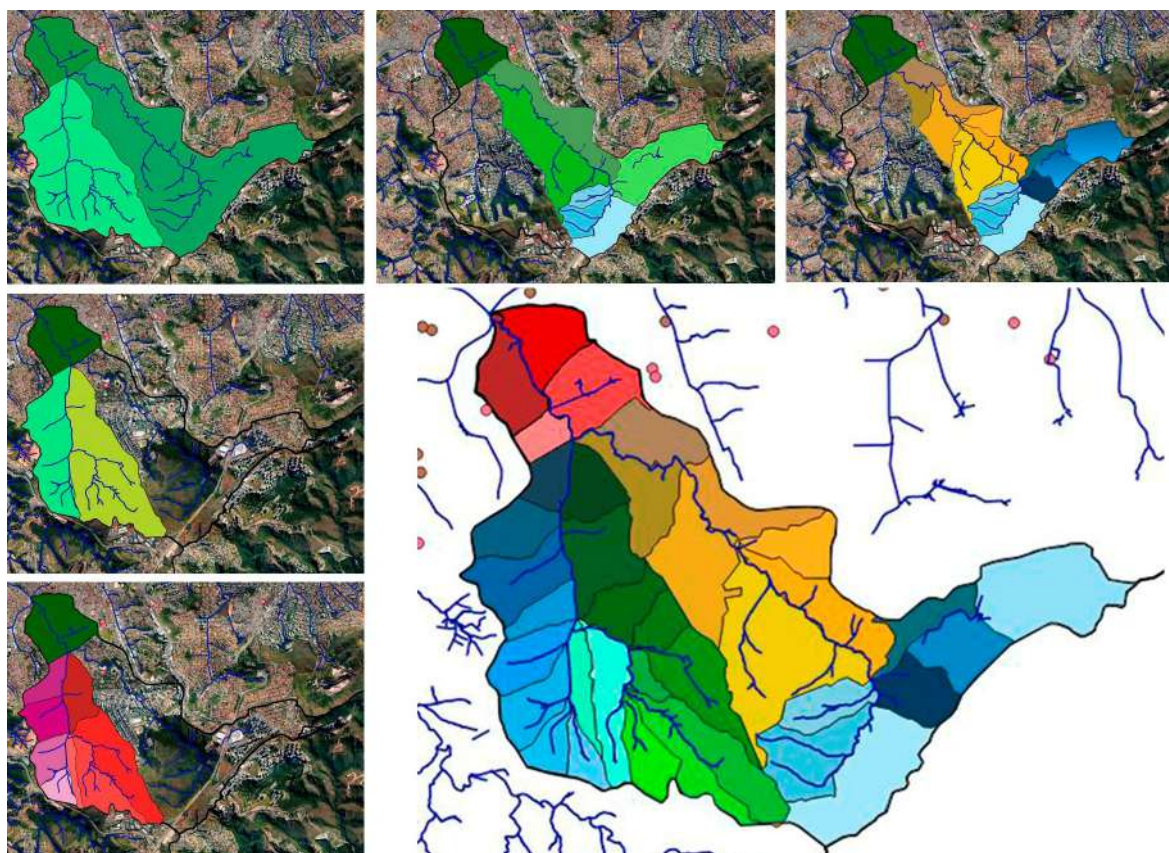


Fonte: BHMAR adaptado pelo autor, 2022.

A sub-bacia do Cercadinho é conformada por duas microbacias principais, microbacia do córrego Ponte Queimada e microbacia do córrego do Cercadinho. A microbacia do Cercadinho está localizada na porção leste e a do Córrego Ponte Queimada na porção oeste da sub-bacia hidrográfica. O mapa abaixo apresenta a divisão do Cercadinho em microbacias e recortes menores (subdivisões das microbacias). As microbacias foram divididas a partir dos córregos e encostas (direita e esquerda de cada córrego), e assim por diante até pequenas circunstâncias. Conforme dito anteriormente, as bacias hidrográficas são unidades que estão articuladas e integradas segundo a lógica fractal. Assim, grandes bacias são formadas por diversas subdivisões (teoricamente infinitas) criando um sistema em rede a partir de pequenas unidades. Com as subdivisões é possível avaliar a contribuição de cada pequena bacia para o todo.

No caso da sub-bacia do Cercadinho é possível constatar que as circunstâncias a jusante, localizadas perto da foz, são as áreas mais críticas pois recebem um grande volume de águas das demais circunstâncias localizadas a montante.

Figura 50: Mapas divisões da sub-bacia em microbacias e circunstâncias



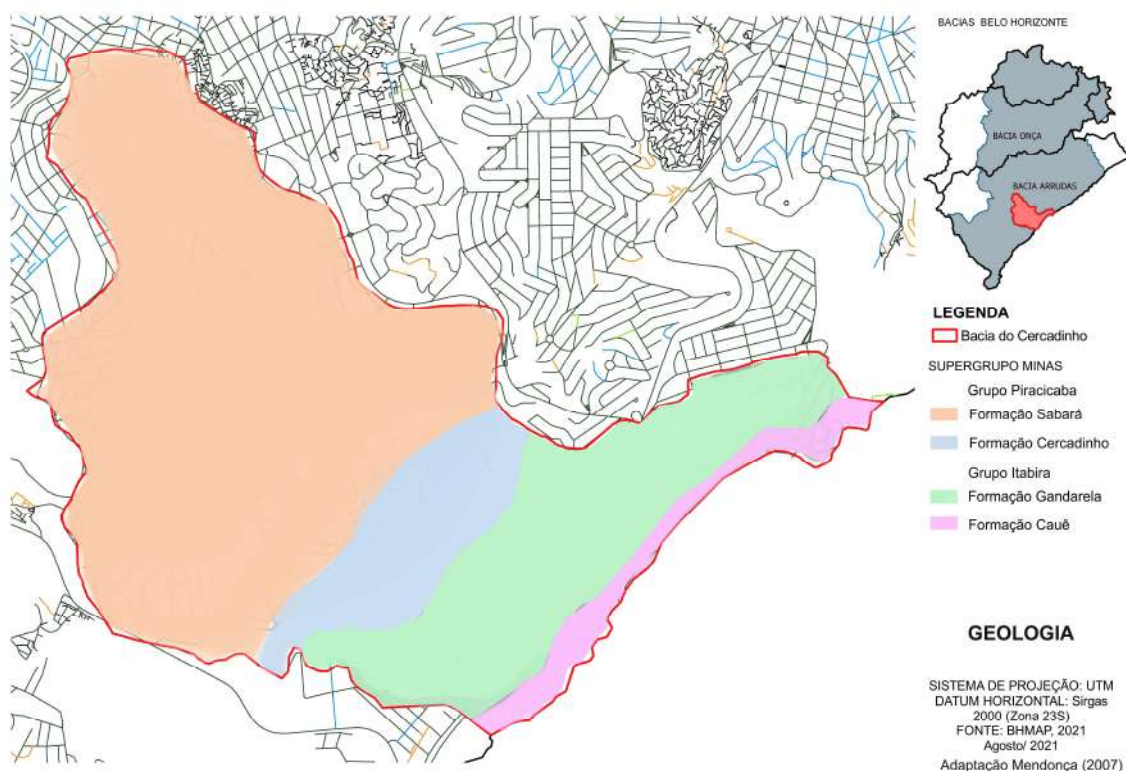
Fonte: Projeto Águas na Cidade adaptado pelo autor, 2022.

Em relação aos solos da região a área de estudo é formada por rochas de origem sedimentar de grande riqueza mineralógica. Os agrupamentos geológicos encontrados na sub-bacia do Cercadinho integram o Supergrupo Minas: Grupo Itabira, Piracicaba e Sabará. As partes altas da bacia são regiões constituídas pelas formações Gandarela e Cauê, do Grupo Itabira. A Formação Cauê é uma formação ferrífera de grande valor econômico que está localizada ao longo da crista da Serra do Curral. A formação Gandarela representa o principal aquífero de captação de água realizada pela Copasa na região. As rochas da formação Gandarela são pouco resistentes ao intemperismo.

As áreas do médio e baixo Cercadinho são caracterizadas pelas formações Sabará e Cercadinho, do Grupo Piracicaba. Pelo mapa abaixo é possível constatar que a formação Sabará é a que ocupa a maior parcela de área na sub-bacia, e é onde estão localizados os bairros Estoril, Palmares, Estrela Dalva, Marajó, Haváí, Nova Barroca, Cinquentenário, e parte do Buritis. A Formação Cercadinho é uma das mais heterogêneas, com predominância do filito. Segundo Carvalho (1999), as formações Gandarela e Cercadinho são áreas produtivas em termos de águas

subterrâneas. Segundo Mendonça (2007), o tipo de relevo existente na área ocasiona um equilíbrio dinâmico muito frágil, sendo bastante permeável e pouco resistente aos processos erosivos.

Figura 51: Mapa geologia sub-bacia do Cercadinho



Fonte: BHMAP adaptado pelo autor, 2022.

Na classificação do município de Belo Horizonte realizada por Costa (2002) a porção sul da cidade foi classificada como Latossolo Vermelho Amarelo de textura argilosa, resultante da decomposição de xistos, filitos e dolomitos, de condutividade hidráulica saturada média ($5,1 \times 10^{-7}$ m/s). De maneira geral a região apresenta alto potencial de escoamento superficial e moderada taxa de infiltração. Ao cruzar os dados dos solos e relevo é possível afirmar que grande parte da região apresenta algum tipo de risco que aponta cuidados para intervenções.

As partes altas da sub-bacia apresentam predisposição ao risco de contaminação do lençol freático em praticamente toda sua extensão. As áreas junto dos córregos principais (Cercadinho e Ponte Queimada) apresentam risco de inundação, escorregamento e escavações. As regiões de fundo de vale do médio e baixo Cercadinho são as regiões que recebem maior volume de água na bacia e são também as que apresentam maior concentração de áreas de risco de inundação. As

encostas das regiões do médio e baixo Cercadinho são as áreas que apresentaram menor predisposição a riscos conforme o mapa abaixo.

Figura 52: Mapa de predisposição a riscos na sub-bacia do Cercadinho



Fonte: BHMAP adaptado pelo autor, 2022.

No contexto da vegetação duas grandes áreas verdes se destacam nas partes altas da sub-bacia do Cercadinho, a Estação Ecológica do Cercadinho e o Parque Ageo Pio Sobrinho. No ano de 2006 foi criada a Estação Ecológica do Cercadinho que tem por finalidade garantir a preservação do manancial de abastecimento público do Cercadinho, bem como da paisagem do local, aquífero, flora e fauna da região. Segundo Mendonça (2007), a Estação Ecológica do Cercadinho é uma área de preservação da Copasa protegida com o objetivo de manter as características qualitativas e quantitativas do manancial utilizado para o abastecimento de água de bairros da região. O Parque Ageo Pio Sobrinho é uma área verde originária do parcelamento do solo do bairro Buritis, é um parque muito utilizado pela população. Uma parte do parque é utilizada pelos moradores como área de lazer e outra é fechada a visitação para garantir a preservação da vegetação e nascentes do córrego Ponte Queimada.

Além das áreas verdes destacadas acima é possível constatar a presença de áreas vegetadas em menor quantidade espalhadas pela sub-bacia e ao longo dos principais córregos, Cercadinho e Ponte Queimada. A vegetação ao longo dos córregos já se encontra bastante

descaracterizada, mas com grande potencial de recuperação assim como os córregos. Ao contrário de grande parte dos córregos urbanos, os córregos do Cercadinho e Ponte Queimada apresentam alguns trechos em leito natural, outros com contenções nas margens, mas poucos trechos estão canalizados e tamponados, que facilita sua recuperação e integração com a cidade.

Figura 53: Mapa de áreas verdes da sub-bacia do Cercadinho



Fonte: BMAP adaptado pelo autor, 2022.

No atual Plano Diretor de Belo Horizonte os trechos não tamponados dos córregos e algumas vias importantes da sub-bacia, são áreas demarcadas como redes de estruturação ambiental pelo Plano Diretor. A presença das redes de estruturação na sub-bacia do Cercadinho é outro ponto que contribui para o desenvolvimento de ações em prol da melhoria da qualidade ambiental da sub-bacia, como a criação de corredores verdes, parques lineares e recuperação das áreas de fundo de vale.

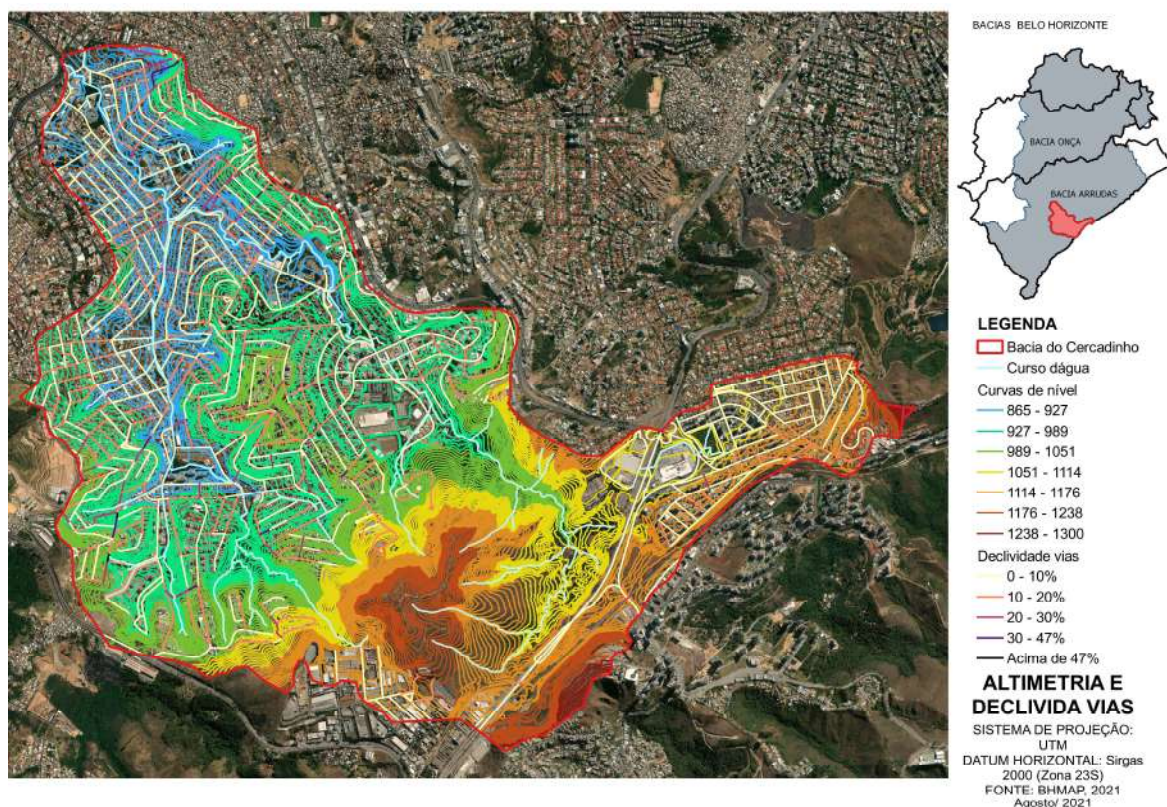
No mapa de áreas verdes acima (figura 53), destaco as “conexões de fundo de vale” nos córregos Cercadinho e Ponte Queimada, e as “conexões verdes” nas principais vias de articulação da região. A demarcação de áreas de estruturação ambiental somadas ao incentivo para promover medidas de redução de risco de desastres são pontos que contribuem para a implementação de projetos ambientais e para a implantação de MCD na sub-bacia do Cercadinho.

- Infraestrutura Urbana

Para análise da infraestrutura urbana dois pontos se destacam: sistema viário e redes de infraestrutura urbana. Para a implantação de MCD em vias urbanas é importante analisarmos a característica das vias pois alguns parâmetros podem restringir a aplicação das técnicas (declividade das vias); outros podem condicionar o desenho das MCD, como: disponibilidade de espaço, largura do passeio e via, presença de estacionamento, mobiliário e disposição das redes de infraestrutura urbana.

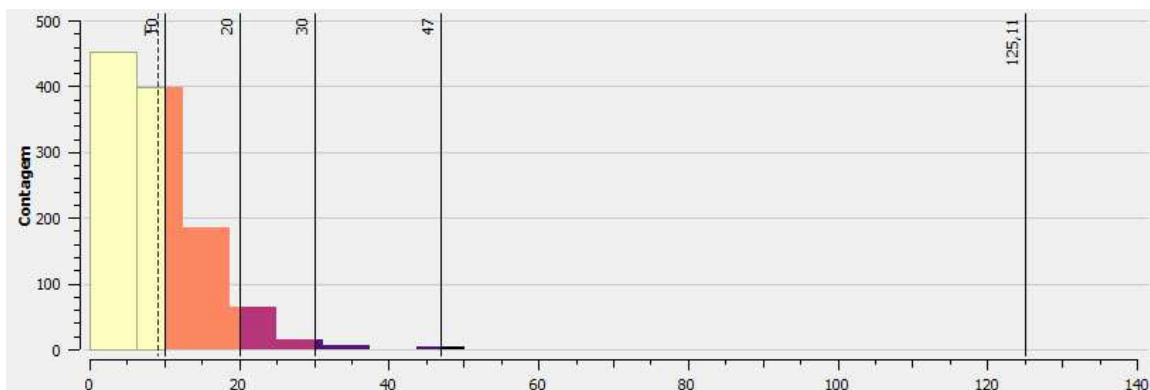
Ao cruzar o mapa de curvas de nível com a informação de declividade das vias é possível constatar que grande parte da sub-bacia possui variação altimétrica pequena, com inclinação predominantemente suave. No mapa e no gráfico abaixo é possível perceber que a maioria das ruas na sub-bacia está inserida nas duas primeiras faixas (de 0 a 10% de inclinação e de 10 a 20% de inclinação – vias com cores claras no mapa), e que poucas vias apresentam declividade superior a 20% na sub-bacia.

Figura 54: Mapa de declividade das vias na sub-bacia do Cercadinho



Fonte: BHMMap adaptado pelo autor, 2022.

Figura 55: Gráfico contendo quantidade de vias dentro de cada intervalo



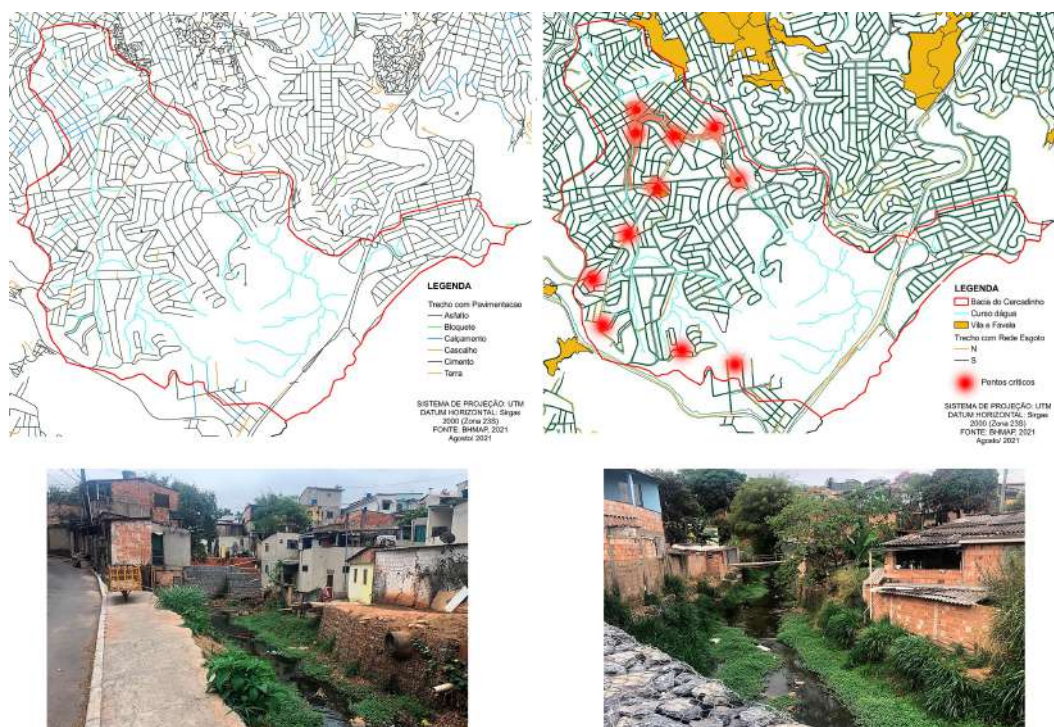
Fonte: BHMap/QGiz adaptado pelo autor, 2022.

No gráfico acima é possível constatar a maior ocorrência de vias dentro do intervalo de 0% a 10% de inclinação. A declividade média constatada para as vias da sub-bacia do Cercadinho é de 9,8% (linha tracejada indicada no gráfico acima). A declividade média inferior a 10% é um dado importante para instalação de MCD nas vias pois as técnicas não funcionam bem em situações de declividade acentuada. Para a instalação de MCD em vias urbanas nos interessa selecionar as vias ou trechos de vias que estão identificadas dentro da primeira faixa (de 0 a 10% de inclinação).

Para análise da infraestrutura urbanas foram levantadas também informações sobre as redes de drenagem, esgoto (interceptação, coleta e tratamento), poluição difusa, disposição inadequada lixo/entulho e o tipo de pavimentação das vias. A partir do cruzamento das informações identifiquei pontos críticos na sub-bacia. O levantamento da infraestrutura urbana se constitui como um dado importante para avaliar a implantação de MCD. A ausência ou instalação parcial das redes, a existência ou não de pavimentação nas vias, e a disposição inadequada do lixo são questões que influenciam diretamente a qualidade do espaço e podem também condicionar a implantação das propostas.

De maneira geral foi possível constatar que grande parte da sub-bacia do Cercadinho é bem atendida por sistemas de infraestrutura urbana; contudo, algumas regiões devem receber atenção especial (pontos críticos no mapa a seguir). Nos pontos críticos as regiões do médio Cercadinho e Ponte Queimada ganham destaque pela presença de áreas informais, vilas e favelas ocupadas por população de baixa renda.

Figura 56: Imagens e mapa de pavimentação vias e rede de esgoto da sub-bacia do Cercadinho



Fonte: BHMAP adaptado pelo autor e fotos do autor, 2022.

Nas sub-bacia do Cercadinho as áreas informais estão localizadas no entorno dos córregos Cercadinho e Ponte Queimada. As ocupações não apresentam desenho viário consolidado, são áreas conformadas por infraestrutura urbana precária e passarelas improvisadas utilizadas para cruzar o córrego. Como algumas edificações estão localizadas bem próximas aos córregos é possível notar a presença de canos que fazem o lançamento de esgoto diretamente nos cursos d'água. Nas áreas informais da sub-bacia os córregos estão bastante degradados.

Ao contrário da cidade formal, as ocupações informais entendem as áreas próximas dos córregos e os “vazios urbanos” como solução, espaço que pode ser ocupado. No contexto ambiental das cidades há uma ligação forte entre o lugar ocupado pelas favelas e as áreas ambientalmente sensíveis conformadas por cursos d'água, nascentes e encostas. Mesmo com as restrições impostas pelo sítio as áreas próximas aos córregos foram ocupadas pelo mercado informal e rapidamente adensadas.

Em Belo Horizonte, na bacia do ribeirão Arrudas, excetuados os cursos d'água no interior de parques, mineradoras ou áreas de proteção de mananciais para abastecimento, os raros córregos em leito natural encontram-se no interior das maiores e mais antigas favelas da cidade, desde as cabeceiras de importantes córregos urbanos, estendendo-se ao longo de seus leitos, em áreas hoje valorizadas no mercado de terras. [...] (SILVA, 2013, p.96).

As áreas informais localizadas junto a importantes córregos, como o Cercadinho e o Ponte Queimada, estão instaladas junto a áreas valorizadas da cidade. Devido aos diferentes problemas que historicamente marcam tais regiões: ausência ou instalação parcial de infraestrutura, inundação e diferentes questões; optou-se por estratégias de remoção dos moradores e abertura de avenidas sanitárias como justificativa para resolver problemas urbanos e de melhoria da mobilidade.

Na sub-bacia do Cercadinho não existem grandes áreas ocupadas por favelas, são encontrados pequenos núcleos informais que ocupam principalmente as regiões de fundo de vale na sub-bacia. Embora o Plano Diretor de Belo Horizonte identifique os córregos Cercadinho e Ponte Queimada como conexões de fundo de vale, áreas que devem ser preservadas e integradas com a cidade, existe grande preocupação que as propostas de intervenção urbana nos córregos da sub-bacia. Propostas que reproduzam a prática vigente de buscar solucionar problemas de mobilidade e das inundações a partir de grandes intervenções ocasionando remoções e grandes transformações do espaço.

Figura 57: Vista aérea e fotomontagem com estudo da bacia de retenção para implantação no córrego do Cercadinho



Fonte: BHMap e PBH-Sudemap adaptado pelo autor, 2023

A mais recente obra em pauta no córrego do Cercadinho, por exemplo, é a construção de uma grande bacia de retenção para controle de cheias no córrego, proposta que gera polêmica devido ao tamanho da área impactada pela bacia de retenção. A bacia de retenção, se executada, vai contribuir de forma significativa para reduzir as inundações nas áreas a jusante; contudo, é uma intervenção estruturante que ocupa uma área significativa do córrego, entorno e área com construções localizadas próximas ao córrego (conforme comparação na imagem acima - realizado a partir de estudo de bacia de retenção desenvolvido pela PBH-Sudecap).

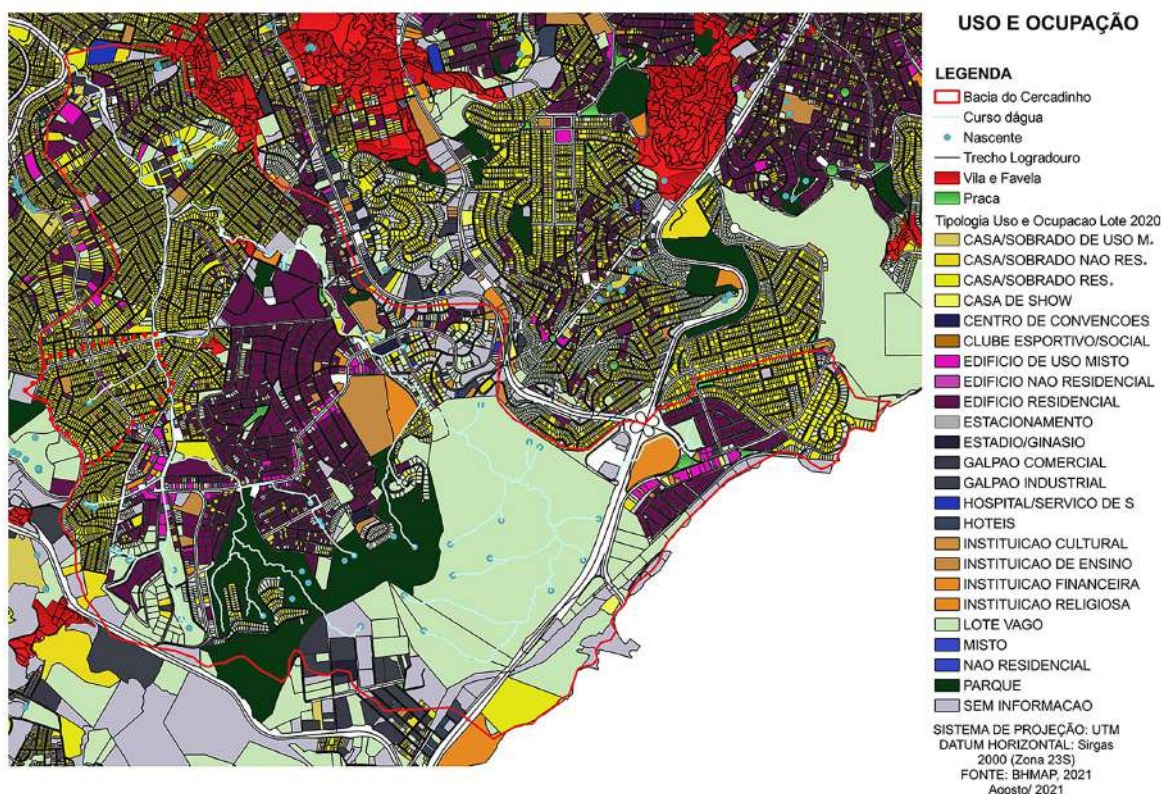
Penso que para resolver o problema das inundações sem ocasionar grandes transformações e impactos nas regiões afetada pelas obras deveríamos avaliar (projetar, simular e medir) a implantação de diferentes MCD. Assim, as bacias (retenção, retenção e infiltração) poderiam trabalhar de forma integrada com outras técnicas compensatórias implantadas em diferentes locais na bacia (lotes, ruas e pequenas áreas). Ao projetar MCD em toda a bacia poderíamos reduzir o tamanho da área ocupada pela bacia de retenção projetada para o fundo de vale, articulando de forma mais adequada a proposta com as ocupações do entorno. Em vez de uma grande bacia de retenção localizada no fundo de vale poderiam ser implantadas várias MCD em toda bacia hidrográfica, pequenas intervenções de montante para jusante.

- Ocupação

A sub-bacia do Cercadinho é uma região predominantemente residencial bem atendida por comércios, serviços e equipamentos urbanos. As principais vias articulam a ligação entre os bairros e concentram as áreas comerciais da região. No mapa abaixo ganha destaque a diferença de ocupação entre o bairro Buritis e Belvedere III (cor roxo escuro no mapa abaixo) com os demais bairros da sub-bacia.

O Buritis é um bairro verticalizado com grande concentração de prédios residenciais. Mesmo com o processo de transformação da região, nos demais bairros da sub-bacia predominam ocupações horizontais com poucos pavimentos. O Belvedere também apresenta situação similar, com uma área ocupada por prédios e outra área com baixa densidade ocupada por residências unifamiliares e comércios. Na região do Belvedere já existe uma bacia de retenção (Lagoa seca) instalada junto a uma área verde pública do bairro. O Olhos D'água é um bairro predominantemente ocupado por galpões industriais.

Figura 58: Mapa de uso e ocupação na sub-bacia do Cercadinho



Fonte: BHMAP adaptado pelo autor, 2022.

Um ponto importante que destaco no mapa de uso e ocupação acima é a região onde está localizada a escola Professor Efigênia Vidigal (demarcação pontilhada em vermelho). A escola do ensino localizada na microbacia do córrego Ponte Queimada é parceira do Projeto Águas na Cidade em um trabalho de educação ambiental. O contato com a comunidade, realizado através do trabalho com a escola, buscou identificar as potencialidades e fragilidades, bem como as oportunidades de construir um trabalho coletivo para resolver problemas passíveis de solução local.

