



CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DE MINAS GERAIS

DEPARTAMENTO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA AMBIENTAL

GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AMBIENTAL E SANITÁRIA

SIMULAÇÃO HIDROLÓGICA DA IMPLEMENTAÇÃO CONJUNTA DE
TELHADOS VERDES E MICRORRESERVATÓRIOS DOMICILIARES EM ÁREA
URBANA DE BELO HORIZONTE – MG

GUSTAVO VELLOSO DA MATTA

BELO HORIZONTE

2015

Gustavo
Velloso da
Matta

SIMULAÇÃO HIDROLÓGICA DA IMPLEMENTAÇÃO CONJUNTA DE TELHADOS
VERDES E MICRORRESERVATÓRIOS DOMICILIARES EM ÁREA URBANA DE BELO
HORIZONTE – MG

CEFET-MG

2015

GUSTAVO VELLOSO DA MATTA

SIMULAÇÃO HIDROLÓGICA DA IMPLEMENTAÇÃO CONJUNTA DE
TELHADOS VERDES E MICRORRESERVATÓRIOS DOMICILIARES EM ÁREA
URBANA DE BELO HORIZONTE – MG

Trabalho de conclusão de curso
apresentado ao Centro Federal de
Educação Tecnológica de Minas Gerais
como requisito parcial para obtenção do
título de Engenheiro Ambiental e
Sanitarista.

Orientador: Prof^a. Dr^a. Luciana Peixoto Amaral

BELO HORIZONTE

2015

MATTA, G. V. Simulação hidrológica da implementação conjunta de telhados verdes e microrreservatórios domiciliares em área urbana de Belo Horizonte. 2015. 109 f. Monografia (Graduação em Engenharia Ambiental e Sanitária) – Departamento de Ciência e Tecnologia Ambiental, Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2015. Orientadora: Luciana Peixoto Amaral



Serviço Público Federal – Ministério da Educação
Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais
**CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE ENGENHARIA
AMBIENTAL E SANITÁRIA**

**ATA DE DEFESA FINAL
TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO II**

Aos três dias do mês de julho de 2015, no *campus* I do Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, reuniram-se os professores Luciana Peixoto Amaral, Lília Maria de Oliveira e André Luiz Marques Rocha, para participarem da banca de avaliação do Trabalho de Conclusão de Curso intitulado “Simulação Hidrológica da Implementação Conjunta de Telhados Verdes e Microrreservatórios Domiciliares em Área Urbana de Belo Horizonte – MG” de autoria do aluno Gustavo Velloso da Matta, do curso de Engenharia Ambiental e Sanitária. Uma vez avaliado, o trabalho foi declarado:

- Aprovado.
 Reprovado.

Belo Horizonte, 03 de julho de 2015.

Banca Examinadora:

Prof.^a Orientadora Dra. Luciana Peixoto Amaral

Prof.^a MSc. Lília Maria de Oliveira

Prof. MSc. André Luiz Marques Rocha

Ao meu filho Davi para quem dedico toda
a minha vida.

AGRADECIMENTOS

À minha orientadora, Prof^a. Dr^a. Luciana Peixoto Amaral pelos conselhos sempre úteis e precisos com que, sabiamente, orientou este trabalho.

Aos meus pais e família pelo apoio incondicional em todos os momentos. Aos amigos de universidade por tornarem mais fáceis todos os momentos de dificuldades e únicos os momentos de alegria.

Trate bem a terra. Ela não foi doada a você pelos seus pais. Ela foi emprestada à você pelos seus filhos.

Provérbio antigo do Quênia

RESUMO

O processo de urbanização acompanhado de uma intensa impermeabilização do solo e do próprio histórico das obras de drenagem, que foi regido por técnicas clássicas na maioria das capitais brasileiras, são as principais causas das enchentes no país. Em Belo Horizonte, enfrentam-se sérios problemas relacionados às cheias provocadas por precipitações críticas. Neste estudo buscou-se analisar a utilização de medidas não convencionais de drenagem urbana, de forma a minimizar os problemas ambientais, sociais e econômicos gerados pelas enchentes. O objetivo principal foi identificar e analisar o impacto (de caráter hidrológico) da implantação conjunta de microrreservatórios de retenção domiciliares e telhados verdes em uma quadra urbanizada do município de Belo Horizonte. Para tanto, foi feito um estudo hidrológico que veio a subsidiar os dados de entrada do modelo chuva-vazão HEC-HMS, por meio da discretização temporal da chuva. Dimensionou-se um microrreservatório de volume igual a 3,48 m³ e altura de 1 m, com orifício de diâmetro igual a 0,110 m a partir de simulação hidrológica de um lote de 580 m² em ambiente HEC-HMS(2000). Após definidas as dimensões do microrreservatório, simulou-se a interação desses dispositivos em conjunto com telhados verdes em uma quadra composta por vinte e quatro lotes. Obteve-se uma redução de 46,4 % no pico de escoamento superficial produzido na quadra. No total foram simulados quatro cenários, para verificar a eficiência dos dispositivos: telhados verdes e microrreservatórios, isolada e coletivamente, além de sua não utilização. Os resultados obtidos foram considerados satisfatórios e condizentes com demais estudos abordados no referencial teórico da pesquisa.

Palavras-Chave: Microrreservatórios. Telhados Verdes. Drenagem Urbana. Controle de Enchentes.

ABSTRACT

The process of urbanization accompanied by an intense soil sealing and the own history of drainage that was governed by classical techniques in most Brazilian cities are the main causes of flooding in the country. Belo Horizonte faces serious problems related to flooding caused by extreme rainfall. Motivated by this, this study investigates the use of unconventional measures to combat the drainage problem. The main objective was to identify and analyze the impact (of hydrological character) of the joint implementation of micro reservoir and green roofs in blocks of an urban area in the city of Belo Horizonte. To that end, a hydrological study that was made came to subsidize the input data of rainfall-runoff model HEC-HMS by rain time discretization. A micro-reservoir of volume equal to 3.48 m³, height of 1 m and diameter hole equal to 0.110 m was scaled up by using a hydrological simulation of a lot of 580 m² in HEC-HMS environment (2000). After defining the dimensions for the micro-reservoir, the interaction of these devices together with green roofs in a block consisting of twenty-four batches was simulated, resulting in a reduction of 46.4% in peak runoff produced in court. In all, four scenarios were simulated, to get a sense of the devices efficiency: green roofs and micro reservoir, isolated and collectively, and non-use. The results were satisfactory and consistent with other studies discussed in the theoretical framework of the study.

Keywords: micro-reservoir. Green Roofs. Urban drainage. Flood Control.

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS

CN	Curver Number
LPOUS/BH	Lei de Uso e Ocupação do Solo de Belo Horizonte – MG (Lei 7.166/96)
MR	Microrreservatório de detenção domiciliar
TR	Tempo de Retorno
TV (<i>Green Roofs</i>)	Telhado Verde
PBH	Prefeitura Municipal de Belo Horizonte
SUDECAP	Superintendência de Desenvolvimento da Capital
ZPAM	Zona de Preservação Ambiental
ZP	Zona de Proteção
ZAR	Zona de Adensamento Restrito
ZA	Zona Adensada
ZAP	Zona de Adensamento Preferencial
ZC	Zona Central
ZEIS	Zona de Especial Interesse Social
ZE	Zona de Grandes Equipamentos
ZHIP	Zona do Hipercentro

SUMÁRIO

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS.....	11
1 MOTIVAÇÃO E JUSTIFICATIVA.....	13
2 INTRODUÇÃO.....	14
2.1 Objetivos.....	15
2.2 Estrutura da Monografia.....	16
3 REVISÃO DE LITERATURA.....	17
3.1 Técnicas de Drenagem Urbana.....	17
3.1.1 Técnicas compensatórias de drenagem urbana.....	19
3.2 Parâmetros hidrológicos na drenagem urbana.....	35
3.2.1 Tempo de concentração.....	35
3.2.2 Tempo de retorno.....	35
3.2.3 Duração de chuva de projeto.....	36
3.2.4 Séries históricas e sintéticas de precipitação.....	37
3.3 Modelagem hidrológica na drenagem urbana.....	40
3.3.1 Hidrograma de projeto.....	42
3.3.2 Modelo hidrológico HEC-HMS.....	43
3.4 Panorama da drenagem urbana na cidade de Belo Horizonte.....	46
3.4.1 Inundações na cidade de Belo Horizonte –MG.....	48
4 METODOLOGIA.....	52
4.1 Escolha da Área de Estudo.....	52
4.2 Estudo Hidrológico.....	55
4.2.1 Análise de Chuvas Intensas.....	55
4.2.2 Preenchimento de falhas das séries históricas de vazão.....	59
4.3 Dimensionamento dos Microrreservatórios.....	61
4.3.1 Dispositivos de descarga e volume dos MRs.....	63
4.4 Simulações com os dispositivos isolada e conjuntamente.....	64
4.4.1 Parâmetros utilizados na simulação.....	64
5 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	66
5.1 Estudo Hidrológico.....	66
5.1.1 Distribuição temporal das chuvas: Método de Huff (50% do 2º quartil).....	66
5.2 Dimensionamento dos Microrreservatórios.....	68

5.2.1	Testes com TR=10 anos e Duração = 10min	68
5.3	Simulações hidrológicas da área de estudo.....	70
6	CONCLUSÕES GERAIS E RECOMENDAÇÕES	73
7	REFERENCIAL BIBLIOGRÁFICO	75
8	APENDICE I	84

1 MOTIVAÇÃO E JUSTIFICATIVA

A importância da conservação de água enfatiza a necessidade do desenvolvimento e aplicação de metodologias com o objetivo de controlar e proteger os recursos ambientais, visando à sustentabilidade hídrica e ambiental, bem como a qualidade de vida da população.

Nos últimos anos, com a crescente conscientização ambiental associada aos frequentes problemas com relação à drenagem urbana e poluição hídrica, têm-se buscado soluções para esses problemas. Esta pesquisa possibilitou a análise do impacto, na drenagem urbana, da utilização de reservatórios domiciliares de armazenamento da água de chuva, juntamente com telhados verdes, com vistas à identificação da viabilidade técnica desses dispositivos compensatórios de drenagem.

A pesquisa reveste-se de grande importância ambiental e social, uma vez que pode contribuir para a melhoria da qualidade de vida da população e para a minimização de impactos ambientais decorrentes do uso indiscriminado dos recursos hídricos, podendo, ainda, servir como método de referência para projetos futuros de soluções alternativas de drenagem urbana na cidade de Belo Horizonte.

Além disso, o presente trabalho contribui para ampliação das discussões envolvendo os órgãos ambientais, universidades e comunidade, buscando um maior conhecimento dos fatores intervenientes em projeto de drenagem urbana.

A relevância do projeto pode ser respaldada pelo agravamento contínuo dos problemas ambientais e a carência de políticas de gerenciamento dos recursos hídricos e de planejamento ambiental nas cidades brasileiras. Para a reversão desse quadro, é necessário estimular estudos que busquem compatibilizar e harmonizar as diversas metodologias existentes, bem como atingir benefícios ambientais. Os resultados poderão também servir como referencial para outras cidades do Estado de Minas Gerais, onde se verifica uma grande carência por soluções sustentáveis de uso da água.

A motivação deste trabalho acontece considerando-se a hipótese de que o uso de medidas não convencionais, de forma conjunta, como telhados verdes e microrreservatórios de retenção domiciliares, seja capaz de reduzir e retardar os picos de cheia ocasionados durante eventos hidrológicos críticos nas grandes cidades, onde o escoamento superficial é o principal causador das enchentes.

2 INTRODUÇÃO

Os países em desenvolvimento, dentre eles o Brasil, têm sofrido com uma rápida expansão populacional e com a precária utilização e ocupação dos solos. Isso advém da inexistência de planos a longo prazo, ou mesmo do descumprimento em relação aos planos diretores; da não utilização de medidas não estruturais; da falta de manutenção desses sistemas de controle de cheias; e, mesmo, da falta de conscientização da população local. Tais problemas constituem os principais causadores das inundações nas grandes cidades (BRAGA, 1994, *apud* CANHOLI, 2005).

Dentre os principais problemas hidrológicos relacionados à urbanização, segundo Tucci e Marques (2005), estão o aumento das áreas impermeáveis e as modificações do sistema de drenagem que podem vir a causar, respectivamente, o acréscimo no volume escoado e o aumento na velocidade de escoamento, levando a um conseqüente aumento das vazões de pico.

A conseqüência direta da impermeabilização das bacias hidrográficas é o aumento das vazões de pico e do volume de escoamento superficial, o que torna cada vez mais necessárias obras de ampliação do sistema de macro drenagem. Como tentativa de solucionar esse problema, uma das possibilidades é o uso de reservatórios domiciliares e telhados verdes uma vez que nos grandes centros urbanos há limitação física para grandes obras hidráulicas de retenção.

Para minimizar os problemas citados, têm sido concebidas soluções alternativas de drenagem, visando um tratamento dos excedentes de água gerados pela impermeabilização em diferentes escalas espaciais e, sempre que possível, nas proximidades da fonte geradora. Elas incluem, entre outras, as seguintes técnicas (NASCIMENTO, BAPTISTA e VON SPERLING, 1999):

- armazenamento em coberturas, reservatórios domiciliares, planos e poços de infiltração, em lote ou quarteirão;
- bacias de retenção ou de detenção, que podem estar enterradas ou na superfície; e
- pavimento poroso, trincheiras de infiltração, e valas de armazenamento no sistema viário.

É interessante que se combata a questão das enchentes em nível de lotes, ou seja, na fonte, de forma a não transferir o problema para as redes de drenagem da

cidade. A tentativa baseia-se em transformar as condições após urbanização em situação semelhante à pré-urbanização. Dessa forma, as medidas não convencionais como os telhados verdes (TV), microrreservatórios de detenção domiciliares (MR), ou mesmo os pavimentos permeáveis, vêm sendo utilizados para restituir o regime hidrológico natural do local (RATHKE, 2012).

Dentre as vantagens dos dispositivos instalados na fonte (URBONAS e STAHRÉ, 1993), podemos destacar:

- a) Redução das interferências na microdrenagem;
- b) Valorização da água no meio urbano;
- c) Controle da poluição das águas de chuva; e
- d) Melhoria da recarga do aquífero local.

Azout et al. (1994) e Bettés (1996) apresentaram como desvantagens do uso de medidas não convencionais de controle de escoamento para lotes urbanos os seguintes itens:

- a) Necessidade frequente de manutenção;
- b) Uso e referencial bibliográfico recente;
- c) Dependência das condições e características do solo;
- d) Risco de contaminação do aquífero local

2.1 Objetivos

O objetivo principal desse estudo é identificar e analisar o impacto (de caráter hidrológico) da implantação conjunta de microrreservatórios de detenção domiciliares e telhados verdes em quadras de áreas urbanizadas do município de Belo Horizonte – MG.

Paralelamente, os objetivos específicos foram:

- Obtenção da vazão de pico do lote padrão urbanizado durante evento hidrológico, por meio do uso de modelo hidrológico;
- Dimensionamento dos microrreservatórios de detenção domiciliares a fim de otimizar seu efeito atenuador da onda de cheia durante eventos de chuvas; e
- Simulação hidrológica dos cenários com presença isolada e conjunta dos dispositivos Telhado Verde e Microrreservatórios de Detenção Domiciliar.

2.2 Estrutura da Monografia

Esta monografia está organizada em sete capítulos. Na primeira parte do trabalho (capítulos 1 e 2) é feita uma introdução sobre os objetivos, motivações e sobre como estruturou-se o estudo.

A segunda parte do trabalho (capítulo 3) contém a revisão bibliográfica de pesquisas referentes à técnicas de drenagem urbana, alternativas de controle da microdrenagem na fonte, legislação sobre a drenagem em âmbito municipal, histórico da problemática relacionada às enchentes na cidade, e, por fim, os modelos e parâmetros necessários para o estudo hidrológico.

A terceira parte (capítulo 4) apresenta a metodologia utilizada nesta pesquisa incluindo a escolha e caracterização da área de estudo, o dimensionamento dos microrreservatórios e as simulações hidrológicas da utilização isolada e conjunta dos telhados verdes e microrreservatórios de retenção domiciliares, com o uso do modelo HEC-HMS.

Na quarta parte (capítulo 5) são apresentados os resultados e discussões tanto para o dimensionamento dos microrreservatórios quanto para as simulações realizadas a nível de lotes em uma quadra urbanizada do município de Belo Horizonte.

A quinta parte (capítulos 6 e 7) contém, por fim, as conclusões gerais e recomendações a futuros trabalhos relacionados ao tema.

3 REVISÃO DE LITERATURA

3.1 Técnicas de Drenagem Urbana

No passado, por volta do Século XIX, as construções começaram a ser projetadas para facilitar o rápido escoamento das águas precipitadas para longe de sua área de captação, ou seja, utilizavam enorme concentração de esforços na impermeabilização do solo e na capacidade de dar soluções consideradas “eficientes” para o caminho das águas (OHNUMA JUNIOR, 2008). Esse conceito sobre como deveria ocorrer a drenagem urbana era conhecido como “Higienista” e viria a competir mais tarde com as técnicas compensatórias e alternativas de drenagem urbana

Uma síntese das mudanças conceituais entre os conceitos higienistas, que eram as soluções clássicas de drenagem e os conceitos inovadores de gestão da água em meio urbano que são as técnicas alternativas ou compensatórias propostas por Nascimento, Baptista e Von Sperling (1999) é apresentada no Quadro 1.

Quadro 1: Contraponto entre os conceitos higienistas e alternativos de drenagem.

Soluções clássicas	Soluções alternativas
Drenagem rápida das águas pluviais.	Favorecimento à infiltração, ao armazenamento e ao aumento do tempo de percurso do escoamento.
Redes subterrâneas, canalização de cursos d'água naturais.	Valorização da presença da água na cidade, busca de menor interferência sobre o sistema natural de drenagem.
Associação do sistema de drenagem ao sistema viário.	Desenvolvimento de soluções técnicas multifuncionais, combinando o sistema de drenagem com a implantação de áreas verdes, terrenos de esporte, parques lineares etc.
Sistema de drenagem gravitacional, não controlado, configuração fixa da rede de drenagem.	Sistema de drenagem controlado, possibilidades de alteração na configuração da rede de drenagem.
Concepção e dimensionamento segundo um nível único de risco de inundação	Concepção e dimensionamento segundo diferentes níveis de risco de inundação,

Soluções clássicas	Soluções alternativas
pré-estabelecido, para atender a um único objetivo.	para atender a objetivos diferenciados.
Não previsão e inoperância em face de eventos de tempos de retorno superiores aos de projeto.	Avaliação do funcionamento do sistema para eventos de tempos de retorno superiores aos de projeto, gestão do risco de inundação.
Ênfase na garantia de condições de saúde pública e de conforto no meio urbano. Despreocupação com os impactos da urbanização sobre os meios receptores.	Preocupação com a garantia de condições adequadas de saúde pública e conforto no meio urbano e de redução dos impactos da urbanização sobre os meios receptores.

Fonte: Adaptado de NASCIMENTO, BAPTISTA e VON SPERLING (1999).

No Quadro 2 são mostradas algumas alternativas para o controle das águas urbanas e recuperação ambiental em nível de bacias hidrográficas.

Quadro 2: Estratégias de controle da drenagem urbana e proteção ambiental de recursos hídricos.

Medida	Função
Recomposição da mata ciliar e uso de pavimentos permeáveis	Atenuar as vazões de pico e facilitar o processo de absorção do solo
Remodelação de canais através de engenharia naturalística*	Reduzir as concentrações de poluição
Plantio de vegetação para cobertura verde em telhados	Controlar o conforto térmico e distribuir o escoamento temporariamente
Aplicação de trincheiras de infiltração no lote	Descentralizar o controle da poluição
Instalação de microrreservatórios para reuso de águas pluviais no lote urbano	Descentralizar o controle da poluição

* Engenharia naturalística: obras físicas de modificação ou construção de uma determinada "paisagem" (ambiente) através da adoção de materiais que sejam menos impactantes ambientalmente. Fonte: OHNUMA JÚNIOR (2005).

3.1.1 Técnicas compensatórias de drenagem urbana

Dentre as medidas compensatórias ou não convencionais estão: o uso de pavimentos permeáveis para redução do escoamento superficial; de telhados verdes; de microrreservatórios e de trincheiras de infiltração para atenuar as ondas de cheia a jusante, no sistema de drenagem existente; e ainda, obras que visem, além da contenção da água de chuva, a reutilização dessas águas.

Segundo Ohnuma Júnior (2008), essas medidas consistem em não mais evacuar o escoamento das águas, tampouco em dispensá-las da forma mais rápida o possível, mas sim retardá-las ou fazê-las infiltrarem no solo, conforme as características de cada ambiente. O emprego dessas tecnologias, distribuídas espacial e adequadamente, possibilita várias vantagens, como, por exemplo, diminuir o risco de inundações.

3.1.1.1 *Telhados Verdes (Green Roofs)*

Em uma bacia hidrográfica, a cobertura vegetal, seja ela em telhados verdes ou no próprio solo, tem a capacidade de armazenar, em parte, o volume precipitado, além de aumentar a evapotranspiração, bem como o tempo de concentração na bacia. O aumento da cobertura é uma medida que se aplica melhor no controle de inundações em pequenas bacias (menores que 10 km²) e o seu efeito é maior em eventos mais frequentes de alto risco de ocorrência. O efeito da cobertura vegetal tende a ser pequeno para eventos raros (TUCCI, 2007), cujo o tempo de retorno (TR) e criticidade são maiores.

As edificações em conjunto com demais modificações da paisagem decorrentes da urbanização intensa, constituem em um importante fator de impermeabilização do solo. Sendo assim, uma das possibilidades para se atenuar a onda de cheia de um evento hidrológico, é o armazenamento das águas precipitadas por telhados preenchidos por vegetação (*Green Roofs*); seixos e britas; ou, de forma mais simples, por estruturas armazenadoras. Os Telhados Vegetalizados ou Telhados Verdes (TVs) são uma barreira térmica e compõem a paisagem urbana. Mais adiante serão citadas suas vantagens e desvantagem, mas é notável que os benefícios sobrepõem, muitas vezes, os inconvenientes causados por esses dispositivos (BATISTA, 2005).

Diversos estudos comprovam a eficácia dos TVs na redução da vazão de pico. Rathke (2012), após análise individual e em conjunto dos TVs e dos pavimentos permeáveis em área do município de Porto Alegre, obteve volumes de saída escoados superficialmente reduzidos em até 14%.

Na Figura 3-1 é exemplificada a escala de infiltração, evapotranspiração e escoamento superficial em telhados vegetalizados e tradicionais. É notável que o uso dos telhados convencionais acarreta em vazões muito altas de escoamento superficial quando comparados com os telhados verdes.

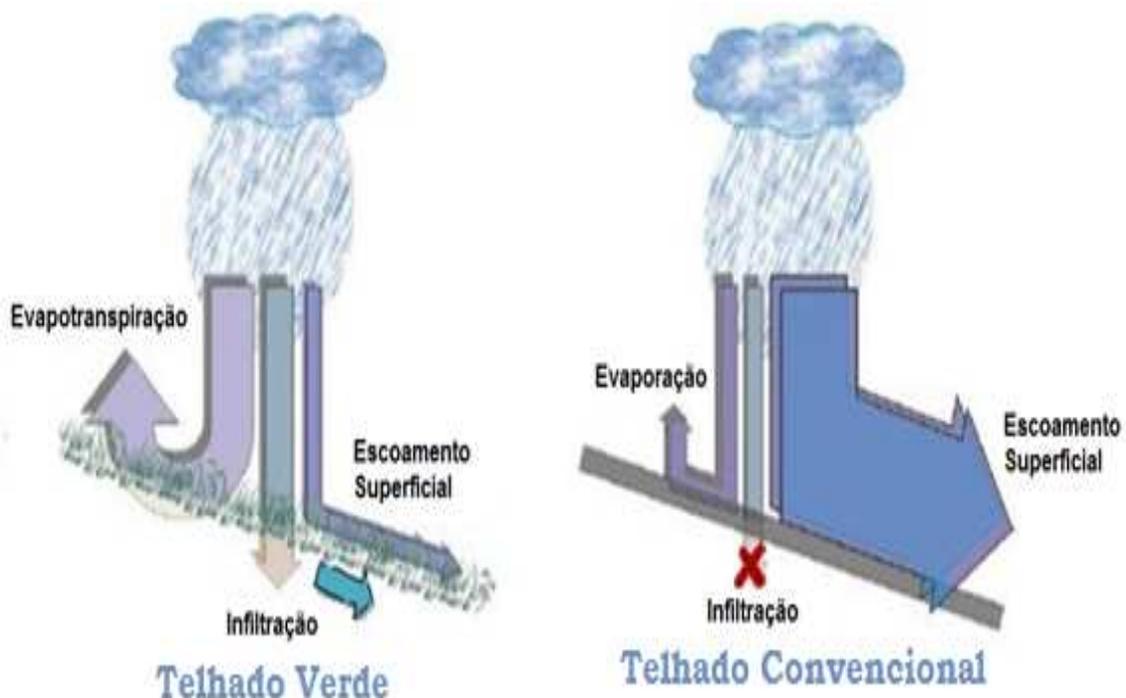


Figura 3-1: Escoamento superficial, infiltração e evapotranspiração em telhados verdes e tradicionais. Fonte: Adaptado de Laar (2001) *apud* Rathke (2012).

Dentre os motivos que tornam os *Green Roofs* atrativos, excetuando-se sua capacidade armazenadora, evitando enchentes nas grandes cidades, pode-se destacar o potencial de integração nos projetos arquitetônicos e urbanísticos; o fato de não ser necessária área suplementar para implementação do projeto; e a capacidade de isolamento térmico e acústico. Além disso, a camada verde protege a estrutura de raios ultravioletas, desgastes mecânicos causados por chuva e vento, além de evitar variações bruscas de temperatura que favoreceriam a formação de trincas (BAPTISTA et al., 2005).

Segundo Baptista et al. (2005), por outro lado, há algumas poucas desvantagens da utilização desses dispositivos. O uso deve ser restrito a telhados com resistência estrutural conhecida, de preferência novos, já projetados considerando esta utilização. Há, também, um ônus relativo ao projeto que envolve os gastos com estrutura portante, suporte de impermeabilização, camada de regularização, impermeabilização, revestimento e proteção da impermeabilização; tudo isso agrega custos ao planejador. Outro fator a ser considerado é a necessidade de mais de um extravasor na estrutura, que pode inviabilizar a utilização dos *Green Roofs* em telhados antigos sem viabilidade de aporte para todos os dispositivos.

Batista et al. (2005) apresentam que os múltiplos extravasores do telhados verdes, presentes em diversos projetos, são interessantes uma vez que, em caso de ocorrência de eventos climáticos críticos, com precipitação que supere os períodos de retorno do projeto, a cota de transbordamento atingirá um desses dispositivos, que funcionará como limitador de nível enquanto que os demais extravasores atendem somente ao período de retorno projetado, mantendo o nível em determinada cota máxima durante esses eventos.

Há normas técnicas relacionadas à impermeabilização dos TVs, como é o caso das normas brasileiras NBR 8083, NBR 9574 e NBR 9689, que especificam materiais e métodos a serem utilizados no projeto. Quanto ao material a ser utilizado no revestimento dessas camadas impermeabilizantes, tem-se, além da possibilidade de uso dos seixos e britas, materiais não convencionais como é apresentado por Costa et al. (2012).

De maneira simples, o cimento em conjunto com isopor picado é capaz de gerar um revestimento, ou seja, uma superfície de fixação prática e barata para a vegetação dos telhados verdes. Essa estrutura fixante foi utilizada por Costa et al. (2012) em seus protótipos de *Green Roof*, com dimensão de 1,22 x 1,22 m para se obter dados comparativos do dispositivo com e sem vegetação e com diferentes inclinações, de 12% e 15%. As vazões escoadas foram representadas graficamente e comparadas de forma a comprovar a capacidade de amortecimento do pico de vazão do escoamento superficial após passagem pelo dispositivo.

3.1.1.1.1 Classificação dos TVs

Os TVs podem ser classificados quanto à sua profundidade. Há duas possibilidades: extensivos, que são dispositivos pouco profundos, com espessura máxima do substrato igual a 15 centímetros; ou os intensivos, que possuem substrato superior a esse valor, até um limite de 60 centímetros (PECK et al., 1999 *apud* NETO, 2014). Esses conceitos serão utilizados ao longo desse estudo para que não haja dúvidas quanto à característica de cada telhado verde e a eficiência associada a cada um desses.

Segundo Neto (2014), dependendo de sua estrutura e forma de construção, os *Green Roofs* podem, ainda, ter três classificações diferentes. Essas podem ser: **a)** modulares (Figura 3-3), formados por bandejas de substrato com plantas cultivadas *in situ* que, em conjunto, formam a estrutura do telhado verde; **b)** completos (Figura 3-2), no qual as partes do dispositivo como membrana, substrato, etc. são instalados de forma integral ao longo de toda a extensão, camada sobre camada; ou **c)** mantas de vegetação pré-cultivadas (Figura 3-5), nas quais todas as camadas já foram previamente montadas e a vegetação já está desenvolvida. Essas mantas são roladas sobre a parte estrutural e a camada de isolamento no final do processo.

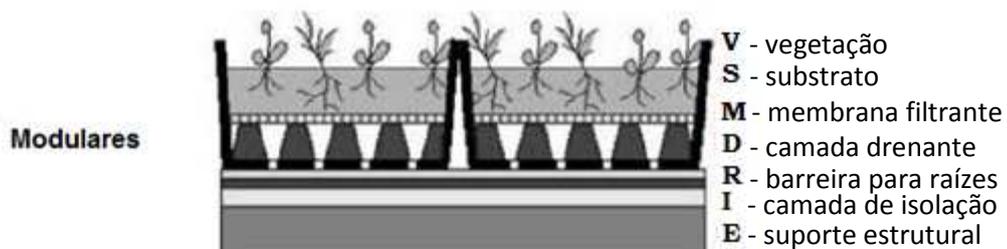


Figura 3-3: TVs Modulares.

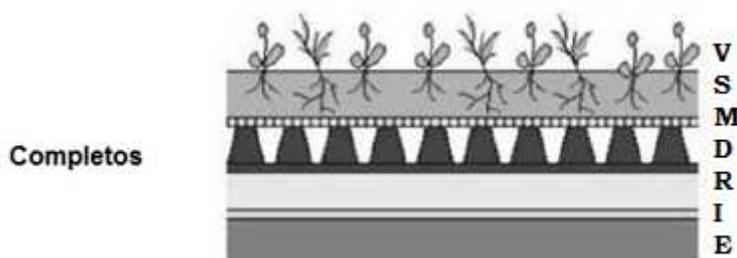


Figura 3-4: TVs Completos.

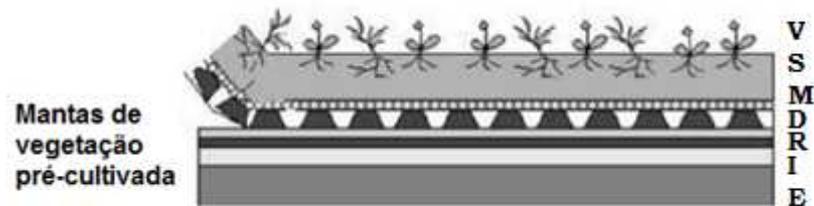


Figura 3-5: TVs de Manta pré-cultivada. Fonte: NETO (2014).

Segundo Neto (2014), a vegetação a ser utilizada nos telhados verdes deve ter boa adaptação ao clima local e à espessura de substrato disponível para seu desenvolvimento. Em seu estudo, o autor sugere a utilização de espécies com alta resistência ao estresse hídrico e que se adaptam muito bem a substratos finos como é o caso do bálsamo – *Sedum album* (Figura 3-6) e Sedum estrela – *Sedum dendroideum* (Figura 3-7). Também foram indicadas as espécies *Coleus barbatuse* e *Kalanchoe blossfeldiana* que se adaptavam muito bem ao clima local de Santa Maria – RS, que no caso era subtropical.



Figura 3-9: *Sedum album*.
Fonte: <http://goo.gl/XfXnKB>.



Figura 3-8: *Sedum dendroideum*.
Fonte: <http://goo.gl/bN0ntG>.

3.1.1.1.2 Viabilidade e eficiência da utilização dos telhados verdes na gestão das águas pluviais

Diversos estudos comprovam a viabilidade e eficiência da utilização dos telhados verdes na gestão das águas pluviais. Um exemplo ocorreu nos Estados Unidos da América, Carolina do Norte, exatamente, onde foram implementados dois dispositivos com característica extensiva, ou seja, com grande área de contato com

a chuva, mas baixa profundidade de substrato. Esses telhados retiveram, cada um, cerca de 60% de toda a chuva registrada (MORAN, et al., 2003).

Os fatores determinantes para o efeito de retenção de água precipitada nos *Green Roofs* são sua inclinação, tipo de vegetação utilizada, intensidade, duração das chuvas e, principalmente a espessura de sua camada de substrato (ROSENZWEIG, et al., 2006; UHL e SCHIEDT, 2008; MORUZZI, et al., 2013).

Palla et al. (2008) vieram a comprovar que os telhados verdes têm sua eficiência fortemente regida pelo volume da chuva. Os autores avaliaram a retenção de água dos telhados verdes em escala de bacia utilizando um modelo hidrológico chamado SWMM e o método SCS para a determinação do escoamento superficial, com propagação desse escoamento pelo método da onda cinemática. Algumas convenções adotadas nesse trabalho têm sua relevância: considerou-se a percolação profunda da zona saturada para a água subterrânea igual a zero e a evapotranspiração foi desprezada.

Nessa pesquisa, foram feitas simulações da aplicação de *Green Roofs* extensivos com 2,5 m² de área em 10%, 20% e 100% de substituição aos telhados comuns. Escolheu-se uma série temporal de precipitações de 18 anos, com discretização temporal de um minuto do próprio local, Genova, Itália. Obtiveram-se reduções da vazão de pico de 76% para eventos com intensidade de chuva entre 0 e 1mm, e 27% para eventos entre 25 e 400 mm de chuva (PALLA et al., 2008).

Em comparação, outros autores, She e Pang (2010) obtiveram reduções de 47%, 54% e 52%, para períodos de retorno de 1, 2 e 4 anos respectivamente, ao utilizarem um TV de 0,80 m² e declividade de 2,1% cobertos pela espécie *Sedum* e utilizando-se chuvas discretizadas em 5 minutos como entrada para o modelo

Em contra partida à eficiência demonstrada pelos diversos estudos envolvendo telhados verdes, alguns estudiosos defendem que, sozinhos, apesar dos benefícios advindos de sua utilização, esses dispositivos não são capazes de promover o completo controle do escoamento superficial gerado pelas chuvas, nem os problemas com enchentes em escala de bacia. Para tanto, é proposta a utilização conjunta desses com outras tecnologias como os pavimentos permeáveis, trincheiras de infiltração e microrreservatórios, de forma a alcançar o objetivo de atenuação da onda de cheia e total controle das águas pluviais (CARTER e JACKSON, 2007; PALLA et. al. 2008).

3.1.1.1.3 Coeficiente de escoamento para a simulações com Telhados Verdes

Nos TVs, o coeficiente de escoamento foi estudado por Rathke (2012), que relacionou a quantidade de chuva com esse coeficiente, constatando que ele aumenta conforme a quantidade de precipitação aumenta (Tabela 3-1).

Tabela 3-1: Coeficientes de escoamento em telhados verdes para diferentes quantidades de chuva.

Classificação	Precipitação (mm)	Coeficiente de escoamento
Baixa	menor que 13	0,07
Média	entre 13 e 25	0,13
Alta	entre 25 e 39	0,25
Muito Alta	maior que 39	0,55

Fonte: Robertson (2005) apud Rathke (2012).

O coeficiente de escoamento também varia de acordo com a espessura do substrato. Mentens et al. (2006) explicaram o fato através de experimentos nos quais, em períodos quentes, um centímetro de substrato conferiu 2,5 mm a menos de escoamento superficial em um dispositivo vegetalizado. Dessa forma, verificou-se que o escoamento é inversamente proporcional à espessura desse substrato, conforme apresentado na Tabela 3-2.

Tabela 3-2: Coeficientes de escoamento para diferentes espessuras de substrato dos telhados verdes.

Classificação	Espessura do Substrato (mm)	Coeficiente de escoamento
Fino	menor que 50	0,38
Médio	entre 50 e 150	0,30
Grosso	maior que 150	0,20

Fonte: Mentens et al. (2006).

Rathke (2012), em seu estudo, agregou diferentes valores de CN para diferentes condições e características dos telhados verdes (Tabela 3-3).

Tabela 3-3: Valores de CN em função das condições do Green Roof.

CN	Situação do dispositivo Telhado Verde
75	Dispositivo recém instalado, baixa umidade inicial, relevo plano, substrato grosso (maior que 150 mm), manutenção periódica, condições ideais.
80	Dispositivo recém instalado, umidade inicial relativamente baixa, relevo com baixa declividade, substrato médio (entre 50 mm e 150 mm), manutenção periódica
85	Dispositivo relativamente velho (idade acima da metade da sua vida útil), solo parcialmente saturado, média declividade, substrato fino (menos que 50 mm), baixa manutenção
90	Dispositivo velho (idade próxima ao fim de sua vida útil, solo saturado inicialmente, alta declividade, sem manutenção

Neto (2014) analisou a eficiência dos telhados verdes no controle do escoamento superficial. Para tanto, foram realizados o monitoramento de eventos de chuva-vazão de um telhado verde experimental, a calibração do volume de precipitação efetiva do dispositivo pelo método do CN-SCS modificado, a elaboração de um modelo hidrológico do tipo chuva-vazão para o dispositivo, o dimensionamento de um sistema de redes de microdrenagem para uma bacia simulada sem os telhados verdes, utilizando precipitações de projeto, a simulação da bacia com uso de telhados verdes para, por fim, verificar o impacto na redução das vazões de pico e volumes propagados nas redes de drenagem frente às precipitações observadas.

Um resultado de grande importância obtido por Neto (2014) foi a determinação de um CN médio para os dispositivos telhados verdes extensivos e modulares, que após calibração resultou em um valor igual a 83. O telhado verde reteve 45% do volume de cada evento de chuva e possibilitou reduzir um diâmetro comercial em 33% e 52% dos trechos das redes de drenagem, para sistemas dimensionados para chuvas de projeto com 5 e 10 anos de período de recorrência, respectivamente. Uma das conclusões desse trabalho foi que a efetividade dos dispositivos na redução do *runoff* diminui quando se aumenta a escala espacial utilizada e, também, quando se aumentam o volume e intensidade da chuva.

3.1.1.2 Microrreservatórios de retenção domiciliares (MRs)

Os microrreservatórios de retenção domiciliares são estruturas construídas, geralmente, abaixo do nível do solo de lotes com a finalidade de armazenar temporariamente a água precipitada. Esses dispositivos servem para, entre outras funções: controlar o escoamento das águas pluviais de forma distribuída na bacia hidrográfica; minimizar os efeitos da impermeabilização do solo; e recuperar a capacidade de amortecimento da bacia (BARBASSA e JUNIOR, 2006).

Os reservatórios domiciliares de armazenamento da água de chuva vêm sendo propostos como uma nova medida de controle de vazões do escoamento superficial urbano. Eles têm a finalidade de reter temporariamente o volume excedente do lote residencial, permitindo que este seja transmitido de forma gradativa às áreas de jusante, ou seja, o dispositivo capta a água escoada no lote com determinada vazão de entrada (hidrograma afluente), que é ocasionada por um hidrograma característico da água precipitada e pela resposta da superfície do lote, liberando, de forma gradual, o que foi armazenado (hidrograma efluente) através de estruturas hidráulicas de saída, como orifícios e vertedores, por exemplo. O objetivo é a obtenção de uma vazão nos moldes do hidrograma natural (FRANCISCHET e ALAMY FILHO, 2011).

Matta, Peixoto e Oliveira (2013) realizaram um estudo sobre o impacto do uso de 82 microrreservatórios de retenção domiciliares no escoamento superficial urbano comprovando a eficácia dos dispositivos. Ao considerar a implantação dos reservatórios de retenção nos lotes de um sub-bacia com 0,2 km², foram obtidas reduções variando entre 355 L/s (9,87 %) e 1339 L/s (14,29 %) para tempos de retorno de 5 e 50 anos, respectivamente, em uma bacia urbanizada da cidade de Belo Horizonte – MG.

Cruz, Araújo e Souza (1999) apresentam uma discussão sobre o uso de dispositivos redutores do escoamento superficial, como microrreservatórios em lotes, pavimentos permeáveis e trincheiras de infiltração, enfocando principalmente nas regras de dimensionamento, eficiência e custos. A análise dos dispositivos é baseada na redução parcial ou total do volume escoado, antes que este atinja a rede de drenagem convencional existente.

Andrade Filho, Széliga e Szesz (2000) apresentam estudo de simulação para a seleção de soluções de mitigação de enchentes, informações sobre sua eficiência

e investigação de aplicabilidade dessas soluções no controle das inundações em bacias urbanas, aplicadas em nível de lotes na microdrenagem. A análise dos efeitos sobre o escoamento superficial é restrita ao uso de microrreservatórios. Segundo os autores, o uso dos microrreservatórios com o intuito de atenuarem-se os problemas provenientes das inundações pode ocorrer tanto em nível de lote na microdrenagem, quanto na macrodrenagem. Quando comparados, o controle na microdenagem é mais simples, menos oneroso além de possui menor tempo de implantação. Porém, esse está sujeito a algumas restrições, dentre elas: profundidade da rede coletora principal, disponibilidade de espaços livres, nível do lençol freático alto e a declividade dos lotes.

Francischet e Alamy Filho (2011) estudaram o efeito de atenuação pela implantação de reservatórios domiciliares de armazenamento da água de chuva em uma quadra padrão por meio de programação em ambiente *Visual Basic for Applications*, onde foram estabelecidos dois volumes de amortecimento para o dispositivo de armazenamento em condição de lote urbanizado, aplicada à cidade de Uberlândia – MG. Ficou evidenciado pelas simulações o bom desempenho do reservatório de detenção, o que permitiu concluir que as atenuações das vazões de pico são perfeitamente possíveis com o uso deste dispositivo para muitas chuvas estudadas.

Na Tabela 3-4 são apresentados diversos trabalhos e as características mais relevantes para a construção e simulação com microrreservatórios.

Tabela 3-4: Microrreservatórios e suas áreas em estudo.

Autor(Ano)	Características do dispositivo microrreservatório	Resultados obtidos com implantação do dispositivo	Área e características dos lotes em estudo	Característica dos orifícios de saída d'água nos microrreservatórios
Cruz (1998)	Volume de 2,5m ³ (1% da área total) e profundidade igual a 0,4m.	Redução do volume escoado em valores de 38% a 109%.	Lotes padrão de 300m ² a 600m ² (com períodos de retorno (TR) de 2 a 5 anos).	Dois orifícios

Autor(Ano)	Características do dispositivo microrreservatório	Resultados obtidos com implantação do dispositivo	Área e características dos lotes em estudo	Característica dos orifícios de saída d'água nos microrreservatórios
Agra (2001)	O reservatório ideal deveria ter 1,26 m ³ , mas por motivos construtivos o volume foi de 1,0m ³ (1m x 2m x 0,5m).	Reduções de pico das vazões de 7% a 50% para TR de 5 anos.	337,5 m ² (22,5m x 15m), instalado no IPH (Instituto de Pesquisas Hidráulicas/UFRGS).	Foi usado um orifício de 50mm que fornece uma área de 16,6 cm ² . Havia também um vertedouro na parte superior.
Schilling (1982) <i>apud</i> AGRA (2001)	Volume de 0,5 m ³ (retangular com altura igual a 1m e lados da base iguais a 1m e 0,5m). Obs.: Foram utilizados 140 MRs conectados às calhas dos telhados	Com o uso de 140 MRs em uma área de 2,69ha obteve-se uma redução na vazão de pico em 50% para TR de 5 anos.	Não é mencionado o tamanho do lote. Simulou-se em de 2,69ha sendo 29 % telhados.	Orifício de 2cm de diâmetro e ainda um extravasor no topo.
Genz (1992) <i>apud</i> AGRA (2001)	Área de 1,5x1,5m e profundidade de 0,95m totalizando um volume de 2,14m ³ .	Para eventos com TR de 5 anos, dois reservatórios na saída do telhado podem reduzir o escoamento superficial à vazões de preocupação do lote.	Lotes padrão de 360m ² .	Vertedouro na parte superior e orifícios na parte inferior.

Drumond (2012), em seu estudo, analisou laboratorialmente o funcionamento de um MR com 1,08 m³ de volume, em conformidade com o dimensionamento exigido pela LPOUS/BH para um lote 100% impermeabilizado de 360 m² de área e CN igual a 98. O dispositivo de retenção possuía múltiplos orifícios de saída

espaçados ao longo de sua altura (Figura 3-10 a,b). Durante os testes em lotes de 360m² e de 600m², os diâmetros (DN) dos orifícios que permitiam uma maior eficiência do dispositivo era inferiores a 75 mm.