Além do trabalho realizado junto a EMPEV, as ações de preservação realizadas por moradores e ONGs demonstram uma articulação local em prol da preservação e cuidado com o lugar. Assim, da mesma forma que identificamos problemas, mapeamos potencialidades por meio de ações de preservação na sub-bacia. Nas fotos abaixo destaco ações realizadas por moradores e ONGs (ONG Cercadinho Ponte Queimada) junto das regiões de fundo de vale e córregos na sub-bacia. As principais ações identificadas foram: plantio de mudas e canteiros, instalação de lixeiras, bancos e placas informativas.

Figura 59: Fotos que retratam ações de preservação e cuidado com o lugar



Fonte: Fotos do autor, 2022.

As práticas autônomas coordenadas pelos moradores são ações muito importantes para a preservação e melhoria dos espaços na sub-bacia. Para o desenvolvimento socioespacial e a contínua produção de melhorias, as soluções não podem ser dadas de maneira fechada e apenas por técnicos especialistas, devem integrar os moradores como agentes do processo. As ações constatadas na região demonstram o cuidado de parte dos moradores em preservar e cuidar da região, principalmente no entorno dos córregos Cercadinho e Ponte Queimada.

Integrado às iniciativas locais seria importante buscar uma articulação entre os diferentes atores envolvidos, população, técnicos, políticas públicas e universidade; com os moradores tendo um papel ativo na articulação do trabalho. Segundo Souza (2002), para uma mudança socioespacial com avanços concretos é preciso que os moradores sejam os gestores da ação, ou seja, a participação ativa da comunidade é essencial para a implementação de propostas condizentes com a realidade da região, bairro ou vizinhança. O envolvimento dos moradores na definição e realização dos projetos também é um ponto importante para garantir a continuidade das ações de melhoria, preservação e cuidado com o lugar.

5.2 Síntese - proposta para a escala “macro” e “microlocal”

A análise das características da sub-bacia do Cercadinho possibilitou constatar que a área apresenta condições que favorecem a implantação de técnicas compensatórias de manejo das águas pluviais. No quadro abaixo apresento uma síntese dos dados. O quadro é organizado a partir dos critérios e parâmetros relacionados as características da sub-bacia.

Figura 60: tabela com critérios e parâmetros para a sub-bacia do Cercadinho

| CRITÉRIOS | | | | | | | | | | |
|--|---|--------------------------------------|--------------------------|---|---------------------------|----------------------------------|---|--|-------|------------|
| FÍSICOS | | | | URBANÍSTICOS | | | SANITÁRIOS | SOCIOECONÔMICOS | | |
| Declividade | Permeabilidade / taxa de infiltração mín. do solo | Profundidade mín. do lençol freático | Curso d'água / Vegetação | Disponibilidade de área para a construção | Restrições ao uso do solo | Incentivos Municipais legislação | Qualidade das águas - Aporte de sólidos | Aceitação de técnicas comunidade local | Custo | Manutenção |
| | | | | | | | | | NA | NA |
| <p>VERDE - PONTO POSITIVO, QUALIFICA A IMPLANTAÇÃO DE TÉCNICAS DIFUSAS DE DRENAGEM URBANA</p> <p>AMARELO - PONTO DE ATENÇÃO, QUALIFICA A IMPLANTAÇÃO DE TÉCNICAS DIFUSAS - REQUER ATENÇÃO A QUESTÕES ESPECÍFICAS</p> <p>VERMELHO - PONTO NEGATIVO, NÃO INDICADO PARA A IMPLANTAÇÃO DE TÉCNICAS DIFUSAS DE DRENAGEM URBANA</p> | | | | | | | | | | |

Fonte: Elaborado pelo autor, 2022.

Para a estrutura geoambiental avalio como satisfatórias os dados da sub-bacia, com atenção especial a situação das regiões de fundo de vale, pedologia e áreas com predisposição a risco. A área apresenta declividade suave em grande parte da sub-bacia, presença de áreas verdes e córregos em leito natural com possibilidade de recuperação. A região apresenta grande potencial para a formação de corredores verdes através da conexão das áreas verdes e parques lineares. O ponto de atenção se refere ao tipo de solo predominante que apresenta capacidade de infiltração moderada e alto potencial de escoamento superficial.

A presença de áreas de predisposição ao risco nas regiões de fundos de vale (junto dos córregos principais) e nas partes altas da sub-bacia são pontos que merecem cuidados para futuros projetos de intervenção. Os principais riscos identificados foram: risco de contaminação do lençol freático, inundação e escavações. As análises reforçam a necessidade de preservação das áreas de fundo de vale e das partes altas da sub-bacia. Vale destacar também o grande potencial de aplicação das MCD nas encostas das regiões do médio e baixo Cercadinho.

Os critérios urbanísticos foram classificados como pontos positivos. A disponibilidade de área (lotes, ruas e fundo de vale) e os incentivos da legislação são pontos importantes que favorecem a implantação das MCD. O critério sanitário foi classificado como um ponto de atenção devido à ausência de interceptação do esgoto em trechos da bacia e gestão ineficiente dos resíduos sólidos. Os problemas sanitários contribuem diretamente para a degradação e poluição atual dos principais córregos. Nesse sentido, as áreas informais localizadas junto dos córregos são regiões que merecem atenção especial devido às questões destacadas acima.

Para o critério socioeconômico avalio como positivo o trabalho atual desenvolvido. A temática ambiental é uma preocupação local. Ações educacionais para a preservação e recuperação das áreas verdes na sub-bacia vem sendo desenvolvidas por ONGs e escolas; contudo, é perceptível

também o pouco conhecimento sobre o tema, ou seja, é um trabalho que requer continuidade e um maior envolvimento da comunidade.

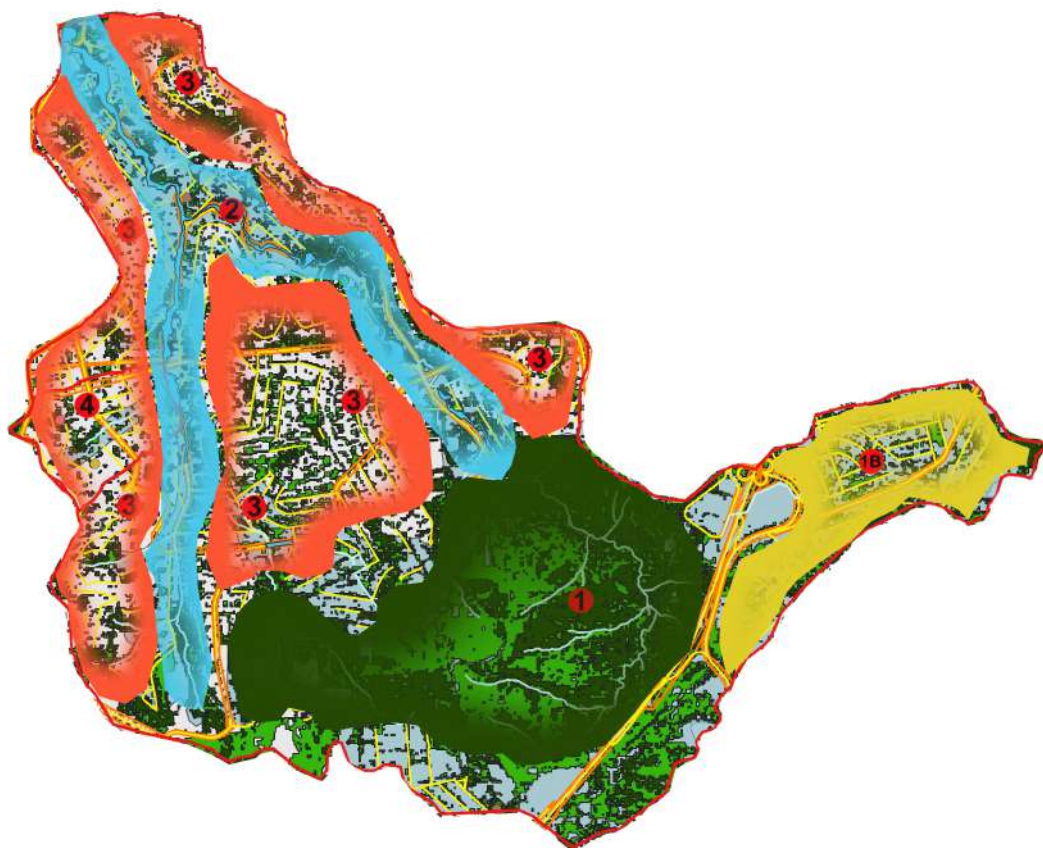
Para cada escala ou local de intervenção deve-se ter atenção especial aos critérios que influenciam diretamente o correto funcionamento das medidas. Para a implantação de técnicas na escala do lote deve-se avaliar a ocupação existente, o envolvimento da população para manutenção das MCD e gestão das ações. Para a escala da rua, deve-se avaliar a declividade da via, a disponibilidade de área e a característica da via como um todo. Para as regiões de fundo de vale, a característica do córrego, disponibilidade de área e a presença de vegetação, são critérios preponderantes. Para aplicar técnicas que trabalham com a infiltração da água, por exemplo, a permeabilidade do solo, profundidade do lençol freático e os riscos associados a contaminação do lençol freático são fatores essenciais.

A partir da análise da estrutura geoambiental, infraestrutura urbana e ocupação defini estratégias de intervenção considerando duas escalas de trabalho: escala “macro”, que contempla a sub-bacia do Cercadinho como um todo; e proposta para a escala “microlocal”, que considera as pequenas bacias (circunstâncias) como unidade de planejamento para as ações locais.

As diretrizes de intervenção para a escala “macro” foram organizadas em um mapa síntese a partir dos seguintes setores: (1) Áreas verdes nas cabeceiras, (1B) Belvedere – Serra do Curral, (2) Áreas de fundo de vale junto dos córregos Cercadinho e Ponte Queimada, (3) Regiões do médio e baixo Cercadinho, e (4) Pequena bacia na região do médio Cercadinho. As diretrizes de intervenção para a escala “macro” visam a preservação de áreas verdes existentes e criação de novas áreas verdes drenantes a partir da implantação de MCD em toda sub-bacia. Propostas ambientais e educacionais integradas com diretrizes de urbanização, mobilidade e conexão (corredores verdes).

O item (4) Pequena bacia na região do médio Cercadinho – circunstância EMPEV, apresenta o recorte escolhido para detalhamento do exercício de projeto de MCD para a escala “microlocal”. Abaixo apresento mapa da sub-bacia com identificação dos setores e a descrição das MCD para cada setor.

Figura 61: Mapa síntese da sub-bacia do Cercadinho



Fonte: Elaborado pelo autor, 2022.

1) Áreas verdes nas cabeceiras: partes altas da sub-bacia com grande presença de área verde (Estação Ecológica do Cercadinho e Parque Ageo Pio Sobrinho), necessidade de criar estratégias de conservação que garantam a preservação e uso compatível com as características da região. Possibilidade de articulação de uma “trama verde azul” com outras áreas verdes no contexto da sub-bacia e entorno (Parque linear da Serra do Curral).

Figura 62: Foto da sub-bacia do Cercadinho – Estação ecológica do Cercadinho



Fonte: Foto do autor, 2022.

1B) Belvedere – Serra do Curral: bairro localizado na parte alta da sub-bacia, área desconectada do Cercadinho devido a presença da BR-040, grandes equipamentos urbanos e Copasa. Área com possibilidade de implantação de MCD para diferentes escalas. Deve-se atentar ao risco de contaminação do lençol freático. Possibilidade de articulação de uma “trama verde azul” conectando parque linear Cercadinho, Belvedere e Serra do Curral.

2) Áreas de fundo de vale junto dos córregos Cercadinho e Ponte Queimada: regiões com presença de córregos em leito natural. Apesar dos principais córregos apresentarem poucos trechos canalizados é possível constatar uma série de pequenas intervenções nas margens, como contenções em muros de gabião e solo cimento, canalizações de trechos e concretagem dos fundos dos córregos. As obras de contenção realizadas aos poucos vão transformando e canalizando os principais córregos da sub-bacia. A área 2 é caracterizada também como conexão de fundo de vale, com presença de áreas verdes e ocupações informais junto dos córregos.

Para as áreas de fundo de vale junto dos córregos principais é importante criar estratégias de preservação e usos das áreas residuais da sub-bacia, articulando as áreas verdes e os parques existentes com proposta de urbanização e melhoria da infraestrutura para ocupações do entorno. Nesse sentido, é importante articular as propostas integrando diferentes ações, como: criação de parques e corredores verdes, soluções de estabilização de taludes com recuperação de área verde das margens dos córregos, propostas de MCD (pequenas bacias de detenção e wetlands) integradas aos parques, mobilidade ativa (não motorizada), e ações de educação ambiental urbana na sub-bacia.

3) Regiões do médio e baixo Cercadinho: encostas localizadas entre os dois principais córregos da sub-bacia, Cercadinho e Ponte Queimada. Área com grande potencial de aplicação de MCD em diferentes escalas, lote, vias e vales. Regiões com predominância de ocupação residencial, vias de baixa declividade (0 a 10% - vias em amarelo no mapa), conexões verdes (vias indicadas pelo plano diretor), e menor presença de áreas de risco. Abaixo destaco as medidas compensatórias difusas que podem ser aplicadas.

MCD para a escala do lote: jardins drenantes, caixas de captação, microreservatórios integrado a captação das águas dos telhados. Propostas que podem tirar partido de instrumentos urbanísticos da lei de uso e ocupação do solo de Belo Horizonte.

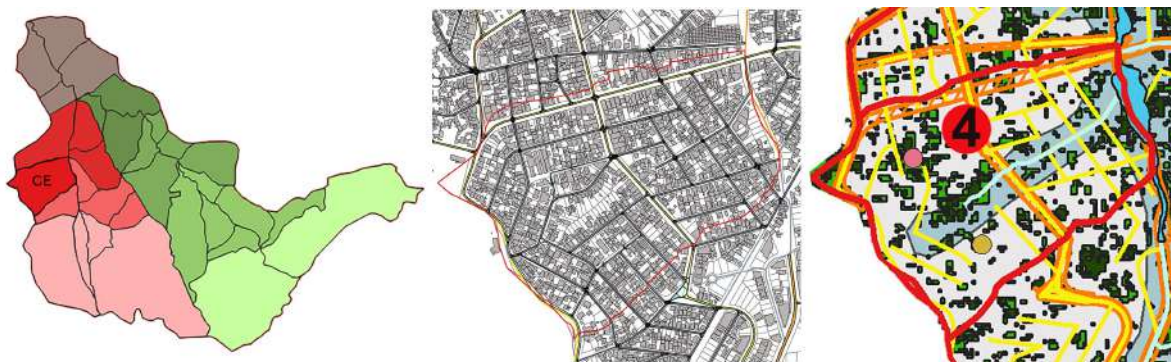
MCD para a escala da rua: diferentes tipos de jardins de chuva, trincheiras, valas, valetas e sarjetas drenantes. Desenvolver proposta de desenho urbano que articule água pluvial e áreas verdes com as vias da cidade. Explorar potencialidades identificadas para as ruas da sub-bacia.

MCD para os vales e áreas a montante: introduzir propostas a partir do conceito de assentamentos geossuportados (CARVALHO, 1999). Incentivar a retenção e infiltração a montante, como cisternas de infiltração, muretas de pé de talude e caixas de retenção; e controlar o lançamento de sedimentos e poluentes nos córregos por meio de colar protetor constituído por aterro-diques, aterros de RCC ou diques retentores.

4) Pequena bacia na região do médio Cercadinho – circunstância EMPEV: apresenta as mesmas características do item 3 - área com grande potencial de aplicação de MCD em diferentes escalas. A área 4 foi a circunstância escolhida para desenvolvimento de proposta para a escala “microlocal”. Além da região apresentar grande potencial de aplicação das técnicas MCD é a circunstância onde o Projeto Águas na Cidade está desenvolvendo trabalho de educação ambiental junto à comunidade.

A proposta de iniciar o estudo por um recorte menor definido por uma circunstância busca articular as ações por meio de pequenas bacias. Conforme dito anteriormente, dentro de uma bacia estão compreendidas diversas sub-bacias, microbacias e circunstâncias que contribuem para a formação dos córregos. Como unidades de planejamento integradas, cada pequena bacia tem sua parcela de contribuição para potencializar impactos negativos e positivos nas regiões a jusante.

Figura 63: Mapa sub-bacia com demarcação das circunstâncias (em destaque circunstância da escola EMPEV – item 4 no mapa geral)



Fonte: BHMap e Projeto Águas na Cidade adaptado pelo autor, 2022.

As circunstâncias localizadas na parte alta do bairro Buritis, por exemplo, são áreas verdes protegidas que impactam de forma positiva na qualidade dos cursos d'água. As pequenas bacias localizadas no médio Cercadinho apresentam um contexto completamente diferente, são áreas urbanizadas que impactam, em menor ou maior grau, de forma negativa nos córregos; mas ao contrário das áreas verdes protegidas apresentam grande potencial para aplicação das MCD em pequena escala na sub-bacia. Qual o impacto positivo e negativo de cada pequena unidade de planejamento (circunstâncias) para o todo?

Em se tratando das inundações, a subdivisão em unidades de planejamento menores auxilia no entendimento do problema e também na construção das soluções possíveis para cada recorte. Partindo da escala microlocal é possível a observação direta e cotidiana da relação entre água e urbanização, além disso, é possível também identificar a origem dos problemas e construir propostas de implantação das MCD nas pequenas bacias.

A proposta para a escala “macro” (sub-bacia como um todo) pretende reforçar a necessidade de articularmos propostas de MCD para diferentes áreas e regiões da sub-bacia. Já a proposta (ensaio de possibilidades) para a escala “microlocal” (detalhada no próximo capítulo) pretende avançar no desenvolvimento de propostas de MCD para áreas pouco exploradas nos planos e projetos governamentais, mas que têm grande potencial de aplicação por possibilitarem uma articulação direta com a população, necessitem de pequenas áreas para instalação e menor quantidade de recursos financeiros para viabilizar os projetos. Outro ponto positivo é que os projetos de MCD para a escala microlocal não resultam em transformações drásticas na cidade.

Para a proposta de estudo na circunstância da escola EMPEV defini a escala da rua como objeto principal de especulação projetual, desenho, quantificação e simulação. Para além do detalhamento das vias urbanas apresento também uma estratégia de ação que busca articular os principais pontos apresentados no trabalho.

6. PROPOSTA MCD JARDINS DE CHUVA PARA A CIRCUNSTÂNCIA EMPEV

No presente capítulo descrevo o ensaio propositivo de desenho de jardins de chuva (MCD) para a escala microlocal – circunstância EMPEV. A proposta se baseia em uma estratégia elaborada a partir de um método analítico e propositivo de atuar nas bacias e circunstâncias. Como parte do trabalho desenvolvi exercício junto a disciplinas de graduação dos cursos de Arquitetura e Urbanismo da UFMG e da PUC Minas que visa levantar, testar e quantificar um repertório de soluções compensatórias a qual chamei de tipos de MCD jardins de chuva. Uma segunda etapa do trabalho foi avaliar a eficácia das MCD para redução da vazão por meio de *softwares* de modelagem hidrológica. Na etapa final do capítulo discuto possibilidades de ação considerando a divisão da circunstância em recortes menores.

6.1 Proposta de MCD para a circunstância EMPEV e desenho de jardins de chuva para a escala da rua

Para o trabalho na escala microlocal defini a circunstância da “escola EMPEV” (Escola Municipal Professora Efigênia Vidigal), área pertencente a microbacia do córrego da Ponte Queimada, como ponto de partida para o exercício de aplicação das medidas compensatórias difusas na região.

Ao analisar a circunstância é possível identificar pontos positivos para aplicação das MCD em diferentes áreas, nos lotes, vias urbanas e no fundo de vale. Para a escala lote, por exemplo, é possível desenvolver propostas tendo como ponto de partida a própria escola municipal Professora Efigênia Vidigal (EMPEV); discutindo, avaliando e construindo possibilidades articuladas com o trabalho de educação ambiental do Projeto Águas na Cidade. Para escala das vias estruturamos ensaios coletivos contendo análises e desenhos de MCD que serão melhor detalhados no capítulo.

A região de fundo de vale da circunstância apresenta córregos em leito natural e áreas verdes residuais que abrem possibilidade para a aplicação de MCD na escala do fundo de vale. A proposta para a escala dos fundos de vale está articulada às diretrizes urbanas para a sub-bacia do Cercadinho apresentadas no capítulo anterior (proposta para a escala macro - item 2 do mapa síntese geral). Não será detalhada no presente capítulo as diretrizes para as regiões de fundo de vale.

No mapa abaixo destaco as 3 (três) escalas para aplicação das MCD na circunstância: (A) Lotes e edificações, (B) vias da circunstância, (C) região de fundo de vale. No mapa está destacado as áreas verdes existentes, as edificações e vias de baixa declividade (em amarelo).

Figura 64: Mapa circunstâncias da escola EMPEV



Fonte: BHMAP adaptado pelo autor, 2022.

O horizonte da pesquisa é desenvolver o desenho de técnicas compensatórias (MCD) para diferentes escalas e avaliar a eficácia dos dispositivos em deter, reter e forçar a infiltração de água no solo de modo a contribuir para minimizar o volume d'água escoado para os fundos de vale. Para o detalhamento da proposta defini a escala da rua como objeto de especulação projetual. Entendo que as vias urbanas apresentam grande potencial para aplicação de MCD em pequena escala. As ruas retratam uma situação muito comum em nossas cidades, que é a ocupação do espaço urbano por veículos e vagas de estacionamento, superfícies impermeáveis e poucas áreas verdes. Vale destacar também que a vegetação existente quase nunca está integrada à drenagem urbana, reforçando a falta de articulação entre água pluvial e desenho urbano.

Para exercício preliminar de desenho das MCD jardins de chuva na escala da rua selecionei a Avenida Dom João VI (via identificada com a letra "B" no mapa acima), principal via da circunstância e que apresenta características favoráveis para a instalação das técnicas, como: declividade suave, disponibilidade de espaço e via delimitada como corredor verde (PBH). A avenida Dom Joao VI retrata uma situação muito comum das vias da cidade, que é a ocupação do espaço por vagas de

estacionamento de veículos. Assim, o ponto de partida para o desenho dos jardins de chuva considera as vagas existentes e os elementos presentes no sistema viário.

Para potencializar a replicação das técnicas em outras partes da cidade (e não apenas o desenho acabado para um único local) o ponto de partida foi estudar o desenho das técnicas por tipos¹⁴ que podem ser replicáveis. Os tipos funcionam como uma caixa de ferramentas ou caixa de opções, podendo ser adaptados as características dos lugares garantindo assim a replicabilidade em outras bacias e maior flexibilidade de implantação.

A primeira etapa da pesquisa foi levantar quais seriam os tipos de jardins de chuva possíveis considerando os elementos presentes nas vias urbanas, como: vagas, esquinas, rotatórias e canteiros com árvores. Levando em consideração a pesquisa em manuais de drenagem, desenhei preliminarmente os seguintes tipos de jardins de chuva: 1) vaga em paralelo ao passeio; 2) vaga em diagonal ao passeio; 3) árvore no passeio; 4) esquina; 5) rotatória. Integrado ao desenho dos tipos de MCD foram realizados exercícios preliminares de implantação em quarteirões da avenida.

1) tipo vaga em paralelo ao passeio: módulo que ocupa o espaço de vagas que estão em paralelo ao sentido da rua. O tamanho do jardim depende do número de vagas que serão ocupadas. Considerando, por exemplo, a medida de 2,3 X 5,0 metros para um módulo, temos o módulo duplo com 2,3 X 10,0 metros. A proposta seria replicar o jardim de chuva tendo como módulo mínimo o tamanho de uma vaga.

2) tipo vaga em diagonal ao passeio: módulo que ocupa o espaço de vagas que estão em diagonal (30° ou 45° graus) ao sentido da rua. O tamanho do jardim também depende do número de vagas que serão ocupadas. Para vagas em diagonal o módulo em diagonal tem medida de 2,3 X 4,8 metros.

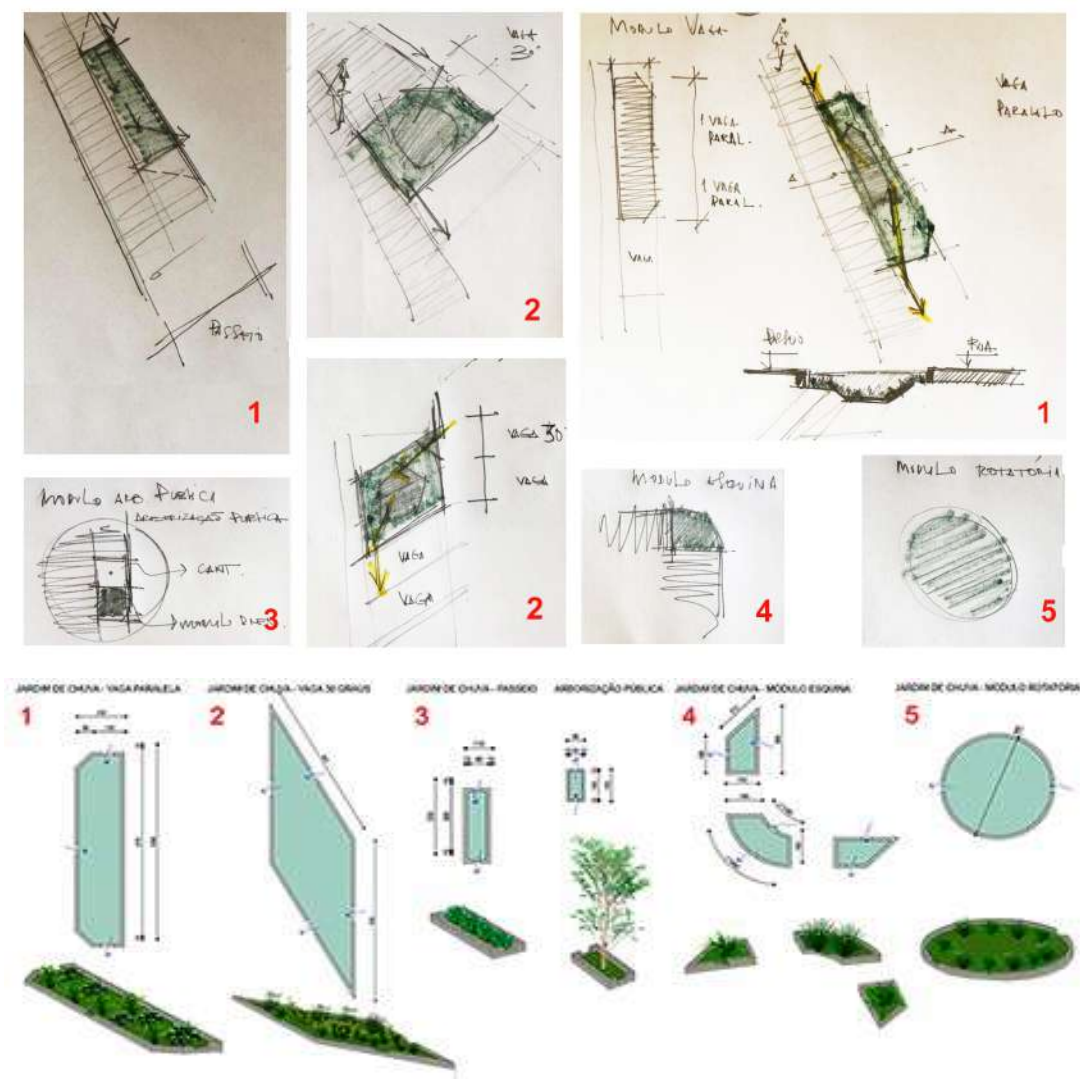
3) tipo árvore no passeio: integração de canteiros verdes com a água pluvial, módulo que deve ser adaptado a largura do passeio e a arborização pública.

4) tipo esquina: módulo para ser trabalhado em esquinas.

¹⁴ O desenho de tipos (tipologias ou módulos) visa organizar as soluções de MCD jardins de chuva a partir de características comuns e dos locais de implantação. Futuramente os tipos podem contribuir para o desenvolvimento de um sistema construtivo que facilite a execução, como componentes (pré-fabricados) que poderiam ser utilizados nas diferentes propostas de MCD.

5) tipo rotatória: módulo para rotatória e cruzamento de vias urbanas, adaptado a largura do espaço existente.

Figura 65: Desenho de tipologias MCD jardins de chuva



Fonte: Elaborado pelo autor, 2022.

A proposta de priorizar o desenho de jardins de chuva adaptados à escala da rua visa a possibilidade de aplicação em pequenas áreas, e tem como objetivo direcionar as ações para escalas que quase nunca são contemplados pelos grandes planos de intervenção. Os pequenos módulos (tipos) são adaptáveis às condições do lugar e via, evitando alterações drásticas e a necessidade de mais recursos para as obras, ou seja, sem a necessidade de mobilização de equipamentos caros, empresas especializadas e recursos vultuosos.

Há inúmeros problemas que poderiam ser solucionadas mediante processos coordenados localmente pelos moradores para a escala do lote e rua; contudo, para o um retorno positivo as soluções em pequena escala precisam ser replicadas em toda a bacia, e necessitam do envolvimento da comunidade para a execução ou manutenção dos dispositivos.

Outro ponto importante é avaliar as características da via onde as medidas serão implantadas. Com o desenho inicial dos tipos de jardins de chuva constatei que as soluções poderiam variar em função das características das vias. Para avenidas largas as propostas eram diferentes de vias de bairro, ou seja, as soluções deveriam adaptar-se ao contexto do lugar. Assim, revisei as possibilidades de desenho ampliando os tipos de MCD jardins de chuva e estudei e defini os principais tipos de vias na circunstância. A organização das vias por tipos se constitui também como uma premissa importante para adaptação das medidas a diferentes contextos. O método proposto considerou as seguintes etapas:

1. LEVANTAMENTO DAS CARACTERÍSTICAS DAS VIAS URBANAS
2. ANÁLISE CRITÉRIOS E CARACTERÍSTICAS VIAS - DEFINIÇÃO PRINCIPAIS TIPOS DE VIAS URBANAS NA CIRCUNSTÂNCIA E SELEÇÃO DE VIAS APTAS A RECEBER MCD JARDINS DE CHUVA
3. LEVANTAMENTO DAS TIPOS DE MCD JARDINS DE CHUVA PARA VIAS URBANAS
4. TIPOS DE VIAS NA CIRCUNSTÂNCIA X TIPOS DE JARDINS DE CHUVA
5. DESENHO E IMPLANTAÇÃO DE JARDINS DE CHUVA PARA VIAS NA CIRCUNSTÂNCIA
6. QUANTIFICAÇÃO DA ÁREA DOS JARDINS DE CHUVA
7. SIMULAÇÃO HIDROLÓGICA - AVALIAÇÃO DA REDUÇÃO DO VOLUME DE ÁGUA ESCOADA

6.1.1 Levantamento das características das vias urbanas

O levantamento das características das vias urbanas considerou diferentes aspectos: hierarquia viária, largura das vias e número de faixas, presença de estacionamento de veículos, tipo de pavimentação, declividade, infraestrutura urbana, arborização e legislação. O levantamento das características pretende identificar os principais tipos de vias existentes na circunstância e cidade.

HIEREARQUIA VIÁRIA

- Via Trânsito rápido
- Via Arterial
- Via Coletora
- Via Local

CARTERÍSTICAS PRINCIPAIS

- Vias largas de mão dupla - vias largas = 3,0 a 3,5 metros
- Vias estreitas de mão dupla - vias estreitas = menor que 3,0 mts
- Vias largas de mão única - sem estacionamento
- Vias estreitas de mão única - com estacionamento

TIPO DE PAVIMENTAÇÃO

- Asfáltica
- Concreto
- Cimento
- Bloquete
- Calçamento
- Cascalho
- Terra

INFRAESTRUTURA - DECLIVIDADE

- 0 a 10% de inclinação
- 10 a 20% de inclinação
- 20 a 30% de inclinação
- 30 a 47% de inclinação
- Acima de 47% de inclinação

INFRAESTRUTURA - DRENAGEM

- Sem meio fio, sarjeta e rede de microdrenagem
- Com meio fio e sarjeta (drenagem superficial)
- Com meio fio, sarjeta, boca de lobo e rede de microdrenagem

INFRAESTRUTURA – POSTES DE ILUMINAÇÃO

- Sem posteamento
- Com postes em apenas um dos lados da via
- Com postes de ambos os lados da via

ARBORIZAÇÃO PÚBLICA

- Via com presença de arborização de pequeno porte (até 5 metros)
- Via com presença de arborização de médio porte (5 até de 10 metros)
- Via com presença de arborização de grande porte (acima de 10 metros)
- Via sem presença de arborização pública

LEGISLAÇÃO URBANA – INSTRUMENTOS AMBIENTAIS

- Via com Conexão Verde

- Via com Conexão de Fundo de Vale
- Não se aplica instrumentos ambientais

6.1.2 Definição e seleção de vias para implantação de MCD jardins de chuva

Na análise para a seleção de vias aptas a receber jardins de chuva parti do critério físico - declividade das vias. A execução de jardins de chuva nas vias não é indicada para ruas com declividade acentuada. Assim, defini para o exercício a seleção de vias que se enquadram no primeiro intervalo: de 0 a 10% de inclinação.

Figura 66: Mapa declividade das vias na circunstância EMPEV

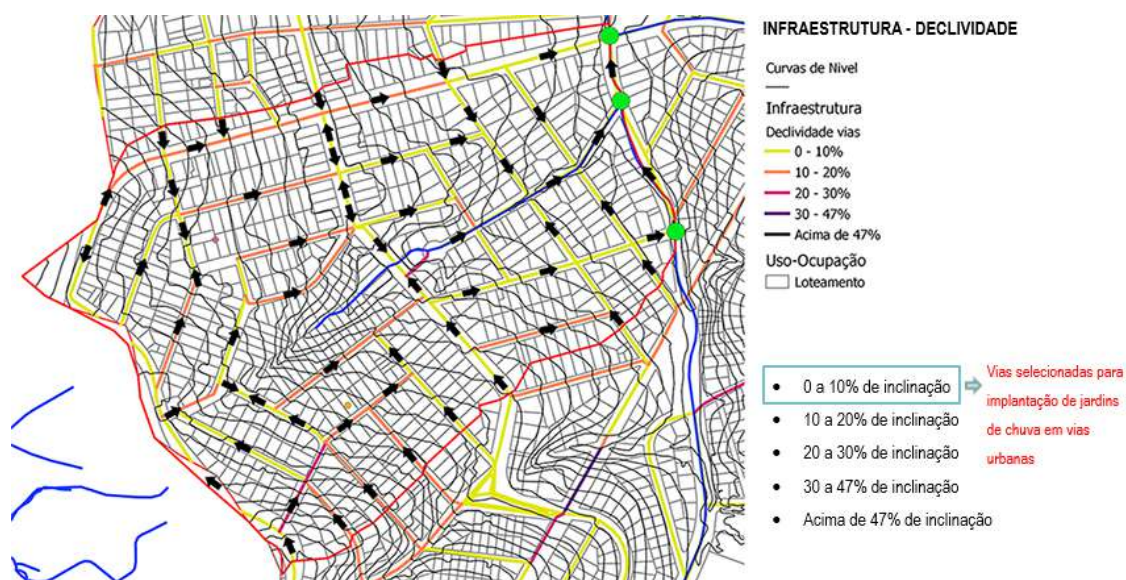
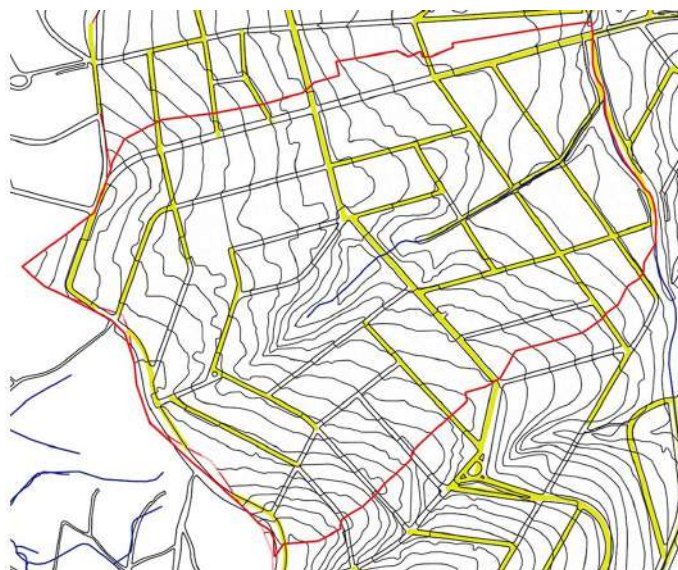


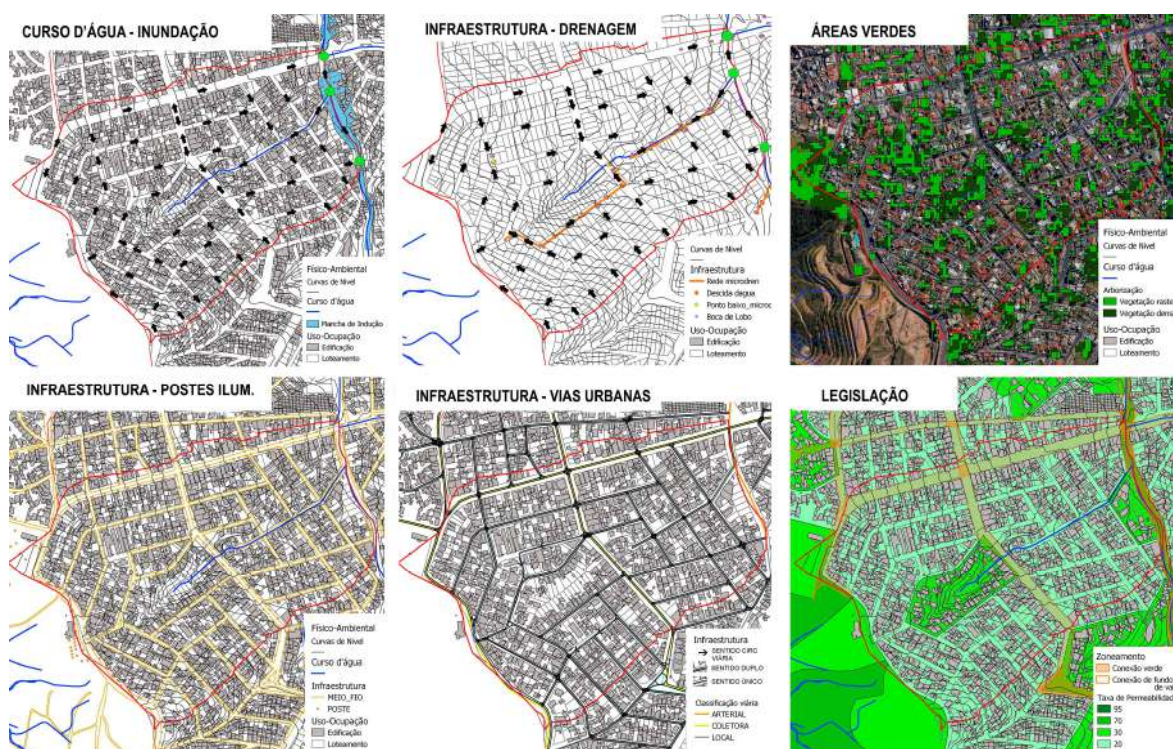
Figura 67: Mapa com as vias selecionadas para implantação de MCD pelo critério da declividade



As figuras acima apresentam todas as vias da circunstância EMPEV classificadas a partir da declividade. Em destaque apresento as vias que estão no intervalo de 0 a 10% de inclinação (vias em amarelo). As vias com declividade de 0 a 10% representam 62% da área total de vias na circunstância EMPEV, porcentagem bastante significativa se considerarmos que temos 5 (cinco) intervalos no mapa de declividade.

O segundo exercício realizado considerou o cruzamento de dados das características das vias urbanas listadas anteriormente para identificar os principais tipos de vias presentes na circunstância EMPEV.

Figura 68: Mapas com informações da circunstância



Fonte: Elaborado pelo autor, 2022.

Ao analisar as características das vias presentes na circunstância foi possível identificar pontos importantes para a definição dos principais tipos de via. De maneira geral as vias apresentam boa infraestrutura urbana, pavimentação asfáltica, e poucas áreas verdes (árvores). A circunstância EMPEV apresenta aproximadamente 20% de sua área ocupada por áreas verdes, mas grande parcela da vegetação está localizada predominantemente dentro dos lotes.

As vias mais largas são classificadas como vias coletoras, articulam a circulação na região e concentram as áreas comerciais e de serviço. As vias principais (coletoras) são demarcadas como

conexões verdes que favorece a implementação de MCD. As ruas locais estão distribuídas por toda a área, apresentam predominância de uso residencial (baixa altimetria) e baixo volume de tráfego. Em grande maioria das vias locais há carros estacionados, duplo sentido de circulação e passeios estreitos.

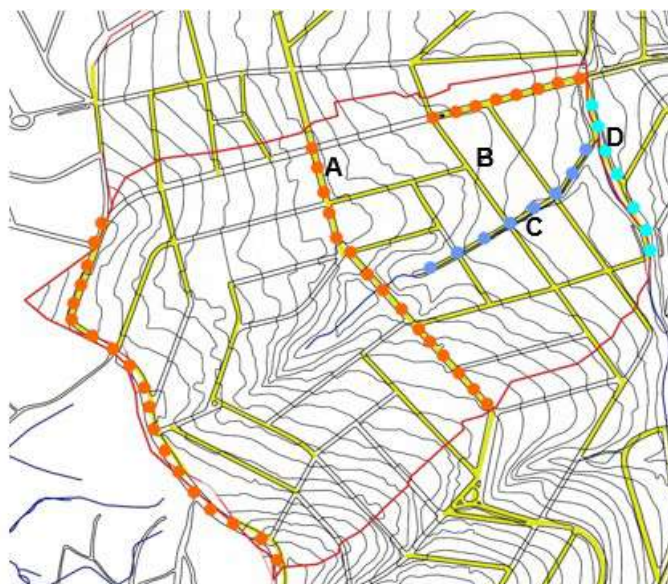
A partir do levantamento das informações as vias foram divididas a partir dos seguintes tipos: (A) Avenidas, (B) Locais, (C) Linha de drenagem principal, e (D) Fundo de Vale. As vias sem cor no mapa abaixo são vias já previamente descartadas devido a declividade superior a 10% de inclinação.

Figura 69: Mapas com identificação dos tipos de vias na circunstância e informações relacionadas ao tipo A - Avenidas

TIPOS DE VIAS NA CIRCUNSTÂNCIA

TIPOS

- | | | |
|---|---|-----------------------------|
| A |  | AVENIDAS |
| B |  | LOCAIS |
| C |  | LINHA DE DRENAGEM PRINCIPAL |
| D |  | FUNDO DE VALE |



TIPO A – Avenidas

Vias coletoras, largas de mão dupla com estacionamento, pavimentação asfáltica, meio fio e sarjeta, postes de ambos os lados da via e presença parcial de arborização pública. Via delimitada como Conexão Verde (Plano Diretor de Belo Horizonte).



Fonte: Elaborado pelo autor, 2022.

Figura 70: Informações dos tipos de vias B, C e D presentes na circunstância

TIPO B – Locais

Vias locais, estreita de mão dupla com estacionamento, pavimentação asfáltica, meio fio e sarjeta, postes em um dos lados da via da via, com presença parcial de arborização. Não se aplicam instrumentos ambientais.



TIPO C – Linha de Drenagem Principal

Via local que recebe grande volume de água pluvial (linha de drenagem principal da circunstância). Via larga de mão dupla com estacionamento, pavimentação asfáltica, meio fio, sarjeta e rede microdrenagem, postes em um dos lados da via, presença parcial de arborização. Não se aplicam instrumentos ambientais.



TIPO D – Fundo de Vale

Via arterial junto do córrego, estreita de mão única, pavimentação asfáltica, com meio e sarjeta, postes em um dos lados da via, sem presença de arborização pública. Região demarcada como conexão de Fundo de Vale com risco de inundação (mancha de inundação). Devido à proximidade do córrego não é indicado a instalação de jardins de chuva nesta área. Via descartada para o exercício.



Fonte: Google adaptado pelo autor, 2023.

6.1.3 Levantamento dos tipos de MCD jardins de chuva para vias urbanas

O exercício inicial de desenho de jardins de chuva foi o ponto de partida para revisão das possibilidades de MCD aplicadas as vias urbanas. Conforme dito anteriormente, os tipos funcionam como uma caixa de ferramentas ou caixa de opções que podem potencializar a replicação das soluções em outras vias da cidade. No presente item busco levantar e sistematizar os diferentes tipos de jardins de chuva a partir de pesquisa realizada sobre o tema.

A proposta é ampliar as possibilidades de desenho considerando os elementos presentes nas vias urbanas: vagas, esquinas, rotatórias e canteiros com árvores. Para facilitar a organização os tipos de jardins de chuva foram ordenados considerando o local de implantação: passeio, via, canteiro central, rotatória, integrado a ciclovias, estacionamento e pátios.

Figura 71: Tipos de jardins de chuva

- **Jardim de chuva - no passeio**

 - módulo arborização pública
 - módulo trincheira linear junto ao meio fio
 - passeios largos
 - passeios estreitos
 - módulo trincheira linear afastados do meio fio (50cm aprox.)
 - passeios largos
 - passeios estreitos
 - módulo esquina
- **Jardim de chuva – na via (leito carroçável)**

 - módulo trincheira na sarjeta
 - módulo vaga paralelo ao passeio
 - módulo vaga diagonal
 - 30/60 graus em relação ao passeio
 - 45 graus em relação ao passeio
- **Jardim de chuva – no canteiro central**
 - módulo trincheira linear
 - módulo valas/valetas lineares
- **Jardim de chuva – na rotatória**

 - módulo jardim rotatória
- **Jardim de chuva – integrado a ciclovia**

 - módulo trincheira paralelo a ciclovia
- **Jardim de chuva – em estacionamento/pátios**

 - módulo trincheira linear
 - módulo piso drenante

Fonte: Elaborado pelo autor, 2023.

6.1.4 Exercício de desenho integrado a disciplinas da graduação

A sistematização e organização das informações relacionadas aos tipos de vias e tipos de jardins de chuva foi o ponto de partida para o exercício de desenho e quantificação de áreas das

MCD em um projeto conjunto realizado com alunos de graduação do curso de Arquitetura e Urbanismo da UFMG e PUC Minas¹⁵.

O objetivo do exercício foi elaborar o desenho de MCD para as vias urbanas, o redesenho de quarteirões de cada tipo de rua, e a quantificação das áreas verdes acrescidas. De posse dos dados levantados para um quarteirão a proposta foi replicar as contas considerando as áreas totais de cada tipo de via existente na circunstância da escola EMPEV. Os quantitativos totais serviram de base para a simulação e modelagem hidrológica. A simulação tem como objetivo medir uma possível redução do escoamento superficial.

Para o exercício das disciplinas de graduação a área foi dividida levando em consideração os tipos de via e a área de contribuição que para ela concorrem: A) avenida, via larga de uso misto; B) talvegue EMPEV, região que contribui diretamente para a escola; C) talvegue linha de drenagem, principal linha de drenagem na circunstância; D) via local, vias estreitas com características de vias de bairro; E) fundo de vale, via descartada para o exercício devido à proximidade do curso d'água.

Para o exercício com os estudantes estipulamos mais um tipo de via considerando a área que contribui para a escola (talvegue EMPEV), assim cada grupo ficou responsável pelo levantamento de uma área (tipo de via). Foram formados 4 grupos para as disciplinas (4 estudantes

¹⁵ Universidade Federal de Minas Gerais e Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais

Disciplina: OFIAUP - Professor: Roberto E. dos Santos.

Suporte/Estagio: Leonardo Polizzi

Exercício integrado a disciplina de Parcelamento realizada na sub-bacia do Cercadinho. Estudo do lugar, levantamento das técnicas compensatórias de drenagem urbana, e desenvolvimento de propostas de MCD. O exercício fez parte de uma primeira etapa de trabalho na disciplina que abordou também o parcelamento e a edificação.

Estudantes: Ana Luiza Ferreira Bonutti, Caio Mota Silveira, Frederico de Carvalho Nogueira, Haroldo, Fernandes Viveiros Filho, Isabela Bravo Gomes, Isabelly Rosseliny, Conceição Gonçalves, Juliana de Oliveira Baptista, Kamila Pereira dos Santos Martins, Lorena Andrade de Freitas Silva, Luisa Cristina Silva Alves, Marina Nunes Malaco, Thais da Mata Empreportes Conceição, Victoria Inez de Carvalho Correa.

Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais - Coração Eucarístico – Curso Arquitetura e Urbanismo

Disciplina: Tópicos - Professor: Leonardo Polizzi

Estudos e projetos relacionados ao manejo das águas pluviais no contexto das cidades. A partir do reconhecimento do lugar e do levantamento das técnicas compensatórias de drenagem urbana, desenvolver propostas para solucionar os problemas e explorar as potencialidades relacionados as águas para as diferentes escalas da área de estudo (ruas e lotes)

Estudantes: Ana Clara Dutra Guimarães, André Luis Nogueira Farinha, Dara Gomes Pires, Gabriela de Oliveira Silverio Ribas, Giordanni Vilela Langsdorff, Isabela Lima Azevedo, Isabella Luisa Lara Alves, Júlia Gontijo Costa, Karina Giovana Faria e Castro, Leandra Gabriela Araújo Miranda, Livia Carolaine Jardim Viana, Luana de Castro Matos Francisco, Lucas Mendes Leal, Mariana Araujo Mendes, Mariana Cruz de Souza, Marina Assunção Lemes, Marina Carolina Nunes Machado, Samara Macedo Vieira.

aproximadamente em cada grupo). Cada grupo ficou responsável por selecionar 2 quarteirões de sua área como objeto de levantamento e projeto.

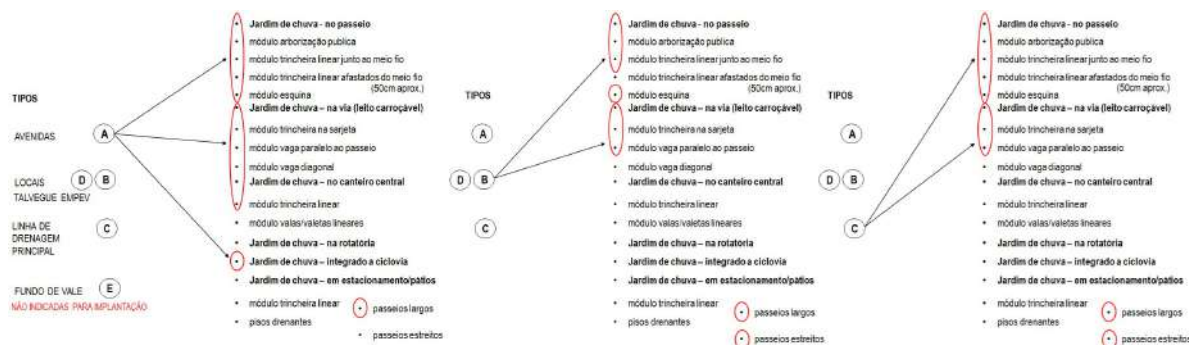
Figura 72: Tipos de jardins de chuva e tipos de vias na circunstância da escola EMPEV



Fonte: Lista elaborada pelo autor e mapa BHMap adaptado pelo autor, 2023.

Para o exercício de projetar MCD adaptadas para cada tipo de via foi apresentado aos estudantes os diferentes tipos de jardins de chuva e tipos de via presentes na circunstância. Foi solicitado que os alunos explorassem possibilidades de desenho a partir do cruzamento “tipos MCD jardins de chuva X tipos de vias na circunstância”. Abaixo destaco alguns cruzamentos iniciais que demonstram tipos de jardins de chuva possíveis para cada tipo de via existente na circunstância.

Figura 73: Cruzamento preliminar de dados entre os tipos de jardins de chuva e os tipos de vias



Fonte: Elaborado pelo autor, 2023.

As disciplinas foram estruturadas em três partes principais: estudo do lugar, pesquisa de obras análogas, e projeto das soluções. Para a etapa do estudo do lugar cada grupo realizou levantamento minucioso de dois quarteirões selecionados da sua respectiva área: A) avenida; B)

talvegue EMPEV; C) talvegue linha de drenagem; D) via local. A partir do levantamento foi possível conferir e atualizar a situação atual dos quarteirões, ajustar medidas, avaliar elementos existentes e possíveis áreas para os jardins de chuva.

O objetivo da etapa de pesquisa de obras análogas foi ampliar o repertório de soluções a partir do levantamento de referências de MCD considerando os diferentes tipos listados. Assim, cada estudante ficou responsável por produzir uma ficha contendo um exemplo de MCD jardim de chuva para aplicação em vias urbanas. As fichas deveriam conter informações gerais, imagens e fonte. As fichas foram elaboradas contendo dados gerais, como: tipo (jardim de chuva), lugar (país), descrição, vantagens e desvantagens (especificidades que condicionam o emprego), como fazer, manutenção e onde aplicar.

Figura 74: Duas fichas elaborada pelos estudantes para a pesquisa de obras análogas

JARDIM DE CHUVA - NO PASSEIO - MÓDULO ARBORIZAÇÃO PÚBLICA

DESCRIÇÃO:
É um sistema projetado para capturar a água de escoamento, redirecionando o fluxo da superfície para o subsolo, gerando algumas reações que tratam e purifiquem a água. São instalados no passeio, abaixo do nível da rua, absorvem os fluxos de água vindo das valetas que escoam dentro do jardim, e dos fluxos de água superficiais.
Por serem mais baixos, podem formar pequenos lagos que armazenam a água até que ela seja completamente absorvida pelo solo.

VANTAGENS:

- Contribui para aumentar beleza paisagística da rua;
- Reduz parte do volume do escoamento superficial;
- É eficiente na remoção de sedimentos finos, metais, nutrientes e bactérias;
- Possibilita grande flexibilidade de desenho de projetos;
- Reduz o tamanho e custo do sistema de drenagem de jusante;
- Reduz inundações na bacia e melhora a qualidade das águas

DESvantagens:

- Não pode ser utilizado para grandes áreas de contribuição;
- Pode sofrer colmatção;
- Não pode ser utilizada em lugares onde há limitação de espaço, pois reduz o espaço do passeio;

COMO FAZER:

- Retirada da cobertura do calçamento;
- Escavação das valas;
- Instalação de pré-moldados no concreto ou fazer in-loco
- Abertura de trechos da sarjeta
- Preenchimento das valas com solo, composto e areia para aumentar a infiltração de água.
- Plantio de vegetação e árvores

MANUTENÇÃO:

Fazer a manutenção das vegetações;
Monitoramento para que não aconteça acúmulo de lixos, ou sedimentos vindo da calçada ou via/ valetas (colmatção).

Dara Cones Pires

JARDIM DE CHUVA NO PASSEIO JUNTO AO MEIO FIO SIDNEY - AUSTRÁLIA

DESCRIÇÃO
Os jardins de chuva no passeio são uma forma de biofiltração das águas pluviais com intuito de proteger os cursos d'água e também contribui para a infiltração e retenção do excedente de água. Ele consiste em um canteiro com plantas tolerantes a água que são plantados em um solo com camadas drenantes.

VANTAGENS
Filtra a água dos sedimentos finos e grossos, reduz parte do volume de escoamento da água, contribui para a beleza e bem estar na cidade, reduz o custo do sistema de drenagem e tem um desenho flexível e de fácil replicação.

DESvantagens
Não pode ser utilizada em lugares com pouco espaço, pois reduz o espaço de tráfego, e pode sofrer colmatção (acúmulo de detritos e elevação do nível do terreno).

COMO FAZER
Retirada da pavimentação existente e escavação da vala, instalação das peças de concreto, preenchimento e preparação do solo, construção das barragens e o plantio.

MANUTENÇÃO
Monitorar e testar o desempenho dos projetos e o crescimento das plantas, se há algum tipo de ervas daninha e fornecer assistência técnica para os projetistas.

ONDE APLICAR
O indicado é aplicar onde há passeios e ruas largas e baixo tráfego de veículos, esquinas também e onde não tem estacionamentos de carros na rua para evitar o pisoteamento.

GIORDANNI VILELA LANGSDORFF

Fonte: Fichas elaboradas pelos estudantes, 2023.

As fichas foram compartilhadas entre todos os estudantes em um banco de dados e contribuíram para o estudo de possibilidades. Vale destacar que a maioria dos exemplos apresentados pelos alunos eram de países do exterior, sendo aproximadamente 60% de casos

estado-unidenses, 25% outros países (em geral europeus) e apenas 15% de exemplos brasileiros. O fato de a grande maioria de exemplos ser de fora do Brasil constata o fato que precisamos avançar na produção de conhecimento e experiências práticas sobre o tema. Para a etapa de projeto organizamos o trabalho em duas partes, sendo:

I. Projeto dos tipos de MCD de Jardins de chuva: etapa relacionada ao desenho de diferentes tipos de Jardins de chuva.

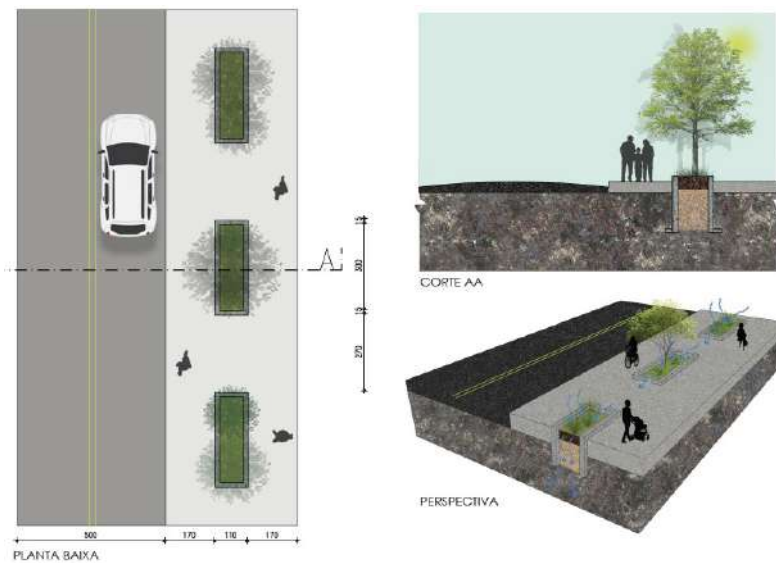
II. Projeto via (quarteirão): etapa destinada ao redesenho dos quarteirões utilizando as MCD jardins de chuva (desenhadas na etapa I). A proposta inicial discutida com os estudantes foi levantar diferentes opções de redesenho da via com o intuito de reforçar a ideia de flexibilidade gerada pelos tipos de MCD que podem ser implantados em diferentes situações. As opções de implantação demonstram diferentes possibilidades para os quarteirões selecionados por cada equipe.

Dentre as propostas estudadas a opção escolhida por cada grupo foi detalhada, tanto em termos de desenho, quanto em termos de quantificação de área (porcentagem que as MCD ocuparam no quarteirão). De posse dos dados de um quarteirão (desenhado por cada grupo para cada tipo de via) a proposta foi replicar as contas (porcentagem média das MCD) para toda as vias da circunstância EMPEV e levantar a área total a e a porcentagem geral para toda a circunstância.

O projeto dos grupos levou em consideração a lista de tipos MCD jardins de chuva e a análise da área. Devido as características das vias alguns tipos de jardins de chuva não foram desenhados, outros repetiram e receberam adaptações. O tipo “vaga” foi a opção que recebeu mais propostas demonstrando grande potencial de aproveitar a área ocupada pelos estacionamentos de veículos para jardins permeáveis. Integrado ao desenho do tipo “vaga” foram desenhados também recortes menores que podem ser acopladas as vagas. Apresento a seguir uma síntese dos resultados da etapa de projeto realizada pelo autor e estudantes da UFMG e PUC Minas.

Para o passeio as trincheiras lineares estreitas e as soluções para as esquinas foram os tipos que apareceram em praticamente todos os exercícios. A grande quantidade de acessos de garagens e os passeios com dimensões reduzidas condicionaram o desenho das trincheiras. Os canteiros e as áreas verdes existentes nos passeios também foram integradas às propostas.