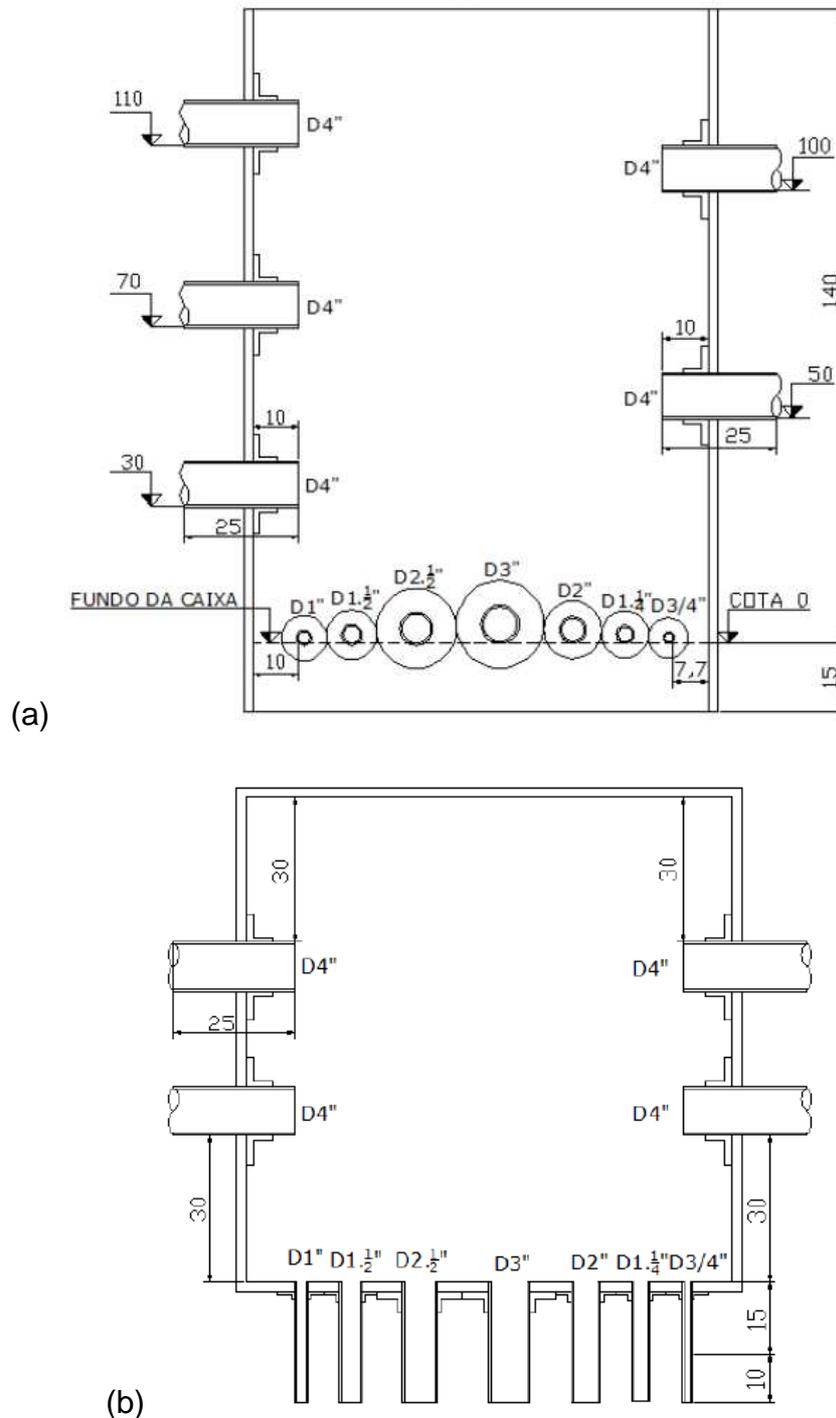


Figura 3-10: Detalhe do microrreservatório com múltiplos diâmetros (a) Vista frontal (b) Planta. As dimensões são apresentadas em centímetros.

Fonte: Drumond (2012).

Por fim, verificou-se uma redução de 50% da vazão de pico em comparação ao cenário sem microrreservatórios na simulação da implantação de MR sem lotes de uma sub-bacia com recorrentes problemas com inundações e elevado grau de urbanização localizada em Belo Horizonte – MG. Durante as simulações considerou-se um tempo de retorno (TR) de 10 anos, uma vez que se avaliavam estruturas de micro drenagem, e durações diversas de chuva (DRUMOND, 2012).

Drumond (2012) ainda discorre que, para as precipitações com TR de 10 anos e duração de 10 minutos, solicitadas no projeto de microdrenagem pela PBH, a vazão de pico do solo urbanizado pode ser até 40 vezes maior, aproximadamente, do que em suas condições naturais, dependendo do tipo de solo. Isto demonstra o impacto produzido pela impermeabilização do solo e a necessidade de se exigir medidas mais restritivas ao responsável do terreno para compensar o aumento da vazão gerada no município de Belo Horizonte – MG.

3.1.1.2.1 Coeficiente de escoamento para simulações com implantação de microrreservatórios

A avaliação do impacto de um microrreservatório sobre o volume escoado requer que se adote um valor de CN para a área de estudo. Para a estimativa do valor de CN, o solo é classificado em quatro tipos: A, B, C e D (Tabela 3-5) elaborada por Tucci (2004).

Tabela 3-5: Classificação de solos para estimativa do parâmetro CN.

Tipo de solo	Tipo de ocupação da área
A	Solos que produzem baixo escoamento superficial e alta infiltração Solos arenosos profundos com pouco silte e argila.
B	Solos menos permeáveis do que o anterior, solos arenosos menos profundos que o do tipo A e com permeabilidade superior à média.
C	Solos que geram escoamento superficial acima da média e com capacidade de infiltração abaixo da média, contendo porcentagem considerável de argila e pouco profundo.
D	Solos contendo argilas expansivas e pouco profundos com muita baixa capacidade de infiltração, gerando a maior proporção de escoamento superficial.

Fonte: TUCCI (2004).

A partir do tipo de solo (A, B, C ou D), bem como da utilização e cobertura do solo da região em estudo, o valor de CN pode ser obtido pela Tabela 3-6.

Tabela 3-6: Valores do parâmetro CN para bacias urbanas.

Utilização ou Cobertura do Solo	Solo Tipo A	Solo Tipo B	Solo Tipo C	Solo Tipo D
Zonas cultivadas:				
Sem conservação do solo	72	81	88	91
Com conservação do solo	62	71	78	81
Pastagens e terrenos em más condições	68	79	86	89
Baldios em boas condições	39	61	74	80
Prados em boas condições	30	58	71	78
Bosques ou zonas florestais:				
Cobertura boa	25	55	70	77
Cobertura ruim	45	66	77	83
Espaços abertos, parques, campos de golfe, cemitérios, em boas condições:				
Com relva em mais de 75% da área	39	61	74	80
Com relva de 50% a 70% da área	49	69	79	84

Utilização ou Cobertura do Solo		Solo Tipo A	Solo Tipo B	Solo Tipo C	Solo Tipo D
Zonas comerciais e de escritórios		81	88	91	93
Zonas industriais		81	88	91	93
Zonas residenciais:					
Lotes de (m ²)	% média impermeável				
< 500	65	77	85	90	92
1000	38	61	75	83	87
1300	30	57	72	81	86
2000	25	54	70	80	85
4000	20	51	68	79	84
Parques de estacionamento, telhados, viadutos, etc.		98	98	98	98
Arruamentos e estradas:					
Asfaltadas e com drenagem de águas pluviais		98	98	98	98
Paralelepípedos		76	85	89	91
Terra		72	82	87	89

Fonte: TUCCI (2004).

A determinação do CN depende do tipo de utilização do solo e de suas características. Assim como Tucci (2004), Ramos (1998) propôs uma série de valores para CN considerando as zonas de ocupação do município de Belo Horizonte – MG, definidas na LPOUS/BH (Tabela 3-7) e levando-se em conta os dois grandes grupos de solo da região metropolitana (GHB e GHD) (Figura 3-11).

Tabela 3-7: Valores de CN de acordo com as zonas de ocupação de Belo Horizonte – MG.

Zona de Ocupação	Valores de CN	
	GHB	GHD
ZPAM	55 - 73	77 - 86
ZP1	60 - 75	80 - 87
ZP2	72	82
ZP3	78	85
ZAR1	86	88
ZAR2	87	89
ZA	88	90
ZAP	88	90
ZHIP	92	94
ZCBH	92	94
ZBCA	92	94
ZCVN	92	94
ZEIS	85	90
ZE	60 - 90	80 - 94



Figura 3-11: Mapa de classificação dos solos em Belo Horizonte – MG. Fonte: Ramos (1998).

3.2 Parâmetros hidrológicos na drenagem urbana

3.2.1 Tempo de concentração

Segundo Tucci (2004), o tempo de concentração é o intervalo para que a precipitação no ponto mais distante da bacia hidrográfica atinja a seção principal, também definido como o intervalo entre o término da precipitação e o ponto de inflexão do hidrograma (fim do escoamento superficial).

O tempo de concentração pode ser estimado através da equação de Kirpich (Equação 1), utilizada quando se deseja estimar do tempo de concentração de pequenas bacias hidrográficas e é considerado aplicável em lotes com declividades de 3% a 10% e áreas de até 0,50 km².

$$T_c = 57 \times \left(\frac{L^3}{\Delta h} \right)^{0,385} \quad \text{Eq. 1}$$

Em que T_c é o tempo de concentração em minutos; L é o comprimento do curso d'água principal em km; e Δh é a diferença de nível ao longo do curso d'água principal, em metros (COLLISCHONN e TASSI, 2008).

A formula de Kirpich é apenas uma das muitas equações utilizadas para a estimativa do tempo de concentração em uma sub-bacia.

Segundo Drumond (2012), não existem muitos estudos sobre o tempo de concentração nos sistemas de microdrenagem. O que ocorre, geralmente, é a utilização de um tempo de concentração que varia entre 5 e 10 minutos nos projetos. Segundo Bidone e Tucci (1995) *apud* Drumond (2012), o valor de 10 minutos tem chances de mostrar-se superestimado quando a bacia é muito impermeável e de grande declividade.

3.2.2 Tempo de retorno

O período de retorno (TR) pode ser entendido como o inverso da probabilidade de ocorrência de uma vazão qualquer. Um tempo de retorno de 10 anos para uma cheia, por exemplo, significa que essa pode ocorrer a cada 10 anos ou que em cada ano há uma probabilidade de 10% de que esta enchente ocorra.

Pode-se estimar o risco de ocorrência de uma inundação numa sequência de anos através da Equação 2 (TUCCI, 2007).

$$P(Tr, n) = 1 - \left(1 - \frac{1}{TR}\right)^n \quad \text{Eq. 2}$$

Em que P(Tr,n) é o risco, e n representa o número de anos. A escolha correta do período de retorno está relacionada com a eficiência e vida útil do projeto.

A escolha correta do período de retorno está relacionada com a eficiência e vida útil do projeto. Em obras de microdrenagem, o período de retorno utilizado varia de dois a dez anos. Em áreas residenciais e de baixa densidade, o período de retorno utilizado deve ser de dois anos, enquanto para áreas comerciais podem chegar a até dez anos. Os tempos de retorno para diferentes ocupações são apresentados na Tabela 3-8 (DAEE/CETESB, 1980).

Tabela 3-8: Tempos de retorno para diferentes ocupações.

Tipo de obra	Tipo de ocupação da área	Período de retorno
Microdrenagem	Residencial	2
	Comercial	5
	Áreas com edifícios de serviço público	5
	Aeroportos	2 – 5
	Áreas comerciais e artérias de tráfego	5 – 10
Macro-drenagem	Áreas comerciais e residenciais	50 – 100
	Áreas com importâncias específicas	500

Fonte: DAEE/CETESB, 1980.

3.2.3 Duração de chuva de projeto

Segundo Tucci (2007), no que diz respeito à duração de chuva, adota-se o tempo de concentração de toda a bacia e não das sub-bacias em que essa foi dividida. O autor aconselha que a duração deve ser 50% a 100% maior que o tempo de concentração.

Segundo a Instrução Técnica para Elaboração de Estudos e Projetos de Drenagem Urbana do Município de Belo Horizonte (PREFEITURA MUNICIPAL DE BELOHORIZONTE, 2004 *apud* Drumond, 2012), sugere-se que, nos projetos de estruturas de microdrenagem da cidade de Belo Horizonte – MG, seja adotada a duração de 10 minutos para as precipitações de projeto e um TR de 10 anos.

3.2.4 Séries históricas e sintéticas de precipitação

Há diversos métodos para definição da precipitação de estudo de cheia que pode ter origem em uma série histórica ou em uma chuva de projeto que caracterize um evento crítico. Um método muito utilizado para essa definição é o dos blocos alternados, cuja distribuição no tempo da chuva ocorre com base nas curvas de intensidade-duração-frequência. Existem, ainda, outros métodos como o hietograma triangular do SCS ou métodos baseados na distribuição temporal das precipitações na área de estudo, como o de Huff (1967).

Num dia de máxima chuva, a intensidade não se distribui uniformemente ao longo das horas, mas concentra-se em algumas poucas quando atinge a intensidade máxima (MATTA, PEIXOTO E OLIVEIRA,2013). Em geral são escolhidas as seguintes durações: 5, 10, 15, 30 e 60 min,ou 1, 2, 4, 6, 12, 18 e 24 horas. A metodologia segue a seguinte sequência: a) para cada duração são obtidas as precipitações máximas com base nos dados do pluviógrafo; b) para cada duração mencionada é ajustada uma distribuição estatística; c) dividindo a precipitação pela sua duração obtém-se a intensidade; d) as curvas resultantes são a relação intensidade-duração-frequência.

Na Figura 3-12 são apresentadas as isoietas de precipitações totais anuais médias da região metropolitana de Belo Horizonte – MG necessárias para se obter a relação intensidade-duração-frequência, verifica-se que segundo Pinheiro e Naghettini (1998) a precipitação média anual na cidade de Belo Horizonte pode ser considerada 1 400 mm.

No estudo e prevenção de enchentes existem diversos tipos de modelos que servem de base aos estudos hidrológicos, econômicos e estatísticos para a definição dos projetos.

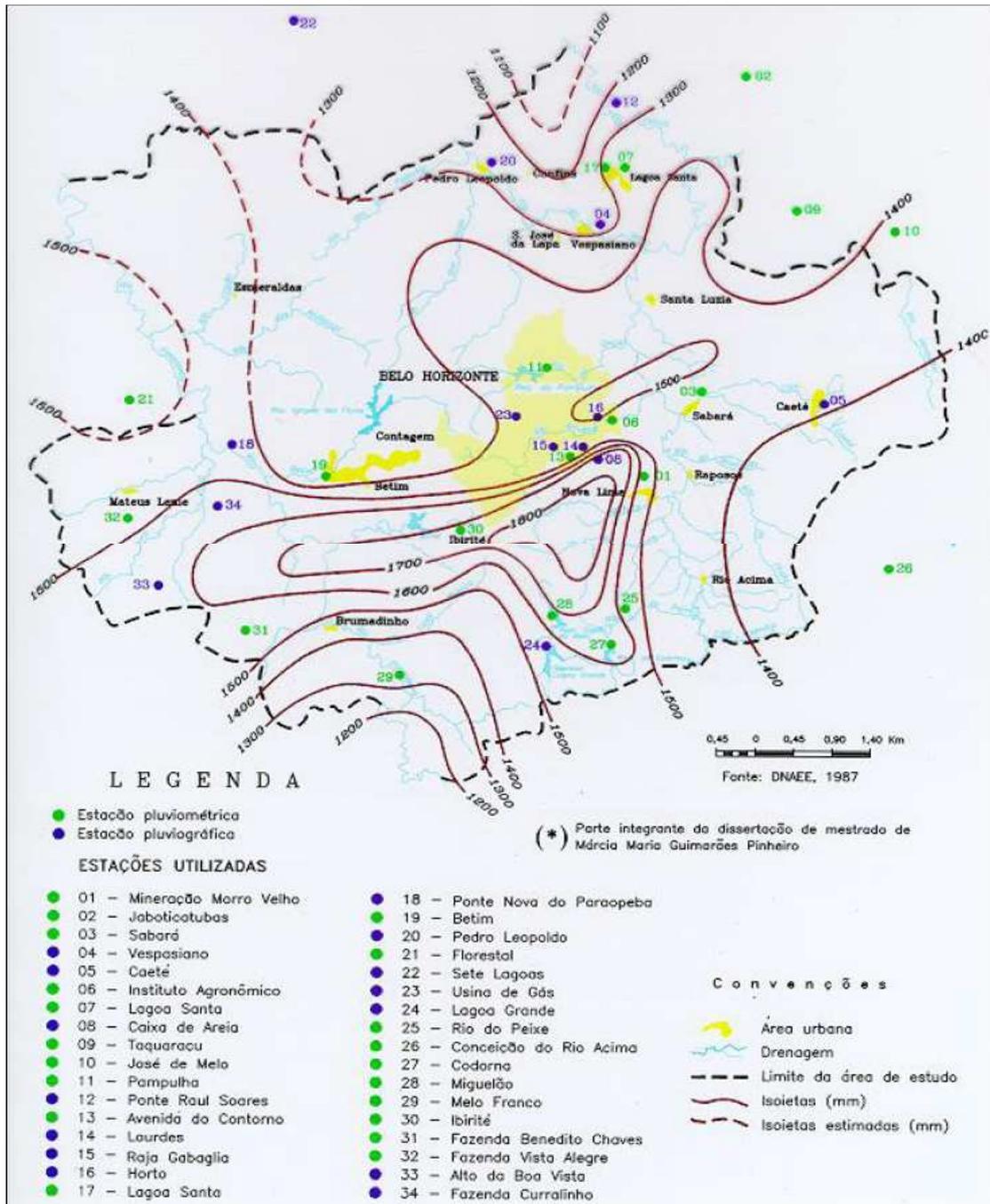


Figura 3-12: Isoietas de chuvas totais anuais médias.
Fonte: PINHEIRO e NAGHETTINI (1998).

3.2.4.1 Distribuição temporal das chuvas: Metodologia de Huff

Após análise criteriosa cerca de 260 tormentas, com durações que variavam de 3 a 48 horas, registradas por, aproximadamente, 49 postos pluviográficos da região centro-oeste do estado de Illinois no Estados Unidos da América, relativos ao período entre 1955 e 1966, Huff (1967) *apud* Conte (2001) propôs um critério de

distribuição temporal da chuva média ocorrente na bacia hidrográfica da região. No seu trabalho, observou-se que 62% dos eventos concentraram as chuvas no primeiro e segundo quartil da duração total.

A curva de Huff é representada por uma linha que une pontos de igual valor de uma função de duas variáveis: a probabilidade da precipitação acumulada em porcentagem e intervalos de tempo, também em porcentagem. Corresponde também a um padrão de distribuição temporal de uma chuva intensa associado a um nível probabilístico de ocorrência. Huff apresentava seus resultados de forma gráfica e levava em conta, no seu modelo, parâmetros como a duração da precipitação, em horas; a quantidade de blocos de chuva; o período de retorno das chuvas, em anos; e o total precipitado, em milímetros (HUFF, 1967 *apud* MOLIN et al., 1996).

Conforme elucidam Pfastetter (1959) *apud* Molin et al. (1996), na escolha dos eventos de análise, escolhem-se as precipitações cujas durações (D) não sejam menores a 30 minutos, bem como o total precipitado deve ser, no mínimo, igual à precipitação mínima (P_{min}) dada pela Equação 3.

$$P_{min} = 8,9914 \times D^{0,2466} \quad \text{Eq. 3}$$

Uma chuva é independente de outra se existir, entre elas, um período sem precipitação de, no mínimo, de seis horas consecutivas. As chuvas são classificadas em quatro grupos que relacionam o maior valor precipitado a uma duração da precipitação. A duração total da chuva é subdividida nos grupos: 0 a 25%, 25 a 50% , 50 a 75% e 75 a 100%. O maior valor precipitado que ocorre nos primeiros 25% da duração total da chuva pertencerá ao primeiro grupo e assim por diante (HUFF, 1967 *apud* MOLIN et al., 1996).

Segundo Huff (1967) *apud* Molin et al. (1996) para se determinar a frequência das chuvas dentro de cada grupo deve determinar-se a porcentagem acumulada do total precipitado para cada 10% de sua duração total, isto é, para 10%, 20%, 30% até 90%. Portanto, a cada uma dessas percentagens de duração da chuva total corresponderá uma série de percentuais de precipitação, cujo número de elementos é igual à quantidade de chuvas classificadas no grupo. De cada uma das nove séries formadas, determina-se a probabilidade empírica acumulada. Para tanto, utiliza-se a fórmula de Weibull (HANN, 1977) expressa na Equação 4.

$$P(X > x) = \frac{m}{(N + 1)} \quad \text{Eq. 4}$$

Em que m é o número de ordem de cada elemento da série; N é o número total de elementos de cada série e $P(X > x)$ é a probabilidade empírica acumulada. Isto posto, determina-se a percentagem do total precipitado correspondente aos níveis de probabilidade de 10 a 90%, em intervalos de 10%. Nesse cálculo, quando necessário, utiliza-se a interpolação linear.

Na construção da curva de Huff escolhe-se, de cada uma das nove séries de percentuais de precipitação, o valor percentual do total precipitado que corresponde ao nível de probabilidade desejado. Assim, um padrão de distribuição temporal que corresponde ao nível probabilístico de 10%, implica que 10% das precipitações possuirão um padrão igual ou acima deste. Enquanto que um nível probabilístico de 90% implica em que 10% das chuvas com um padrão igual ou menor que 10% (HUFF, 1967 *apud* MOLIN et al., 1996)

3.3 Modelagem hidrológica na drenagem urbana

Em hidrologia urbana, a modelagem é utilizada para representar o ciclo hidrológico da água em bacias hidrográficas urbanizadas com o intuito de compreender a dinâmica e possibilitar a simulação de cenários atuais e futuros. O comportamento da bacia hidrográfica, com o objetivo de prever o hidrograma a partir de diferentes precipitações e de características do escoamento sobre a bacia, é analisado por meio da utilização de modelos matemáticos hidrológicos (COELHO, 2010).

Segundo Tucci (1998), “Os modelos precipitação-vazão representam a parte do ciclo hidrológico entre a precipitação e a vazão. Estes modelos chuva-vazão descrevem a distribuição espacial da precipitação, as perdas por interceptação, evaporação, depressão do solo, o fluxo através do solo pela infiltração, percolação e água subterrânea, escoamento superficial, subsuperficial e no rio”.

A seleção de um modelo apropriado para uma bacia hidrográfica deve considerar o objetivo do projeto, as características da bacia e do rio, a disponibilidade de dados e o conhecimento do modelo. Na Tabela 3-9 são apresentados alguns modelos e suas respectivas características.

Tabela 3-9: Exemplos de modelos hidrológicos para transformação chuva-vazão.

Nome do modelo	Autor	Considerações
Stanford Watershed Model (SWM)	Crawford e Linsley (1966)	Contínuo, simulador hidráulico e hidrológico dinâmico ou de estado permanente e também de processos de qualidade da água
Hydrology Engineering Center Hydrologic Modeling System (HECHMS)	Feldman (1981) HEC (1981, 2000)	Conceitual, semi-distribuído, por evento
Streamflow Synthesis e Reservoir Regulation Model (SSARR)	Rockwood (1982) U.S. Army C. of E. (1987)	Modelo de simulação de vazões contínuo e concentrado
National Weather Service River Forecast System (NWSRFS)	Burnash <i>et al.</i> (1973) Burnash (1975)	Concentrado, sistema de previsão contínua
Tank	Sugawara <i>et al.</i> (1974) Sugawara (1995)	Modelo de simulação contínuo, semi-distribuído ou concentrado
Xinanjiang	Zhao <i>et al.</i> (1980) Zhao e Liu (1995)	Modelo de simulação concentrado contínuo
Système Hydrologique Européen / Système Hydrologique Européen Sediment (SHE/SHESED)	Abbott <i>et al.</i> (1986) Bathurst <i>et al.</i> (1987)	Modelo de simulação de escoamentos superficial e sedimentos, fisicamente fundamentado, distribuído e contínuo
Physically Based Streamflow Production Model (Top Model)	Beven e Kirkby (1976, 1979) Beven (1995)	Modelo de simulação hidrológica contínuo, distribuído, fisicamente fundamentado
Arno	Todini (1988, 1996)	Modelo de simulação chuva-vazão contínuo e semi-distribuído
Soil Water Assessment Tool (SWAT)	Arnold <i>et al.</i> (1998)	Modelo de simulação contínuo, conceitual e distribuído

Fonte: Adaptado de SINGH E WOOLHISER (2002) *apud* GONTIJO (2007).

Os principais usos deste tipo de modelos são (TUCCI, 1998):

- Melhor entender o comportamento dos fenômenos hidrológicos na bacia uma vez que o detalhamento do modelo permite ao hidrólogo separar os fenômenos e, em consequência, estudar a sensibilidade das variações para bacias com diferentes características. Além disso, é possível testar e avaliar diferentes formulações para os processos;
- Análise de consistência e preenchimento de falhas: devido à facilidade de operação e custo, é normal existirem séries mais longas de precipitação do que de vazão. O modelo também pode ser utilizado para analisar a consistência da curva-

chave, dos níveis observados e da precipitação, além de permitir a verificação de alterações no rio e na bacia;

- Previsão de vazão em tempo atual: o controle de cheia, a operação de obras hidráulicas, a navegação, entre outros, dependem do conhecimento antecipado da ocorrência da vazão;
- Dimensionamento e previsão de cenários de planejamento: conhecida a precipitação e o risco de ocorrência da mesma, é possível estimar a vazão resultante, para cenários de uso e modificações da bacia, visando ao dimensionamento ou planejamento de alternativas de desenvolvimento do sistema; e
- Efeitos resultantes da modificação do uso do solo: os modelos existentes, de forma geral, apesar de conceituais, possuem muitas formulações empíricas para representar os processos e, em consequência, parâmetros que relacionam mais qualitativamente do que quantitativamente com a física da bacia.

3.3.1 Hidrograma de projeto

Segundo TUCCI (2007), na transformação de chuva em vazão há duas componentes que são: a determinação da precipitação efetiva, ou seja, a parcela de chuva que realmente se converte em escoamento, pode-se utilizar a curva-número (CN) do método Soil-Conservation Service (SCS, 1975) nesse caso; e a propagação do volume escoado até a chegada na rede de macrodrenagem. Nesse segundo caso, a determinação da propagação pode ocorrer por métodos conceituais lineares e não lineares como o de Clark, Nash e o da Onda Cinemática ou por métodos baseados em hidrogramas sintéticos (lineares).

O hidrograma triangular do Soil-Conservation Service foi criado para aplicações em áreas rurais, porém, após adaptação em 1975, o método SCS (1975) pode ser aplicado em áreas urbanas

Para finalizar o projeto de prevenção das enchentes deve-se dimensionar os dispositivos de controle, sejam eles na fonte ou não e, por fim, modelar o escoamento na rede de macrodrenagem.

3.3.1.1 Método Soil Conservation Service

O método do SCS (*Soil Conservation Service*) possui uma grande simplicidade em sua aplicação quando se deseja estimar o volume escoado superficialmente durante um evento de chuva e, também, para criar um hidrograma de projeto de uma determinada bacia. Sua metodologia está baseada no conceito de hidrograma unitário que foi proposto, pela primeira vez, na década de 90, por Sherman (1932).

De acordo com esse método, a lâmina d'água escoada durante uma precipitação é obtida através da Equação 5.

$$\begin{cases} Q = \frac{(P-Ia)^2}{(P-Ia+S)}, \text{ quando } P > Ia \\ Q = 0, \text{ quando } P \leq Ia \end{cases} \quad \text{Eq. 5}$$

Em que Q é a lâmina escoada, chuva efetiva, ou, ainda, volume de escoamento superficial dividida pela área da bacia em estudo, em milímetros; P é a precipitação ao decorrer do evento, em milímetros; S é o armazenamento do solo que depende da curva-número (parâmetro adimensional que representa a capacidade de armazenamento e infiltração do solo, em milímetros, e Ia que é a estimativa das perdas iniciais de água, dada pela fórmula $Ia = 0,2S$, ou seja 20% da capacidade de armazenamento do solo.

O parâmetro CN está relacionado com o armazenamento do solo (S) pela seguinte equação:

$$S = \left(\frac{25400}{CN} \right) - 254 \quad \text{Eq. 6}$$

Para a estimativa do valor de CN, o solo é classificado em quatro tipos: A, B, C e D, conforme descrito na Tabela 3-6.

3.3.2 Modelo hidrológico HEC-HMS

Os modelos hidrológicos chuva-vazão são aplicados objetivando de simular a resposta da bacia hidrográfica em termos de vazão para uma determinada seção

pluvial de interesse, a partir de uma chuva conhecida. Dentre os diversos modelos de simulação chuva-vazão existentes e citados na Tabela 3-9, o Modelo HEC-HMS (USACEHEC, 2000) apresenta como vantagens: diversas aplicações bem sucedidas em bacias hidrográficas brasileiras; facilidade de uso e interface didática com o usuário; é um software de uso livre, ou seja, gratuito, bem como pelo razoável realismo hidrológico presente em sua estrutura.

O modelo HEC-HMS (*Hydrologic-Engineering Center Hydrologic-Modeling System*), desenvolvido pelo *Hydrologic-Engineering Center do Corps-of-Engineers* do exército americano foi projetado para ser aplicado em uma ampla gama de áreas geográficas e, assim, resolver o maior número possível de problemas de recursos hídricos. Isso inclui grandes rios de abastecimento de água; a hidrologia da bacia hidrográfica de inundação; e o escoamento das pequenas bacias hidrográficas urbanas ou naturais. Os hidrogramas produzidos pelo programa são usados diretamente ou em conjunto com outros softwares para estudos relacionados, por exemplo, à disponibilidade de água, drenagem urbana, impacto da urbanização no futuro, projeto de vertedouros de reservatórios, redução de danos causados pelas inundações, regulação de várzea, e operação de sistemas (SCHARFFENBERG e FLEMING, 2010).

3.3.2.1 Características do modelo

Neste modelo, a representação física da bacia hidrográfica é feita por meio de elementos que possibilitam a discretização de bacias maiores, aumentando a quantidade de informações e reproduzindo o efeito da variabilidade espacial. O programa permite, ainda, a importação de mapas para auxiliar o posicionamento dos elementos representativos da bacia. Os elementos que podem ser representados no modelo são (COELHO, 2010):

- **Sub-bacias:** representam as sub-bacias simuladas onde devem ser fornecidos a área da bacia e os parâmetros dos métodos escolhidos para simulação das perdas por infiltração, da transformação chuva-vazão e da vazão de base. Na Tabela 3-10 são apresentados os principais métodos de simulação das sub-bacias em relação ao processo do ciclo hidrológico considerado.

Tabela 3-10: Métodos de simulação das sub-bacias.

PROCESSO		
Infiltração	Chuva-vazão	Vazão de base
Déficit e constante	Hidrograma unitário - Clark	Recessão
Perda exponencial	Hidrograma unitário - Snyder	Constante mensal
Green Ampt	Hidrograma unitário - SCS	Reservatório linear
Inicial e constante	Clark modificado	Boussinesq não –linear
SCS Curver Number*	Onda cinemática	
Smith Parlange	Hidrograma unitário especificado pelo usuário	

Obs.: * Método utilizado nas simulações desta monografia.

- **Nós de simulação:** representam os exutórios de cada sub-bacia e fornece um hidrograma em cada nó.
- **Trechos de canal:** representa trechos do curso d'água onde se considera um método específico de cálculo de escoamento livre em canais: Onda cinemática , Lag, Plus modificado, Muskingum, Muskingum-Cuge e Straddler Stagger.
- **Reservatórios:** pode representar lagos e reservatórios devem ser fornecidas as condições iniciais e as curvas Cota x Volume x Área.
- **Divisor de fluxo:** representa um ponto em que parte do escoamento diverge do canal principal.
- **Fonte:** representa uma entrada de vazão constante na bacia como uma nascente, por exemplo.
- **“Sink”:** representa um ponto da bacia em que o escoamento é perdido como uma depressão do terreno, por exemplo.

O módulo meteorológico do HEC-HMS permite a utilização de diferentes métodos de análise da precipitação e da evapotranspiração. Quando disponível, é possível inserir também precipitações medidas em um ou mais postos pluviométricos.

As datas de início e fim de simulação, assim como o intervalo de tempo, são escolhidas pelo usuário de acordo com a duração do hidrograma.

3.3.2.2 Limitações do modelo

Segundo Coelho (2010), a representação da dinâmica de escoamento em bacias hidrográficas é um fenômeno complexo de forma que a sua representação

por meio de um modelo é limitada pelas simplificações adotadas. No caso do programa computacional HEC-HMS, ressaltam-se duas limitações principais:

a) **Simplificação dos parâmetros do modelo:** as condições limite, iniciais e os parâmetros são sempre iguais, reduzindo a precisão dos cálculos, porém assegurando um tempo menor de processamento.

b) **Simplificação da representação do escoamento:** o modelo não realiza interações para um elemento a montante desconhecendo as condições hidráulicas a jusante, que influenciam o regime de escoamento.

3.4 Panorama da drenagem urbana na cidade de Belo Horizonte

Segundo Baptista e Nascimento (1996), a intensa urbanização ao longo da segunda metade do Século XX trouxe a tona os limites das soluções clássicas de drenagem urbana e suas consequências. Apesar de eficaz na solução de problemas locais, a canalização de cursos d'água revelou-se a principal causa das inundações em áreas a jusante, além de ser responsável por excluir os cursos d'água da paisagem urbana, impedindo a prática de atividades como esporte e de lazer próximas ao corpo hídrico, prejudicando, assim, a qualidade de vida da população.

No Quadro 3 são apresentados os estágios do desenvolvimento sustentável urbano no mundo ao longo das décadas.

Quadro 3: Estágios do desenvolvimento sustentável urbano nos países desenvolvidos.

Anos	Período	Características
Até 1970	Higienista	Canalização dos cursos d'água, com conseqüente transferência dos problemas para jusante.
1970-1990	Corretivo	Amortecimento quantitativo da drenagem e controle do impacto existente da qualidade da água pluvial.
Após 1990	Sustentável	Planejamento da ocupação do espaço urbano, segundo os mecanismos naturais de escoamento; Controle dos micropoluentes, da poluição difusa e o desenvolvimento sustentável do escoamento pluvial por meio da recuperação da infiltração.

Fonte: Adaptado de Tucci (2005) *apud* Drumond (2012).

A Constituição Federal brasileira determina que o instrumento básico da política de desenvolvimento e expansão urbana é o Plano Diretor. O Plano Diretor assume a função de, como instrumento, interferir no processo de desenvolvimento local, a partir da compreensão integradora dos fatores econômicos, políticos, financeiros, culturais, ambientais, institucionais, sociais e territoriais que condicionam a situação encontrada no Município (FILHO et al., 2005). De maneira mais focada aos problemas urbanos de drenagem: controle de enchentes, manutenção das condições naturais de recarga em aquíferos, entre outros existe, de forma complementar, o Plano Diretor de Drenagem Urbana, instrumento de grande valia ao planejamento nas grandes cidades.

Righetto et al. (2009) descreve o Plano Diretor e o Plano Diretor de Drenagem Urbana, de maneira conjunta, como sendo os componentes essenciais do manejo eficiente da bacia urbana. Deve haver a participação de todas as esferas da sociedade, levando-se em conta, sempre, novos conceitos e tecnologias de forma a alcançarem-se melhorias contínuas nos processos de drenagem que compõem a dinâmica da cidade.

Em 1999, São Paulo foi a primeira cidade do país a possuir um Plano Diretor de Drenagem Urbana (Prefeitura Municipal de São Paulo, 1999). Apesar de significar um avanço representativo para o setor, não apresentou-se um diagnóstico do sistema de drenagem existente na cidade e nem mesmo foi proposto um planejamento a ser seguido pela administração municipal para a redução dos problemas enfrentados nesse âmbito. Na questão de controle do escoamento superficial na fonte, em especial, o documento citado conceitua e descreve a existência de algumas técnicas compensatórias passíveis de serem utilizadas (DRUMOND, 2012).

3.4.1 Inundações na cidade de Belo Horizonte –MG

Segundo Drumond (2012), o problema com enchentes é recorrente na cidade de Belo Horizonte nos últimos anos (Tabela 3-10), isso se deve à utilização de técnicas clássicas nas obras de drenagem, que aumentam a capacidade de escoamento das estruturas de drenagem e transferem o problema dos grandes volumes escoados para jusante.

Tabela 3-10: Ocorrências de Inundações e Alagamentos no município de Belo Horizonte.

REGIONAL	NÚMERO DE OCORRÊNCIAS		
	1995 a 1998	1999 a 2008	2009 a 2011*
Norte	248	201	386
Nordeste	465	180	102
Noroeste	158	31	53
Pampulha	252	114	227
Venda Nova	307	390	101
Leste	167	45	53
Centro-Sul	88	22	56
Oeste	292	91	170
Barreiro	177	22	143

Fonte: Coordenadoria Municipal de Defesa Civil de Belo Horizonte – COMDEC (adaptado do PDDU/BH, 2000) * Dados referentes ao período de 23/01/09 a 07/04/11.

O total de Inundações no período de 1995 a 1998 foi o maior totalizando 2154 ocorrências enquanto que no ano de 1999 a 2008 foram 1096 e de 2009 a 2011 totalizaram-se 1291.

O conceito higienista, que norteou as técnicas clássicas utilizadas em obras de drenagem na cidade de Belo Horizonte, objetivava afastar o volume d'água contaminado por dejetos de animais e humanos, com a evacuação rápida das águas precipitadas, através da canalização dos leitos dos rios, que viriam a se tornar meros meios de transporte dos rejeitos da população (RAIMUNDO, 2007).

Em Belo Horizonte, bem como na maioria das cidades brasileiras, o processo de urbanização ocorreu sem a preocupação com a manutenção do escoamento natural das águas pluviais. Houve a ocupação imprópria das margens em áreas de várzeas e a retificação dos cursos d'água (DRUMOND, 2012).

Na tentativa de organizar e planejar o processo de urbanização, a Prefeitura Municipal de Belo Horizonte (PBH) elaborou, em 1996, o Plano Diretor Municipal e a Lei Municipal nº 7.166/96 (LPOUS/BH) alterada pela Lei nº 9.959/10, que definiram, então, diretrizes e parâmetros para o parcelamento, ocupação e uso do solo do município, dividindo o território e classificando-o em zonas de adensamento. Entre os avanços obtidos, a definição de taxas de permeabilidade tem seu destaque para a gestão da drenagem na capital (DRUMOND, 2012).

Segundo Drumond (2012), Belo Horizonte foi a primeira capital do país a exigir a instalação de microrreservatórios em terrenos com grandes taxas de impermeabilização. A Superintendência de Desenvolvimento Urbano da Capital SUDECAP, principal órgão executor das obras de infra-estrutura urbana e dos bens imóveis públicos, da cidade de Belo Horizonte, disponibilizou, por meio de seu Caderno de Encargos (2008), modelos de microrreservatórios para atender as especificações da Lei de Parcelamento, Ocupação e Uso do Solo do Município.

Um dos instrumentos mais recentes elaborados pela PBH para auxiliar a gestão da drenagem urbana do município foi a Carta de Inundações de Belo Horizonte (2009). Esta apresenta o mapeamento dos locais potencialmente suscetíveis à inundação em cada bacia hidrográfica da cidade. Na Figura 3-13 é mostrado um exemplo da delimitação de uma mancha de inundação, representada pelo círculo vermelho, que engloba a área de estudo desse trabalho, bem como o gráfico relacionando o nível de risco, a duração e a altura de chuva (DRUMOND, 2012).

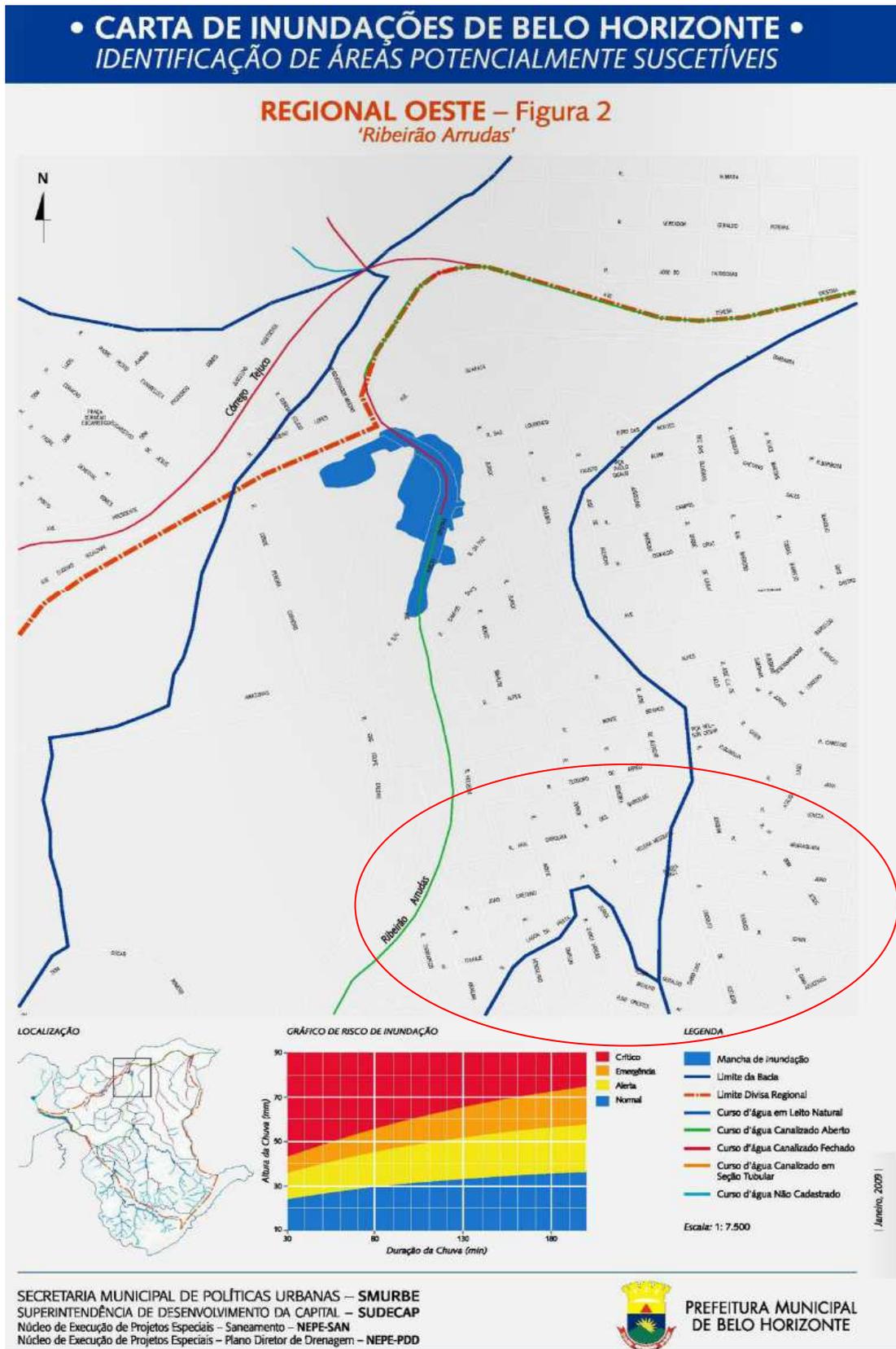


Figura 3-13: Carta de inundações de Belo Horizonte com destaque à mancha de inundação do ribeirão Arrudas (Região Oeste da capital). Fonte: <http://goo.gl/X4IUmv>. Acesso em 15 de maio de 2015.

3.4.1.1 Aspectos legais do uso e ocupação do solo e microdrenagem

O Art. 4º da Lei nº 7.166/96 (LPOUS/BH) já estabelece que o território do Município é considerado área urbana, dividindo-se em zonas, de acordo com as diretrizes estabelecidas no Plano Diretor (BELO HORIZONTE 1996).

O Art. 50 da lei atual (nº9.959/10), que complementa a Lei nº 7.166/96, define taxas de permeabilidade mínimas para cada zona de ocupação da cidade, como é mostrado na Tabela 5.2. As caixas de retenção são obrigatórias para lotes que alcancem a taxa mínima de permeabilidade, localizados em ZA, ZAP, ZARs, ZHIP, ZCs e Zes. Estas devem possibilitar a retenção de até 30 L (trinta litros) de água pluvial por metro quadrado de terreno impermeabilizado que exceda o limite estabelecido em lei (BELO HORIZONTE, 2010).

As ZAPs, que são as regiões passíveis de adensamento, em decorrência de condições favoráveis de infra-estrutura e de topografia, enquadram-se, portanto, nas especificações citadas anteriormente e válidas em todo o território municipal. Determina-se na lei, ainda, que as edificações, exceto as localizadas nas zonas ZPAM e ZPs, entre outras exceções, podem ser a causa da impermeabilização de até 100% (cem por cento) da área do terreno, desde que: nelas haja área descoberta equivalente à área de permeabilidade mínima dotada de vegetação que contribua para o equilíbrio climático; e seja construída caixa de captação e drenagem que retarde o lançamento das águas pluviais provenientes da área conforme orienta a lei (BELO HORIZONTE, 1996).

Tabela 3-11: Parâmetros definidos na LPOUS de Belo Horizonte – MG.

Zona de Ocupação	ZA, ZAP, ZARs, ZHIP, ZCs e ZEs	ZPAM	ZP-1	ZP- 2 e 3	ZEIS	
Taxa de Permeabilidade Mínima	10% ($A_{Lote} < 360m^2$)	20% ($A_{Lote} > 360m^2$)	95%	70%	30%	*
Volume da Caixa de Retenção (m3)	30 L x A_{Imp}	-	-	-	*	

Obs: *A ser definido em lei específica; A_{Lote} = Área do terreno; A_{Imp} = Área Impermeabilizada acima do estabelecido em lei.

4 METODOLOGIA

A metodologia deste trabalho consiste: a) na **escolha da área de estudo**, de forma a selecionar-se uma área com histórico de ocorrência de enchentes e na qual haja real possibilidade de implantação dos dispositivos de controle da drenagem superficial; b) no **estudo hidrológico**, para que sejam determinados os parâmetros de entrada do modelo hidrológico de transformação chuva em vazão, referentes à cidade de Belo Horizonte - MG; c) no **dimensionamento dos MR**, de forma a utilizarem-se dispositivos que gerem efeitos ótimos ao amortecimento da onda de cheia; e, por fim, d) nas **simulações hidrológicas** da área de estudo, que fornecerão os efeitos da utilização isolada e conjunta dos MRs e TVs.

4.1 Escolha da Área de Estudo

A partir do estudo da Carta de Inundação da cidade de Belo Horizonte, fez-se um levantamento das áreas potencialmente inundáveis. Foi escolhida como área de aplicação desta pesquisa a área constituída por um conjunto de lotes em um bairro urbanizado de Belo Horizonte – MG, com histórico recorrente de inundações. Na Figura 3-13 é apresentada a mancha de inundação localizada a jusante da área escolhida como quadra padrão para esse estudo, que contribui com o volume das enxurradas dessa mancha durante eventos críticos de precipitação.

Na Figura 4-1 é mostrado um mapa elaborado em ambiente ArcGis (ESRI. Arc Map 1999), baseado em um dado de entrada (ShapeFile) que representa os arruamentos de Belo Horizonte – MG em sua versão do ano 2015, obtido nas informações georreferenciadas do Município de Belo Horizonte, fornecidas pela PBH (Prefeitura Municipal de Belo Horizonte) em conjunto com a Empresa de Informática e Informação do Município de Belo Horizonte (PRODABEL) no seu programa IDE-BH (2015). A área em destaque é a quadra padrão adotada nesse estudo cuja área é de, aproximadamente 14 000 m² e pode ser dividida em 24 lotes padrões de 580 m² cada, aproximadamente.