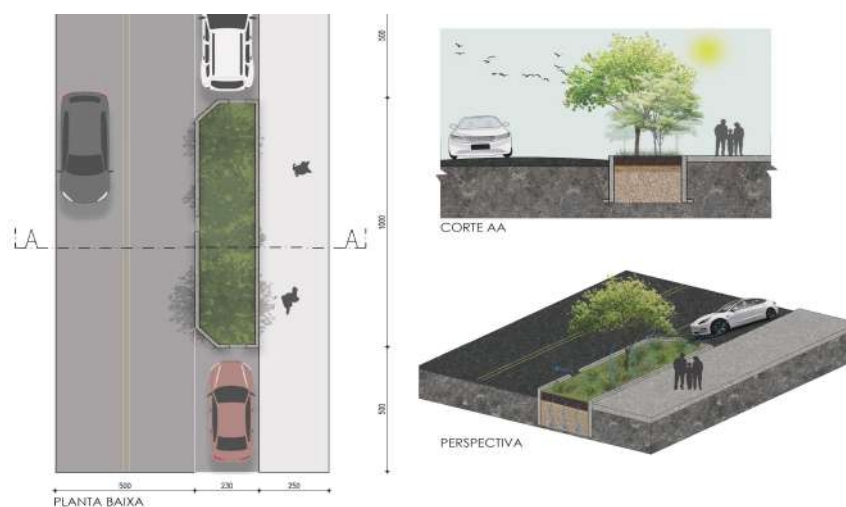
Figura 75: Tipo trincheira linear no passeio



Fonte: Elaborado pelo autor, 2022.

Nas vias urbanas os diferentes tipos da opção “vaga” ganharam destaque. Vaga em paralelo, vaga diagonal e módulos menores de encaixe (ajuste) entre a via e o passeio (triângulos, trapézios, entre outras formas). Para o desenho dos jardins de chuva que ocupam os estacionamentos de veículos consideramos as dimensões de 1 (uma) vaga como o módulo básico que pode ser aplicado em diferentes situações (em paralelo, diagonal 30° e 45°). O jardim de chuva pode ocupar apenas 1 (uma) vaga ou pode ser estendido e ocupar 2 (duas) vagas ou mais. Assim, o acréscimo deve considerar as dimensões da vaga como a unidade de medida para o componente.

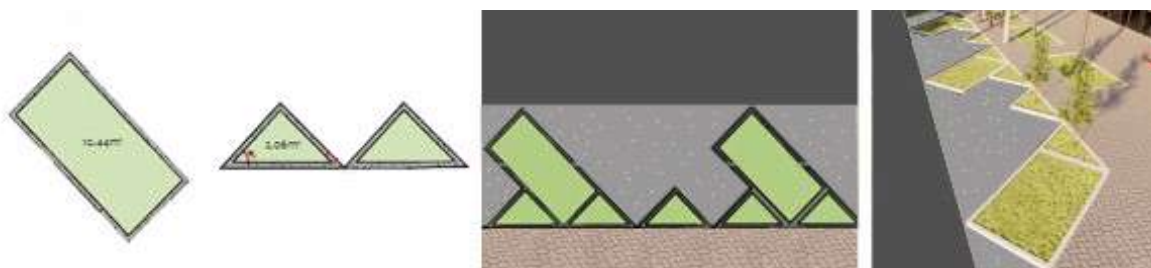
Figura 76: Tipo vaga paralelo ocupando duas vagas



Fonte: Elaborado pelo autor, 2022.

Os tipos menores foram implantados acoplados às vagas, eliminando e ajustando quinas, resolvendo encontros, eliminando espaços sem uso, facilitando a entrada e saída de veículos. A figura abaixo ilustra o tipo vaga implantado em diagonal e outros recortes menores (triangulares) entre a via e o passeio. Nas vagas de estacionamento que foram mantidas foi proposto pavimentação drenante.

Figura 77: Tipo vaga acoplada a outro módulo triangular menor



Fonte: Elaborado pelos estudantes, 2023.

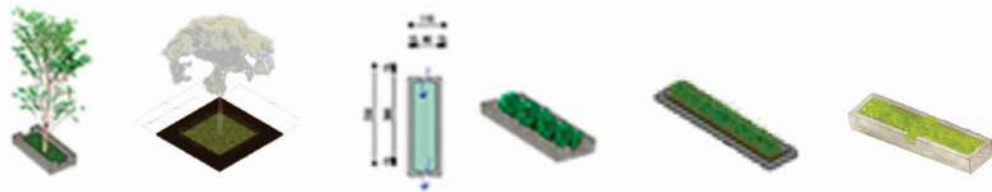
Devido ao excesso de garagens e a presença de comércios nas vias, optamos por não eliminar todas as vagas de estacionamento das vias urbanas; assim, intercalamos os jardins de chuva com a manutenção de estacionamento nas vias. Ao longo do exercício percebemos que podíamos aplicar pisos drenantes nos estacionamentos que foram mantidos nas vias. Optamos por implantar os pavimentos drenantes nos estacionamentos e acessos de garagens, pois seria muito complicado e oneroso alterar a pavimentação de todas as vias.

As avenidas e vias largas possibilitaram o desenho de rotatórias e mini-rotatórias que funcionam como jardins de chuva nos espaços centrais dos cruzamentos das vias. As mini-rotatórias drenantes foram desenhadas pelos grupos que elaboraram o exercício no tipo de via – linha de drenagem principal.

Algumas vias com dimensões irregulares exigiram desenho de soluções para trechos específicos com propostas de desenho adaptados a cada contexto. Os jardins de chuva elaborados pelos grupos reforçam a ideia que mesmo desenhando tipos (módulos) esses devem ser adaptáveis às características locais. Os tipos de jardins de chuva funcionariam como uma solução padrão aberta a ajustes e adaptações, tanto na fase de projeto (desenho e detalhamento), quanto na fase de execução (por quem vai construí-los). Como cada grupo ficou responsável por um tipo diferente de via ao final da disciplina discutimos as propostas apresentadas e levantamos experiências que abordam diferentes contextos. A seguir apresento as principais tipologias elaboradas.

Figura 78: Prancha contendo o desenho dos tipos de jardins de chuva

JARDIM DE CHUVA NO PASSEIO - TRINCHEIRA

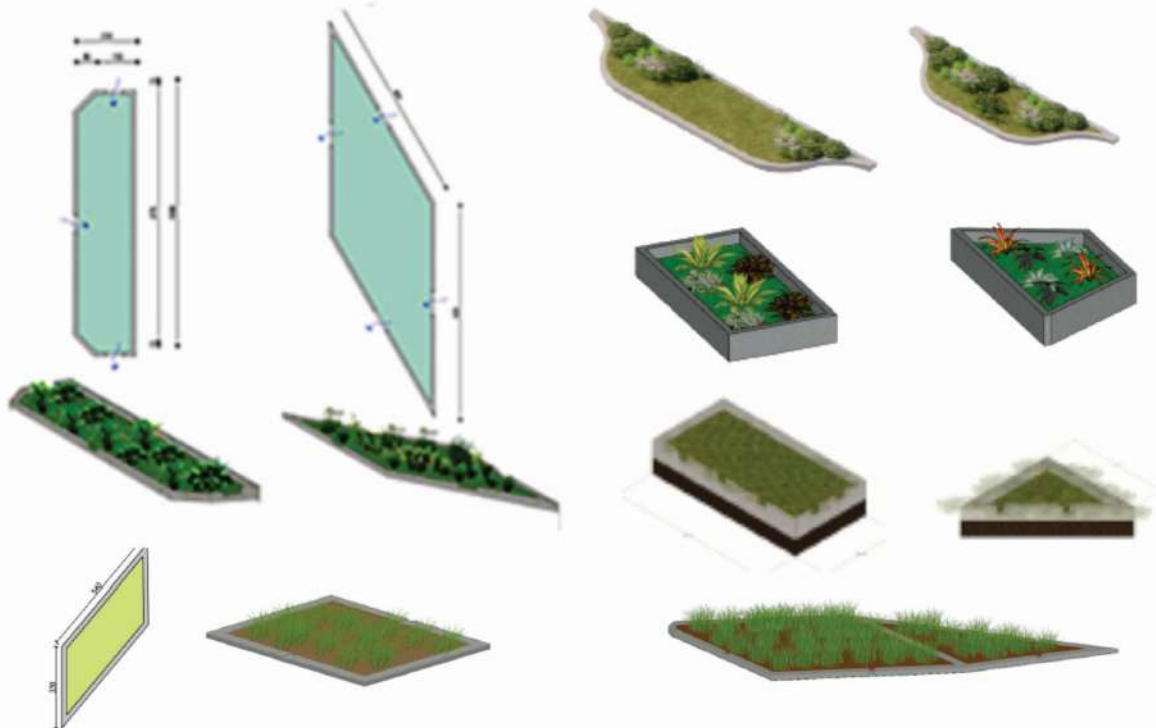


JARDIM DE CHUVA NO PASSEIO - ESQUINAS



JARDIM DE CHUVA NA VIA - VAGAS

AJUSTES VIAS/PASSEIO



JARDIM DE CHUVA NA ROTATÓRIA

MINI-ROTATÓRIAS



JARDIM DE CHUVA IRREGULARES

PISOS DRENANTES-VAGAS



Fonte: Ilustrações elaboradas pelos estudantes/autor e adaptado pelo autor, 2023.

Os desenhos das MCD realizados reforçam a intenção de intervir na pequena escala. Todos os tipos de jardins de chuva têm dimensões reduzidas pois buscam se adaptar as condições locais. Os pequenos módulos são adaptáveis as características das ruas, evitando alterações drásticas nas vias urbanas.

O levantamento e desenho dos diferentes tipos de MCD jardins de chuva possibilitou o desenvolvimento da segunda parte do exercício projetual destinado ao redesenho dos quarteirões. O projeto de redesenho dos quarteirões priorizou a implantação dos jardins de chuva nos quarteirões selecionados por cada grupo.

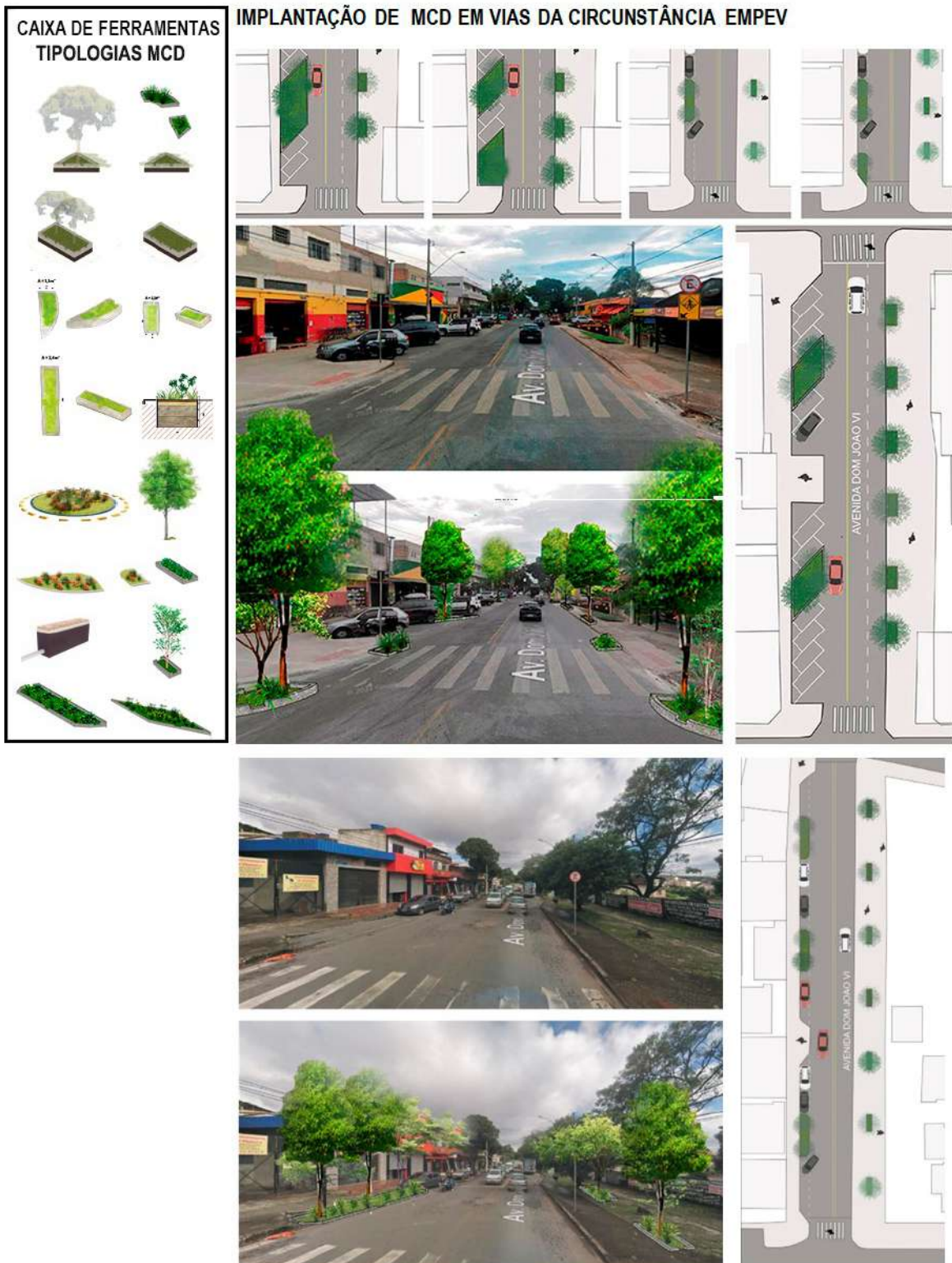
Conforme descrito anteriormente, diferentes manuais já detalharam a execução de técnicas compensatórias para as cidades. O manual *City of Philadelphia Green Streets Design Manual* (2014), por exemplo, utilizou a estratégia de apresentar o desenho dos jardins de chuva separados das vias e as ilustrações das transformações nas vias urbanas a partir da instalação das MCD. As imagens que ilustram o “antes e depois” da implantação das técnicas se constituem em um material com grande potencial para explicar as alterações possíveis em vias urbanas pois demonstram com clareza as transformações.

Assim, propusemos para o exercício na sub-bacia do Cercadinho realizar o mesmo método, de desenhar os jardins de chuva separados das vias (desenho de diferentes tipos de MCD) e as ilustrações das transformações “antes e depois” nas vias urbanas (implantação das MCD nos quarteirões selecionados por cada grupo).

Os desenhos da presente pesquisa buscam demonstrar as possibilidades e as potencialidades de transformações das ruas da sub-bacia do Cercadinho, ou seja, apresentar as vias urbanas da circunstância com as MCD instaladas. Os tipos de jardins de chuva, as plantas com opções de redesenho, perspectivas e ilustrações do “antes e depois” da implantação das técnicas MCD indicam que a instalação dos jardins de chuva é uma alternativa possível e viável.

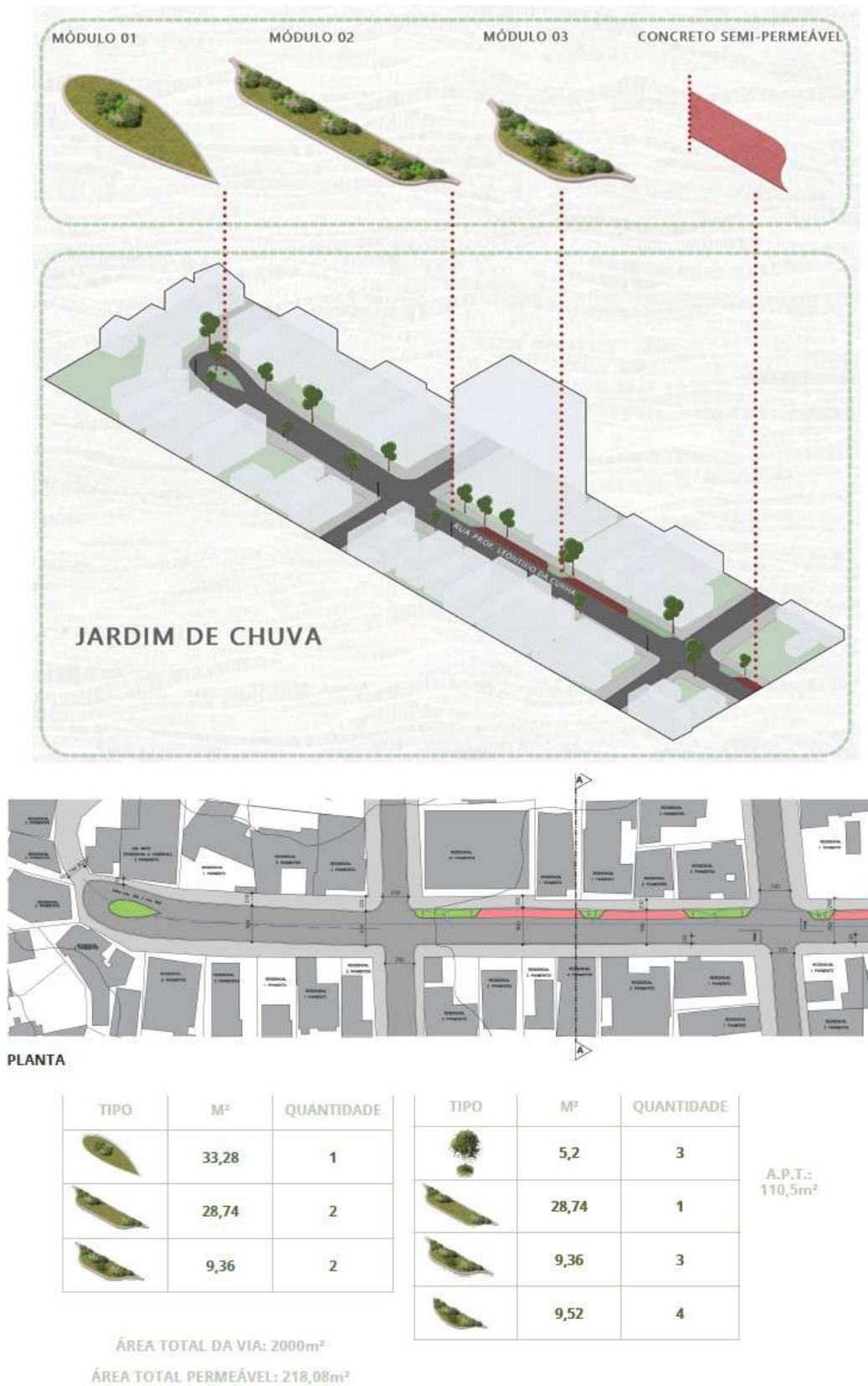
A seguir apresento alguns exemplos que desenvolvi e outros que foram elaborados pelos grupos de estudantes nas disciplinas de graduação realizadas no segundo semestre de 2022 nos cursos de Arquitetura e Urbanismo da UFMG e PUC Minas. No curso da UFMG o exercício fez parte da disciplina OFIAUP Parcelamento, na PUC Minas da disciplina de Tópicos.

Figura 79: Prancha com o desenho dos jardins de chuva implantação em vias na circunstância EMPEV



Fonte: Google maps e BHMap adaptado pelo autor e ilustrações elaboradas pelo autor e estudantes, 2023.

Figura 80: Prancha com desenhos, quantificação e implantação de jardins de chuva na circunstância EMPEV



Fonte: Ilustrações elaboradas pelos estudantes e adaptado pelo autor, 2023.

Figura 81: Prancha com desenhos, quantificação e implantação de jardins de chuva na circunstância EMPEV



Fonte: Ilustrações elaboradas pelos estudantes e adaptado pelo autor, 2023.

6.1.5 Quantificação de áreas das MCD jardins de chuva e pisos drenantes

Com os projetos realizados pelos estudantes nas disciplinas de graduação e pelo autor ao longo da pesquisa, foi possível quantificar a área dos quarteirões e a área ocupada pelas MCD jardins de chuva e pisos drenantes em cada quarteirão desenhado.

Para a quantificar a área de cada quarteirão levantamos a área dos passeios e vias dentro do quarteirão. Para quantificar a área das MCD jardins de chuva somamos a área ocupada pelos tipos MCD implantados no quarteirão. Propusemos os pisos drenantes nos estacionamentos das ruas e quantificamos a área dos pisos separada dos jardins de chuva. O objetivo principal da soma das áreas é levantar a porcentagem média ocupadas pelas MCD jardins de chuva e pisos drenantes nos quarteirões, e posteriormente, levantar dados considerando toda a circunstância. A princípio levantamos uma média total considerando todos os projetos desenvolvidos na pesquisa.

Em alguns casos a área ocupada pelas MCD jardins de chuva chegou a 12% da área total das vias e passeios no quarteirão, em outros projetos foi 7% aproximadamente da área do quarteirão. Para os pisos drenantes houve uma variação maior nas porcentagens pois a implantação dos pisos depende das características da via e da presença de estacionamentos, mas a média aproximada chegou a 15% da área do quarteirão. Assim, para elaborar o cálculo de porcentagem para todas as vias na circunstância considerei um valor médio de 10% para as MCD jardins de chuva e 15% para MCD pisos drenantes nos quarteirões.

Para o cálculo da área total das vias separamos as vias por tipos, quantificamos a metragem linear das avenidas, vias locais e linha de drenagem principal; e multiplicamos os valores pela largura média de cada tipo de via.

Na planilha abaixo apresento os dados gerais da circunstância, vias, tipos de vias e os quantitativos médios das MCD nas vias da circunstância EMPEV. Dentre as informações apresentadas destaco: a área total das vias presentes na circunstância corresponde a 25,80% da área da circunstância. Das vias existentes 62,40% (69.656,80 m²) estão aptas a receber MCD jardins de chuva pois apresentam baixa declividade (0 a 10% de inclinação). Se considerarmos a área total da circunstância as vias aptas a receber jardins de chuva representam 16,10% da área da circunstância. As vias com declividade acima de 10% foram descartadas para implantação das MCD, essas vias representam 37,60% da área total das vias e 9,70% da área total da circunstância.

Para o cálculo de implantação de MCD nas vias da circunstância EMPEV utilizamos a porcentagem média encontrada nos projetos (10% da área da via para MCD jardins de chuva e 15% para os pisos drenantes). Em termos de área chegamos a 6.965,68 m² de MCD jardins de chuva e 10.448,52 m² de pisos drenantes para toda a circunstância. Assim, se implantarmos as MCD em todas as vias aptas na circunstância chegamos a um valor total de 17.414,20m² de MCD para a escala da rua. Esse valor corresponde a 15,6% da área total de vias presentes na circunstância, e 4,0% se considerarmos a área total da circunstância EMPEV. Na planilha abaixo apresento os dados gerais da circunstância, vias, tipos de vias e os quantitativos médios das MCD nas vias da circunstância EMPEV.

Figura 82: Planilha geral com dados da circunstância EMPEV e MCD

| TECNICAS COMPENSATÓRIAS PARA MANEJO DAS ÁGUAS PLUVIAS MEMORIA DE CÁLCULO_ÁREAS CIRCUNSTÂNCIA ESCOLA EMPEV | | | | | | |
|---|---------|-------|-----------|---------|---------|-----------------------------------|
| PLANILHA GERAL | ÁREAS | | | | | |
| | ML | L VIA | M2 | UNID. | % TOTAL | |
| ÁREA TOTAL CIRCUNSTÂNCIA | | | 432985,70 | | 100,00% | ÁREA TOTAL CIRC. |
| ÁREA IMPERMEÁVEL EXISTENTE | | | 344045,20 | | 79,50% | |
| ÁREA PERMEÁVEL EXISTENTE | | | 88940,50 | | 20,50% | |
| LARGURA (ÁREA/COMPRIMENTO) | 958,90 | | 432985,70 | 451,54 | | METROS |
| DECLIVIDADE MÉDIA | | | | 12,00% | | DECLIVIDADE MÉDIA |
| TOTAL VIAS | 7258,40 | | 111638,20 | 100,00% | 25,80% | ÁREA TOTAL DAS VIAS |
| VIAS - DECLIVIDADE DE 0 A 10% | 4535,70 | | 69656,80 | 62,40% | 16,10% | VIAS APTAS A RECEBER MCD |
| VIAS - DECLIVIDADE ACIMA DE 10% - DESCARTADAS | 2722,70 | | 41981,40 | 37,60% | 9,70% | VIAS NÃO APTAS |
| TIPOS DE VIAS NA CIRCUNSTÂNCIA - IMPLANTAÇÃO MCD | | | | | | |
| AVENIDAS | 1456,20 | 22,00 | 32036,40 | | | |
| VIAS LOCAIS | 2746,30 | 12,00 | 32955,60 | | | |
| LINHA DE DRENAGEM PRINCIPAL | 333,20 | 14,00 | 4664,80 | | | |
| TIPOS DE VIAS NA CIRCUNSTÂNCIA - DESCARTADAS PARA IMPL. MCD | | | | | | |
| AVENIDAS - DECLIVIDADE ACIMA DE 10% | 573,60 | 22,00 | 12619,20 | | | |
| VIAS LOCAIS - DECLIVIDADE ACIMA DE 10% | 2045,50 | 14,00 | 28637,00 | | | |
| FUNDO DE VALE - NÃO INDICADAS PARA MCD | 103,60 | 7,00 | 725,20 | | | |
| ESTUDOS DE IMPLANTAÇÃO TÉCNICAS LID (MCD) - ÁREA OUCPADAS (PROJEÇÃO) | | | | | | |
| JARDIM DE CHUVA | | | 6965,68 | 10,00% | | DAS VIAS APTAS A RECEBER MCD |
| PAVIMENTO PERMEÁVEL | | | 10448,52 | 15,00% | | DAS VIAS APTAS A RECEBER MCD |
| ÁREA TOTAL COM MEDIDAS COMPENSATÓRIAS DIFUSAS NAS VIAS | | | 17414,20 | 15,60% | | ÁREA TOTAL DAS VIAS RECEBERAM MCD |
| ÁREA TOTAL CIRCUNSTÂNCIA | | | | 4,00% | | ÁREA TOTAL CIRCUNSTÂNCIA |

Fonte: Elaborado pelo autor, 2023.

A proposta dos tipos MCD jardins de chuva parece ter potencial de aplicação, sobretudo por serem potencialmente adaptáveis às condições dos lugares e a diferentes tipos de vias. O desenho e o levantamento dos quantitativos das MCD podem constituir numa espécie de laboratório de ensaios para orientar ações sistemáticas em toda a extensão da bacia.

A partir da definição dos percentuais de 10% para os jardins de chuva e 15% para os pisos permeáveis implantados nos quarteirões foi possível levantar percentuais considerando a área total da circunstância. Na conta total chegamos ao valor de 17.414,20m² que corresponde a 4% a área total da circunstância. Embora a eficácia das técnicas MCD necessite ainda de comprovação por meio de testes (primeiramente no âmbito da simulação via modelagem hidrológica e posteriormente com a construção e monitoramento de protótipos), a porcentagem relativamente pequena da área ocupada pelas MCD para toda a circunstância indica que os jardins de chuva implantados apenas nas vias e trabalhando de forma isolada possivelmente não produziram um retorno significativo para minimizar impactos decorrentes das inundações na circunstância como um todo.

Diante desse quadro proponho, para o exercício de simulação hidrológica, realizar estudos considerando percentuais maiores de MCD para a escala das ruas e a implantação de medidas para a escala dos lotes individuais.

No contexto das vias desenvolvemos exercícios ao longo do trabalho que alcançaram valores próximos ao percentual de 20% da área dos quarteirões. Assim, defini o percentual de 20% para MCD jardins de chuva e piso permeáveis para uma segunda simulação com aplicação de técnicas compensatórias nas vias da circunstância.

Como grande parte da circunstância apresenta ocupação residencial com baixa altimetria optei por propor para a escala dos lotes as MCD reservatórios individuais e desconexão de telhados. Ambas tipologias são simples pois coletam a água pluvial dos telhados e calhas e a direcionam para reservatórios e/ou áreas verdes dos terrenos. Para o cálculo considerei a instalação dos dispositivos em 50% dos lotes presentes na circunstância. Assim, propus a instalação das tipologias em 277 lotes da circunstância em telhados com área média de 250,0m² (telhado ocupando 70% do lote padrão de 360,0m²). Na planilha a seguir apresento os dados para os outros cenários de simulação.

Figura 83: Planilha geral com dados das MCD para vias e lotes

| TECNICAS COMPENSATÓRIAS PARA MANEJO DAS ÁGUAS PLUVIAS MEMORIA DE CÁLCULO_ÁREAS CIRCUNSTÂNCIA ESCOLA EMPEV | | | | | | |
|---|--|--|----------|-------------------------------------|-----------------------------------|---------------|
| PLANILHA GERAL | | | ÁREAS | | | |
| ESTUDOS DE IMPLANTAÇÃO TÉCNICAS LID (MCD) - ÁREA OUCPADAS (PROJEÇÃO) | | | | | | |
| JARDIM DE CHUVA | | | 13931,36 | 20,00% | DAS VIAS APTAS A RECEBER MCD | |
| PAVIMENTO PERMEÁVEL | | | 13931,36 | 20,00% | DAS VIAS APTAS A RECEBER MCD | |
| ÁREA TOTAL COM MEDIDAS COMPENSATÓRIAS DIFUSAS NAS VIAS | | | 27862,72 | 24,95% | ÁREA TOTAL DAS VIAS RECEBERAM MCD | |
| ÁREA TOTAL CIRCUNSTÂNCIA | | | | 6,43% | ÁREA TOTAL CIRCUNSTÂNCIA | |
| TOTAL LOTES | | | | | | |
| TOTAL LOTES | | | | 554 | 100,00% | LOTES |
| LOTES COM RESERVATÓRIOS INDIVIDUAIS/DESCONEXÃO TELHADOS | | | | 277 | 50,00% | LOTES COM MCD |
| ÁREA TELHADO (TELHADOS RESIDENCIAIS ÁREA MÉDIA 250,0m2) | | | 69250,00 | ÁREA TELHADOS (MÉDIA ÁREA TELHADOS) | | |

Fonte: Elaborado pelo autor, 2023.

No próximo item proponho realizar simulações hidrológicas simplificadas utilizando os dados levantados no item atual. Conforme destacado anteriormente, a modelagem hidrológica se constitui como uma importante ferramenta para avaliar redução das vazões e o desempenho das técnicas compensatórias trabalhando em conjunto com o sistema convencional. No presente trabalho busco avaliar a aplicação das MCD para a circunstância EMPEV, levando-se em conta o contexto local, características da sub-bacia hidrográfica e técnica compensatórias selecionadas.

6.2 Simulação hidrológica - avaliação do escoamento superficial e infiltração da água

A simulação hidrológica é uma importante ferramenta para entender o comportamento da água pluvial em uma bacia hidrográfica, orientar estratégias e planos de ação. Na presente pesquisa proponho avaliar a aplicação de MCD para a escala da rua e lote na circunstância EMPEV, pequena bacia hidrográfica localizada na sub-bacia do Cercadinho.

Para o trabalho selecionei o modelo SWMM, software que simula com eficácia o comportamento hidrológico e hidráulico de técnicas compensatórias em bacias hidrográficas. O objetivo da modelagem proposta é avaliar a transformação da precipitação em escoamento superficial, infiltração e capacidade de armazenamento das técnicas compensatórias. O SWMM é capaz de analisar o comportamento da água em relação ao sistema de drenagem, lugar (bacia hidrográfica) e representar uma série de processos hidrológicos, como a variabilidade de chuva ao longo do tempo, evaporação da água e infiltração no solo.