Arruamentos de Belo Horizonte

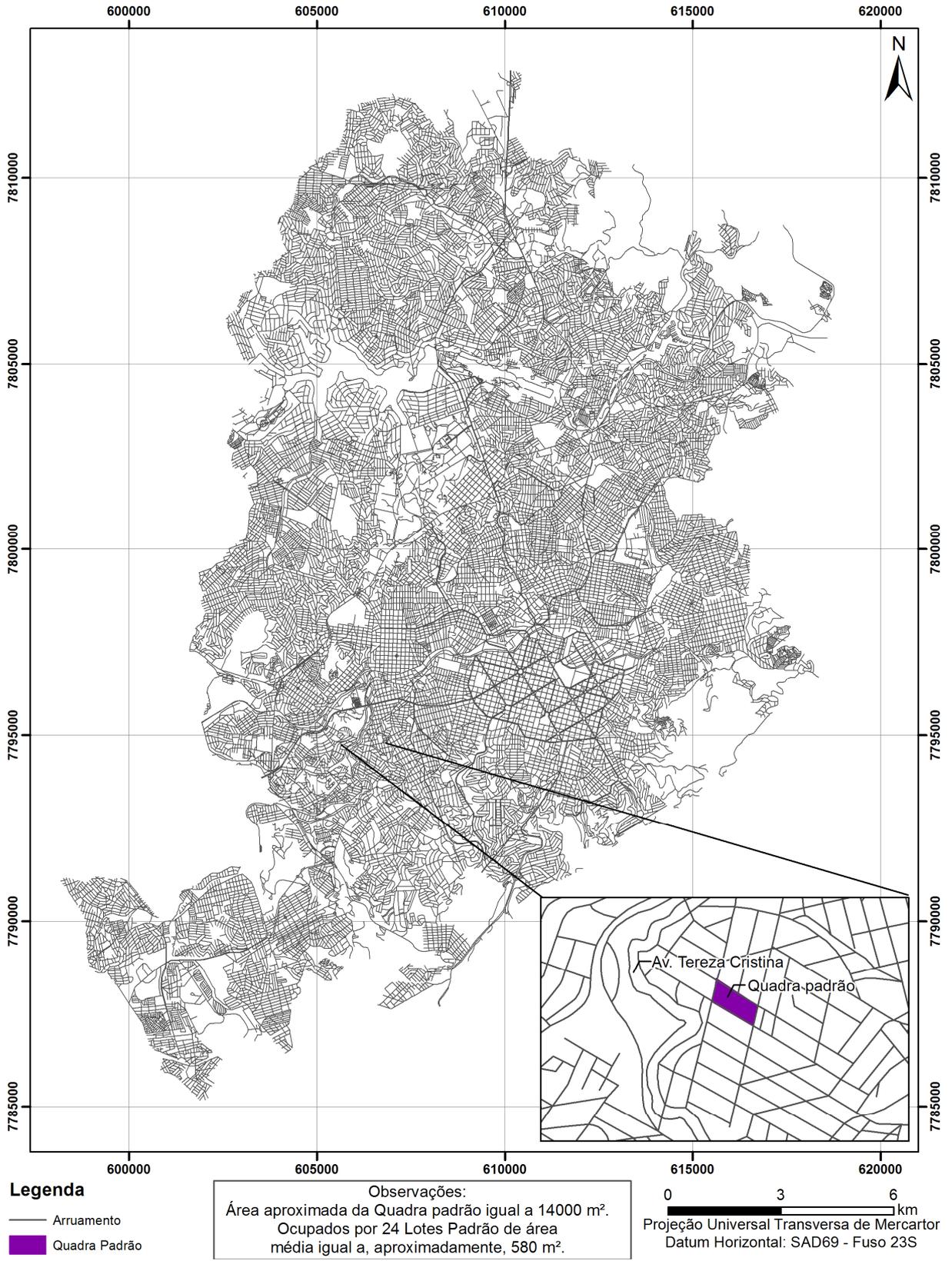


Figura 4-1: Arruamentos de Belo Horizonte – MG e Quadra padrão em estudo. Fonte: Próprio autor.

Nas Figura 4-2 e Figura 4-3 são apresentados a localização da quadra padrão e o entorno da quadra padrão, respectivamente. Observa-se a alta taxa de impermeabilização na área de estudo, o que é recorrente nos grandes centros urbanos devido ao tipo de ocupação e uso do solo.

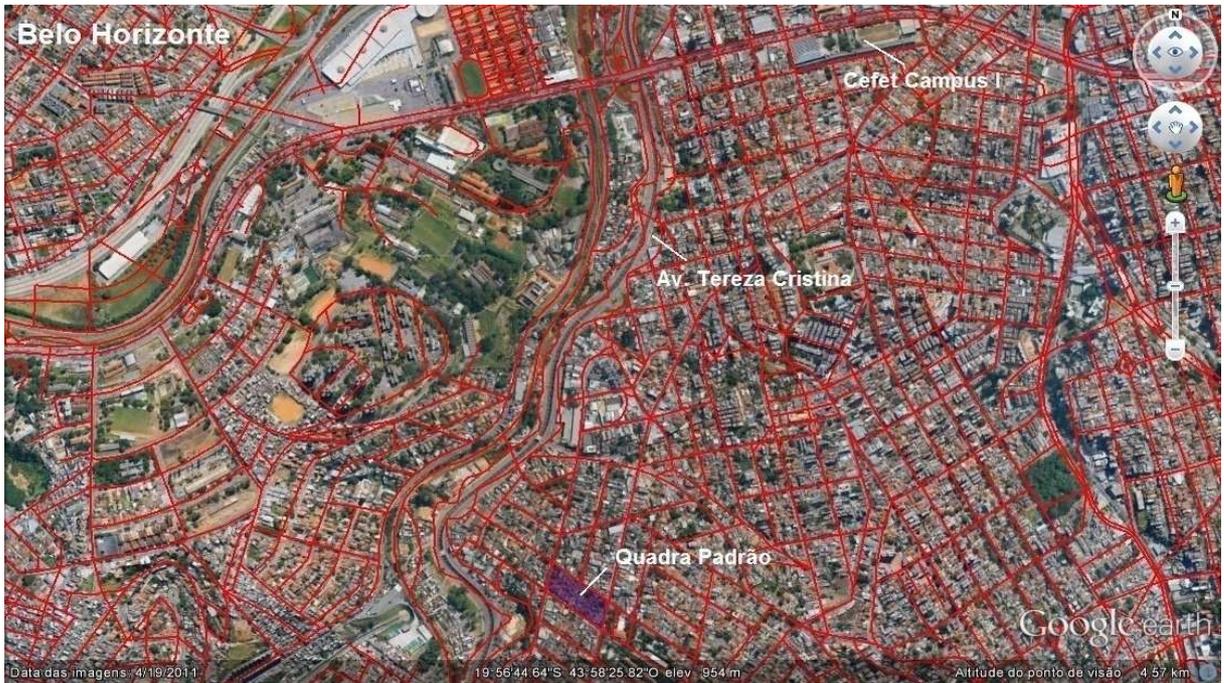


Figura 4-2: Detalhes da quadra padrão em meio urbano (GOOGLE EARTH 2011).



Figura 4-3: Quadra e lote padrão com maior nível de detalhamento.

4.2 Estudo Hidrológico

4.2.1 Análise de Chuvas Intensas

O estudo das chuvas máximas é de extrema importância na drenagem urbana, pois são essas as causadoras das enchentes que afetam a sociedade destruindo casas, interrompendo o tráfego e trazendo danos à vida.

Um dos dados de entrada do programa HEC-HMS é a chuva de projeto. No dimensionamento de uma estrutura hidráulica, estima-se uma chuva com duração t e tempo de retorno TR , que fornece a altura pluviométrica máxima para essa duração, por meio de uma curva IDF. Para áreas muito pequenas, admite-se que essa precipitação terá intensidade constante durante toda a duração t . Neste trabalho, optou-se pelo método de Huff (1967), pois o modelo HEC-HMS necessita de blocos de chuva.

Um dos métodos mais usados na determinação do hietograma de projeto (distribuição temporal da chuva) é o Método do Bureau of Reclamation ou dos Blocos Alternados. Este método utiliza as relações IDF e atribui a cada intensidade do hietograma um mesmo período de retorno.

Segundo Collischonn e Tassi (2008), a melhor forma para se analisar as chuvas máximas de uma determinada região é por intermédio de curvas de Intensidade–Duração–Frequência (curvas IDF) representadas geralmente na forma de gráficos.

A obtenção da curva IDF se dá por análise estatística de séries longas de dados de uma estação pluviográfica. Estipula-se, então, uma duração. As mais usadas são de 5 minutos, 10 minutos, 1 hora, 12 horas, 24 horas, 2 dias e 5 dias. Selecionam-se as maiores chuvas, com duração igual à escolhida em cada ano da série de dados e com base nesta série, ajusta-se uma distribuição de frequências que melhor represente a distribuição dos valores observados (COLLISCHONN e TASSI, 2008).

Pinheiro (1997) propôs a seguinte equação do tipo IDF para a Região Metropolitana de Belo Horizonte – MG:

$$i_{T,t,j} = 0,76542t^{-0,7059}P_{\text{anual}}^{0,5360}\mu_{T,t}; T \leq 200\text{anos}; 10 \text{ min} \leq t \leq 24\text{h} \quad \text{Eq. 7}$$

Em que $i_{T,t,j}$ é a estimativa de chuva (mm/h ou mm/min), de duração t (h ou min), no local j , associada ao período de retorno T , representado em anos; P_{anual} é a precipitação anual, em milímetros na região j situada dentro da Região Metropolitana de Belo Horizonte – MG, a qual pode ser obtida na análise de um mapa isoietal; Por fim, $\mu_{T,t}$ representa os quantis adimensionais de frequência, de validade regional, associado à duração t e ao período de retorno T , conforme a Tabela 4-1.

Tabela 4-1: Quantis adimensionais de frequência para diversas durações de precipitação e tempos de retorno.

Durações (min)	TR (anos)						
	1,05	1,25	2	10	20	50	100
10	0,691	0,828	1,013	1,428	1,586	1,791	1,945
15	0,695	0,83	1,013	1,422	1,578	1,78	1,932
30	0,707	0,836	1,013	1,406	1,557	1,751	1,897
45	0,69	0,827	1,013	1,43	1,589	1,795	1,949
60	0,679	0,821	1,014	1,445	1,61	1,823	1,983
120	0,683	0,823	1,014	1,439	1,602	1,813	1,97
180	0,679	0,821	1,014	1,445	1,61	1,823	1,983
240	0,688	0,826	1,013	1,432	1,591	1,798	1,953
480	0,674	0,818	1,014	1,451	1,618	1,834	1,996
840	0,636	0,797	1,016	1,503	1,69	1,931	2,112
1440	0,603	0,779	1,017	1,55	1,754	2,017	2,215

Fonte: Adaptada de NAGHETTINI (1999).

Aplicando-se os valores da Tabela 4-1 à Equação 7 e considerando a precipitação anual da região igual a 1400 mm/ano conforme a Figura 3-12, foi obtida a Tabela 4-2, que relaciona a intensidade da precipitação, sua duração e sua frequência.

Tabela 4-2: Equação IDF Região Metropolitana de Belo Horizonte – MG .

Durações (h)	TR (anos)						
	1,05	1,25	2	10	20	50	100
0,167	91	109	133	188	209	236	256
0,25	69	82	100	141	156	176	191
0,5	43	51	61	85	94	106	115
0,75	31	38	46	65	72	82	89
1	25	31	38	54	60	68	74
2	16	19	23	33	37	41	45
3	12	14	17	25	28	31	34
4	10	12	14	20	22	25	27
8	6	7	9	12	14	16	17
14	4	5	6	9	10	11	12
24	2	3	4	6	7	8	9

Fonte: Tabela elaborada pelo autor.

Para obter a equação que relaciona Precipitação-Duração-Frequência (PDF) para a Região Metropolitana de Belo Horizonte – MG ,utilizou-se a seguinte equação:

$$\text{Precipitação} = \frac{(\text{Intensidade} \times \text{Duração})}{\text{Frequencia}} \quad \text{Eq. 8}$$

Na qual a intensidade (mm/s) é proveniente da Tabela 4-2, a duração é dada em horas e a frequência em anos.

Na

Tabela 4-3 são mostradas as curvas convertidas em PDF obtidas para Região Metropolitana de Belo Horizonte – MG .

Tabela 4-3: Curvas PDF obtidas para a RMBH.

Durações (h)	TR (anos)						
	1,05	1,25	2	10	20	50	100
0,167	15	18	22	31	35	39	43
0,25	17	21	25	35	39	44	48
0,5	21	25	31	43	47	53	58
0,75	24	28	35	49	54	61	67
1	25	31	38	54	60	68	74
2	31	38	46	66	73	83	90
3	35	42	52	74	83	94	102
4	38	46	57	80	89	100	109
8	46	56	69	99	111	126	137
14	51	64	82	121	137	156	171
24	57	74	96	147	166	191	210

Fonte: Tabela elaborada pelo autor.

Comumente ocorre a utilização de tempos de retorno de 2, 5, 10, 20 e 50 anos nos projetos de estruturas hidráulicas, sendo assim, baseado-se na

Tabela 4-3 foram obtidas as curvas PDF para os períodos de retornos mais usuais (Tabela 4-4). Os valores destacados em vermelho foram obtidos por preenchimento de falhas, por meio de fatores de conversão ou interpolação logarítmica, o que será melhor explicado a seguir.

Tabela 4-4: Curva PDF – RMBH (utilizada).

Duração (min)	Duração (h)	Período de retorno (anos)				
		2	5	10	20	50
5	0,083	10	12	14	16	18
10	0,167	22	25	31	35	39
15	0,250	25	29	35	39	44
20	0,333	25	29	35	38	43
30	0,500	31	36	43	47	53
40	0,667	38	44	54	60	68
50	0,833	41	47	58	64	73
60	1,000	38	44	54	60	68

Fonte: Tabela elaborada pelo autor.

4.2.2 Preenchimento de falhas das séries históricas de vazão

Parte do estudo hidrológico consistiu-se no preenchimento de falhas para as séries históricas de vazão. Os valores em destaque na Tabela 4-4 foram obtidos por preenchimento de falhas, por meio de fatores de conversão conforme a Tabela 4-5, que apresenta uma compilação de valores coeficientes de conversão utilizados por autores de renome nos Estados Unidos da America (EUA). ou por interpolação logarítmica (Gráficos 4-1 a 4-4).

Tabela 4-5: Relações entre alturas pluviométricas.

RELAÇÃO ENTRE ALTURAS PLUVIOMÉTRICAS	VALORES MÉDIOS OBTIDOS EM ESTUDOS NOS EUA.	VALORES		
		ADOTADOS PELO U.S. WEATHER BUREAU	ADOTADOS EM DENVER	DE OUTROS ESTUDOS
5 min / 30 min	0,34	0,37	0,42	
10 min / 30 min	0,54	0,57	0,63	
15 min / 30min	0,70	0,72	0,75	
20 min / 30 min	0,81		0,84	
25 min / 30 min	0,91		0,92	
30 min / 1 h	0,74	0,79		
1 h / 24 h	0,42			0,435 (a)
6 h / 24 h	0,72			
8 h / 24 h	0,78			
10 h / 24 h	0,82			
12 h / 24 h	0,85			

OBS.: (a) Valor obtido nos Estados Unidos da América para T = 2 anos.

Fonte: CETESB, 1986.

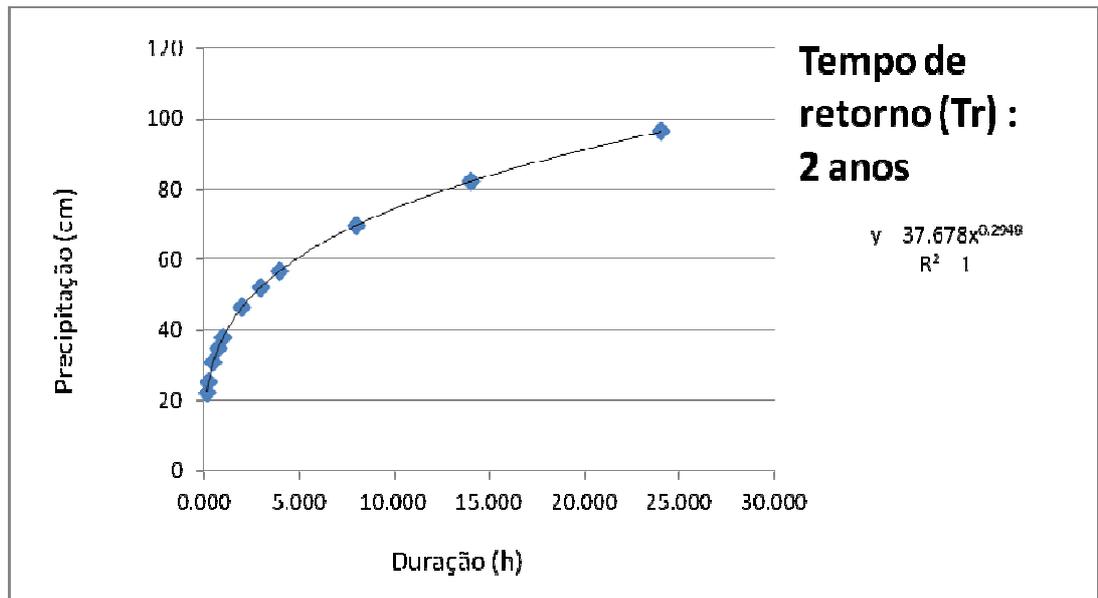


Gráfico 4-1: Tempo de retorno 2 anos.

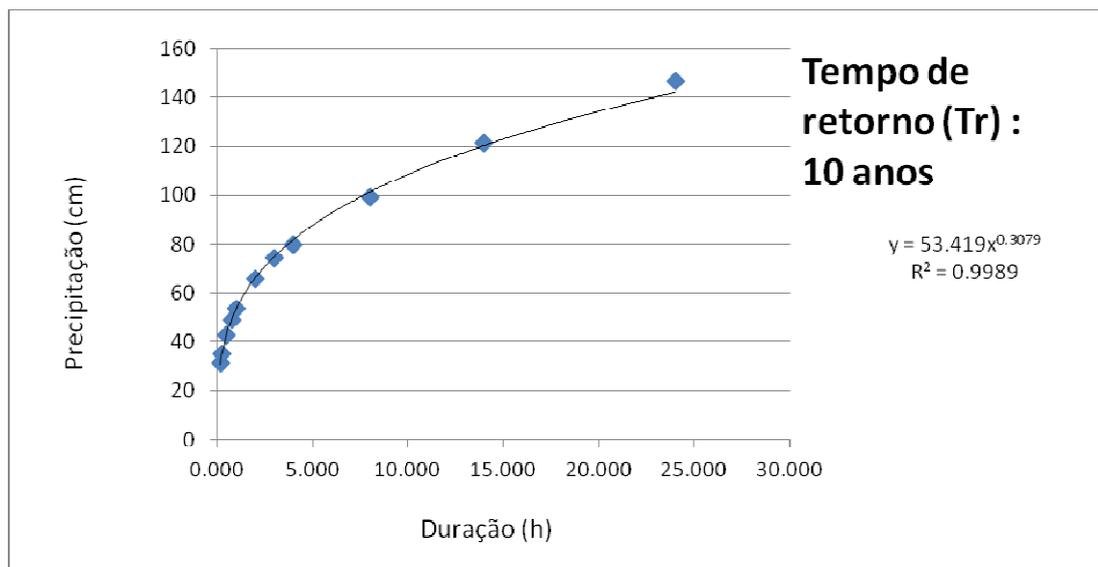


Gráfico 4-2: Tempo de retorno 10 anos.

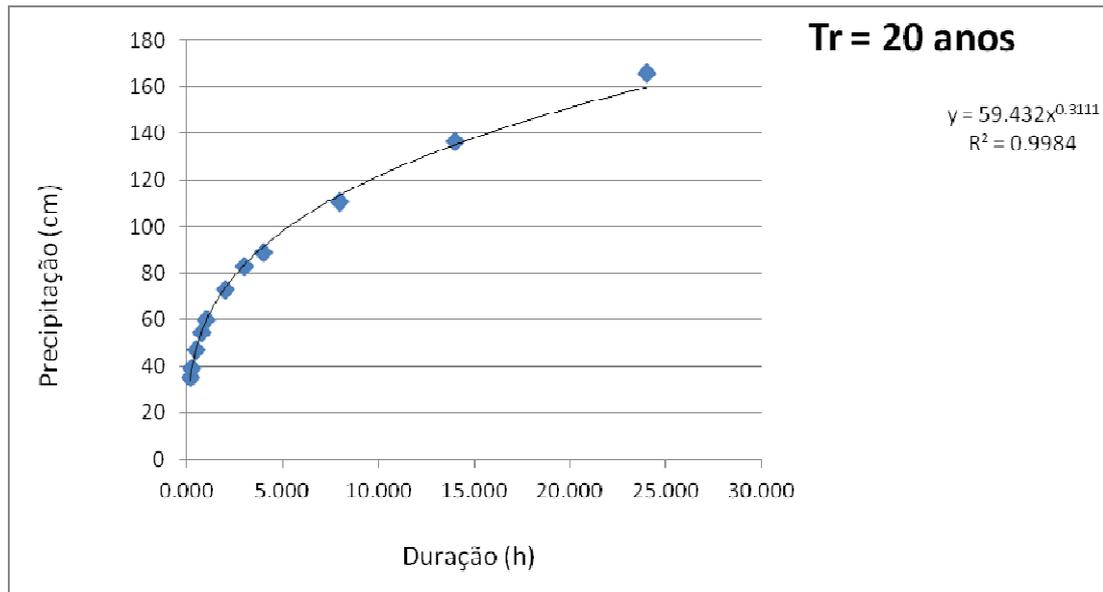


Gráfico 4-3: Tempo de retorno 20 anos.

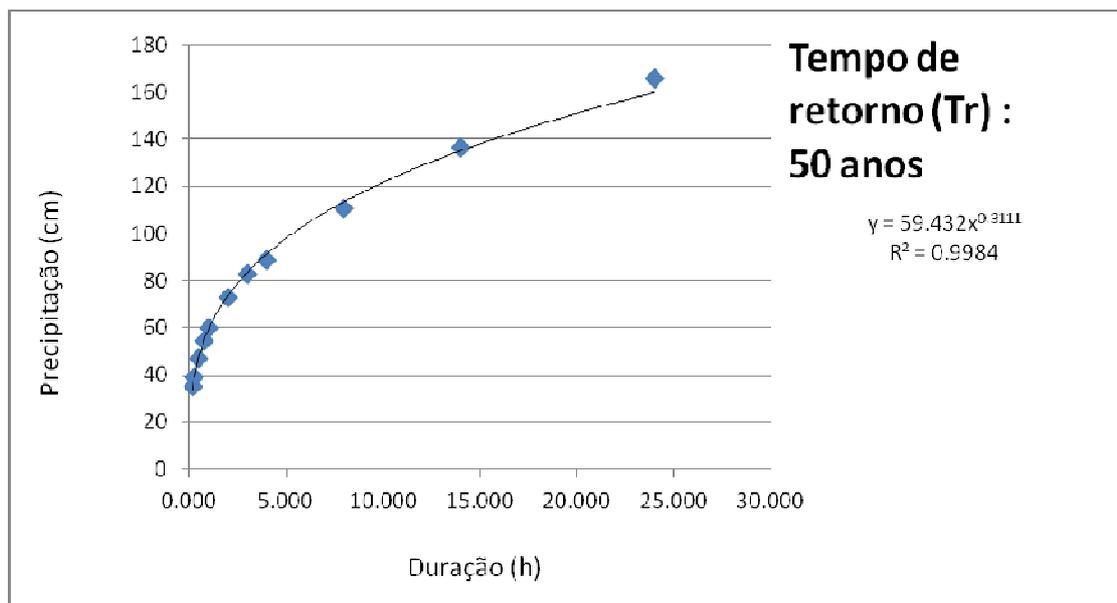


Gráfico 4-4: Tempo de retorno 50 anos.

4.3 Dimensionamento dos Microrreservatórios

Segundo Cruz (1999), o dimensionamento dos microrreservatórios de detenção domiciliares pode ocorrer em diversos formatos, dependendo das condições do terreno em que estão envolvidas o projeto. O formato mais comum, utilizado para esses dispositivos, é o retangular, no qual a altura deve ser limitada, uma vez que deve-se considerar a profundidade da rede pluvial, evitando-se o uso de estações elevatórias que ampliariam em muito os custos de projeto.

Dentre as restrições apresentadas por Andrade Filho et al. (2000) no item 3.1.1.2 da revisão bibliográfica deste estudo, estão a profundidade da rede pluvial e o nível do lençol freático, de maneira que um reservatório, enterrado, localizado abaixo da rede pluvial não seria um projeto viável, na medida que poderia incorrer em complicações desnecessárias como a sua incapacidade de escoar por gravidade o volume armazenado, além de ter maior chance de atingir o lençol freático, o que, na maioria dos casos inviabilizaria a sua instalação. Portanto, visando uma forma evitar-se tais problemas, foram testados dispositivos com alturas menores ou iguais a 1 metro.

Em outro estudo (CRUZ,1998), verifica-se o uso de alturas iguais a 0,6 metros. Os valores 0,6 m e 1,0 m foram, portanto, os escolhidos para os testes de dimensionamento do MRs, que ocorreu em um lote padrão, de forma que considerou-se cada dispositivo enterrado em cada lote.

Considerou-se, ainda, que o orifício de saída estaria situado a uma altura de 10 cm do fundo do MRs, com o intuito de não obstruir facilmente na presença de sedimentos. Os volumes escolhidos para os testes de dimensionamento apresentaram uma variação de 0,6 m³ a 2,5 m³, valores que se assemelham bastante aos utilizados por Schilling (1982), Gens (1994) e Cruz (1998).

Nesta etapa, testaram-se as diferentes características dos MRs de forma a verificar qual o dispositivo acarretaria numa maior redução na vazão de pico do volume escoado superficialmente no lote padrão. Na Figura 4-4 é apresentada a interface do software HEC-HMS (USACE-HEC, 2000), em destaque a representação gráfica do lote padrão com um MR instalado.

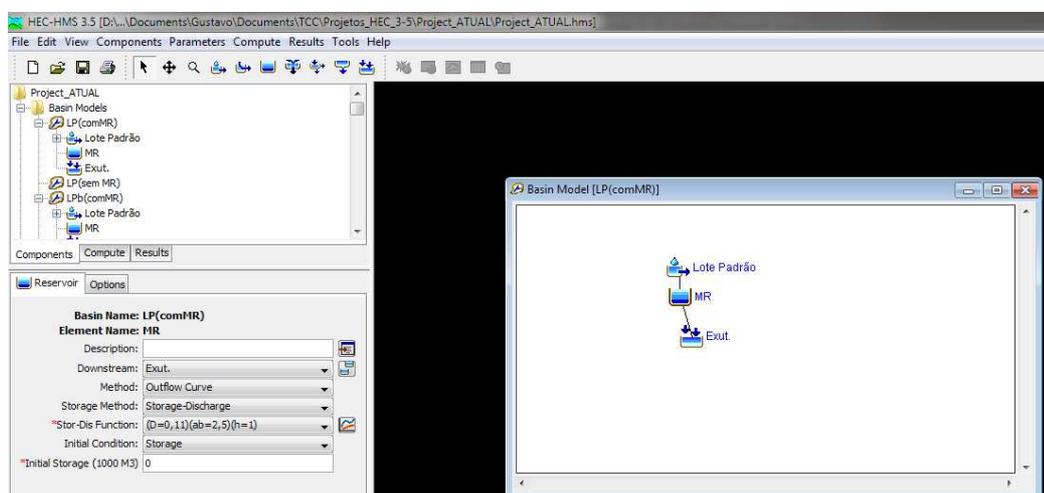


Figura 4-4: Interface do software e representação do lote padrão com um MR.

4.3.1 Dispositivos de descarga e volume dos MRs

Raimundo (2007) propõe a utilização de orifícios como dispositivos de descarga para os MRs, sendo assim a vazão de projeto (Q) fica sendo a vazão de pré-ocupação. Dessa maneira, o dimensionamento passa a sujeitar-se à escolha do coeficiente de descarga do orifício (C_d) conforme a Equação 9.

$$Q = C_d \times A_o \times \sqrt{2gh} \quad \text{Eq. 9}$$

Em que 'h' é a carga no orifício, 'g' é a aceleração da gravidade e 'Ao' é a área da seção.

Segundo Azevedo Netto et al. (1998), pode-se usar o valor de 0,61 para o coeficiente C_d quando a aplicabilidade envolve microrreservatórios. Há relatos na bibliografia de autores que utilizam outros valores para o coeficiente, como é o caso de Pilar e Bain (2000) que adotaram C_d como 0,82 em seus estudos.

Os dispositivos de detenção testados possuíam diâmetros nominais (DN) do orifício de saída que variavam de 0,025 mm; 0,032 mm ; 0,04 mm; 0,05 mm; 0,063 mm; 0,075 mm; 0,90 mm a 0,110 mm, uma vez que se objetivava avaliar o armazenamento ao utilizar-se uma grande variedade de diâmetros comerciais (AMANCO, 2015).

Nas Tabela 8-1 a Tabela 8-10 do Anexo I são apresentados os valores de vazões de saída dos MRs, que são dados de entrada para o modelo HEC-HMS, obtidos com a variação dos DN's do orifício de saída; áreas da base do MR; e altura do mesmo. A vazão foi obtida a partir da Equação 9. No item (a) do Anexo, objetivou-se testar MRs dimensionados baseado-se nas alturas e volumes propostos por Schilling (1982), Genz (1994), Cruz (1998). Enquanto que, no item b), tomou-se com o base o dimensionamento proposto pela LPOUS/BH (1996) explicado no item 3.4.1.1.

O orifício de saída dos microrreservatórios foi considerado a uma altura de 10 cm do fundo, e, por questões de manutenção do dispositivo, na tentativa de inviabilizar-se a obstrução desse, o reservatório não se esvazia completamente. Sua

ligação ocorre com a microdrenagem do próprio lote que é direcionada à drenagem municipal.

Nesse dimensionamento não foram contemplados dispositivos extravasores de emergência em vista do próprio funcionamento do modelo de simulação utilizado, o HEC-HMS que, na proposta elaborada durante esse estudo, possuía um funcionamento ótimo, ou seja, não transbordava e fornecia a melhor curva de vazão para o escoamento superficial do lote.

4.4 Simulações com os dispositivos isolada e conjuntamente

Após o dimensionamento dos MRs, realizaram-se simulações de quatro cenários, são eles:

- **Cenário I:** Quadra Padrão (24 lotes) totalmente impermeabilizados, sem quaisquer dispositivos de controle do escoamento superficial;
- **Cenário II:** Quadra Padrão (24 lotes) totalmente impermeabilizados com a utilização de MRs (1 em cada lote);
- **Cenário III:** Quadra Padrão (24 lotes) totalmente impermeabilizados com a utilização de TVs (1 em cada lote), cujas áreas representavam o equivalente a 50% do terreno de cada lote;
- **Cenário IV:** Quadra Padrão (24 lotes) totalmente impermeabilizados com a utilização conjunta dos TVs e MRs presentes nos Cenários II e III.

4.4.1 Parâmetros utilizados na simulação

Neste trabalho, a simulação hidrológica foi configurada utilizando os métodos apresentados na Tabela 6.

Tabela 5-6: Métodos utilizados nas simulações.

PARÂMETRO	MÉTODO
Precipitação	Fornecimento de uma chuva de projeto (Método dos Blocos Alternados) para obter-se um hietograma específico para cada sub-bacia do modelo, que eram os lotes, propriamente;
Escoamento superficial	Método SCS –Curver Number;
Amortecimento em reservatório	Fornecimento de Curvas Armazenamento x Vazão

Fonte: Tabela elaborada pelo autor.

O período de retorno (TR) e a duração da chuva utilizados foram 10 anos e 10 minutos, respectivamente. Adotou-se que cada lote encontra-se totalmente impermeabilizado por telhados e áreas asfaltadas (CN igual a 98). A área da quadra padrão adotada se enquadra em uma Zona de Adensamento Preferencial (ZAP).

Os TVs possuíam, arbitrariamente, uma área de 290 m², equivalente à metade da área do lote padrão. No modelo utilizado (HEC-HMS), diferentemente dos MRs, que tem entrada como reservatórios e dependem de uma curva de armazenamento em função da vazão que passa pelo orifício de saída do dispositivo, os TVs são equivalentes a minúsculas bacias hidrográficas com um CN associado de valor 83, por se tratarem de TVs extensivos conforme explicado no item 3.1.1.1.3 deste estudo.

Considerou-se, nos cenários II e IV, a presença de 1 (um) microrreservatórios por lote. A altura dos microrreservatórios (h = 1,0 m) evitará problemas construtivos em relação à altura do lençol freático e a profundidade da rede de drenagem existente. Em vista dessa característica, também, a disponibilidade de área nas residência não se torna um fator tão preocupante.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 Estudo Hidrológico

5.1.1 Distribuição temporal das chuvas: Método de Huff (50% do 2º quartil)

Foi utilizado o software CHUEFET4 para realização da distribuição temporal das chuvas. Os dados de entrada para o modelo de Huff (1967) são: a duração da chuva em horas, o total precipitado em milímetros, o período de retorno das chuvas em anos, o número de blocos de chuva. Todos esses parâmetros, exceto o número de blocos de chuva, são obtidos da Tabela 4-4 de curvas PDF. O número de blocos foi definido baseando-se na interface do programa HEC-HMS utilizado no desenvolvimento deste estudo.

São apresentadas, a seguir, as distribuições temporais das chuvas para diversos períodos de retorno: 2, 5, 10, 20 e 50 anos e durações: 5, 10, 15, 20, 30, 40, 50 e 60 minutos (Tabela 5-1 a Tabela 5-5).

Tabela 5-1: Distribuição temporal das chuvas para TR = 2 anos.

Duração (min)	5	10	15	20	30	40	50	60
	1,32	2,9	3,29	3,29	2,66	1,42	4,74	3,26
	4,03	8,87	10,08	10,08	9,41	5,75	14,52	11,53
	3,32	7,3	8,29	8,29	10,55	8,7	11,94	12,94
	1,03	2,27	2,58	2,58	5,95	8,22	3,72	7,29
	0,3	0,66	0,75	0,75	1,68	5,3	1,08	2,06
					0,75	2,24		0,92
						0,81		
TR = 2 anos						0,57		
TOTAL	10	22	24,99	24,99	31	33,01	36	38

Tabela 5-2: Distribuição temporal das chuvas para TR = 5 anos.

Duração (min)	5	10	15	20	30	40	50	60
	1,58	3,29	3,82	3,82	3,09	1,89	6,19	3,78
	4,84	10,08	11,69	11,69	10,93	7,67	18,95	13,36
	3,98	8,29	9,62	9,62	12,26	11,6	15,59	14,98
	1,24	2,58	2,99	2,99	6,91	10,96	4,85	8,44
	0,36	0,75	0,87	0,87	1,95	7,07	1,41	2,38
					0,87	2,98		1,06
						1,08		
TR = 5 anos						0,75		
TOTAL	12	24,99	28,99	28,99	36,01	44	46,99	44

Tabela 5-3: Distribuição temporal das chuvas para TR = 10 anos.

Duração (min)	5	10	15	20	30	40	50	60
	1,84	4,08	4,61	4,61	3,69	2,32	7,64	4,64
	5,65	12,5	14,11	14,11	13,05	9,41	23,39	16,39
	4,64	10,28	11,61	11,61	14,64	14,23	19,24	18,38
	1,45	3,2	3,61	3,61	8,25	13,45	5,99	10,36
	0,42	0,93	1,05	1,05	2,33	8,68	1,74	2,92
					1,04	3,66		1,3
						1,32		
TR = 10 anos						0,93		
TOTAL	14	30,99	34,99	34,99	43	54	58	53,99

Tabela 5-4: Distribuição temporal das chuvas para TR = 20 anos.

Duração (min)	5	10	15	20	30	40	50	60
	2,11	4,61	5,14	5	4,03	2,58	8,43	5,15
	6,45	14,11	15,73	15,32	14,27	10,46	25,81	18,21
	5,31	11,61	12,94	12,61	16	15,82	21,23	20,43
	1,65	3,61	4,03	3,92	9,02	14,94	6,61	11,52
	0,48	1,05	1,17	1,14	2,55	9,65	1,92	3,25
					1,13	4,07		1,45
						1,47		
TR = 20 anos						1,03		
TOTAL	16	34,99	39,01	37,99	47	60,02	64	60,01

Tabela 5-5: Distribuição temporal das chuvas para TR = 50 anos.

Duração (min)	5	10	15	20	30	40	50	60
	2,37	5,14	5,8	5,66	4,55	2,92	9,61	5,84
	7,26	15,73	17,74	17,34	16,09	11,85	29,44	20,64
	5,97	12,94	14,6	14,27	18,04	17,93	24,22	23,15
TR= 50 anos	1,86	4,03	4,54	4,44	10,17	16,93	7,54	13,05
	0,54	1,17	1,32	1,29	2,87	10,93	2,19	3,68
					1,28	4,61		1,64
						1,66		
						1,17		
TOTAL	18	39,01	44	43	53	68	73	68

5.2 Dimensionamento dos Microrreservatórios

As Tabela 8-1 a Tabela 8-10 presentes no Anexo I apresentam o armazenamento e vazão de saídas utilizados como entradas para o modelo HEC-HMS (USACE-HEC, 2000) ao variar-se o diâmetro do orifício de saída, área da base e altura dos MRs. Adotou-se um valor do coeficiente C_d igual a 0,61 conforme especificado no item 4.3 da metodologia deste estudo.

5.2.1 Testes com TR=10 anos e Duração = 10min

Inicialmente, para o dimensionamento dos MRs utilizou-se um lote padrão com um dispositivo instalado. Foram testados todos os MRs cujas características estão no Anexo I deste trabalho. Para o tempo de retorno de 10 anos e duração da chuva igual a 10 min, todos os MRs cuja altura era 0,6 metros falharam. O software HECHMS emitiu a mensagem “ *Computed storage in reservoir "MR" exceeded maximum value in storage table*” que indica que o dispositivo não suportou armazenar aquele volume de chuva. Como nesse estudo procurou-se utilizar reservatórios que armazenassem todo volume e liberassem-no através de um único orifício, apenas os MRs com diâmetro do orifício igual a 0,110 metros foram suficientes para o armazenamento.

Dentre os dispositivos simulados, destacaram-se dois dispositivos, são eles:

- o “MR1”: dispositivo com área da base igual a 2,5 m² e altura igual a 1 m (2,5 m³ de volume) e;

- o “MR2”: dispositivo com área da base igual a 3,48 m² e altura igual a 1 m (3,48 m³ de volume).

Dentre eles o resultado ótimo ocorreu para o “MR2” cujo volume foi estabelecido após cálculo conforme a metodologia indicada na LPOUS/BH e descrita no item 3.4.1.1 da revisão bibliográfica deste trabalho. É interessante ressaltar que o dispositivo “MR1” também conseguiu resultado satisfatório, porém foi superado pelo “MR2”, que apresentou um melhor amortecimento da onda de cheia e maior redução do pico de vazão escoada superficialmente para o lote em estudo.

Dos MRs que possuíam volume de 3,48 m³, conforme a LPOUS/BH (Item-b do Anexo I), apenas o de altura igual a 1,0 metro e diâmetro do orifício de descarga igual a 0,110 metros conseguiu armazenar a precipitação simulada. Os MRs com orifício de 75 mm propostos por Drumond (2012) estão entre os testados nesse estudo e que não suportaram o armazenamento.

O gráfico superior da Figura 5-1 trata-se das curvas de armazenamento nos MRs. O gráfico inferior retrata o amortecimento da onda de cheia e uma redução de 0,0036 m³/s (13,59%) no pico de vazão escoada superficialmente para fora do lote, quando utilizado o “MR1” em comparação à ausência de MRs no Lote Padrão. No entanto, a redução ótima de **0,0049 m³/s (18,5%)** ocorreu para o lote provido do “MR2”.

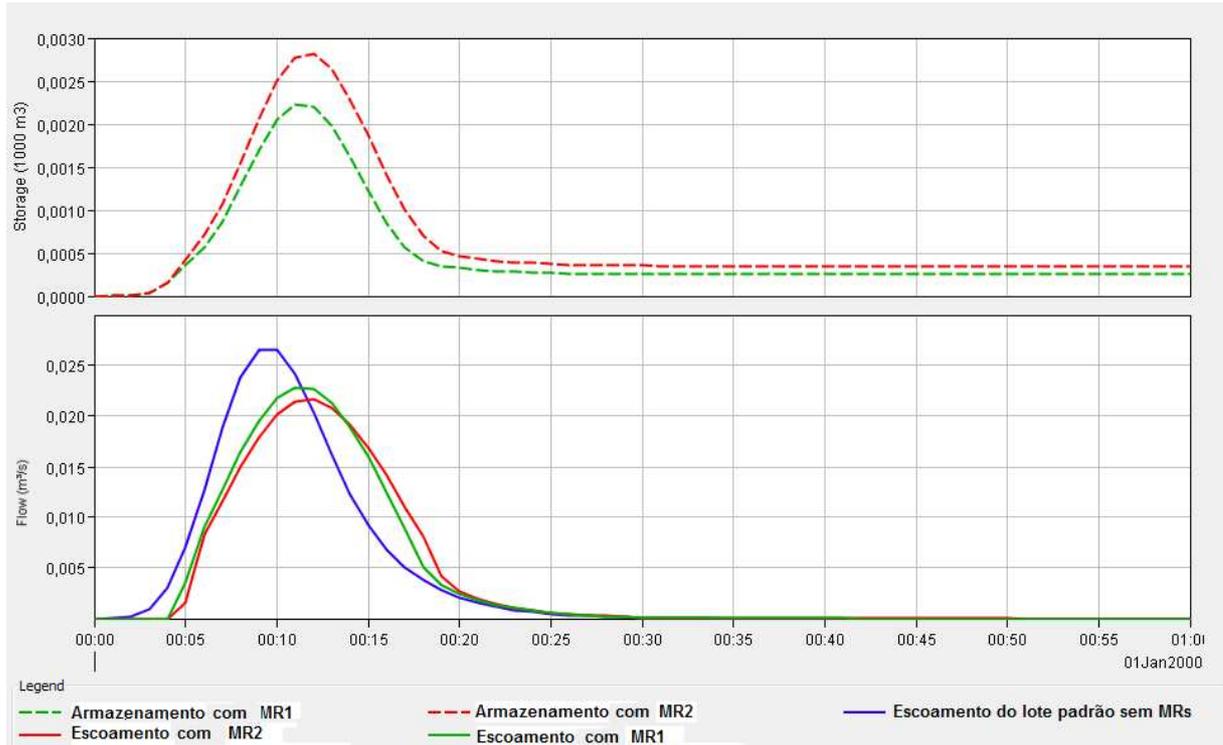


Figura 5-1: Gráfico de armazenamento *versus* tempo dos dos MRs. E logo abaixo, gráficos das simulações do lote padrão com implantação do MR1; com implantação do MR2; e sem implantação de quaisquer dispositivos.

5.3 Simulações hidrológicas da área de estudo

Na Figura 5-2 é exemplificada a interface gráfica do Cenário II no software HEC-HMS.

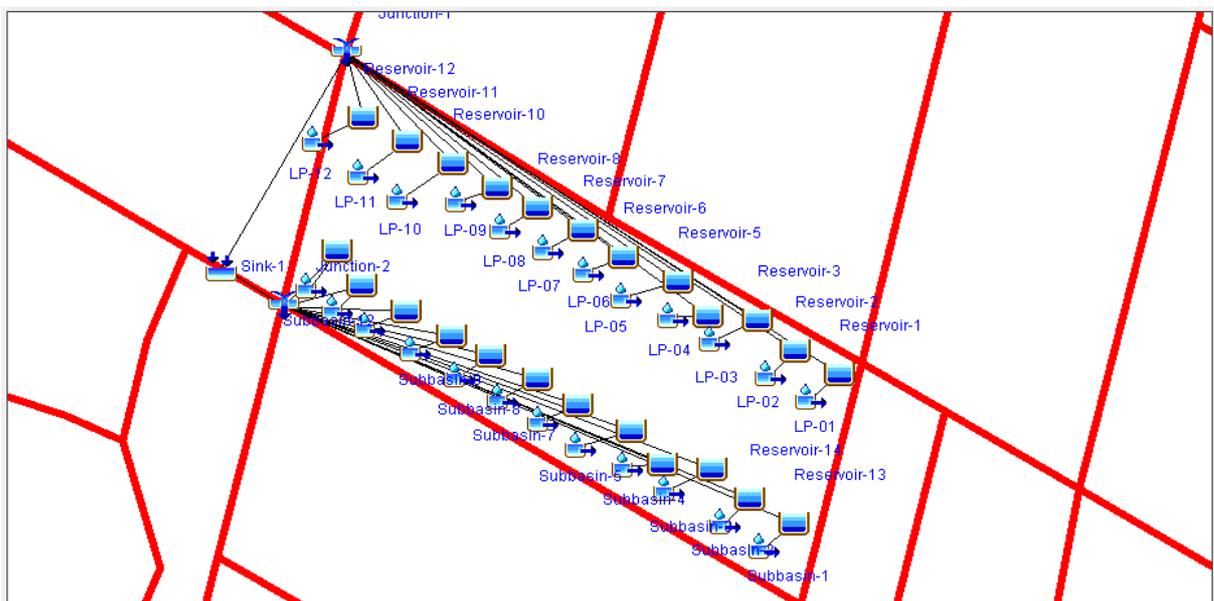


Figura 5-2: Interface do Cenário II no software .

Os telhados verdes tinham características conforme especificado no item 4.4 deste estudo (TVs extensivos com área de 290 m²) .Os resultados de redução da vazão de pico do escoamento superficial na quadra padrão quando comparados os Cenários II, III e IV com o Cenário I são apresentados na **Erro! Fonte de referência não encontrada..**

Tabela 5-6: Resultados finais.

Cenários	Redução da vazão de pico do escoamento superficial em comparação ao Cenário I (%)
II	18,5
III	39,1
IV	46,4

No Gráfico 5-1 são representadas as reduções apresentadas na **Erro! Fonte de referência não encontrada.**, bem como a curva de armazenamento dos MRs nas simulações dos cenários II e IV, na qual percebe-se que, em menos de 30 minutos já ocorre o esvaziamento da maior parte do volume armazenado. Enquanto que no Gráfico 5-2 é mostrada a vazão escoada superficialmente pelo ponto exutório da quadra padrão em função de um período de 60 minutos. Percebe-se claramente um amortecimento da onda de cheia ao utilizarem-se as medidas de controle na microdrenagem.