Na presente pesquisa foram realizadas simulações simplificadas para a circunstância EMPEV considerando os dados levantados anteriormente. Indico a simulação como simplificada pois não foram realizados outros testes para calibração e validação do modelo.

O SWMM pode simular a aplicação de diferentes técnicas compensatórias, como: jardins de chuva, telhados verdes, trincheiras de infiltração, pavimentos permeáveis, bacias de retenção, entre outras. Para o trabalho simulei a aplicação de jardins de chuva e pisos permeáveis para a escala da rua, e reservatórios individuais e a desconexão de telhados para a escala dos lotes. Abaixo destaco os quatro cenários que proponho simular para a circunstância EMPEV:

Cenário 0 → Dados de precipitação + sistema drenagem + dados da área de estudo

Bacia: situação ATUAL

Cenário 1 → Dados de precipitação + sistema drenagem + dados da área de estudo

Bacia: situação ATUAL + MCD Vias 10% Jardins de Chuva e 15% Pisos permeáveis

Cenário 2 → Dados de precipitação + sistema drenagem + dados da área de estudo

Bacia: situação ATUAL + MCD Vias 20% Jardins de Chuva e 20% Pisos permeáveis

Cenário 3 → Dados de precipitação + sistema drenagem + dados da área de estudo

Bacia: situação ATUAL + MCD Vias 10% Jardins de Chuva e 15% Pisos permeáveis

+ MCD Lotes 50% Reservatórios Individuais e Desconexão de telhados

Cada cenário foi construído utilizando dados extraídos do BHMap e Prodabel. Os quantitativos relacionados as MCD foram levantados nos exercícios projetuais realizados no item anterior. Os parâmetros para modelagem das técnicas compensatórias foram extraídos de Rosa (2017), como: propriedade do solo, volumes de armazenamento, características da superfície, rugosidade, coeficientes de drenagem, drenos, entres outros dados.

Sem dados precisos e conhecimento detalhado para realizar simulações complexas busquei aprofundar no estudo e desenho de tipos de MCD para a escala da rua, e recorrer a referências para o desenvolvimento de simulações hidrológicas. Assim, o trabalho de Rosa (2017) realizado na sub-bacia do Leitão em Belo Horizonte (região próxima à sub-bacia do Cercadinho) foi uma

importante referência e fonte de consulta para a presente parte da pesquisa. Além da dados e parâmetros relacionados às técnicas compensatórias, o método utilizado para modelagem e o parâmetro de infiltração foram outros dados extraídos da dissertação de Rosa (2017) para realizar as simulações.

Para a simulação é necessário inserir no SWMM diferentes dados e parâmetros para seu funcionamento, como: método utilizado para a modelagem, chuva (precipitação), informações do sistema de drenagem urbana, características físicas das áreas de contribuição (área, declividade, permeabilidade do solo, etc.) e dados relacionados as técnicas compensatórias (caso seja aplicado no projeto). Abaixo descrevo as etapas e a construção dos cenários para o modelo.

- Método utilizado

A modelagem da infiltração pode ser realizada por três métodos no SWMM: Horton, Green-Ampt e Serviço de Conservação do Solo (SCS). Para as simulações selecionei o método SCS. Dos três métodos o SCS é o mais simples e o que exige menos informações, para a modelagem é necessário apenas o parâmetro “curve number” (CN). Para a utilização dos métodos Horton e Green-Ampt é necessário uma caracterização mais precisa dos dados da bacia.

O “curve number” (CN) é um parâmetro utilizado para prever o escoamento e infiltração da água pluvial. Para definição do CN é necessário analisar a ocupação, classificação hidrológica do solo e umidade. Segundo Rosa (2017), para o contexto brasileiro existe ainda uma certa dificuldade em associar um CN adequado aos solos. Sartori, Lombardi Neto e Genovez (2005), propuseram uma classificação hidrológica dos solos brasileiros a partir da classificação realizada pela *Natural Resources Conservation Service* (NRCS) para os solos norte-americanos.

Seguindo a classificação hidrológica dos solos brasileiros Rosa (2017) destaca que os solos de Belo Horizonte estariam classificados da seguinte forma: grupo hidrológico A (latossolo vermelho-amarelo distrófico típico A moderado textura argilosa); grupo hidrológico C (argissolo vermelho-amarelo distrófico típico A moderado textura média-argilosa); e grupo hidrológico D (neossolo litólico). Devido à presença de diferentes tipos de solo na região de estudo e a ausência de um levantamento detalhado dos solos da sub-bacia adotarei para o presente trabalho o CN médio de 57 (parâmetro utilizado para o exercício de simulação na sub-bacia do Leitão).

- Dados Pluviométricos

Os dados relacionados à precipitação foram extraídos da estação meteorológica localizada na sub-bacia do Cercadinho em Belo Horizonte, estação do INMET – Instituto Nacional de Meteorologia (F501 Cercadinho - destacado em verde no mapa abaixo). Para a coleta dos dados na estação escolhi um evento para o exercício de simulação.

Figura 84: Mapa - estação meteorológica do Cercadinho em destaque.



Fonte: Inmet - <https://mapas.inmet.gov.br/>, 2023.

A partir de pesquisa realizada na internet selecionei notícias relativas a chuvas onde foram registradas ocorrências de inundações e alagamentos em Belo Horizonte. Para a simulação selecionei um evento com intervalo de tempo de 10 horas e registros de precipitação de uma em uma (1) hora, com pico de 20mm entre as 21:00hrs e 22:00hrs. O evento do exercício de simulação foi registrado no dia 07/12/2022. Como o objetivo é realizar testes simplificados a partir de um evento específico não foram levantados diferentes eventos.

Figura 85: Notícia - evento que ocorreu no dia 07/12/2022, dados da chuva inseridos no SWMM

Chuva causa alagamentos em avenidas de BH e carros são arrastados pela correnteza

Na Avenida Cristiano Machado, uma mulher subiu em cima de um veículo para se proteger da correnteza. Na Bernardo Vasconcelos, uma pessoa se segurou em um poste.

Por Rafaela Mascara Christiano Borges, g1 Minas — Belo Horizonte
07/12/2022 19h13 - Atualizado há 6 meses

| Date (M/D/Y) | Time (H:M) | Value |
|--------------|------------|-------|
| 12/07/2022 | 13:00 | 0.2 |
| 12/07/2022 | 14:00 | 1.8 |
| 12/07/2022 | 15:00 | 0.6 |
| 12/07/2022 | 16:00 | 1.2 |
| 12/07/2022 | 17:00 | 0.4 |
| 12/07/2022 | 18:00 | 0 |
| 12/07/2022 | 19:00 | 0 |
| 12/07/2022 | 20:00 | 0 |
| 12/07/2022 | 21:00 | 20 |
| 12/07/2022 | 22:00 | 1 |

| Property | Value |
|-------------------|---------------|
| Name | chuva07.12.22 |
| X-Coordinate | 2307.692 |
| Y-Coordinate | 7190.635 |
| Description | |
| Tag | |
| Rain Format | INTENSITY |
| Time Interval | 1:00 |
| Snow Catch Factor | 1.0 |
| Data Source | TIMESERIES |
| TIME SERIES: | |
| - Series Name | 07.12.22 |
| DATA FILE: | |
| - File Name | |
| - Station ID | * |
| - Rain Units | IN |

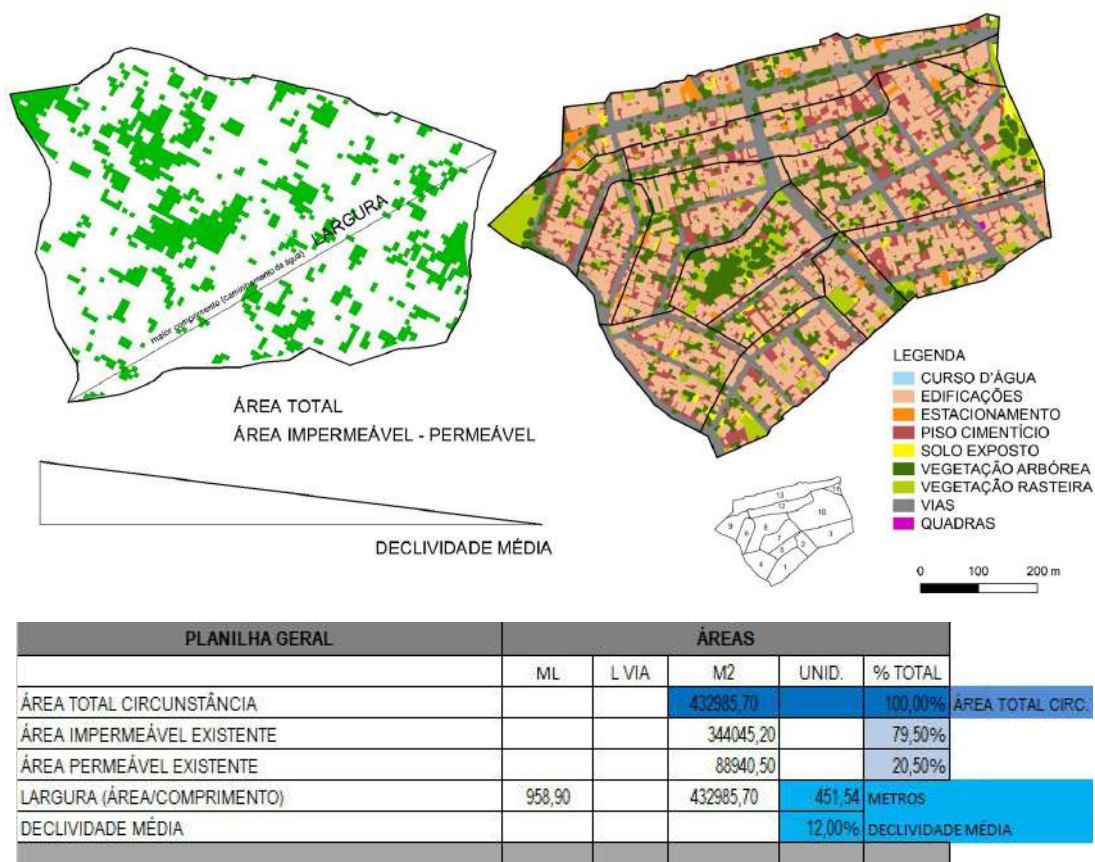
Fonte: SWMM adaptado pelo autor e site Globo.com - <https://g1.globo.com/mg/minas-gerais/noticia/2021/01/06/chuva-causa-alagamentos-e-estracos-na-regiao-centro-sul-de-belo-horizonte.ghtml> acessado em junho de 2023.

- Características da bacia

Para o levantamento das características da bacia, área, declividade média e permeabilidade do solo, coletei informações do BHMap e Prodabel, utilizando os programas Autocad e Qgis. Para levantamento da área foi quantificado a metragem quadrada total da circunstância EMPEV. A largura foi levantada dividindo a área total da circunstância pelo maior comprimento de escoamento da água pluvial na circunstância. A declividade média foi definida a partir de corte esquemático no Autocad que considerou a altura (diferença de altimetria do ponto mais alto e mais baixo) pela distância (comprimento total).

A porcentagem das áreas impermeáveis e permeáveis (sobre terreno natural) foi estimada a partir da classificação da cobertura vegetal e uso do solo atual da circunstância utilizando também os programas Autocad e Qgis conforme mapas apresentados abaixo. A rede de infraestrutura de drenagem não foi detalhada para as simulações, foi definido o nó final que direciona a água pluvial para o ponto de saída (exutório).

Figura 86: Mapa e dados da circunstância - Autocad e QGiz



Fonte: Autocad e QGiz adaptado pelo autor, 2023.

- Cenários de modelagem

De posse das informações levantadas os dados foram inseridos no SWMM para simulação dos 4 cenários descritos anteriormente. Abaixo apresento os resultados gerados a partir das simulações.

Tabela 1: Resultados simulação cenário 0

Cenário 0 → Bacia: situação ATUAL

| RESULTADOS - CENÁRIO 0 | VOLUME hec-m | PROFUNDIDADE mm |
|---------------------------|--------------|-----------------|
| PRECIPITAÇÃO TOTAL | 1,09 | 25,20 |
| ESCOAMENTO SUPERFICIAL | 0,86 | 19,76 |
| INFILTRAÇÃO | 0,20 | 4,57 |
| ARMAZENAMENTO INICIAL LID | X | X |
| ARMAZENAMENTO FINAL | 0,04 | 0,98 |
| DRENAGEM LID | X | X |

Fonte: SWMM adaptado pelo autor, 2023.

Tabela 2: Resultados simulação cenário 1

Cenário 1 → Bacia: situação ATUAL + MCD Vias 10% Jardins de Chuva e 15% Pisos permeáveis

| RESULTADOS – CENÁRIO 1 | VOLUME hec-m | PROFUNDIDADE mm |
|---------------------------|--------------|-----------------|
| PRECIPITAÇÃO TOTAL | 1,09 | 25,20 |
| ESCOAMENTO SUPERFICIAL | 0,81 | 18,61 |
| INFILTRAÇÃO | 0,19 | 4,42 |
| ARMAZENAMENTO INICIAL LID | 0,09 | 2,13 |
| ARMAZENAMENTO FINAL | 0,19 | 4,41 |
| DRENAGEM LID | X | X |

Fonte: SWMM adaptado pelo autor, 2023

Tabela 3: Resultados simulação cenário 2

Cenário 2 → Bacia: situação ATUAL + MCD Vias 20% Jardins de Chuva e 20% Pisos permeáveis

| RESULTADOS – CENÁRIO 2 | VOLUME hec-m | PROFUNDIDADE mm |
|---------------------------|--------------|-----------------|
| PRECIPITAÇÃO TOTAL | 1,09 | 25,20 |
| ESCOAMENTO SUPERFICIAL | 0,76 | 17,43 |
| INFILTRAÇÃO | 0,19 | 4,27 |
| ARMAZENAMENTO INICIAL LID | 0,18 | 4,26 |
| ARMAZENAMENTO FINAL | 0,34 | 7,85 |
| DRENAGEM LID | X | X |

Fonte: SWMM adaptado pelo autor, 2023.

Tabela 4: Resultados simulação cenário 3Cenário 3 → Bacia: situação ATUAL + MCD Vias 10% Jardins de Chuva e 15% Pisos permeáveis
+ MCD Lotes 50% Reservatórios Individuais e Desconexão de telhados

| RESULTADOS – CENÁRIO 3 | VOLUME hec-m | PROFUNDIDADE mm |
|---------------------------|--------------|-----------------|
| PRECIPITAÇÃO TOTAL | 1,09 | 25,20 |
| ESCOAMENTO SUPERFICIAL | 0,53 | 12,29 |
| INFILTRAÇÃO | 0,16 | 3,65 |
| ARMAZENAMENTO INICIAL LID | 0,11 | 2,44 |
| ARMAZENAMENTO FINAL | 0,24 | 5,55 |
| DRENAGEM LID | 0,27 | 6,25 |

Fonte: SWMM adaptado pelo autor, 2023

Os resultados gerais podem ser melhor analisados a partir de um comparativo entre as opções. Considerando a precipitação total foram levantadas as porcentagens relacionadas ao escoamento superficial, infiltração, armazenamento e drenagem LID para os quatro cenários. Na imagem a seguir apresento os quantitativos e as porcentagens totais de cada cenário.

De maneira geral houve redução do escoamento superficial e ganhos relacionados ao armazenamento e infiltração com a implantação das MCD nas vias da circunstância EMPEV. Na comparação entre os diferentes cenários é perceptível o ganho de armazenamento com a instalação das MCD na circunstância. Porém só foi possível constatar melhorias significativas com a instalação das MCD também na escala dos lotes, ou seja, com as técnicas compensatórias trabalhando em conjunto (escala da rua e lote).

Figura 87: Resultados comparativos das simulações dos cenários

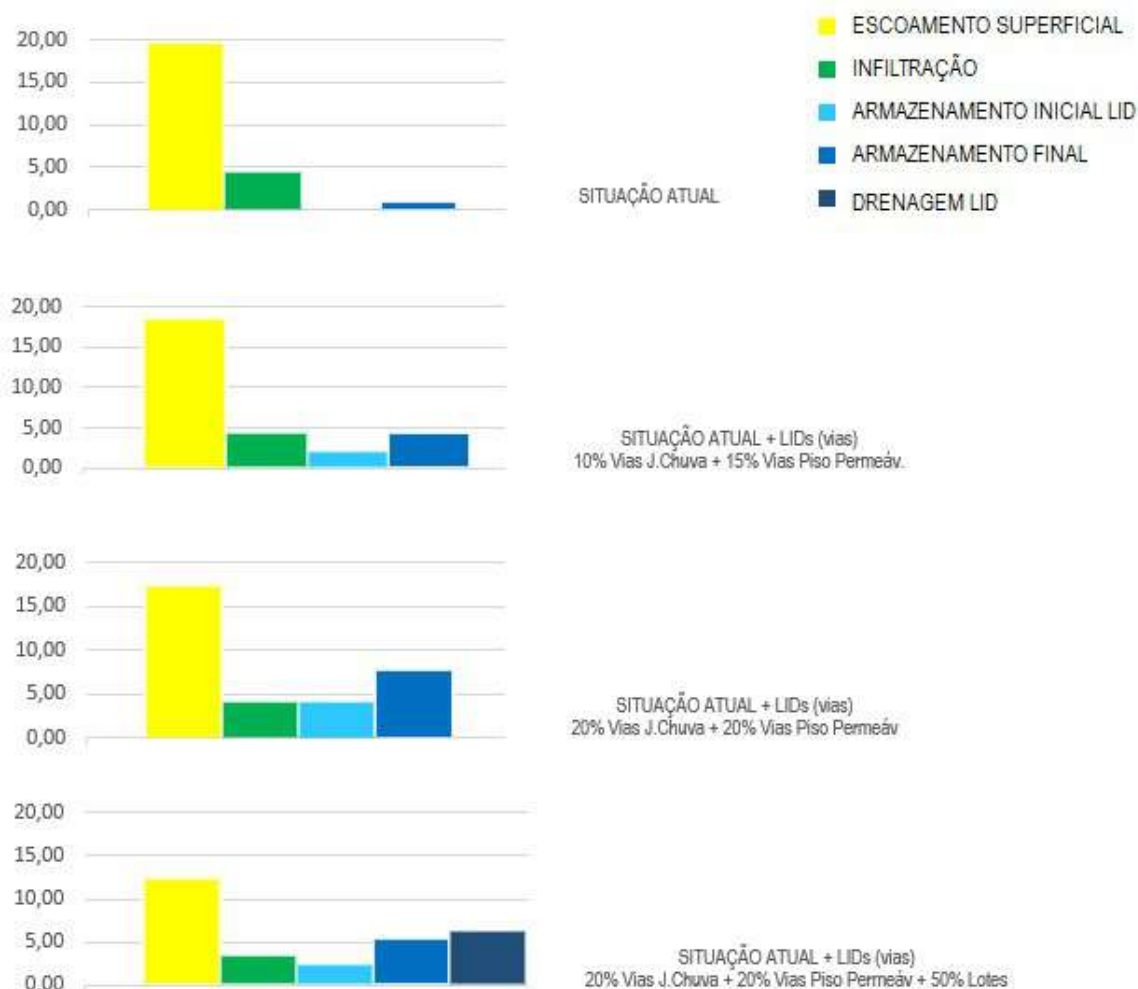
| CHUVA 07/12/2022 | | | | SITUAÇÃO ATUAL + LIDs (vias) | | |
|---|--------------|-----------------|---------|---|-----------------|---------|
| SITUAÇÃO ATUAL | | | | 10% Vias J.Chuva + 15% Vias Piso Permeáv. | | |
| SITUAÇÃO ATUAL | VOLUME hec-m | PROFUNDIDADE mm | | VOLUME hec-m | PROFUNDIDADE mm | |
| PRECIPITAÇÃO TOTAL | 1,09 | 25,20 | 100,00% | 1,09 | 25,20 | 100,00% |
| ESCOAMENTO SUPERFICIAL | 0,86 | 19,76 | 78,41% | 0,81 | 18,61 | 73,85% |
| INFILTRAÇÃO | 0,20 | 4,57 | 18,13% | 0,19 | 4,42 | 17,54% |
| ARMAZENAMENTO INICIAL LID | X | X | | 0,09 | 2,13 | 8,40% |
| ARMAZENAMENTO FINAL | 0,04 | 0,98 | 3,88% | 0,19 | 4,41 | 17,50% |
| DRENAGEM LID | X | X | | X | X | |
| SITUAÇÃO ATUAL + LIDs (vias) | | | | SITUAÇÃO ATUAL + LIDs (vias) + LIDs (lotes) | | |
| 20% Vias J.Chuva + 20% Vias Piso Permeáv. | | | | 10% Vias J.Chuva + 15% Vias Piso Permeáv + 50% Lotes Desc. Telhados e Reservatórios Ind. | | |
| | VOLUME hec-m | PROFUNDIDADE mm | | VOLUME hec-m | PROFUNDIDADE mm | |
| PRECIPITAÇÃO TOTAL | 1,09 | 25,20 | 100,00% | 1,09 | 25,20 | 100,00% |
| ESCOAMENTO SUPERFICIAL | 0,76 | 17,43 | 69,16% | 0,53 | 12,29 | 48,77% |
| INFILTRAÇÃO | 0,19 | 4,27 | 16,94% | 0,16 | 3,65 | 14,48% |
| ARMAZENAMENTO INICIAL LID | 0,18 | 4,26 | 16,90% | 0,11 | 2,44 | 9,68% |
| ARMAZENAMENTO FINAL | 0,34 | 7,85 | 31,15% | 0,24 | 5,55 | 22,02% |
| DRENAGEM LID | X | X | | 0,27 | 6,25 | 24,08% |

Fonte: Dados do SWMM adaptado pelo autor, 2023.

Na situação atual (cenário 0) o escoamento superficial foi de 19,76mm o que corresponde a 78,41% da precipitação total. Nos cenários um (1) e dois (2) houve redução gradual do escoamento com porcentagens de 73,85% e 69,16%; assim, houve redução aproximada de 10% se compararmos o cenário zero (0) e o cenário dois (2). Com o cenário três (3), que considera a implantação das MCD nas vias e lotes, é possível destacar uma redução significativa no escoamento superficial saindo de 19,76mm (cenário 0) para 12,29mm (cenário 3). O valor do escoamento superficial do cenário três (3) representa 48,77% da precipitação total. Se compararmos

o cenário zero (0) com o cenário (3) nota-se uma redução aproximada de 30% no escoamento superficial. Na figura 88 organizo os dados em gráficos para uma melhor visualização dos resultados.

Figura 88: Gráficos simulação cenários



Fonte: SWMM adaptado pelo autor, 2023

Se compararmos os dados relacionados a infiltração, armazenamento e drenagem LID para os quatro cenários é possível constatar ganhos significativos relacionados ao armazenamento e pouca alteração nos dados de infiltração. Na situação atual (cenário 0) o armazenamento foi de 0,98mm o que corresponde a 3,88% da precipitação total. Nos cenários um (1) e dois (2) houve ganhos significativos no armazenamento final com porcentagens de 17,5% e 31,15%; que representa um aumento de 27% se compararmos com o cenário zero (0). Com o cenário três (3), que considera a implantação das MCD também nos lotes é possível destacar um novo dado ao gráfico que está relacionado a drenagem LID (medidas implantadas nos lotes).

Com a instalação dos reservatórios individuais e a desconexão de telhados (da rede de drenagem) uma parte significativa da precipitação é direcionada para as técnicas de armazenamento implantadas na escala do lote. No cenário três (3) a drenagem das MCD apresenta o valor de 6,25mm, ou seja, 24,08% da precipitação total. Se somarmos os dados do armazenamento final e drenagem LID do cenário três (3) alcançamos 46,1% de porcentagem total, valor bastante significativo se compararmos com o armazenamento final do cenário zero (3,88%).

As comparações apresentadas a partir da precipitação total foi uma maneira de ilustrar os resultados. As conclusões apresentadas são preliminares e seriam necessários estudos de simulação mais detalhados e precisos para confirmarmos os ganhos efetivos com a implantação das MCD; contudo, é possível levantar pontos importantes para discussão com os resultados. Por exemplo: o cenário um (1) resultado dos quantitativos levantados na etapa de projeto (proposta colocada como ideal para as vias urbanas – implantação de 10% jardins de chuva e 15% piso permeável), apresentou uma boa resposta para o desenho urbano, mas na simulação hidrológica não apresentou reduções significativas do escoamento superficial. O cenário três (3), que combina técnicas para diferentes escalas (via e lote), parece ser a proposta ideal para intervenções na pequena escala e em microbacias pois foi a proposta que apresentou os melhores resultados em termos comparativos.

Visto que as políticas públicas municipais vêm incentivando a adoção de medidas para ambas as escalas o ideal seria estruturar propostas considerando a implantação de MCD para vias e lotes de forma integrada, articulando propostas para ambas escalas a partir de ações articuladas pelos moradores.

6.3 Ações estruturadas a partir de microcircunstâncias – de montante para jusante

Os exercícios de desenho e simulação realizados demonstram o grande potencial de transformação urbana que pode ser alcançado com a implantação de MCD para as escalas da rua e lote. Para além do desenho e cálculo outro questionamento importante seria como estruturar as ações? Como estabelecer uma estratégia de implantação de MCD nas microbacias e circunstâncias?

Penso que o ideal nesse caso seria estruturar ações, conforme colocado por Silva (2013), partindo de montante para jusante “[...] de modo que as intervenções físicas e ambientais não sejam

afetadas por eventos não controlados à montante e também não repercutam negativamente à jusante, propósito que deve estar explícito e bem assimilado por todos os integrantes da ação” (SILVA, 2013, p.193).

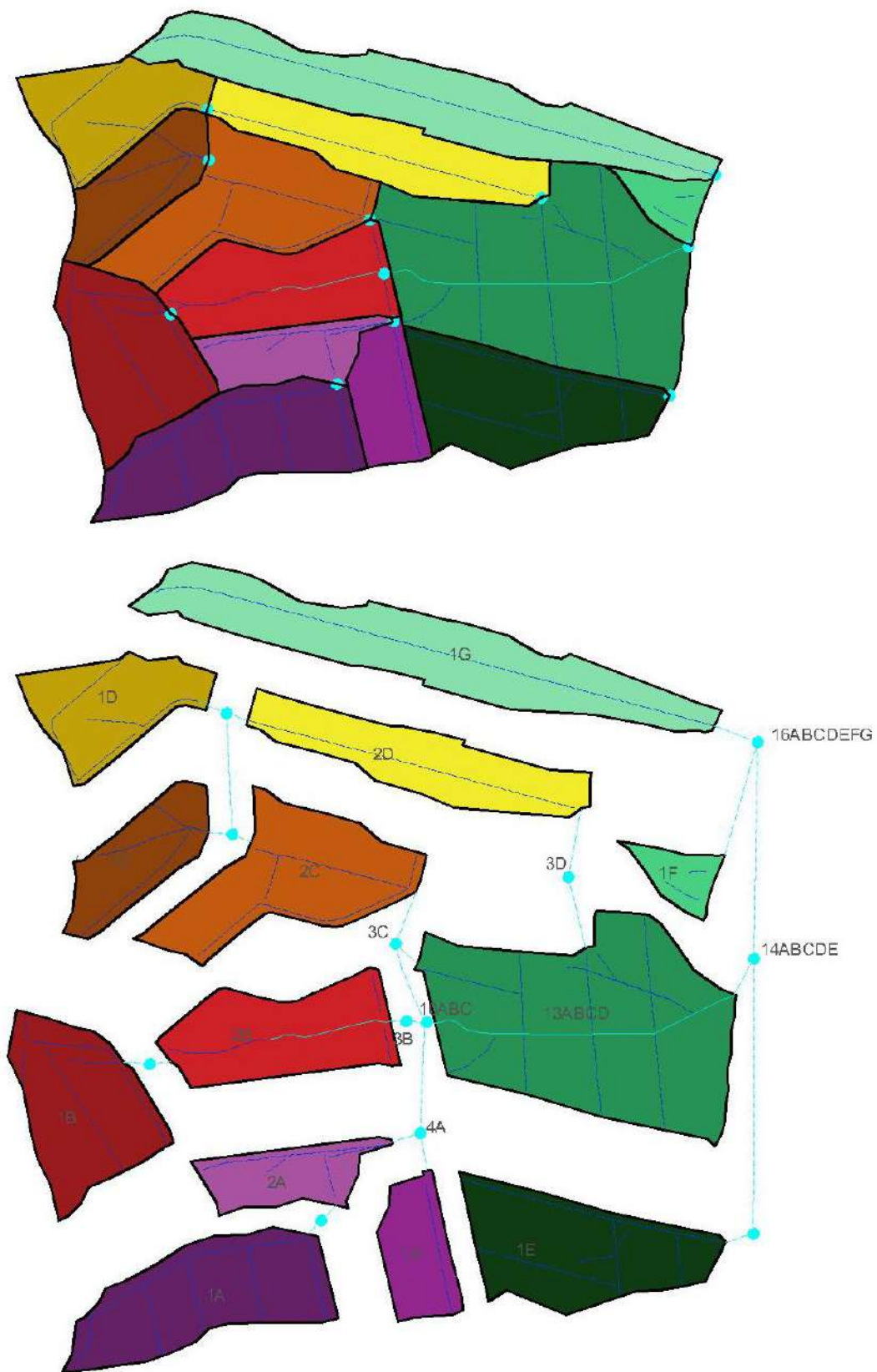
As simulações apresentadas anteriormente consideraram toda a circunstância da EMPEV, mas se avançarmos no exercício dividindo a circunstância em “microcircunstâncias” é possível avaliar de forma mais precisa os problemas e as soluções nas pequenas unidades de planejamento. Partindo das pequenas circunstâncias à montante é possível estruturar ações minimizando impactos transferidos a jusante. A imagem a seguir (figura 89 na próxima página) apresenta a circunstância EMPEV dividida em microcircunstâncias. A divisão considerou o relevo, estrutura urbana, vias e parcelamento.

Na divisão da circunstância em microcircunstâncias e suas áreas de contribuição as unidades foram organizadas em letras, cores e números para facilitar a visualização. Na divisão temos: **A, B, C, D, E, F, G**, e a microcircunstância **ABCD**.

As microcircunstância E, F e G são unidades que contribuem diretamente para o córrego Ponte Queimada e não tem ligação direta com as demais microcircunstâncias da área de estudo. As unidades A, B, C e D estão localizadas a montante e contribuem diretamente para a microcircunstância ABCD (linha de drenagem principal da circunstância EMPEV).