O melhor resultado ocorreu devido à utilização conjunta dos TVs e MRs em nível de lotes. A redução na vazão de pico ao comparar-se o Cenário I com o Cenário IV foi equivalente a um valor de 0,295 m³/s (295 L/s).

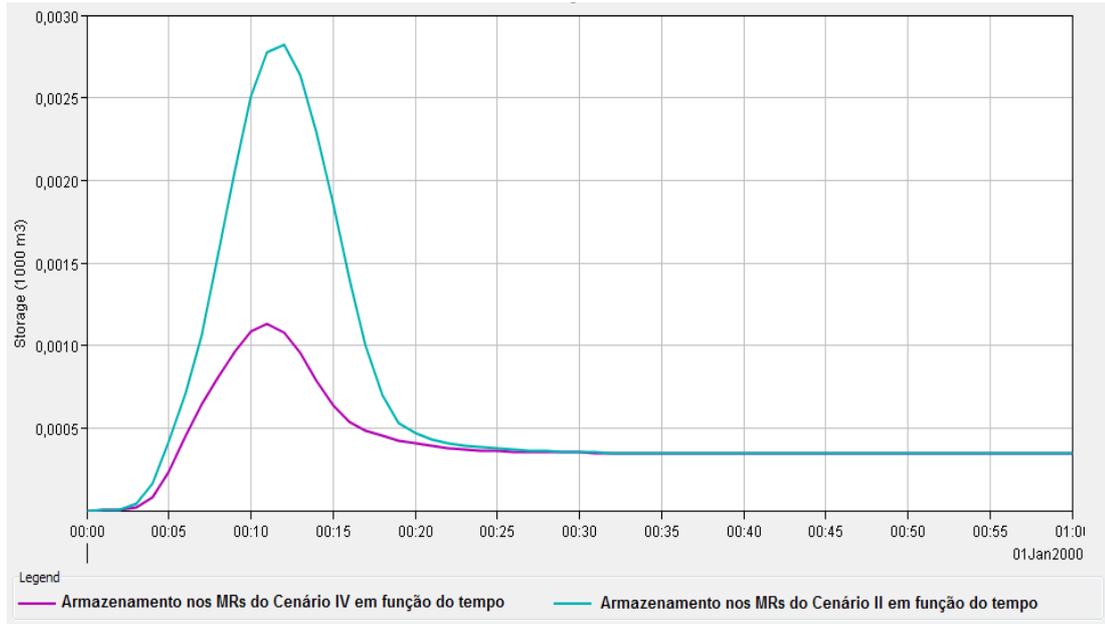


Gráfico 5-1: Armazenamento em função do tempo nos MRs dos cenários II e IV.

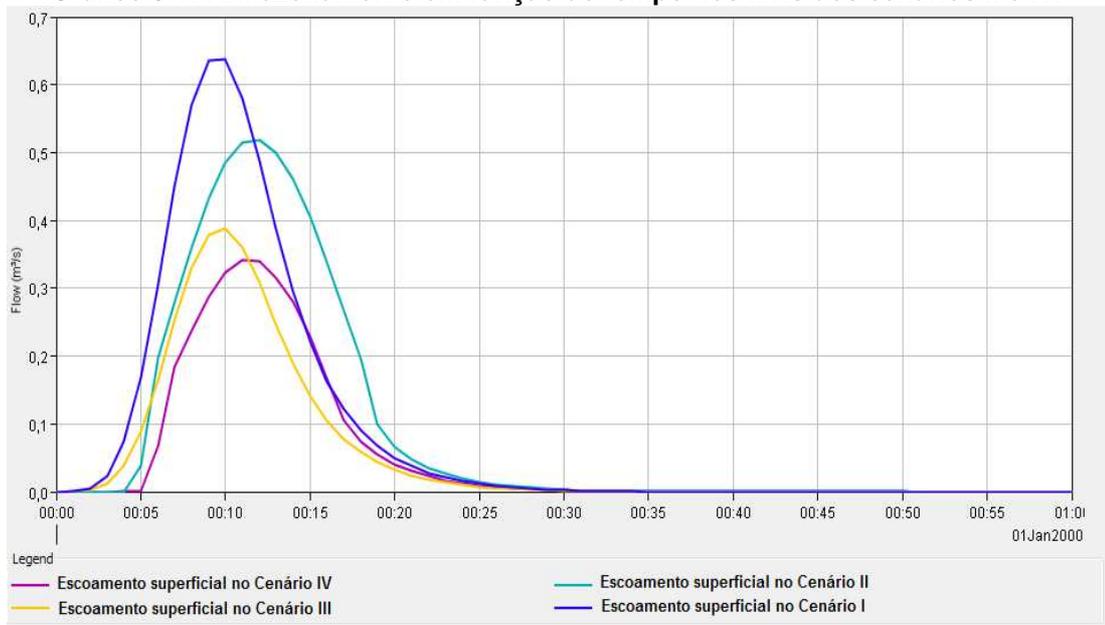


Gráfico 5-2: Fluxo de escoamento superficial e função do tempo entre os Cenários

6 CONCLUSÕES GERAIS E RECOMENDAÇÕES

O trabalho desenvolvido apresenta efetiva contribuição no campo da Drenagem Urbana. Podem ser citadas as seguintes contribuições:

- Simulação de uso de telhados verdes, a nível de bacia hidrográfica; e
- Proposta e simulação conjunta do uso de microrreservatórios de retenção em lotes e telhados verdes, a nível de bacia hidrográfica.

Trabalhos anteriores já comprovaram a eficiência do controle de cheias na fonte, inclusive a utilização de microrreservatórios de detenção em nível de lote, mas projetos da sua aplicação e interação com telhados verdes são, ainda, pouco estudados. Este trabalho, além de oferecer um referencial teórico bastante aplicável sobre o tema, vem a apresentar resultados que servem de incentivo à utilização dos dispositivos telhados verdes e microrreservatórios, mediante análise crítica de seus valores.

Esta pesquisa apresenta a aplicação conjunta de duas técnicas compensatória de drenagem urbana (telhados verdes e microrreservatórios de detenção domiciliares), a uma área urbana da cidade de Belo Horizonte, com o objetivo de analisar o impacto no hidrograma de saída, buscando a redução na vazão de pico e, conseqüentemente, a diminuição na sobrecarga no sistema de drenagem existente.

Realizaram-se simulações hidrológicas, da quadra padrão, com o uso do programa HEC-HMS, de quatro cenários:

- **Cenário I:** Quadra Padrão (24 lotes) totalmente impermeabilizados, sem quaisquer dispositivos de controle do escoamento superficial;
- **Cenário II:** Quadra Padrão (24 lotes) totalmente impermeabilizados com a utilização de MRs (1 em cada lote);
- **Cenário III:** Quadra Padrão (24 lotes) totalmente impermeabilizados com a utilização de TVs (1 em cada lote), cujas áreas representavam o equivalente a 50% do terreno de cada lote; e
- **Cenário IV:** Quadra Padrão (24 lotes) totalmente impermeabilizados com a utilização conjunta dos TVs e MRs presentes nos Cenários II e III.

Os resultados obtidos nas simulações apresentaram-se melhores para o Cenário 4, com a utilização conjunta dos telhados verdes e microrreservatórios.

Obteve-se uma redução de 46,4% o valor do pico de escoamento superficial no ponto exutório do conjunto de lotes.

O uso do software HEC-HMS neste trabalho apresentou-se satisfatório e de fácil uso e de interface didática com o usuário.

A partir dos resultados de redução do escoamento superficial a nível de lotes, apresentados neste estudo e da revisão bibliográfica realizada, constatou-se que as medidas de controle na fonte são, comprovadamente, soluções para o controle da microdrenagem nos grandes centros urbanos, podendo ser alternativas eficientes aos gestores públicos para alcançarem-se reduções na ocorrência de enchentes e conduzirem-se, às condições naturais, os valores de infiltração e armazenamento a nível de sub-bacias.

Para possíveis estudos futuros seriam interessantes a utilização de múltiplos dispositivos de saída nos microrreservatórios de retenção domiciliares, a ampliação da área de aplicação da metodologia, de forma a avaliar outros fatores impactantes como a declividade do terreno e o estudo de viabilidade econômica da aplicação das técnicas propostas, de forma a subsidiar gestores da administração pública e a população de uma forma geral. No caso dos telhados verdes, por exemplo, poderia ser considerada o fenômeno da evapotranspiração, já que esses dispositivos aumentam esse fator.

7 REFERENCIAL BIBLIOGRÁFICO

AGRA, S. G. *Estudo experimental de microrreservatórios para controle do escoamento superficial*. (Dissertação de Mestrado). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Instituto de Pesquisas Hidráulicas – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental. 2001.

ALEXANDRE, G. R. *Estudo para identificação de tendências do regime pluvial na região metropolitana de Belo Horizonte a partir de métodos estatísticos e modelos climatológicos*. Programa de Pós-Graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos, UFMG. Belo Horizonte – MG. 2009. 215 pp.

AMANCO. *Manual Técnico: Linha Amanco PPR*. 2010. 82 p. Disponível em: <http://www.amanco.com.br/web/image/texto/file/baixa_amco_atualizacao_manual_tecnico_amanco_PPR_2010_v11>.pdf. Acesso 07 de abril de 2015.

ANDRADE FILHO, A. G.; SZÉLIGA, M. R.; SZESZ, J. R. S. Utilização de microreservatórios de retenção para atenuação de inundações em bacias urbanas. *Revista Publicatio*, UEPG. 2000.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, NBR10.844 – *Instalações Prediais de águas Pluviais – Dez*. 1989. Rio de Janeiro. p. 13.

AZEVEDO NETTO, J. M., ARAÚJO, R., FERNANDEZ, M. F., ITO, A. E. *Manual de Hidráulica*. 8ª. Ed. São Paulo: Edgard Blücher, 1998. 669 p.

AZZOUT, Y; BARRAUD, S.; CRES, F. N.; ALFAKIH, E. *Techniques alternatives en assainissement pluvial: choix, conception, réalisation net entretien*. Paris: Lavoisier. 1994. 372p.

BAPTISTA, M.B. e NASCIMENTO, N. de O. Sustainable Development and Urban Stormwater Management in the Context of Tropical Developing Countries. In: CONGRESSO INTERAMERICANO DE INGENIERIA SANITARIA Y AMBIENTAL, 25, 1996, México. [*Anais eletrônico...*] México: AIDIS, 1996. 1 CD-ROM.

BAPTISTA, M; NASCIMENTO, N; BARRAUD, S. Técnicas Compensatórias em Drenagem Urbana, Porto Alegre: *ABRH*, 2005. 266 p.

BELO HORIZONTE. *Lei 7.165 de 27 de agosto de 1996*. Institui o Plano Diretor do Município de Belo Horizonte. Belo Horizonte, 28 jul. 1996. Disponível em:

<<http://portal6.pbh.gov.br/dom/iniciaEdicao.do?method=DetalheArtigo&pk=1033105>>
 . Acesso em: 16 de abril de. 2015.

BELO HORIZONTE. *Lei 7.166 de 27 de agosto de 1996*. Estabelece normas e condições para parcelamento, ocupação e uso do solo urbano no Município. Belo Horizonte, 28 jul. 1996. Disponível em: <<http://portal6.pbh.gov.br/dom/iniciaEdicao.do?method=DetalheArtigo&pk=1033105>> Acesso em: 16 de abril de. 2015.

BELO HORIZONTE. *Lei 8.137 de 21 de dezembro de 2000*. Altera as leis nº 7.165/96 e 7.166/96 – ambas de 27 de agosto de 1.996, e dá outras providências. Belo Horizonte, 21 dez. 2000. Disponível em: <<http://portal6.pbh.gov.br/dom/iniciaEdicao.do?method=DetalheArtigo&pk=881696>>. Acesso em: 16 de abril de 2015.

BELO HORIZONTE. *Lei 9.959 de 20 de julho de 2010*. Altera as leis nº 7.165/96 que institui o Plano Diretor do Município de Belo Horizonte e nº 7.166/96 que estabelece normas e condições para parcelamento, ocupação e uso do solo urbano no Município, estabelece normas e condições para a urbanização e a regularização fundiária das Zonas de Especial Interesse Social, dispõe sobre parcelamento, ocupação e uso do solo nas Áreas de Especial Interesse Social, e dá outras providências. Belo Horizonte, 21 jul. 2010. Disponível em: <<http://portal6.pbh.gov.br/dom/iniciaEdicao.do?method=DomDia&dia=21/07/2010&comboAno=2010>>. Acesso em: 16 de abril de. 2015.

BARBASSA, A. P. e JUNIOR, L. L. C. Parâmetros de projeto de microrreservatório, de pavimentos permeáveis e de previsão de enchentes urbanas. *Engenharia sanitária ambiental*, vol.11, n. 1, jan./mar., p. 46-54. 2006.

BETTES, R. Infiltration drainage: manual of good practice. *Construction Industry Research and Information Association Report*, London. 1996. 107p.

BIDONE, F.R.A. e TUCCI, C.E.M. Microdrenagem. In: TUCCI, C.E.M., PORTO, R.L.L. e BARROS, M.T. (org.), *Drenagem Urbana*. Porto Alegre, Ed. da Universidade, ABRH/UFRGS, Coleção ABRH de Recursos Hídricos, v.5, 428p., cap.3, p.77-105, 1995.

CANHOLI, A. P. Drenagem urbana e controle de enchentes. São Paulo: *Oficina de Textos*, 2005. 302 p.

CARTER, T.; JACKSON, C. R. *Vegetated roofs for storm water management at multiple special scales*. *Landscape and Urban Planning*, v. 80, p. 84-94. 2007.

CRUZ, M. A. S. *Controle do escoamento em lotes urbanos com retenção*. Porto Alegre. UFRGS – Curso de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental. D210. Dissertação de Mestrado. 1998.

CRUZ, M. A. S.; ARAÚJO, P. R.; SOUZA, V. C. B. Estruturas de controle do escoamento urbano na microdrenagem. In: *XIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos*. Belo Horizonte – MG , 1999.

CONTE, A. E. Bacia do Alto Tietê Região Metropolitana de São Paulo: Metodologia para Avaliação Expedita de Cheias de Projeto. In: *XIV Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos – V Simpósio de Hidráulica e Recursos Hídricos dos Países de Língua Oficial Portuguesa*, Aracaju, SE. 2001. 15p.

COSTA, J; COSTA, A; POLETO, C. Telhado Verde: Redução e retardo do escoamento superficial. REA – *Revista de estudos ambientais* (online). V. 14, n. 2esp. Toledo, Paraná. 2012. p. 50-56.

DAEE/CETESB. *Drenagem Urbana*. Segunda Edição, São Paulo (SP).1980.

DAEE, CETESB. *Drenagem urbana: manual de projeto*. São Paulo. 3. ed.CETESB. 1986, 452p.

DRUMOND, P. P., COELHO, M. M. L. P., MOURA, P. M. Análise do volume de reservação de águas pluviais em lotes: comparação do caso de Belo Horizonte com outras cidades brasileiras. Publicado nos anais do *XIX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, ABRH*, Maceió, 2011.

DRUMOND, P. P. Estudo da influência da reservação de águas pluviais em lotes no município de Belo Horizonte, MG: Avaliação hidráulica e hidrológica. Programa de Pós-graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos da Universidade Federal de Minas Gerais, UFMG. Belo Horizonte – MG. 2012. 204 pp.

FRANCISCHET, M. M; ALAMY FILHO, J.E. Análise da influência dos reservatórios de retenção domiciliares no escoamento superficial urbano aplicados na estimativa de vazões críticas geradas em uma quadra padrão. In: *XIX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos*, Maceió. 2011.

FILHO, L. L. F.; FAVERO, E.; MONTEIRO, E. Z.; SPERANDIO, A. M. G. *Estatuto da Cidade – Para compreender*. LABINUR - Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo. Universidade Estadual de Campinas. 2005. Disponível em: <http://www.fec.unicamp.br/~labinur/Estatuto_comp.html>. Acesso: 01/06/2015

GENZ, Fernando. *Parâmetros para a previsão e controle de cheias urbanas*. Porto Alegre: UFRGS – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de recursos Hídricos e Saneamento Ambiental. Dissertação de Mestrado. 1994.

GOOGLE EARTH. *Belo Horizonte – MG*. Disponível em: <earth.google.com/intl/pt>. Acesso em: 06 de maio de 2015. 2011.

GONTIJO, N. T. *Avaliação das relações de frequência entre precipitações e enchentes raras por meio de séries sintéticas e simulação hidrológica*. (Dissertação de Mestrado). Programa de Pós-Graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos, DESA, UFMG, Belo Horizonte – MG , MG. 2007. 156p.

HUFF, F. A. *The distribution of rainfall in heavy storms*. *Water Resources Research*, v. 3, n.4, p.1007 – 1019. 1967.

IDE-BH. *Infraestrutura de dados espaciais de BH – Geoprocessamento de dados espaciais e geoprocessamento corporativo*. PBH e PRODABEL. 2015. Disponível em: <<https://geodadosbh.pbh.gov.br/>>. Acesso em: 04/04/2015.

LAAR, M. Estudo de aplicação de plantas em telhados vivos extensivos em cidades de clima tropical. In: *Encontro nacional de conforto no Ambiente Construído*, 6., 2001, São Paulo. Anais. São Paulo: UNICAMP, 2001. Não paginado.

LOPES, E. R. C. A.; GOMES, J. Avaliação do impacto da redução do escoamento superficial sobre a vazão de saída em uma rede de microdrenagem. In: *XIX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos*, Maceió. 2011.

MATTA, G. V.; PEIXOTO, L.; OLIVEIRA, L. M. *Análise do impacto do uso de reservatórios de retenção domiciliares no escoamento superficial urbano*. Projeto de pesquisa PIBIC/FAPEMIG. Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais. 2013. 89 p.

MENTENS, J; RAES, D; HERMY, M. *Green roofs as a tool for solving the Rainwater runoff problem in urbanized 21 st century?*. *Landscape and urbanplanning*, Leuven, v. 77, n. 3, p. 217226, Aug . 2006.

MOLIN, L.; DE VILLA, I.; GOULART, J. P.; MAESTRINI, A. P. *Distribuição temporal de chuvas intensas em Pelotas*, RS. Pelotas, RS. 1996.

MORAN, A.; HUNT, B.; JENNINGS, G.A. North Carolina Field Study to Evaluate Green roof Runoff Quantity, Runoff Quality, and Plant Growth. In: *World Water & Environmental Resources Congress, 2003*. Philadelphia, Estados Unidos. Proceedings...Reston: Environmental and Water Resources Institute of American Society of Civil Engineers, 2003.

MORAN, A.; HUNT, B.; SMITH, J. Hydrologic and water quality performance from green roofs in Goldsboro and Raleigh, North Carolina. In: *Watershed Management Conference, 2005*. Estados Unidos da América. Proceedings...Reston: Environmental and Water Resources Institute of American Society of Civil Engineers, 2005.

MORUZZI, R. B.; MOURA, C. C.; BARBASSA, A. P. Influência da Umidade e da Inclinação no Desempenho de Instalação Experimental Piloto de Telhado Verde Extensivo. In: *Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 2013*. Bento Gonçalves. Anais...Bento Gonçalves: Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 2013.

NAGHETTINI, M. *Notas de Aula, ENGENHARIA DE RECURSOS HÍDRICOS*. Universidade Federal de Minas Gerais. Departamento de Engenharia Hidráulica e Recursos Hídricos. 1999.

NASCIMENTO, N. O.; BAPTISTA, M. B.; VON SPERLING, E. Problemas de Inserção Ambiental de Bacias de Detenção em Meio Urbano. In: *20º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental*. Rio de Janeiro, RJ, p. 19. 1999.

NETO, F. L. *Modelagem de telhado verde: uma análise da eficiência no controle do escoamento pluvial em diferentes escalas*. Dissertação de mestrado. Universidade Federal de Santa Maria, Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil. Santa Maria – RS. 2014. 137 pp.

OHNUMA JÚNIOR, A. A. *Cenários de reúso de água pluvial e controle da drenagem visando à recuperação ambiental da micro-bacia do Alto Tijuco Preto. (Dissertação de Mestrado)*. Curso de Pós-graduação em Ciências da Engenharia Ambiental, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Carlos. 2005. 192p.

OHNUMA JÚNIOR, Alfredo Akira. *Medidas não convencionais de reservação d'água e controle da poluição hídrica em lotes domiciliares*. (Tese de doutorado). Curso de

Pós-graduação em Ciências da Engenharia Ambiental, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Carlos. 331p. 2008.

PALLA, A. C. Barretta, L. G. Lanza and P. La Barbera. Modelling storm water control operated by Green Roofs at the urban catchment scale. In: *International Conference on Urban Drainage*, 2008, Edinburgh, Escócia. Proceedings... [s.n.], 2008.

PILAR,, Alejandro E., BIAIN, Rolando H. Estúdio de la viabilidad técnica de la implantación de retardadores de escurrimiento pluvial em lotes urbanos. In: TUCCI C.E.M., GOLDENFUN, J.A., DEPETTRIS, C.A., PILAR, J.V. *Hidrologia urbana na bacia do Prata*. Porto Alegre: ABRH/IPH/UFRGS. P.99-107. 2000.

PINHEIRO, M. M. G. *Estudo de chuvas intensas na Região Metropolitana de Belo Horizonte – MG – RMBH*. (Dissertação de Mestrado). Escola de Engenharia – Universidade Federal de Minas Gerais. 1997. 216p.

PINHEIRO, M. M. G.; NAGHETTINI, M. Análise regional de frequência e distribuição temporal das tempestades na região metropolitana de Belo Horizonte – MG RMBH. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v. 3, n. 4, p. 7388. 1998.

PREFEITURA MUNICIPAL DE BELO HORIZONTE– PBH, (1999). *Normas e Instruções para elaboração de projetos de ligações de drenagem prediais*: Sudecap, (1999).

PREFEITURA MUNICIPAL DE BELO HORIZONTE – PBH, (2000). *Plano Diretor de Drenagem Urbana de Belo Horizonte*. Belo Horizonte: PBH, 2000.

PREFEITURA MUNICIPAL DE BELO HORIZONTE – PBH, (2004). *Instrução Técnica para Elaboração de Estudos e Projetos de Drenagem Urbana do Município de Belo Horizonte*: Sudecap, 2004.

PREFEITURA MUNICIPAL DE BELO HORIZONTE – PBH, (2006). *Procedimento Padrão para Contratação e Elaboração de Projetos de Infra estrutura*: Sudecap, 2006.

PREFEITURA MUNICIPAL DE BELO HORIZONTE – PBH, (2008). *Caderno de encargos: SUDECAP*. Diretoria de Planejamento e Gestão – 3ª edição – Belo Horizonte: Sudecap, 2008.

PREFEITURA MUNICIPAL DE BELO HORIZONTE – PBH, (2009). *Carta de Inundações de Belo Horizonte*. Belo Horizonte: PBH, 2009. Disponível em: <http://portalpbh.pbh.gov.br/pbh/ecp/comunidade.do?evento=portlet&pldPlc=ecpTaxonomiaMenuPortal&app=sudecap&tax=17792&lang=pt_BR&pg=5581&taxp=0&>. Acesso em: 22abr. 2015.