É possível afirmar que a microcircunstância ABCD é uma área crítica da circunstância EMPEV pois recebe um volume significativo de água das demais unidades a montante. Nesse sentido, deve-se potencializar a infiltração e a recarga nas microcircunstâncias A, B, C e D para reduzir o volume de água que impacta a linha de drenagem principal. Se na etapa de simulação (apresentada anteriormente) foi possível reduzir o escoamento superficial em 30% da situação atual para o cenário três (3), a aplicação das MCD para os lotes e rua nas microcircunstâncias A, B, C e D seria o ponto de partida para estruturar ações na circunstância EMPEV e reduzir substancialmente o volume de água que impacta as unidades a jusante e a microcircunstância ABCD.

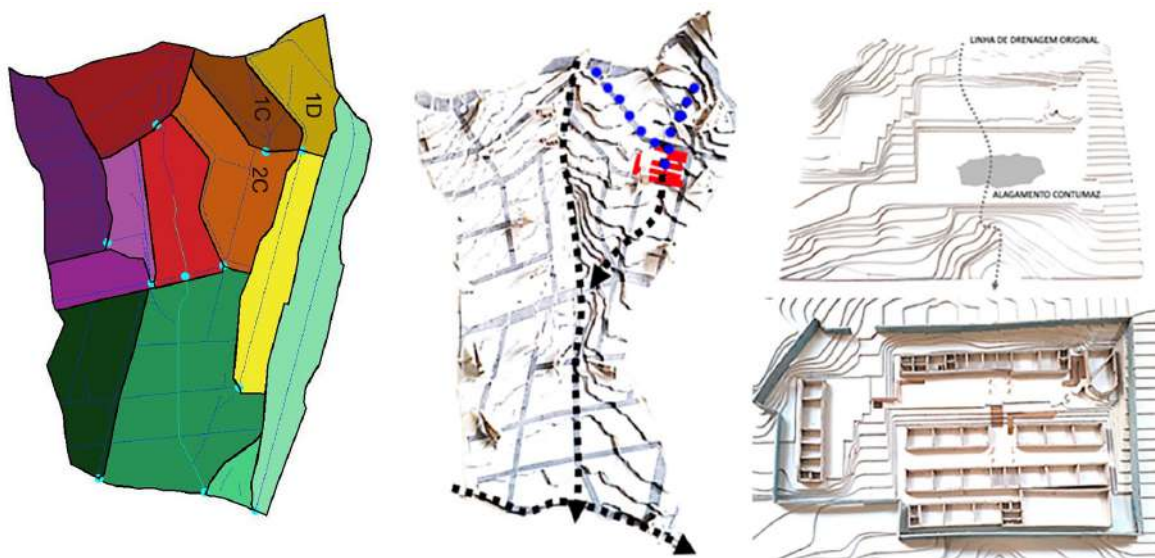
Figura 89: Divisão da circunstância em microcircunstância



Fonte: Autocad adaptado pelo autor, 2023.

Partindo, por exemplo, da escola EMPEV que está localizada na microcircunstância **2C**, a montante da área de estudo, é possível analisar impactos e construir soluções para a escala da microcircunstância da escola tendo como recorte de estudo as pequenas bacias a montante (1C e 1D) e a própria escola. No trabalho de pedagogia urbana realizado na escola foi possível identificar que o pátio é uma área que alaga nos dias de chuvas intensas (problema identificado a partir de visitas e conversas com funcionários e estudantes da EMPEV).

Figura 90: Mapa microcircunstância, maquetes circunstância e escola EMPEV



Fonte: Autocad e Projeto Águas na Cidade adaptado pelo autor, 2023.

Se analisarmos a situação utilizando a imagem anterior percebemos que a escola está situada em uma linha de drenagem secundária (bolinhas azuis na maquete) e que as microcircunstâncias 1C e 1D contribuem diretamente para a escola. Ainda que o problema se manifeste no pátio da escola a causa do alagamento está relacionada ao grande volume de água que é direcionado para o pátio pelas microcircunstâncias a montante (1C e 1D), e também pela própria escola que apresenta uma quantidade significativa de área impermeabilizada.

Construindo propostas de MCD para as microcircunstâncias à montante é possível reduzir o volume de água que chega no terreno da escola. Construindo soluções na própria escola EMPEV, como: microreservatórios, poços de infiltração, desconexão de telhados e aumento de áreas verdes permeáveis, contribuimos para aumentar a infiltração em um ponto de acumulo de água. Para ações no âmbito da escola, por exemplo, podemos articular as propostas de MCD com as ações educacionais do Projeto Águas na Cidade, ou seja, desenvolver projetos articulados com os moradores e estudantes da bacia. Assim, estruturando ações locais nas microcircunstâncias à

montante contribuiríamos para minimizar os alagamentos no pátio e reduziríamos a transferência de impactos para as áreas a jusante da escola.

O estudo de caso da EMPEV ilustra possíveis ações para a escala microlocal. Partindo das microcircunstâncias a montante podemos estruturar propostas de MCD para as escalas do lote e rua reduzindo substancialmente o escoamento superficial para as microcircunstâncias localizadas a jusante. Como as circunstâncias estão organizadas em rede é necessário estruturar as ações por etapas. Ao chegar na região de fundo de vale, nos pontos críticos de inundação, inevitavelmente conseguiríamos um resultado melhor em termos de volume de água que impacta essas áreas. Assim, em vez de grandes bacias de detenção (principal proposta que está sendo implantada hoje em Belo Horizonte) poderiam ser implantadas pequenas bacias (detenção, retenção, infiltração) integradas com outras MCD, propostas que poderiam estar melhor articuladas com o lugar, parques lineares e a ocupação do entorno.

CONCLUSÃO

Acredito que o presente trabalho ao enfatizar o estudo das técnicas compensatórias de manejo de águas pluviais em bacias hidrográficas urbanizadas traz para discussão as seguintes questões: a sistematização de parâmetros e critérios que condicionam a aplicação das MCD, o levantamento e o desenho de alternativas para a pequena escala, e a importância de desenvolver propostas técnicas articuladas com ações de educação ambiental urbana e moradores da bacia.

As propostas para implementação das MCD e os projetos de educação ambiental não podem ser entendidas como propostas pontuais e intermitentes, necessitam de um trabalho contínuo, ou seja, há um longo caminho para a implementação de uma gestão do manejo das águas pluviais por circunstâncias. Ações que envolvam diretamente os moradores, técnicos, prefeitura e sociedade. Mesmo com um longo percurso pela frente acredito que os pontos colocados pela presente pesquisa indicam caminhos importantes para a continuação do trabalho.

A solução para o manejo de águas em pequenas bacias depende de estudo e conhecimento sobre as MCD (quais, como e onde aplicar as soluções), e ações de educação ambiental (ensinar e aprender sobre a dinâmica das águas e possíveis soluções).

Na pesquisa, o ponto central do redesenho urbano foi articular água pluvial e áreas verdes a partir do estudo de soluções compensatórias para o manejo das águas pluviais. Como o foco do trabalho está relacionado a água, bacia hidrográfica e escalas de atuação, foram referenciais importantes para a definição dos recortes de atuação e das unidades de planejamento que estão articuladas, como as bacias, sub-bacias, microbacias e circunstâncias. Dentro dessa discussão o conceito das cidades geossuportadas, a ideia de circunstância, e a proposta de estruturar as ações a partir das microcircunstâncias a montante, surgem como questões centrais para direcionar as ações no contexto da sub-bacia do Cercadinho.

Para o estudo, desenho e implantação das MCD, a análise das técnicas associadas ao lugar de implantação é uma das importantes etapas da pesquisa pois avaliei e sistematizei parâmetros que podem auxiliar na aplicação das técnicas compensatórias de drenagem na cidade, ou seja, quais os lugares adequados para implantação dos dispositivos. Conforme destacado por Pinheiro (2019), se por um lado existem planos e políticas públicas que incentivam a adoção das medidas compensatórias, por outro lado se observa uma falta de orientações técnicas claras, bem como um

mapeamento detalhado da cidade que indique as áreas onde cada uma das MCD pode ser aplicada. Assim, a sistematização de parâmetros e critérios é um ponto fundamental para auxiliar na tomada de decisão. Acredito que podemos avançar ainda mais em maneiras de auxiliar na tomada de decisão sobre as MCD para as escalas da rua e lote, como: interfaces físicas ou virtuais, manuais que indiquem com clareza como os dispositivos devem ser implantados e construídos levando em consideração diferentes contextos urbanos.

O exercício de desenho de tipos de MCD jardins de chuva para a circunstância da EMPEV foi outro ponto muito importante pois discutimos, levantamos e desenhamos possíveis medidas que podem ser replicadas na cidade. Os exercícios realizados com os estudantes da graduação demonstraram o potencial de articularmos também pesquisa e extensão com disciplinas da graduação. Os estudantes trouxeram percepções diferentes que contribuíram de forma positiva para a pesquisa.

Outro ponto que ganhou força ao longo da pesquisa foi avaliar a eficácia das MCD para a cidade. Assim, a simulação hidrológica aparece no trabalho com o intuito de reforçar o diálogo com a engenharia hidráulica, de buscarmos trabalhar melhor esta junção entre desenho urbano e os cálculos de vazão. Entre desenho urbano e a engenharia hidráulica: como podemos avaliar as MCD se não soubermos como elas impactam na cidade?

A proposta de simulação realizada na pesquisa tem o intuito de avaliar a implantação das MCD, mas acima de tudo de construir um diálogo com a engenharia hidráulica. No contexto da sub-bacia do Cercadinho, por exemplo, seria importante realizar outras simulações considerando as circunstâncias e microcircunstâncias para avaliar com mais precisão a implantação das medidas, inclusive pensando na proposta de reduzir a escala das bacias de retenção implantadas atualmente nas regiões de fundo de vale.

Entendo que a eficácia das MCD necessite ainda de comprovação por meio de testes mais detalhados, e posteriormente com a construção e monitoramento de protótipos, mas a proposta de pequenos jardins de chuva parece ter potencial de aplicação, sobretudo por serem potencialmente adaptáveis às condições dos lugares e a diferentes tipos de vias.

O desenho de tipos de MCD e o levantamento dos quantitativos podem constituir numa espécie de laboratório de ensaios para orientar ações sistemáticas em toda a extensão das bacias.

No entanto, a eficácia de tais medidas parece não prescindir da adoção de ações na escala dos lotes individuais. Tal fato implica pensar também em estratégias de convencimento da população local para instalação e manutenção de tais medidas, impossíveis sem um esforço de preparação de material instrucional e de acompanhamento por acessórias técnicas.

Muitos problemas poderiam ser solucionados mediante processos coordenados localmente pelos moradores na escala do lote e da rua; contudo para o um retorno positivo, as soluções precisam ser replicadas em toda a bacia, e necessitam estar articuladas com a comunidade para a execução, manutenção dos dispositivos e também para a construção de novas ações que abordem a implantação de MCD na escala microlocal. Quanto a esse aspecto importa lembrar que a divisão em circunstâncias favorece também a articulação política dos moradores a partir da própria dinâmica da água no interior das bacias. Cada circunstância poderia estar representada na composição dos comitês de bacias.

Partindo das cabeceiras e das microcircunstâncias a montante podemos estruturar ações que auxiliem políticas públicas e ações articuladas em pequena escala pelos moradores. Se potencializamos a infiltração da água e a recarga do lençol freático, reduzimos consideravelmente os impactos a jusante. Entendendo a dinâmica da água e construindo propostas adequadas ao contexto local podemos auxiliar na “[...] reconfiguração dos processos naturais básicos entre terra e água, ou seja, desbloquear o caminho das águas até seu reservatório natural – a terra”. (SILVA, 2013, p.191). Assim, podemos transformar impactos negativos em impactos positivos.

Na sub-bacia do Cercadinho, e no contexto das microcircunstâncias urbanas, o trabalho com as escolas é crucial para construir coletivamente propostas para a escala do lote (escola) e seu entorno. Imaginamos as escolas de ensino fundamental como irradiadoras do conhecimento acerca do comportamento da água nas bacias e da construção de soluções coletivas, envolvendo toda comunidade local em torno da recuperação e da preservação. Nesse contexto a proposta de MCD para a pequena escala (lote e rua) me parece um bom ponto de partida para aprofundarmos no estudo sobre o manejo das águas pluviais urbanas.

REFERÊNCIAS

- ANDRADE, L. M. S. de. **Conexão dos padrões espaciais dos ecossistemas urbanos: a construção de um método com enfoque transdisciplinar para o processo de desenho urbano sensível à água no nível da comunidade e da paisagem.** 2014. 544 p. Tese (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo) - Universidade de Brasília, Brasília. 2014.
- ALMEIDA, M. de F. **Aplicação de técnicas compensatórias na drenagem urbana, sob a ótica dos usuários: estudo de caso em São Carlos – SP.** 2014. 132 p. Dissertação (mestrado em Engenharia Urbana) – Universidade de São Carlos, São Carlos. 2014.
- ARAUJO, R. P. Z. de; PINHEIRO, C. B. Reflexões acerca das intervenções integradas na gestão das águas urbanas em Belo Horizonte. *In: Anais XVI Enanpur – Espaço, Planejamento & Insurgências.* Belo Horizonte, 2015.
- BAPTISTA, M; NASCIMENTO, N; BARRAUD, S. **Técnicas compensatórias em Drenagem Urbana.** Porto Alegre: Editora ABRH, 2005. 318 p.
- BAPTISTA, M; CARDOSO, A. Rios e Cidades: uma longa e sinuosa história. *In: Revista UFMG,* Belo Horizonte, v. 20, n.2, p.124-153, jun./dez. 2013.
- BARRETO, A. (org.). **Belo Horizonte: memória histórica e descritiva** - história antiga e história média. Belo Horizonte: Fundação João Pinheiro, Centro de Estudos Históricos e Culturais. 2v. il. ISBN 85-85930-05-5. 1996.
- BONTEMPO, V. L. *et al.* Gestão de águas urbanas em Belo Horizonte: avanços e retrocessos. *In: Revista Rega,* Porto Alegre, v. 9, n. 1, p. 5-16. 2012.
- BRITO, D. S. de. **Metodologia para seleção de alternativas de sistema de drenagem.** 2006. 117 p. Dissertação (mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos) - Universidade de Brasília, Brasília. 2006.
- BRAGANÇA, L. S. **Do Planejamento da Circulação ao Microplanejamento Integrado.** 2005. 131 p. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo). Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte. 2005.
- BURIAN, S. J; EDWARDS, F. G. Historical Perspectives of Urban Drainage. **Global Solutions for Urban Drainage.** P. 1-16. 2002. DOI:10.1061/40644(2002)284. Disponível em: [https://ascelibrary.org/doi/abs/10.1061/40644\(2002\)284](https://ascelibrary.org/doi/abs/10.1061/40644(2002)284). Acesso em: junho de 2020.
- CANHOLI, A. P. **Drenagem urbana e controle de enchentes.** 2 ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2014.
- CANHOLI, A. P. **Piscinões na contenção de cheias: lições aprendidas em 25 anos de prática.** OfitextoTalk (Webinar). São Paulo: Ofitexto EAD, 2017.
- CARVALHO, E. T. de. **Geologia Urbana para todos: uma visão de Belo Horizonte.** Belo Horizonte 1999. 176 p.

CARVALHO, E. T. de. Contribuição para a Geologia de Engenharia Aplicada às Cidades. Experiência de longa duração em Belo Horizonte. *In: Revista Brasileira de Engenharia e Ambiente*. São Paulo, 2011.

CARVALHO, E. T. de. Contribuição da Geologia para a solução de problemas hidrológicos urbanos. Sociedade Mineira de Engenheiros. **Workshop Gestão das Águas Pluviais na RMBH**. 2012. Disponível em: <https://docplayer.com.br/8517850-Contribuicao-da-geologia-para-a-solucao-de-problemas-hidrologicos-urbanos-e-dezio-teixeira-de-carvalho-consultor-msc-eng-geologo-creamg-8.html>. Acesso em: junho de 2021

CARVALHO, E. T. de. **Manifesto sobre a fundamentação geológica de sistemas de drenagem urbanos**. 2009. Disponível em: <http://escritoriointegracao.blogspot.com.br/2009/10/manifestosobre-fundamentacao-geologica.html>. Acesso em: abril de 2023

City of Philadelphia. **Green Streets Design Manual**. 2014. Disponível em: <https://www.phila.gov/documents/green-streets-design-manual/>. Acesso em: março de 2022.

CHAMPS, J. R. B. Planejar a drenagem urbana: menos inundações e mais qualidade de vida. *In: Revista Planejar BH*. Belo Horizonte: Secretaria Municipal de Planejamento, PBH, 1999. p. 38-41.

CHAMPS, J. R. B; PEREZ, S. T. C. S; FRÓES, C. M. V. O planejamento do sistema de drenagem urbana na cidade de Belo Horizonte. *In: Anais do 1º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental*. João Pessoa, 2001.

CHRISTOFIDIS, D; ASSUMPÇÃO, R; KLIGERMAN, D. **A evolução histórica da drenagem urbana**: da drenagem tradicional à sintonia com a natureza. *Saúde debate* vol.43. Rio de Janeiro, 2019.

COSTA, H. S. de M.; BONTEMPO, V; KNAUER, S. Programa Drenurbs: uma discussão sobre a constituição de alianças de aprendizagem na Política de Saneamento de Belo Horizonte. *In: Anais do XVI Encontro Nacional de Estudos Populacionais*. 2008.

COSTA, W. D. **Caracterização das Condições de Uso e Reservação das Águas Subterrâneas do Município de Belo Horizonte - MG**. Tese (Doutorado em Recursos Minerais e Hidrogeologia) - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2002.

DEMANTOVA, G; RUTKOWSKI, E. A sustentabilidade Urbana: simbiose necessária entre sustentabilidade ambiental e a sustentabilidade social. *Revista Vitruvius*. 2007. Disponível em: <https://vitruvius.com.br/revistas/read/arquitextos/08.088/210>. Acesso em: abril de 2020.

DE FEO *et al.* The Historical Development of Sewers Worldwide. 2014. **Sustainability of Wastewater Treatment Processes and Management**: Past, Present and Future. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/su6063936>. Acesso em: junho de 2020.

GINZBURG, C. Sinais: raízes de um paradigma indiciário. In. GINZBURG, C. **Mitos, Emblemas e Sinais**: morfologia e história. São Paulo, Cia. das Letras, 1989. pp.143-178.

FARIAS, A. *et al.* Infraestrutura urbana sustentável: conceitos e aplicações sob a perspectiva do arquiteto urbanista, 2018. **Cadernos de Arquitetura e Urbanismo** - PUC Minas, v. 25, n.36, 1º semestre 2018.

FEENBERG, A. Environmentalism and the Politics of Technology. *In: Questioning Technology*. Routledge: London, New York, 1999. p. 45-70.

FEENBERG, A. **Ten Paradoxes of Technology**. Biennial Meeting of the Society for Philosophy and Technology. Minnesota, 2009.

FERRO, S. **Conversa com Sergio Ferro**: mais uma peça na construção de um debate. *PosFAUUSP*, 12, 10-32. <https://doi.org/10.11606/issn.2317-2762.v12i0p10-32>. 2002.

FJP - Fundação João Pinheiro. **Panorama de Belo Horizonte**: atlas histórico. Belo Horizonte: Fundação João Pinheiro, Centro de Estudos Históricos e Culturais. 1997.

GORSKI, M.C. **Rios e Cidades**: ruptura e reconciliação. 2008. 243 f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo). Universidade Presbiteriana Mackenzie, São Paulo, 2008.

HERZOG, C; ROSA, L. Infraestrutura Verde: sustentabilidade e resiliência para a paisagem urbana. **Revista Labverde** Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da USP. 2010.

ILLICH, I. **H2O e as águas do esquecimento**: Reflexões sobre a historicidade da matéria. Tradução: Silke Kapp. 2018. (1985).

MATOS, J. de S. **Aspectos Históricos e Actuais da Evolução da Drenagem de Águas Residuais em Meio Urbano**. Departamento de Engenharia Civil e Arquitectura do Instituto Superior Técnico. Lisboa. Número 16, 2003.

MARICATO, E. As idéias fora do lugar e o lugar fora das ideias. *In: Arantes, O. (org.) A cidade do pensamento único*. Petrópolis: Editora Vozes. 2000.

MARTINS, L. G. B. **Avaliação do potencial de aplicação de técnicas compensatórias em áreas urbanas consolidadas**. 2017. Tese (Doutorado em Engenharia Hidráulica e Saneamento). Universidade de São Paulo, São Carlos. 2017.

MASCARÓ, J. L. **Desenho e custos de infra-estrutura urbana**. 2 ed. Porto Alegre: Sagra Luzzatto, 1996.

MENDONÇA, L. E. P. de. **A Questão Ambiental numa Trajetória Histórica**: a microbacia do córrego Cercadinho de Belo Horizonte como estudo de Caso. Dissertação (Mestrado em Geografia). Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, Belo Horizonte. 2007.

MENEGAT, R. **A matriz do lugar na interpretação das cidades incas de Machu Picchu e Ollantaytambo**: um estudo de Ecologia de Paisagem e a reconstrução dos processos civilizatórios. 2006. Tese (Doutorado em Ecologia). Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 2006.

MEDEIROS, I. H. de. **Programa Drenurbs/nascentes e fundos de vale**: potencialidades e desafios da gestão sócio-ambiental do território de Belo Horizonte a partir de suas águas. 2009. Dissertação (Mestrado em Geografia: Análise Ambiental). Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte. 2009

MINISTÉRIO DAS CIDADES. **Mapeamento de riscos em encostas e margens de rios.** CARVALHO, C.S.; MACEDO, E.S. de; OGURA, A.T. (Orgs.). Brasília: Ministério das Cidades/ Instituto de Pesquisas Tecnológicas – IPT, 2007. p.25-26.

MOM – Morar de Outras Maneiras. **Projeto Águas na Cidade.** Disponível em: < <http://www.mom.arq.ufmg.br/mom/index.html> >. Acesso em: março de 2022.

MORETTI, R. de S. **Normas Urbanísticas para Habitação de Interesse Social** – recomendações para elaboração. São Paulo. IPT. 1997.

NASCIMENTO, N. O. *et al.* **The assessment of damages caused by floods in the Brazilian context.** Urban Water, v. 4, n. 3, p. 195-210, 2007.

NASCIMENTO, N.O.; BAPTISTA, M. B. Técnicas Compensatórias em Águas Pluviais. *In:* RIGHETTO, A. M.(coord.). **Manejo de Águas Pluviais Urbanas.** Projeto PROSAB. Rio de Janeiro: ABES, pp. 149-197. 2009.

OLIVEIRA, A. M; COSTA, H. S. de M. A trama verde e azul no planejamento territorial: aproximações e distanciamentos. 2018. **Revista Brasileira de Estudos Urbanos e Regionais.** 2018.

PICARELLI, S. **Gestão Integrada das Águas Urbanas:** o caso de Belo Horizonte. Projeto Switch. ICLEI – Governos locais para sustentabilidade.

PBH - Prefeitura Municipal de Belo Horizonte. **Instrução Técnica para Elaboração de Estudos e Projetos de Drenagem.** 2022.

PBH - Prefeitura Municipal de Belo Horizonte. **Plano Diretor do Município de Belo Horizonte.** Lei Nº 11.181, de 8 de agosto de 2019.

PBH - Prefeitura Municipal de Belo Horizonte. **Plano Municipal de Saneamento de Belo Horizonte 2016/2019.** Volume I – Texto. Belo Horizonte. 2016.

PBH - Prefeitura Municipal de Belo Horizonte. **E_Book Plano Diretor de Belo Horizonte.** Disponível em: <https://prefeitura.pbh.gov.br/politica-urbana/planejamento-urbano/plano-diretor/proposta>. Acessado em novembro de 2022.

PBH - Prefeitura Municipal de Belo Horizonte. **Programa de Recuperação Ambiental e Saneamento dos Fundos de Vale e dos Córregos em Leito Natural de Belo Horizonte – Drenurbs.** Secretaria Municipal de Políticas Urbanas. 2001.

POLIZZI, L. **A Transformação da Cidade Precária a partir da Mesoestrutura.** 2013. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo). 133 p. 2013. Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte. 2013.

PELLI, V. S. Notas para uma Tecnologia Apropriada à Construção na América Latina. *In:* MASCARÓ, L. **Tecnologia e Arquitetura.** São Paulo, Nobel, 1989.

- PINHEIRO, C. **Políticas públicas de manejo de águas pluviais em Belo Horizonte: novos caminhos em meio a velhas práticas**. 2019. Dissertação (mestrado em Arquitetura e Urbanismo). Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte. 2019.
- PINHEIRO, C; EUSTÁQUIO R. Trajetória da drenagem urbana no Brasil: uma perspectiva a partir da análise de políticas públicas recentes de Belo Horizonte. **Anais do XVIII Enanpur**. 2019.
- RIBEIRO, M; CASTRO, A. **Políticas públicas e os novos rumos para as construções verdes**. Disponível em: <http://www.publicadireito.com.br/artigos/?cod=42cd63cb189c30ed>. Acesso em: junho 2021.
- ROSA, D. W. B. **Resposta hidrológica de uma bacia hidrográfica urbana à implantação de técnicas compensatórias de drenagem urbana - Bacia do Córrego do Leitão, Belo Horizonte, Minas Gerais**. Dissertação (Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos). Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte. 2017.
- SANTOS, R. E. dos. **Águas na Cidade: Demarcação de Bacias**. Projeto de Extensão aplicado ao Edital Proex N° 05/2021– Fomento a produtos extensionistas destinados à Educação Básica e Profissional Pública, 2021.
- SANTOS, R. *et al.* A Extensão do Conhecimento das Águas na Cidade. **Anais do XVII Enanpur**, São Paulo, 2017.
- SARTORI, A.; LOMBARDI NETO, F.; GENOVEZ, A. M. Classificação hidrológica de solos brasileiros para a estimativa da chuva excedente com o método do Serviço de Conservação do Solo dos Estados Unidos Parte 1: Classificação. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 10, n. 4, p. 05-18, 2005.
- SILVA, M. M. de A. **Água em meio urbano. Favelas nas cabeceiras**. Tese (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo). 270 f. 2013. Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte. 2013.
- SILVA, P. O. da. **Análise de técnicas compensatórias de drenagem urbana para atenuação de inundações em uma sub-bacia do rio Jiquiá no Recife**. 139 f. 2010. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Universidade Federal de Pernambuco, Recife. 2010.
- SILVEIRA, A.L.L. Hidrologia Urbana no Brasil. *In*: BRAGA, B.; TUCCI C.E.M.; TOZZI, M. **Drenagem Urbana: Gerenciamento, Simulação, Controle**. ABRH Publicações, nº 3. Porto Alegre: Editora da Universidade, 1998.
- SOUZA, M. L. de. **Mudar a Cidade: Uma Introdução Crítica ao Planejamento e a Gestão Urbanos**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil. 2002.
- SOUZA, C. *et al.* Desenvolvimento Urbano de Baixo Impacto: Planejamento e Tecnologias Verdes para a Sustentabilidade das Águas Urbanas. RBRH – **Revista Brasileira de Recursos Hídricos** Volume 17 n.2 – Abr./Jun. 2012, 9-18.
- TELLES, D. (org.). **Ciclo Ambiental da Água: da chuva a gestão**. Editora Blucher, São Paulo, 2013. 500 p.

TUCCI, C. E. M. **Gestão de Águas Pluviais Urbanas**. Ministério das Cidades – Global Water Partnership - World Bank – Unesco, 2005.

TUCCI, C. E. M. **Gestão da Drenagem Urbana**. Brasília, DF: CEPAL. Escritório no Brasil/IPEA, 2012. (Textos para Discussão CEPAL-IPEA, 48). 50p.

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

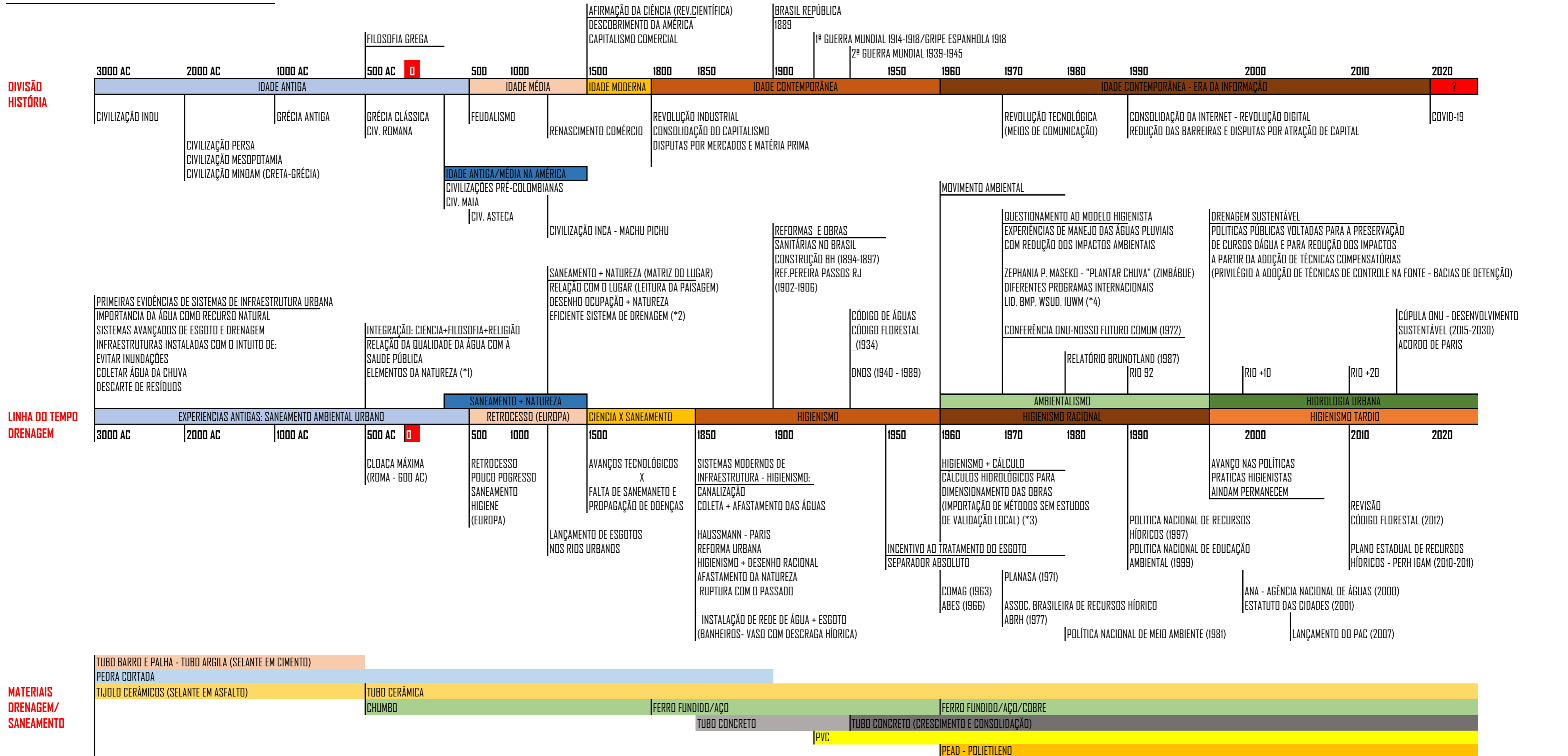
TUCCI, C. E. M. Regulamentação da drenagem urbana no Brasil. *In*: **REGA - Revista de Gestão de Água da América latina**. Porto Alegre: ABRH, v. 13, n. 1, jan./jun. 2016.p. 29-42.

APÊNDICE

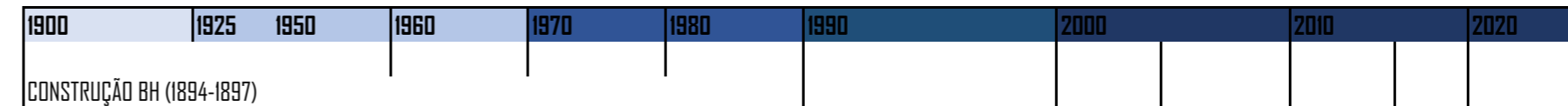
PRANCHA 01: Linha do tempo – cronologia da drenagem urbana.

PRANCHAS 02 a 09: Pranchas elaboradas pelos estudantes de graduação da UFMG e PUC Minas – exercício de desenho e implantação de MCD na circunstância da escola EMPEV.

HISTORIOGRAFIA DA DRENAGEM URBANA



LINHA DO TEMPO DA DRENAGEM BELO HORIZONTE



(*1) ANDRADE, LIZA (2014:78) - FILOSOFIA GREGA BASE PARA CONCEITOS ATUAIS DO URBANISMO ECOLÓGICO
Tratado de Hipócrates "Ares, Águas, Lugares" que discorria sobre os efeitos dos fatores ambientais na saúde dos indivíduos e nas comunidades.

(*2) MENEGAT, RUALDO (2006:298) - EFICIENTE SISTEMA DE DRENAGEM INTEGRADO A MATRIZ DO LUGAR
Wright et al. (1997). "a drenagem de Machu Picchu e suas características especiais representam o segredo de sua longevidade"

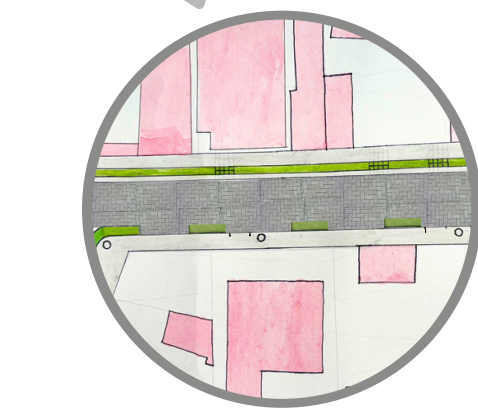
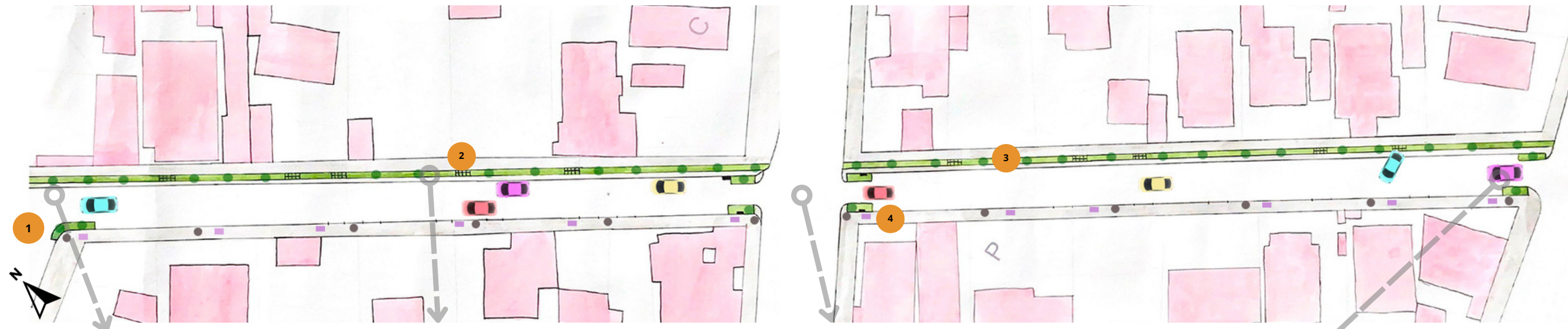
(*3) PINHEIRO, CRISTIANE (2019:45) - POLÍTICAS PÚBLICAS DE MANEJO DE ÁGUAS EM BH
A etapa de racionalização e normatização não se desenvolveu de forma ideal no Brasil
Problema: importação direta de métodos sem estudos de validação local

(*4) Best Management Practices (BMPs), Sustainable Urban Drainage Systems (Suds),
Low Impact Development (LID), Water Sensitive Urban Design (WSUD) e Integrated Urban Water Management (IUWM)

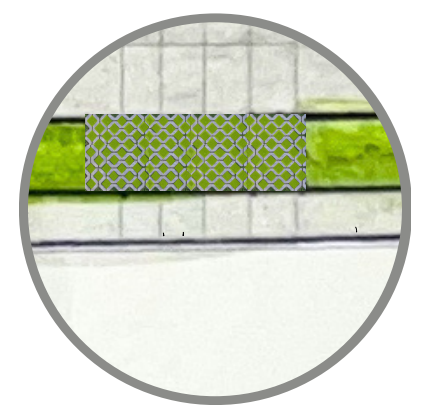
(*5) INSTALAÇÃO DE PLACAS DE RISCO DE INUNDAÇÃO (2008), CARTA DE INUNDAÇÕES (2009)
NACS-NÚCLEOS DE ALERTA DE CHUVAS(2009), INSTALAÇÃO DE MONITORAMENTO HIDROLÓGICO (2011)

ACÇÕES - PDDU BH 2ª ETAPA (*5)
PROJETOS DE SANEAMENTO
IMPLANTAÇÃO DE BACIAS DE DETENÇÃO
PROG. DE VALORIZAÇÃO DAS NASCENTES URBANAS (2012)
MACROZONAMENTO RMBH (2015)
PLANO DIRETOR BH (2019)

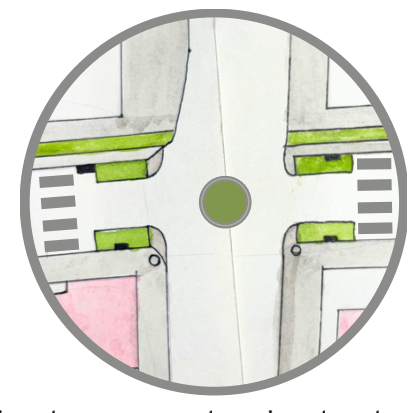
Intervenção no quarteirão



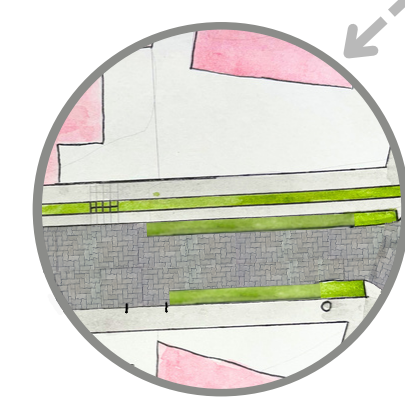
Substituição do asfalto por piso intertravado na via e adição de módulos no meio do quarteirão.



Pisograma nas áreas de circulação de veículos para drenagem e proteção da grama.

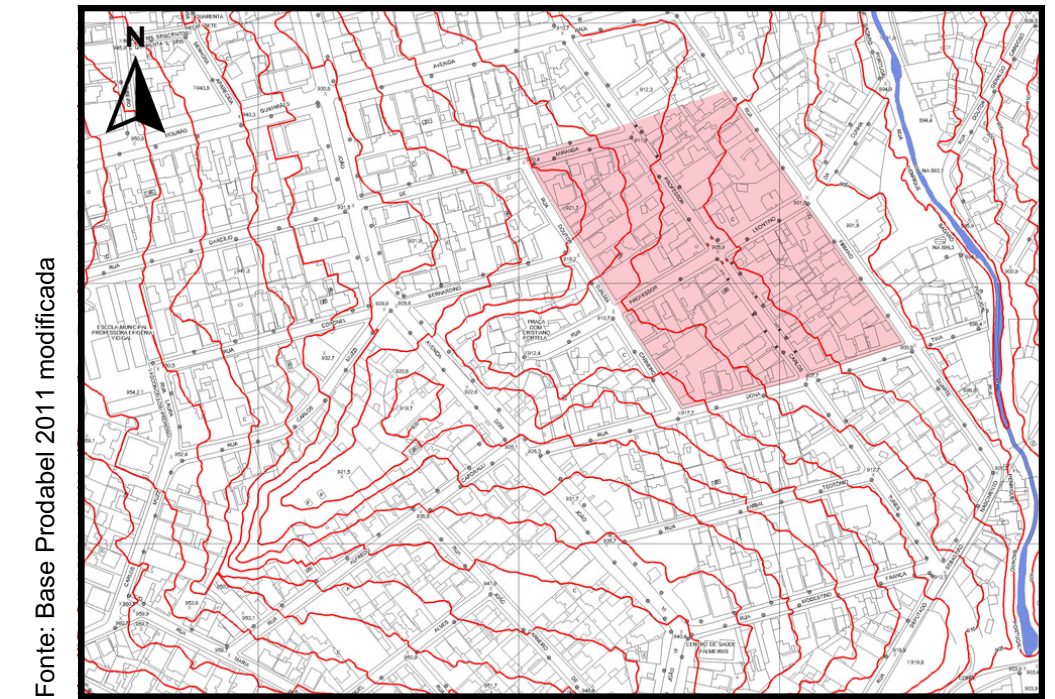


Ideia do grupo da via de drenagem principal: rotatória com módulo de jardim de chuva e adição de faixa de pedestres no cruzamento das duas vias.



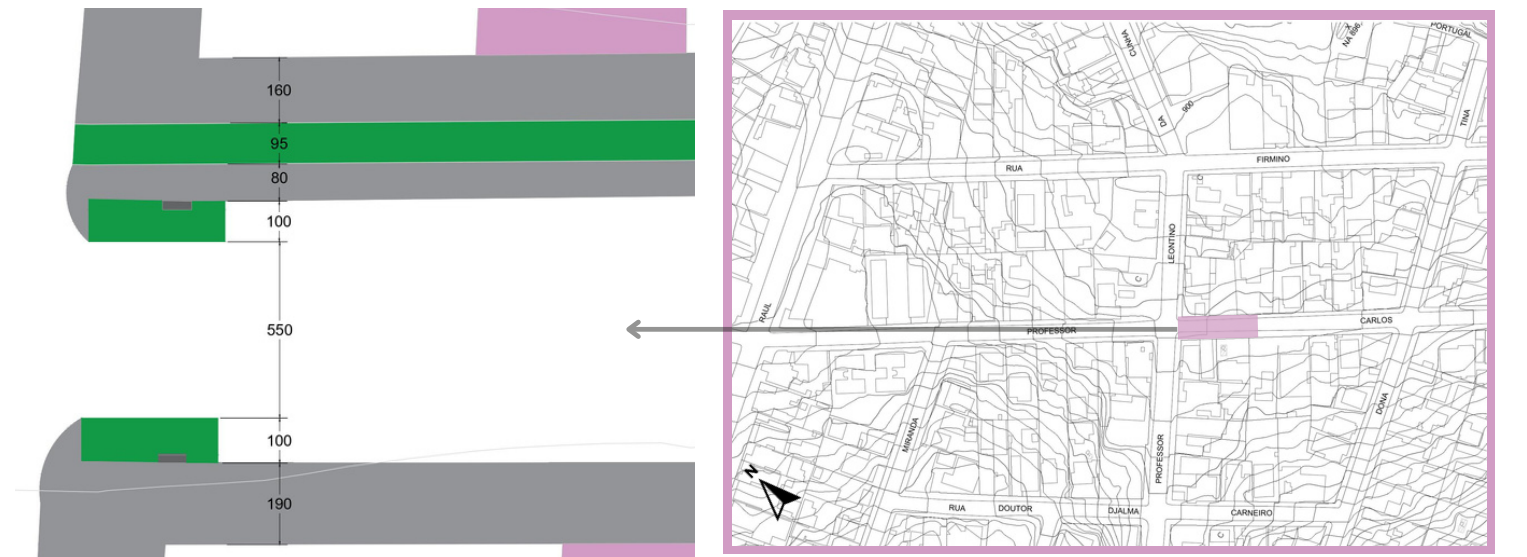
Substituição do asfalto por piso intertravado na via e alongamento dos módulos de esquina.

Mapa de implantação

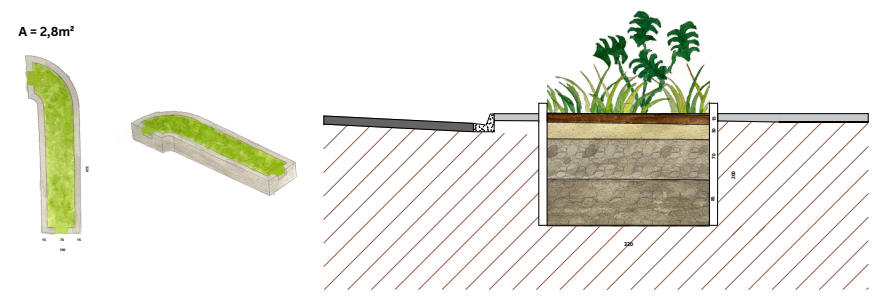


Fonte: Base Prodabel 2011 modificada

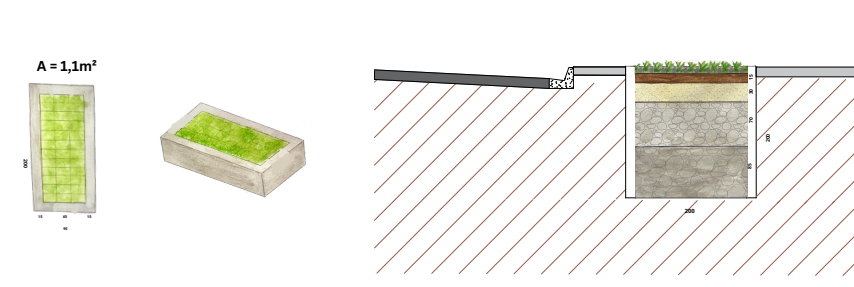
Cotas da via e do passeio



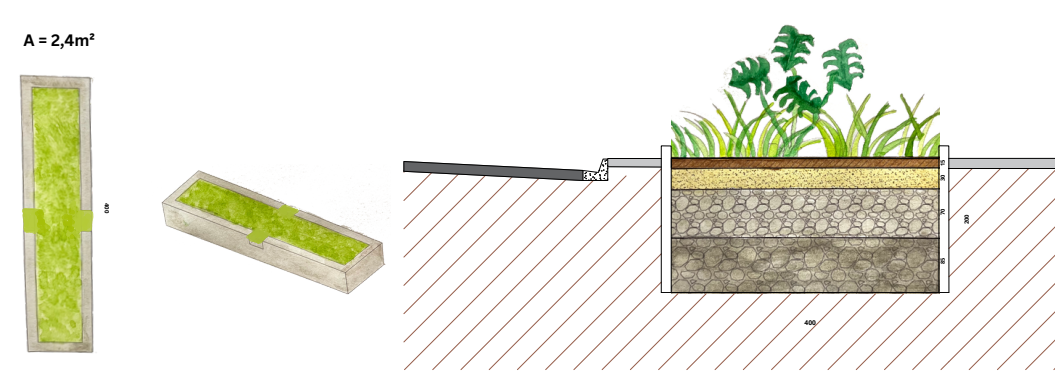
1 Módulo esquina



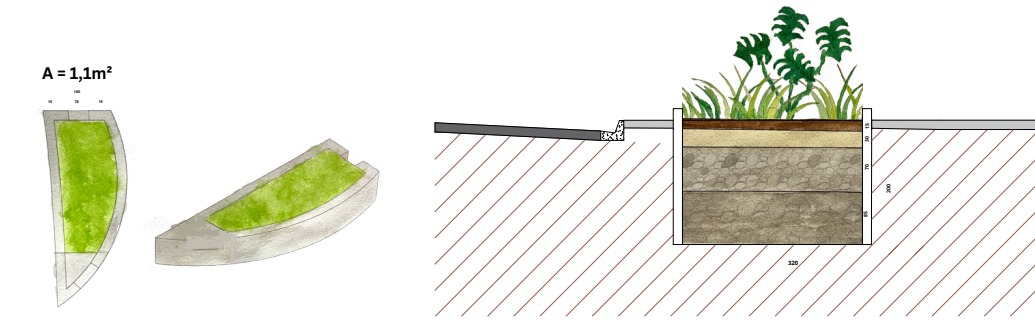
2 Módulo garagem



3 Módulo calçada



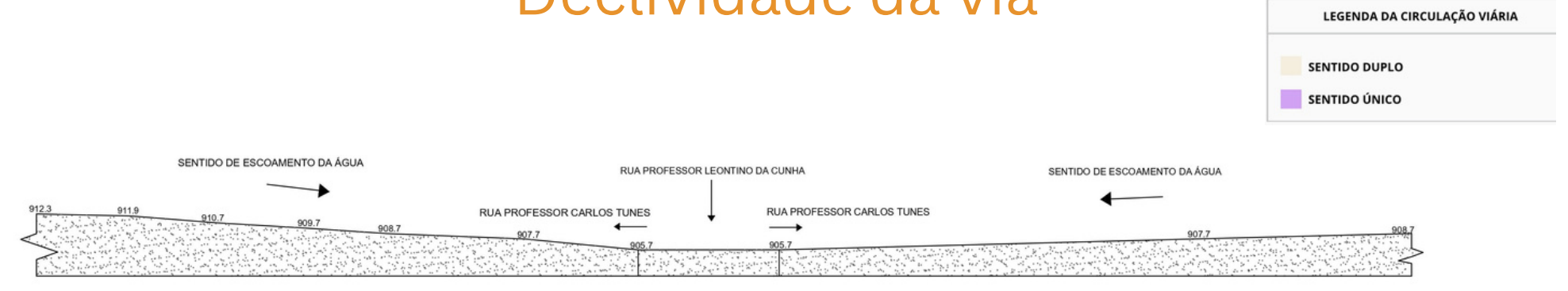
4 Módulo cruzamento



LEGENDA DE CAMADAS JARDIM DE CHUVA

- CAMADA DE SUBSTRATO
- CAMADA FILTRANTE DE AREIA
- CAMADA DE ARMAZENAMENTO AGREGADO FINO
- CAMADA DE ARMAZENAMENTO AGREGADO GRAUÍDO

Declividade da via



LEGENDA DA CIRCULAÇÃO VIÁRIA

- SENTIDO DUPLO
- SENTIDO ÚNICO

Circulação viária

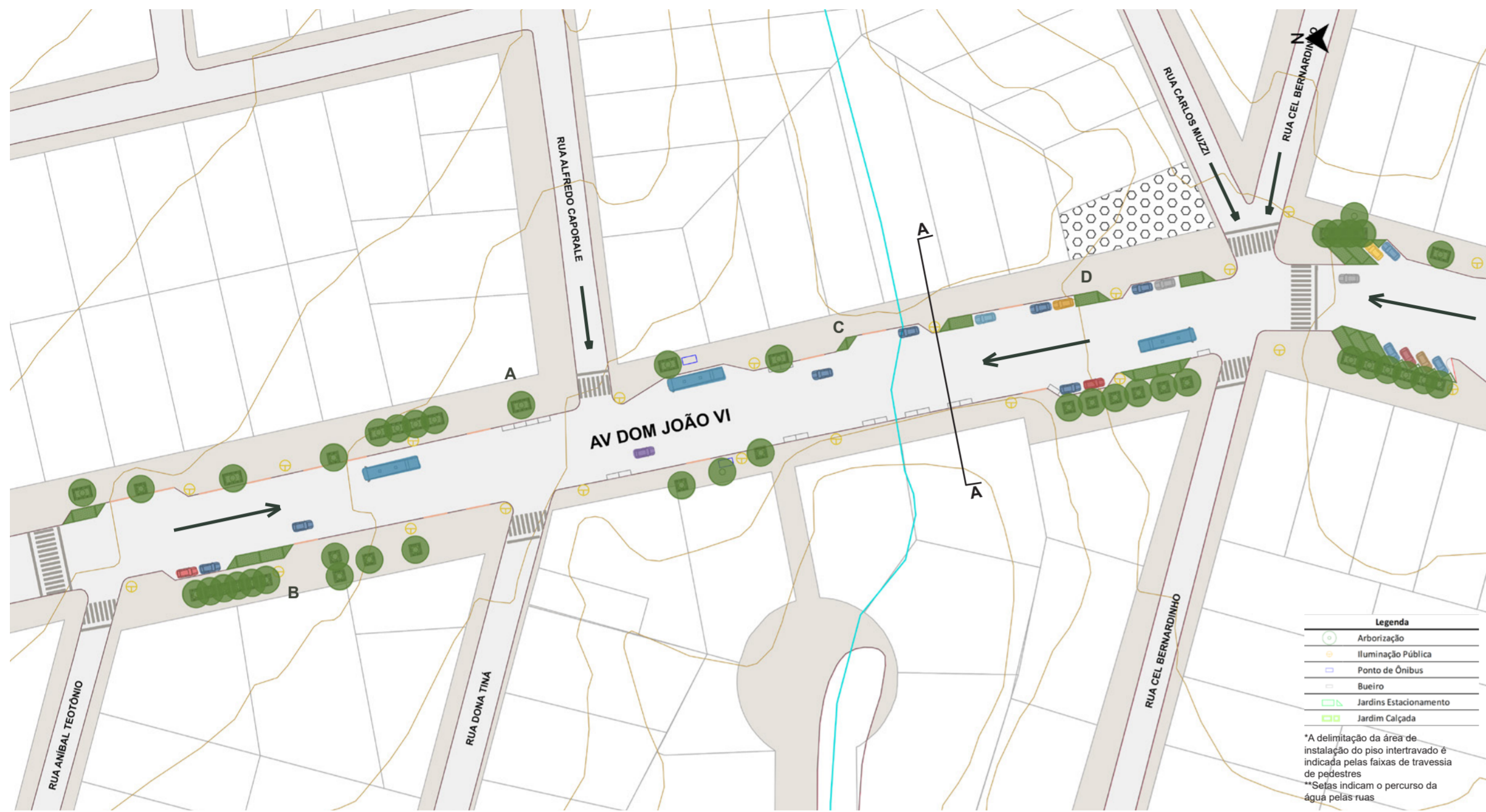


Foto inserção

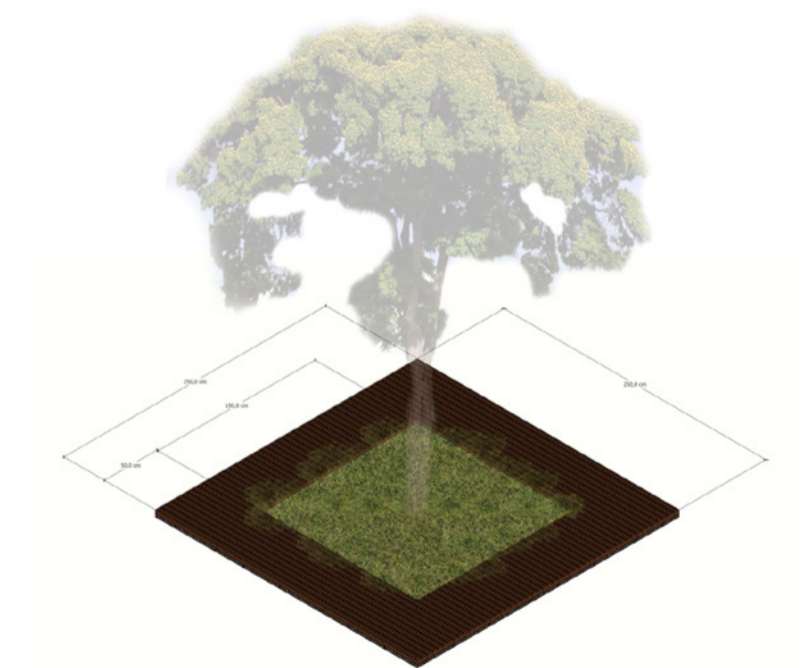
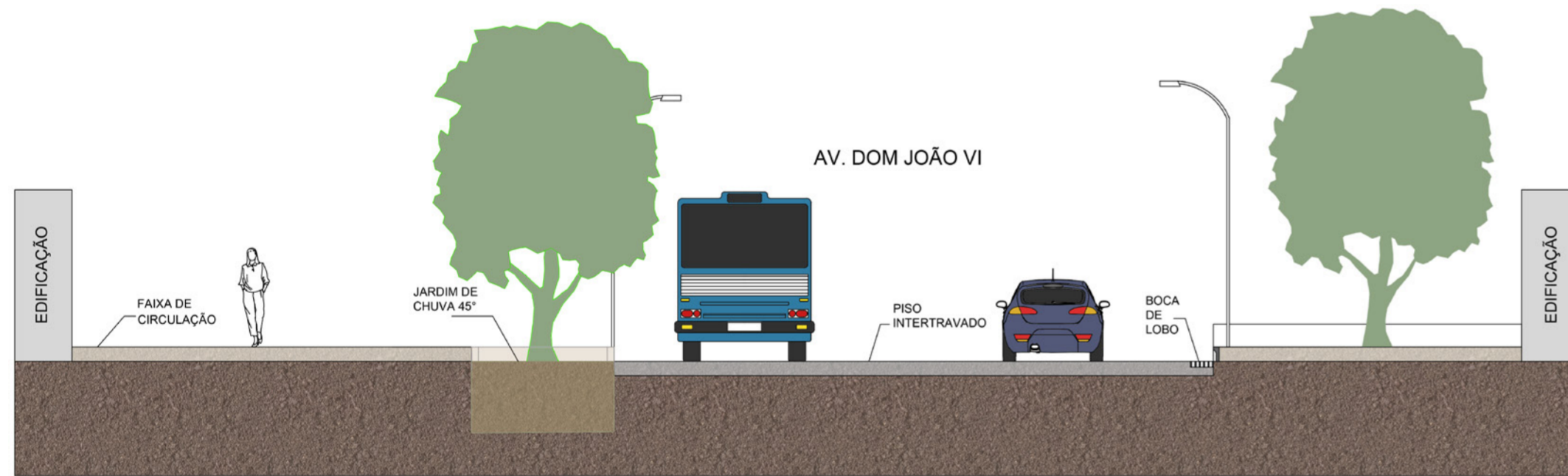
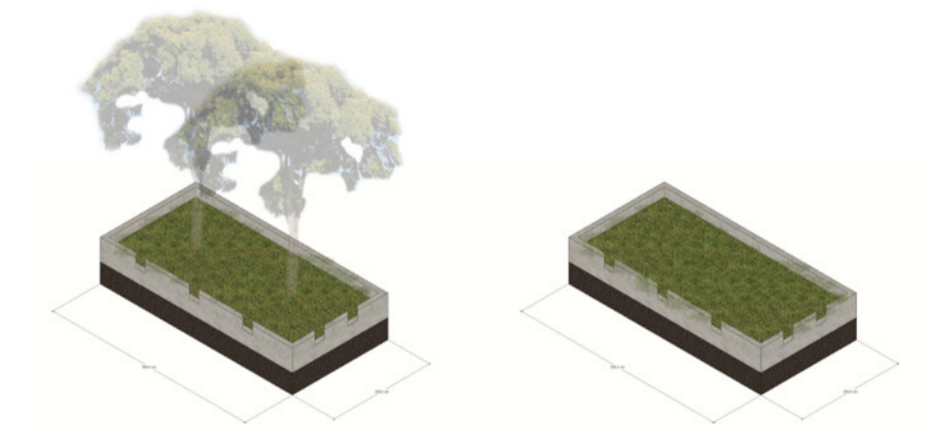
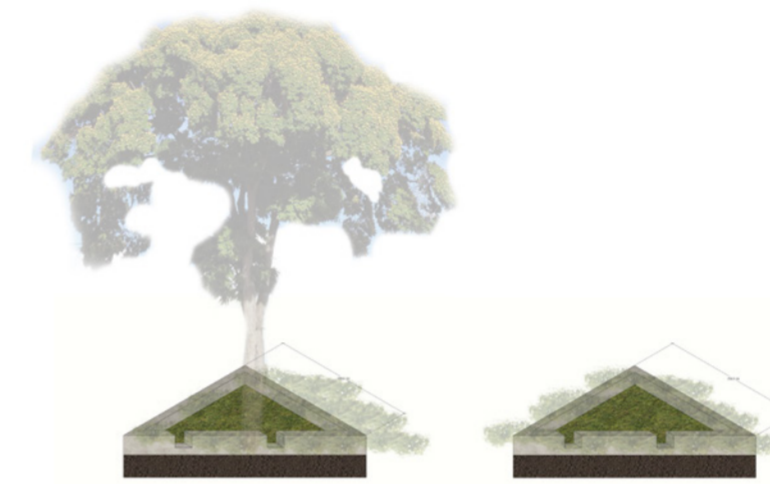


Fonte: Elaborada pelas autoras

| | | |
|---|---|----------------|
| INSTITUIÇÃO: UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS | | |
| CURSO: Arquitetura e Urbanismo | GRUPO: Ana Luiza, Lorena Andrade, Luisa Alves | |
| PROFESSOR: Roberto Estaquio/ Leonardo Polizzi | DISCIPLINA: ARQ011-Prob. Parcel. do Solo a Assentos Habitacionais | |
| DATA: 05/04/2023 | FASE: Projeto de módulos de jardim de chuva | PRANCHA: 01/01 |



PLANTA



CORTE AA

Planilha de quantificação:

ÁREA IMPERMEÁVEL ANTES DA PROPOSTA: 9940,00m²
 JARDIM DE CHUVA - MÓDULO C e D (vagas): 196,50m²
 JARDIM DE CHUVA - MÓDULO A e B (calçada): 268,45m²
 ÁREA PERMEÁVEL NOVA (SOMA MÓDULOS): 464,95m²
 PAVIMENTO INTERTRAVADO: 4372,00m²

CORTE TRANSVERSAL



TP1 B | ARQ011

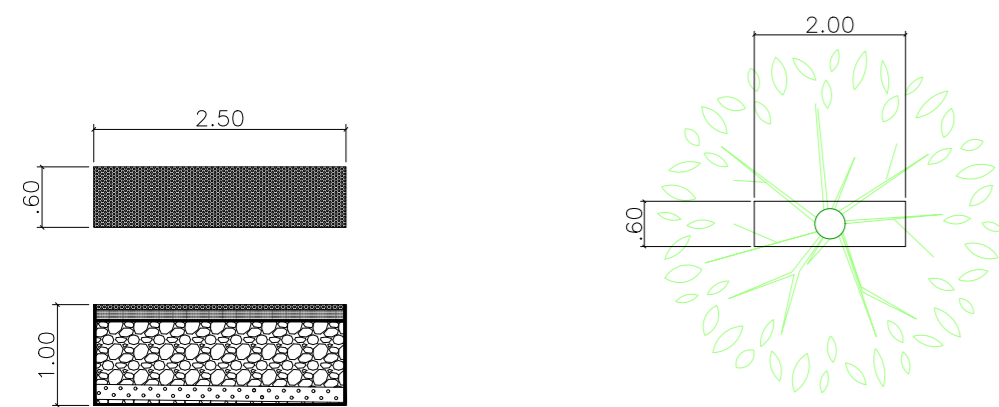
MÓDULOS E APLICAÇÕES

HAROLDO VIVEIROS | JULIANA BAPTISTA | THAÍS DA MATA | VICTÓRIA INEZ

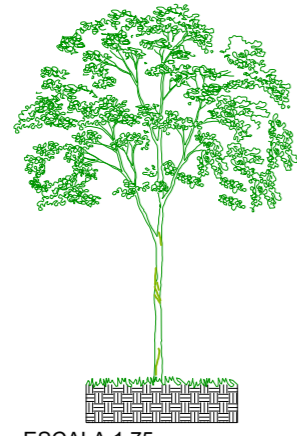
CONTEXTUALIZAÇÃO DO OBJETO DE ESTUDO

A visita em campo feita no dia 18/03/2023 nos possibilitou entender a dinâmica local de forma mais vívida e aproximada. O objeto de estudo se caracteriza como a **Bacia hidrográfica do Cercadinho**, a mesma se localiza na região Oeste de Belo Horizonte, próxima a Serra do Curral e entre as regiões CentroSul e a região do Barreiro. Percebemos então, que a região se mostra majoritariamente residencial, no entanto, possui alguns comércios principalmente concentrados na Avenida Dom João VI.

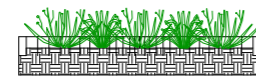
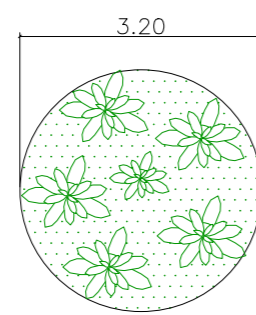
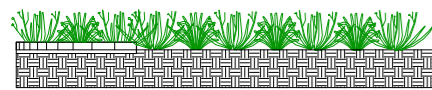
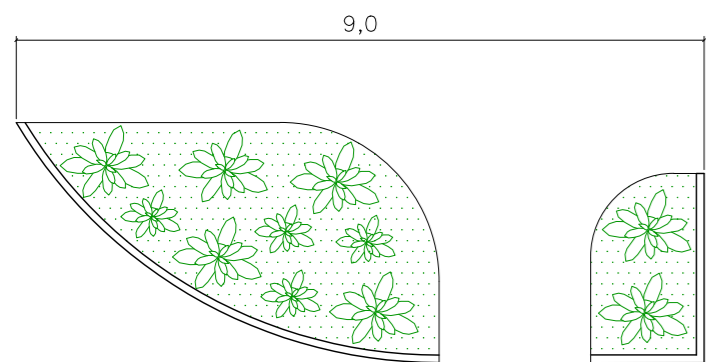
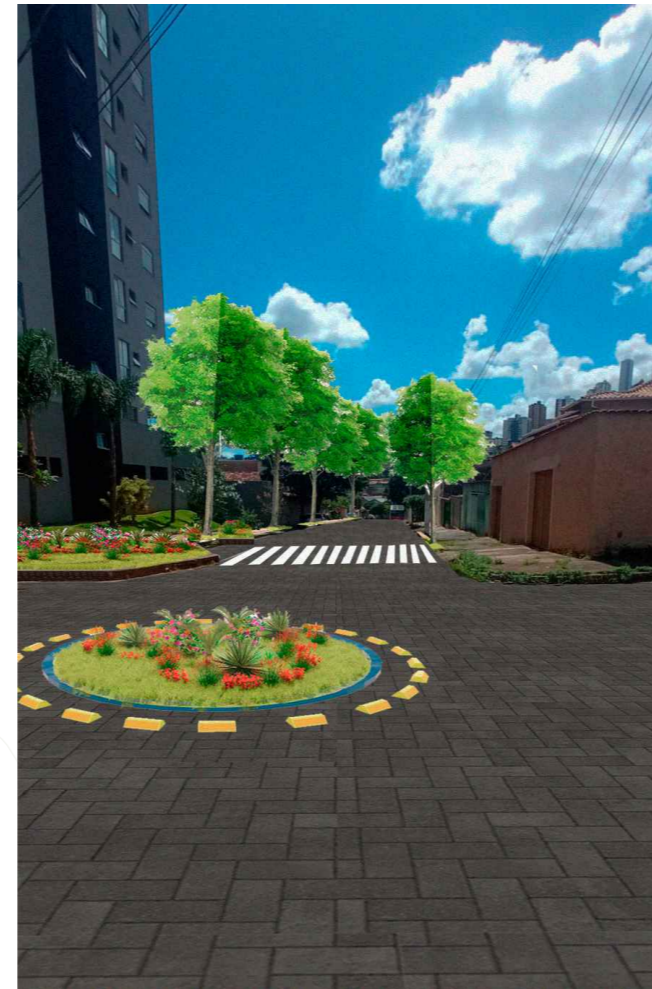
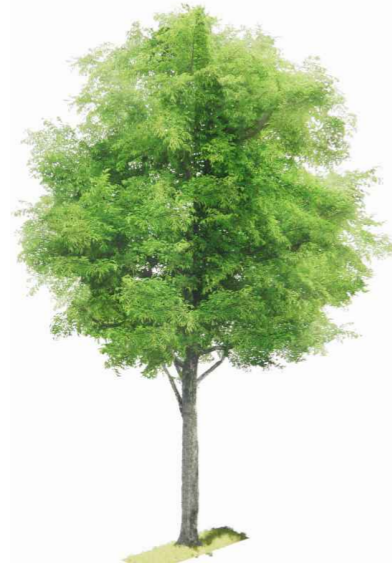
Dando enfoque na área destinada ao grupo, a mesma se trata mais especificamente da **Rua Professor Leontino da Cunha**, sendo ela classificada como a via principal de drenagem. O desafio é propor um manejo das águas pluviais a partir de medidas compensatórias.



ESCALA 1:50



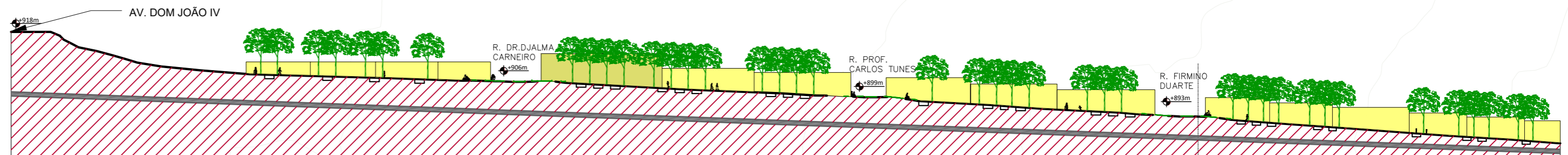
ESCALA 1:75



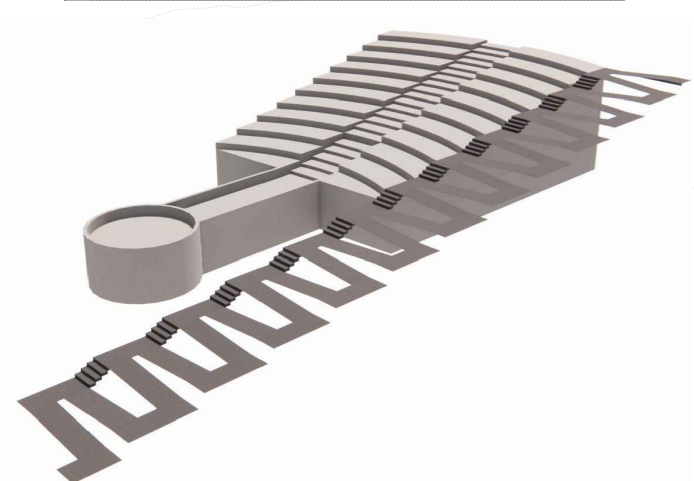
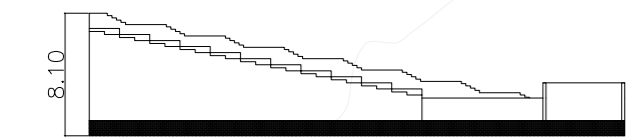
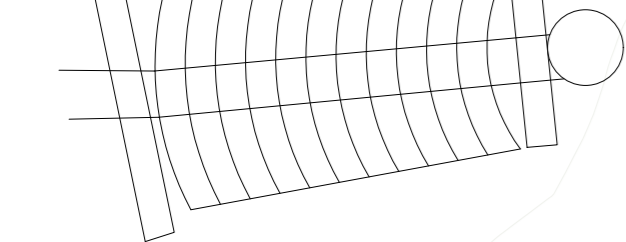
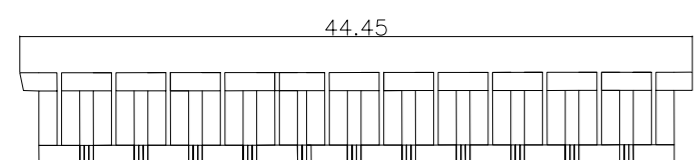
ESCALA 1:75



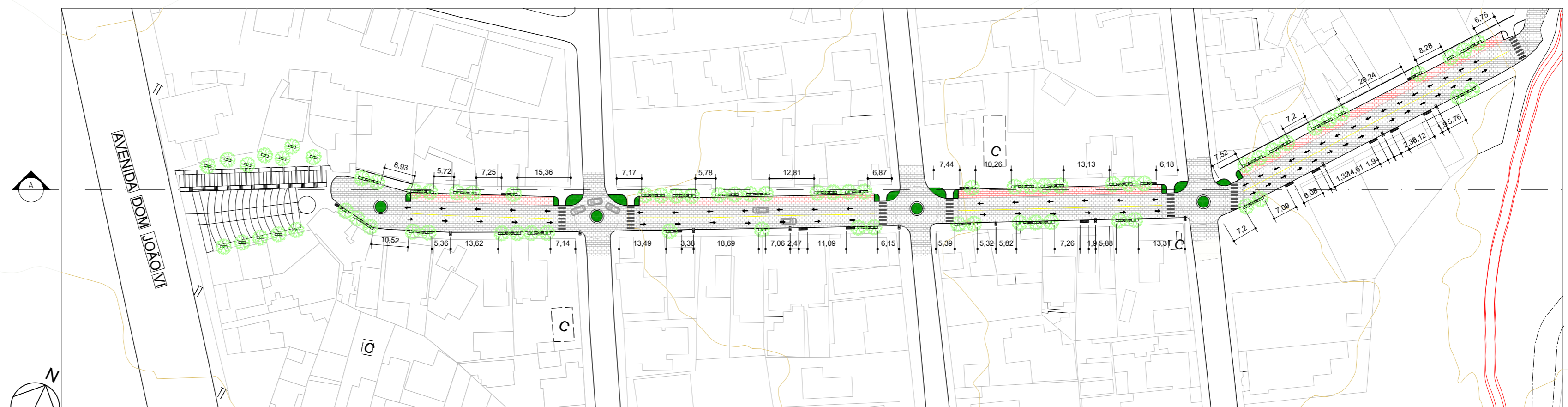
ESCALA 1:75



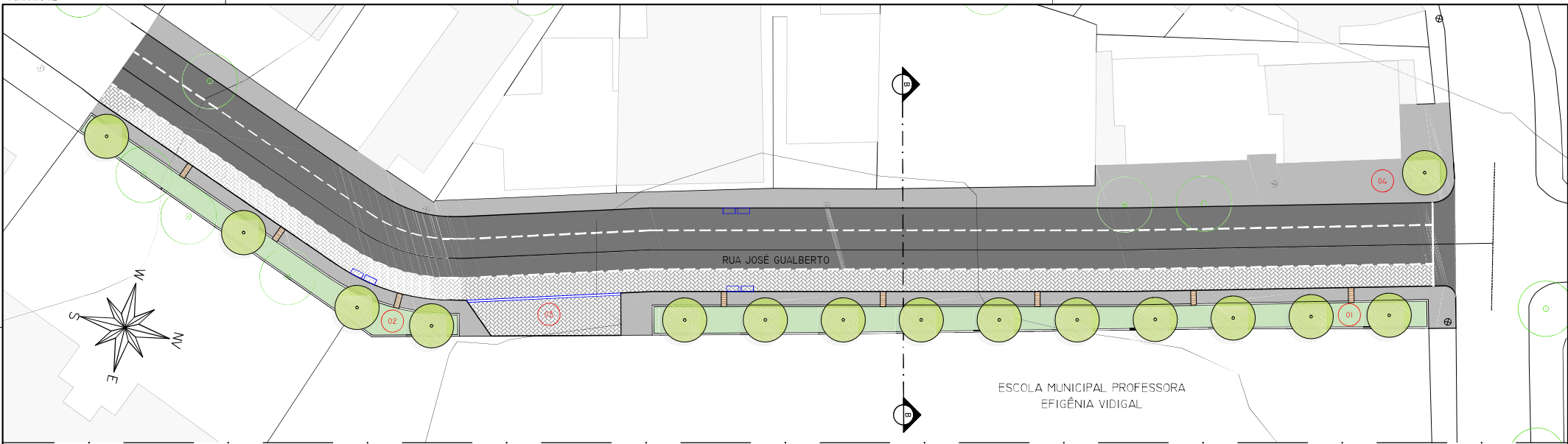
ESCALA 1:1000



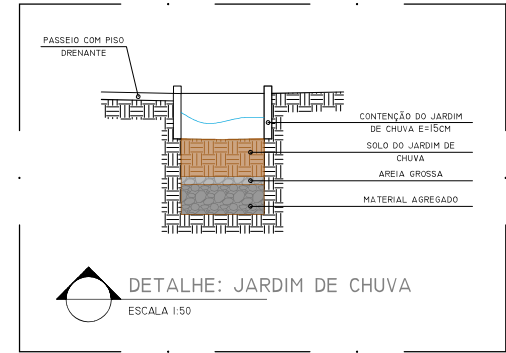
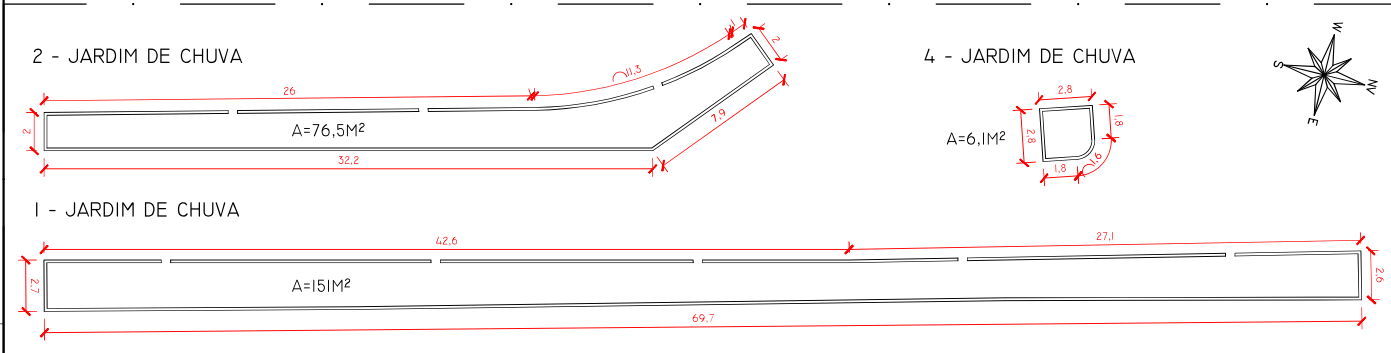
ESCALA 1:500



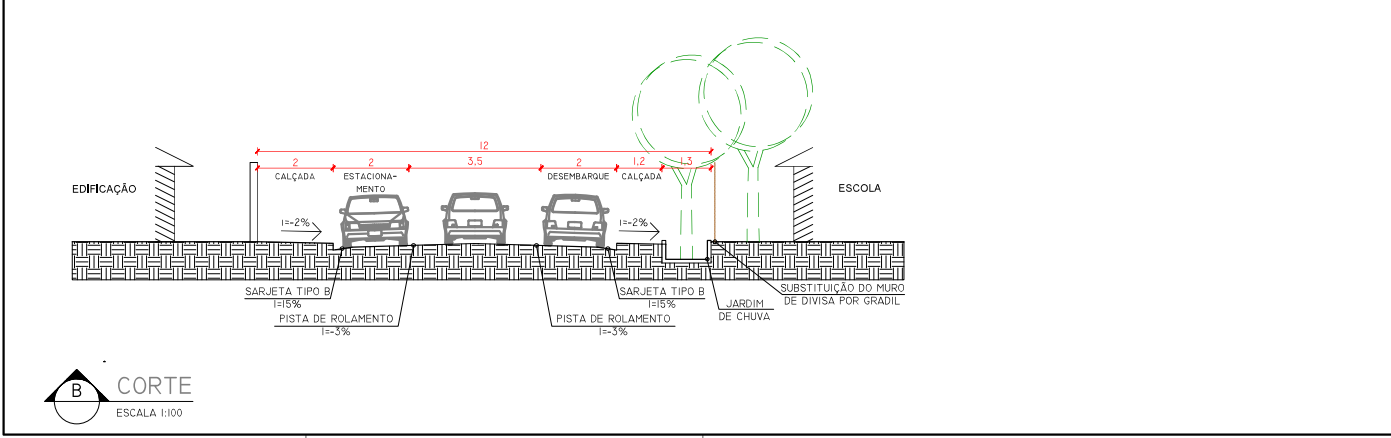
ESCALA 1:1000



PLANTA - RUA JOSÉ GUALBERTO
ESCALA 1:250



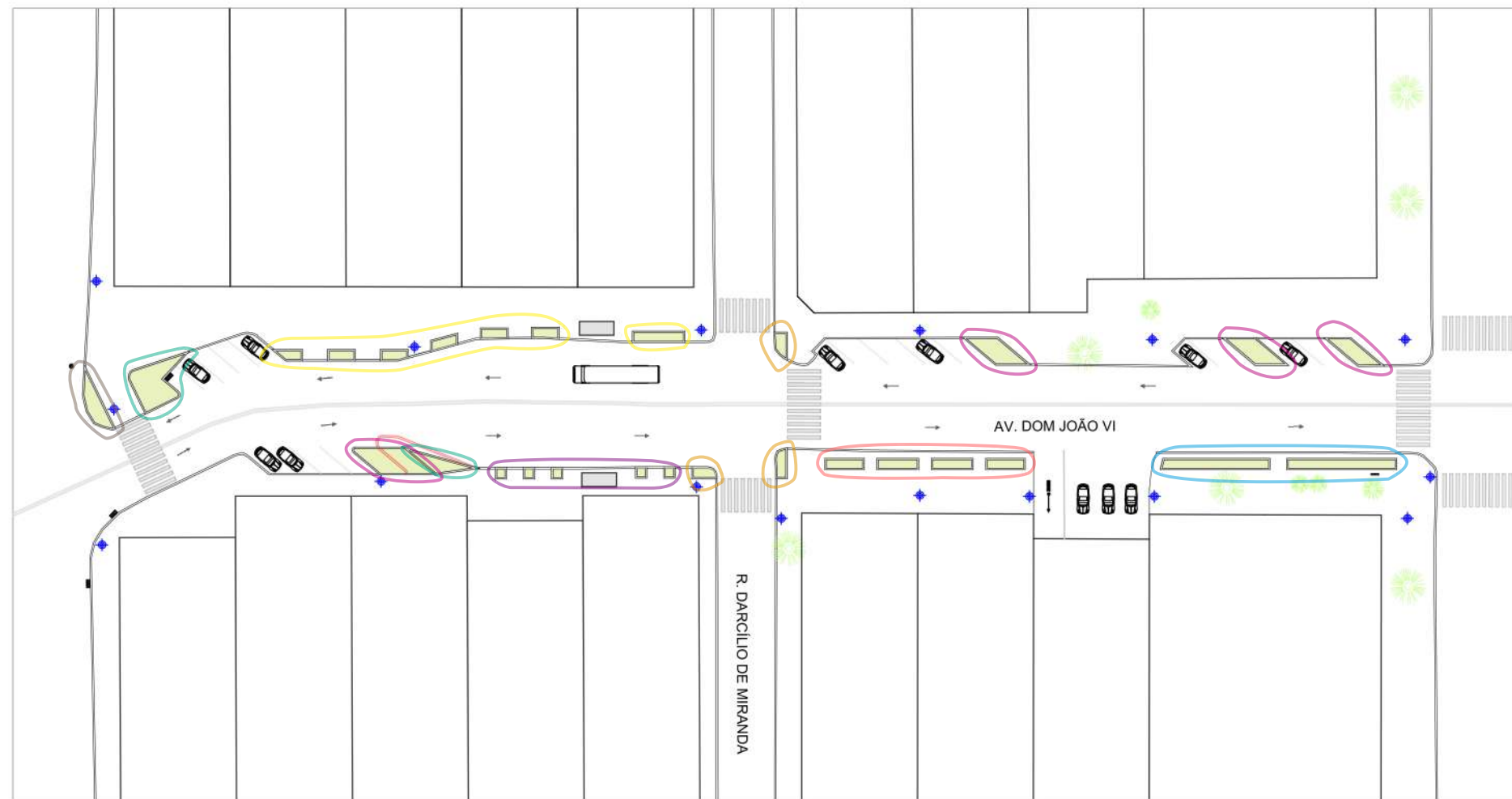
PLANTA - DETALHES
ESCALA 1:200



B CORTE
ESCALA 1:100

| LEGENDA | |
|---------|------------------------|
| ⊙ | POSTE EXISTENTE |
| ○ | ÁRVORE EXISTENTE |
| ● | ÁRVORE PROPOSTA |
| □ | BOCA DE LOBO EXISTENTE |
| ▬ | CANALETA |
| ▨ | ASFALTO POROSO |
| ▩ | PISO INTERTRAVADO |
| ▧ | PISO DRENANTE |

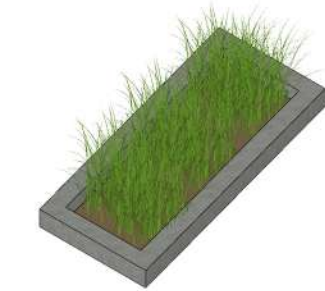
| | |
|---|--------------------------|
| UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS | PROF.: ROBERTO EUSTÁQUIO |
| ESCOLA DE ARQUITETURA E URBANISMO | |
| ARQ011 - OF. INT. PROB. PARCELAMENTO DO SOLO E ASSENT. HAB. | FOLHA 1/3 |
| GRUPO: ISABELA BRAVO, ISABELLY ROSSELINY E MARINA MALACO | ABR/2023 |
| TPI-B: PROJETO JARDIM DE CHUVA | ESC.: INDICADA |



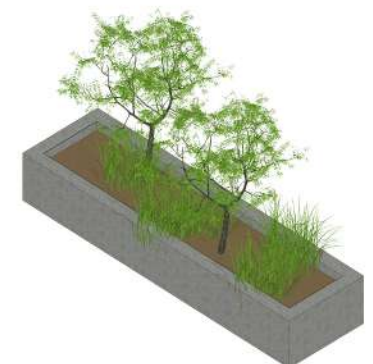
PLANTA DE IMPLANTAÇÃO

| LEGENDA | |
|------------|--------------------|
| SIMBOLOGIA | DESCRIÇÃO |
| | BUEIRO |
| | ILUMINAÇÃO |
| | ÁRVORES EXISTENTES |
| | FLUXO DE VEÍCULOS |
| | LIXEIRAS |

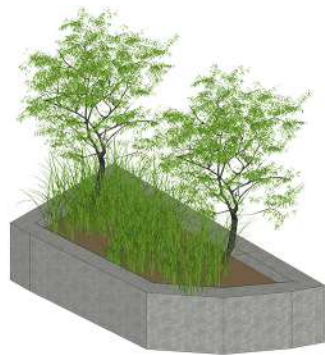
MODULO JUNTO AO MEIO FIO - RETANGULAR



MODULO AFASTADO DO MEIO FIO



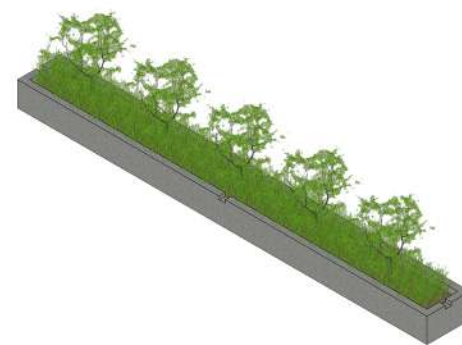
MODULO ESQUINA



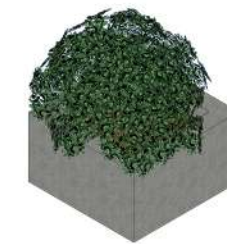
MODULOS IRREGULARES



MODULO AFASTADO DO MEIO FIO - LINEAR



MODULO JUNTO AO MEIO FIO - QUADRADO



MODULO VAGA 45°



MODULO ESQUINA IRREGULAR



JARDINS DE CHUVA NA VIA

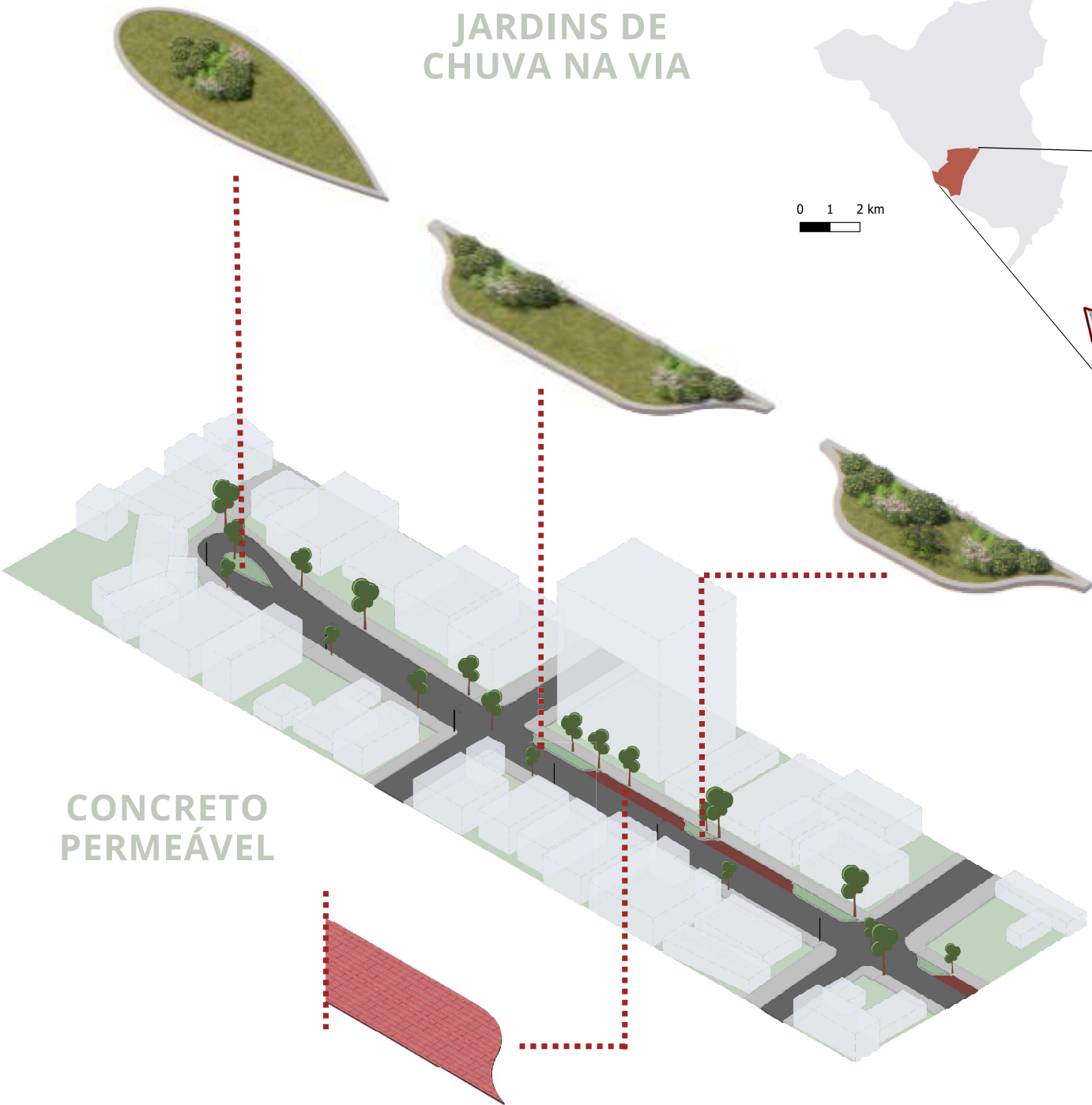
LOCALIZAÇÃO

0 1 2 km

0 50 100 m

0 100 200 m

- LEGENDA
- REGIONAL
 - OESTE
 - BAIRRO
 - Palmeiras
 - Área de Estudo
 - Rua Prof. Leontino da Cunha



CONCRETO PERMEÁVEL

A Rua Prof. Leontino da Cunha, situa-se dentro do município de Belo Horizonte, capital do estado de Minas Gerais. Demarcada pela linha tracejada no mapa acima, incluído na Regional Oeste, no Bairro Palmeiras.