PREFEITURA MUNICIPAL DE BELO HORIZONTE – PBH, (2010). *Plano Municipal de Saneamento de Belo Horizonte*. Belo Horizonte: PBH, 2010. Disponível em: <http://www.pbh.gov.br/comusa/VolumeI_Texto.pdf>. Acesso em: 12abr. 2015.

PREFEITURA MUNICIPAL DE SÃO PAULO (1999). *Plano Diretor de Drenagem Urbana*. São Paulo: Fundação Centro Tecnológico de Hidráulica, 1999.

RAIMUNDO, A. P. *Estruturas Hidráulicas utilizadas em Reservatórios de Controle de Cheias*. (Dissertação de mestrado). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo. 179 p. 2007.

RATHKE T. A. *Medidas de controle pluvial no lote: Pavimentos permeáveis e telhados verdes*. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Escola de Engenharia, Departamento de Engenharia Civil. Porto Alegre. Julho, 2012. 89 pp.

RIGHETTO, A. M.; MOREIRA, L. F. F.; SALES, T. E. A. Manejo de águas pluviais urbanas. In: Righetto, A. M. (coord.). *Manejo de águas pluviais urbanas*. Rio de Janeiro: ABES, 2009. cap. 1, p. 19-73.

ROBERTSON, S. *Stanford University's Green Dorm Water System Management Project*. Stanford: [s. n.], 2005.

ROSENZWEIG, C.; GAFFI, S.; PARSHALL, L. *Green Roofs in the New York Metropolitan Region: Research Report*. Columbia University Center for Climate Systems Research e NASA Goddard Institute for Space Studies, 2006.

SCHARFFENBERG, W. A.; FLEMING, M. J. Hydrologic Modeling System HEC-HMS. *User's Manual*. 2010.

SCHEILLING, Wolfgang. Cisterns againts storms. 1982. In: FEATHERSTONE, R.E., JAMES, A. *Urban systems drainage*. London: *Computation Mechanics Centre*. P.4.494.60.

SILVA Jr, R. I. 2009. *A evolução da urbanização e seu efeito no escoamento superficial na bacia do riacho do Reginaldo, Maceió-AL*. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos Saneamento da Universidade Federal de Alagoas, AL, 2009.

SINGH, V. P.; WOOLHISER, D. A. A Mathematical modeling of watershed hydrology. *American Society of Civil Engineers. Journal of Hydrology Engineering*, v.150, p. 270-292. 2002.

Soil Conservation Service. *Earth dams and reservoirs, Technical Release 60*. USDA, Springfiels, VA. 1985.

STREETER, V. L., WYLIE, E. B., *Mecânica dos Fluídos*, 7ª Edição, McGrawHill, 1982.

TASSI, R. *Efeitos dos microrreservatórios de lote sobre a macrodrenagem urbana*. (Dissertação de Mestrado). Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, UFRGS, Porto Alegre. 2002.

TASSI, R.; VILLANUEVA, A. O. N. Efeito do controle na fonte sobre a macrodrenagem. In: *XV Simpósio de Recursos Hídricos, Desafio à Gestão da Água no limiar do século XXI*. Curitiba, 2003a.

TASSI, R.; VILLANUEVA, A. O. N. Análise do impacto dos microrreservatórios nos custos de uma rede de drenagem urbana. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v.9, n.3, p. 8998. 2003b.

TUCCI C.E.M., GOLDENFUN, J.A., DEPETTRIS, C.A., PILAR, J.V. *Hidrologia urbana na bacia do Prata*. Porto Alegre: ABRH/IPH/UFRGS. P.99107. 2000.

TUCCI, C.E.M. (Organizador). *Hidrologia: Ciência e Aplicação*, 3ª edição, Porto Alegre, Editora da UFRGS/ABRH, 2004.

TUCCI, C. E. M.; MARQUES, D. M. L. da M. *Avaliação e controle da drenagem urbana*. Porto Alegre: Editora da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Volume 1. 2005.

TUCCI, C. E. M., *Gestão de Inundações Urbanas*, 1 ed. Porto Alegre: Unesco, 2005. p. 273.

TUCCI, Carlos M. *Inundações Urbanas*. Porto Alegre: ABRH / RHAMA, 2007. 393 p.
UHL, M.; SCHIEDT, L. Green Roof Storm Water Retention – Monitoring Results. In: *International Conference on Urban Drainage*, 11., Edinburgh, Escócia, 2008. Proceedings... [s.n.], 2008.

URBONAS, B.; STAHR, P. *Stormwater: best management practices and detention for water quality, drainage and CSO management*. New Jersey, Englewood Cliff: Prentice Hall. 1993. 447p.

USACE-HEC. Hydrologic Modeling System, HECHMS – *Technical Reference Manual*. US Army Corps of Engineers, Hydrologic Engineering Center, March 2000.

8 APENDICE I

Anexo I: Tabelas de entrada para o modelo HECHMS no dimensionamento dos microrreservatórios.

a- MRs dimensionados baseados em diversos estudos: Schilling(1982), Genz (1994), Cruz (1998).

Tabela 8-1: Vazões de entrada para o modelo HECHMS no dimensionamento dos microrreservatórios (Diâmetro do orifício de saída igual a 0,025m)

D (m)	Altura (m)	Área da base (m ²)	Altura(m)	volume (m ³)	Volume (×1000 m ³)	Área (m ²)	Q (m ³ /s)
0,025	0,60	1,0000	0	0,0000	0,00000	0,00049	0,00000
			0,1	0,1000	0,00010	0,00049	0,00000
			0,2	0,2000	0,00020	0,00049	0,00042
			0,3	0,3000	0,00030	0,00049	0,00059
			0,4	0,4000	0,00040	0,00049	0,00073
			0,5	0,5000	0,00050	0,00049	0,00084
			0,6	0,6000	0,00060	0,00049	0,00094
	1,6667	0	0,0000	0,00000	0,00049	0,00000	
		0,1	0,1667	0,00017	0,00049	0,00000	
		0,2	0,3333	0,00033	0,00049	0,00042	
		0,3	0,5000	0,00050	0,00049	0,00059	
		0,4	0,6667	0,00067	0,00049	0,00073	
		0,5	0,8333	0,00083	0,00049	0,00084	
		0,6	1,0000	0,00100	0,00049	0,00094	
	2,6670	0	0,0000	0,00000	0,00049	0,00000	
		0,1	0,2667	0,00027	0,00049	0,00000	
		0,2	0,5334	0,00053	0,00049	0,00042	
		0,3	0,8001	0,00080	0,00049	0,00059	
		0,4	1,0668	0,00107	0,00049	0,00073	
		0,5	1,3335	0,00133	0,00049	0,00084	
		0,6	1,6002	0,00160	0,00049	0,00094	
	3,3333	0	0,0000	0,00000	0,00049	0,00000	
		0,1	0,3333	0,00033	0,00049	0,00000	
		0,2	0,6667	0,00067	0,00049	0,00042	
		0,3	1,0000	0,00100	0,00049	0,00059	
		0,4	1,3333	0,00133	0,00049	0,00073	
		0,5	1,6667	0,00167	0,00049	0,00084	
		0,6	2,0000	0,00200	0,00049	0,00094	
4,1667	0	0,0000	0,00000	0,00049	0,00000		
	0,1	0,4167	0,00042	0,00049	0,00000		
	0,2	0,8333	0,00083	0,00049	0,00042		
	0,3	1,2500	0,00125	0,00049	0,00059		
	0,4	1,6667	0,00167	0,00049	0,00073		
	0,5	2,0833	0,00208	0,00049	0,00084		

D (m)	Altura (m)	Área da base (m ²)	Altura(m)	volume (m ³)	Volume (×1000 m ³)	Área (m ²)	Q (m ³ /s)
			0,6	2,5000	0,00250	0,00049	0,00094
1,00	0,6000		0	0,0000	0,00000	0,00049	0,00000
			0,1	0,0600	0,00006	0,00049	0,00000
			0,2	0,1200	0,00012	0,00049	0,00042
			0,3	0,1800	0,00018	0,00049	0,00059
			0,4	0,2400	0,00024	0,00049	0,00073
			0,5	0,3000	0,00030	0,00049	0,00084
			0,6	0,3600	0,00036	0,00049	0,00094
			0,7	0,4200	0,00042	0,00049	0,00103
			0,8	0,4800	0,00048	0,00049	0,00111
			0,9	0,5400	0,00054	0,00049	0,00119
			1	0,6000	0,00060	0,00049	0,00126
			1,00	1,0000		0	0,0000
0,1	0,1000	0,00010				0,00049	0,00000
0,2	0,2000	0,00020				0,00049	0,00042
0,3	0,3000	0,00030				0,00049	0,00059
0,4	0,4000	0,00040				0,00049	0,00073
0,5	0,5000	0,00050				0,00049	0,00084
0,6	0,6000	0,00060				0,00049	0,00094
0,7	0,7000	0,00070				0,00049	0,00103
0,8	0,8000	0,00080				0,00049	0,00111
0,9	0,9000	0,00090				0,00049	0,00119
1	1,0000	0,00100				0,00049	0,00126
1,00	1,6000					0	0,0000
			0,1	0,1600	0,00016	0,00049	0,00000
			0,2	0,3200	0,00032	0,00049	0,00042
			0,3	0,4800	0,00048	0,00049	0,00059
			0,4	0,6400	0,00064	0,00049	0,00073
			0,5	0,8000	0,00080	0,00049	0,00084
			0,6	0,9600	0,00096	0,00049	0,00094
			0,7	1,1200	0,00112	0,00049	0,00103
			0,8	1,2800	0,00128	0,00049	0,00111
			0,9	1,4400	0,00144	0,00049	0,00119
			1	1,6000	0,00160	0,00049	0,00126
			1,00	2,0000		0	0,0000
0,1	0,2000	0,00020				0,00049	0,00000
0,2	0,4000	0,00040				0,00049	0,00042
0,3	0,6000	0,00060				0,00049	0,00059
0,4	0,8000	0,00080				0,00049	0,00073
0,5	1,0000	0,00100				0,00049	0,00084
0,6	1,2000	0,00120				0,00049	0,00094

D (m)	Altura (m)	Área da base (m ²)	Altura(m)	volume (m ³)	Volume (×1000 m ³)	Área (m ²)	Q (m ³ /s)
			0,7	1,4000	0,00140	0,00049	0,00103
			0,8	1,6000	0,00160	0,00049	0,00111
			0,9	1,8000	0,00180	0,00049	0,00119
			1	2,0000	0,00200	0,00049	0,00126
		2,5000	0	0,0000	0,00000	0,00049	0,00000
			0,1	0,2500	0,00025	0,00049	0,00000
			0,2	0,5000	0,00050	0,00049	0,00042
			0,3	0,7500	0,00075	0,00049	0,00059
			0,4	1,0000	0,00100	0,00049	0,00073
			0,5	1,2500	0,00125	0,00049	0,00084
			0,6	1,5000	0,00150	0,00049	0,00094
			0,7	1,7500	0,00175	0,00049	0,00103
			0,8	2,0000	0,00200	0,00049	0,00111
			0,9	2,2500	0,00225	0,00049	0,00119
			1	2,5000	0,00250	0,00049	0,00126

Tabela 8-2: Vazões de entrada para o modelo HECHMS no dimensionamento dos microrreservatórios (Diâmetro do orifício de saída igual a 0,032m)

D (m)	Altura (m)	Área da base (m ²)	Altura(m)	volume (m ³)	Volume (×1000 m ³)	Área (m ²)	Q (m ³ /s)
0,032	1,0000	1,0000	0	0,0000	0,00000	0,0008	0,00000
			0,1	0,1000	0,00010	0,0008	0,00000
			0,2	0,2000	0,00020	0,0008	0,00069
			0,3	0,3000	0,00030	0,0008	0,00097
			0,4	0,4000	0,00040	0,0008	0,00119
			0,5	0,5000	0,00050	0,0008	0,00137
			0,6	0,6000	0,00060	0,0008	0,00154
	1,6667	1,6667	0	0,0000	0,00000	0,0008	0,00000
			0,1	0,1667	0,00017	0,0008	0,00000
			0,2	0,3333	0,00033	0,0008	0,00069
			0,3	0,5000	0,00050	0,0008	0,00097
			0,4	0,6667	0,00067	0,0008	0,00119
			0,5	0,8333	0,00083	0,0008	0,00137
			0,6	1,0000	0,00100	0,0008	0,00154
	2,6670	2,6670	0	0,0000	0,00000	0,0008	0,00000
			0,1	0,2667	0,00027	0,0008	0,00000
			0,2	0,5334	0,00053	0,0008	0,00069
			0,3	0,8001	0,00080	0,0008	0,00097
			0,4	1,0668	0,00107	0,0008	0,00119
			0,5	1,3335	0,00133	0,0008	0,00137
			0,6	1,6002	0,00160	0,0008	0,00154
	3,3333	3,3333	0	0,0000	0,00000	0,0008	0,00000
			0,1	0,3333	0,00033	0,0008	0,00000
			0,2	0,6667	0,00067	0,0008	0,00069
0,3			1,0000	0,00100	0,0008	0,00097	
0,4			1,3333	0,00133	0,0008	0,00119	
0,5			1,6667	0,00167	0,0008	0,00137	
0,6			2,0000	0,00200	0,0008	0,00154	
4,1667	4,1667	0	0,0000	0,00000	0,0008	0,00000	
		0,1	0,4167	0,00042	0,0008	0,00000	
		0,2	0,8333	0,00083	0,0008	0,00069	
		0,3	1,2500	0,00125	0,0008	0,00097	
		0,4	1,6667	0,00167	0,0008	0,00119	
		0,5	2,0833	0,00208	0,0008	0,00137	
		0,6	2,5000	0,00250	0,0008	0,00154	
1,00	0,6000	0	0,0000	0,00000	0,0008	0,00000	
		0,1	0,0600	0,00006	0,0008	0,00000	
		0,2	0,1200	0,00012	0,0008	0,00069	
		0,3	0,1800	0,00018	0,0008	0,00097	

D (m)	Altura (m)	Área da base (m ²)	Altura(m)	volume (m ³)	Volume (×1000 m ³)	Área (m ²)	Q (m ³ /s)
			0,4	0,2400	0,00024	0,0008	0,00119
			0,5	0,3000	0,00030	0,0008	0,00137
			0,6	0,3600	0,00036	0,0008	0,00154
			0,7	0,4200	0,00042	0,0008	0,00168
			0,8	0,4800	0,00048	0,0008	0,00182
			0,9	0,5400	0,00054	0,0008	0,00194
			1	0,6000	0,00060	0,0008	0,00206
			0	0,0000	0,00000	0,0008	0,00000
			0,1	0,1000	0,00010	0,0008	0,00000
			0,2	0,2000	0,00020	0,0008	0,00069
			0,3	0,3000	0,00030	0,0008	0,00097
			0,4	0,4000	0,00040	0,0008	0,00119
		1,0000	0,5	0,5000	0,00050	0,0008	0,00137
			0,6	0,6000	0,00060	0,0008	0,00154
			0,7	0,7000	0,00070	0,0008	0,00168
			0,8	0,8000	0,00080	0,0008	0,00182
			0,9	0,9000	0,00090	0,0008	0,00194
			1	1,0000	0,00100	0,0008	0,00206
			0	0,0000	0,00000	0,0008	0,00000
			0,1	0,1600	0,00016	0,0008	0,00000
			0,2	0,3200	0,00032	0,0008	0,00069
			0,3	0,4800	0,00048	0,0008	0,00097
			0,4	0,6400	0,00064	0,0008	0,00119
		1,6000	0,5	0,8000	0,00080	0,0008	0,00137
			0,6	0,9600	0,00096	0,0008	0,00154
			0,7	1,1200	0,00112	0,0008	0,00168
			0,8	1,2800	0,00128	0,0008	0,00182
			0,9	1,4400	0,00144	0,0008	0,00194
			1	1,6000	0,00160	0,0008	0,00206
			0	0,0000	0,00000	0,0008	0,00000
			0,1	0,2000	0,00020	0,0008	0,00000
			0,2	0,4000	0,00040	0,0008	0,00069
			0,3	0,6000	0,00060	0,0008	0,00097
			0,4	0,8000	0,00080	0,0008	0,00119
		2,0000	0,5	1,0000	0,00100	0,0008	0,00137
			0,6	1,2000	0,00120	0,0008	0,00154
			0,7	1,4000	0,00140	0,0008	0,00168
			0,8	1,6000	0,00160	0,0008	0,00182
			0,9	1,8000	0,00180	0,0008	0,00194
			1	2,0000	0,00200	0,0008	0,00206
		2,5000	0	0,0000	0,00000	0,0008	0,00000

D (m)	Altura (m)	Área da base (m ²)	Altura(m)	volume (m ³)	Volume (×1000 m ³)	Área (m ²)	Q (m ³ /s)
			0,1	0,2500	0,00025	0,0008	0,00000
			0,2	0,5000	0,00050	0,0008	0,00069
			0,3	0,7500	0,00075	0,0008	0,00097
			0,4	1,0000	0,00100	0,0008	0,00119
			0,5	1,2500	0,00125	0,0008	0,00137
			0,6	1,5000	0,00150	0,0008	0,00154
			0,7	1,7500	0,00175	0,0008	0,00168
			0,8	2,0000	0,00200	0,0008	0,00182
			0,9	2,2500	0,00225	0,0008	0,00194
			1	2,5000	0,00250	0,0008	0,00206

Tabela 8-3: Vazões de entrada para o modelo HECHMS no dimensionamento dos microrreservatórios (Diâmetro do orifício de saída igual a 0,040m)

D (m)	Altura (m)	Área da base (m ²)	Altura(m)	volume (m ³)	Volume (×1000 m ³)	Área (m ²)	Q (m ³ /s)	
0,040	1,0000	1,0000	0	0,0000	0,00000	0,00126	0,00000	
			0,1	0,1000	0,00010	0,00126	0,00000	
			0,2	0,2000	0,00020	0,00126	0,00107	
			0,3	0,3000	0,00030	0,00126	0,00152	
			0,4	0,4000	0,00040	0,00126	0,00186	
			0,5	0,5000	0,00050	0,00126	0,00215	
			0,6	0,6000	0,00060	0,00126	0,00240	
	1,6667	1,6667	1,6667	0	0,0000	0,00000	0,00126	0,00000
				0,1	0,1667	0,00017	0,00126	0,00000
				0,2	0,3333	0,00033	0,00126	0,00107
				0,3	0,5000	0,00050	0,00126	0,00152
				0,4	0,6667	0,00067	0,00126	0,00186
				0,5	0,8333	0,00083	0,00126	0,00215
				0,6	1,0000	0,00100	0,00126	0,00240
	2,6670	2,6670	2,6670	0	0,0000	0,00000	0,00126	0,00000
				0,1	0,2667	0,00027	0,00126	0,00000
				0,2	0,5334	0,00053	0,00126	0,00107
				0,3	0,8001	0,00080	0,00126	0,00152
				0,4	1,0668	0,00107	0,00126	0,00186
				0,5	1,3335	0,00133	0,00126	0,00215
				0,6	1,6002	0,00160	0,00126	0,00240
	3,3333	3,3333	3,3333	0	0,0000	0,00000	0,00126	0,00000
				0,1	0,3333	0,00033	0,00126	0,00000
				0,2	0,6667	0,00067	0,00126	0,00107
0,3				1,0000	0,00100	0,00126	0,00152	
0,4				1,3333	0,00133	0,00126	0,00186	
0,5				1,6667	0,00167	0,00126	0,00215	
0,6				2,0000	0,00200	0,00126	0,00240	
4,1667	4,1667	4,1667	0	0,0000	0,00000	0,00126	0,00000	
			0,1	0,4167	0,00042	0,00126	0,00000	
			0,2	0,8333	0,00083	0,00126	0,00107	
			0,3	1,2500	0,00125	0,00126	0,00152	
			0,4	1,6667	0,00167	0,00126	0,00186	
			0,5	2,0833	0,00208	0,00126	0,00215	
			0,6	2,5000	0,00250	0,00126	0,00240	
0,6000	0,6000	0,6000	0	0,0000	0,00000	0,00126	0,00000	
			0,1	0,0600	0,00006	0,00126	0,00000	
			0,2	0,1200	0,00012	0,00126	0,00107	
			0,3	0,1800	0,00018	0,00126	0,00152	

D (m)	Altura (m)	Área da base (m ²)	Altura(m)	volume (m ³)	Volume (×1000 m ³)	Área (m ²)	Q (m ³ /s)		
1,00	1,000		0,4	0,2400	0,00024	0,00126	0,00186		
			0,5	0,3000	0,00030	0,00126	0,00215		
			0,6	0,3600	0,00036	0,00126	0,00240		
			0,7	0,4200	0,00042	0,00126	0,00263		
			0,8	0,4800	0,00048	0,00126	0,00284		
			0,9	0,5400	0,00054	0,00126	0,00304		
			1	0,6000	0,00060	0,00126	0,00322		
	1,600		0	0,0000	0,00000	0,00126	0,00000		
			0,1	0,1000	0,00010	0,00126	0,00000		
			0,2	0,2000	0,00020	0,00126	0,00107		
			0,3	0,3000	0,00030	0,00126	0,00152		
			0,4	0,4000	0,00040	0,00126	0,00186		
			0,5	0,5000	0,00050	0,00126	0,00215		
			0,6	0,6000	0,00060	0,00126	0,00240		
			0,7	0,7000	0,00070	0,00126	0,00263		
			0,8	0,8000	0,00080	0,00126	0,00284		
			0,9	0,9000	0,00090	0,00126	0,00304		
			1	1,0000	0,00100	0,00126	0,00322		
			2,000		0	0,0000	0,00000	0,00126	0,00000
					0,1	0,1600	0,00016	0,00126	0,00000
					0,2	0,3200	0,00032	0,00126	0,00107
0,3	0,4800	0,00048			0,00126	0,00152			
0,4	0,6400	0,00064			0,00126	0,00186			
0,5	0,8000	0,00080			0,00126	0,00215			
0,6	0,9600	0,00096			0,00126	0,00240			
0,7	1,1200	0,00112			0,00126	0,00263			
0,8	1,2800	0,00128			0,00126	0,00284			
0,9	1,4400	0,00144			0,00126	0,00304			
2,500		0	0,0000	0,00000	0,00126	0,00000			
		0,1	0,2000	0,00020	0,00126	0,00000			
		0,2	0,4000	0,00040	0,00126	0,00107			
		0,3	0,6000	0,00060	0,00126	0,00152			
		0,4	0,8000	0,00080	0,00126	0,00186			
		0,5	1,0000	0,00100	0,00126	0,00215			
		0,6	1,2000	0,00120	0,00126	0,00240			
		0,7	1,4000	0,00140	0,00126	0,00263			
		0,8	1,6000	0,00160	0,00126	0,00284			
		0,9	1,8000	0,00180	0,00126	0,00304			
	1	2,0000	0,00200	0,00126	0,00322				
	2,5000	0	0,0000	0,00000	0,00126	0,00000			

D (m)	Altura (m)	Área da base (m ²)	Altura(m)	volume (m ³)	Volume (×1000 m ³)	Área (m ²)	Q (m ³ /s)
			0,1	0,2500	0,00025	0,00126	0,00000
			0,2	0,5000	0,00050	0,00126	0,00107
			0,3	0,7500	0,00075	0,00126	0,00152
			0,4	1,0000	0,00100	0,00126	0,00186
			0,5	1,2500	0,00125	0,00126	0,00215
			0,6	1,5000	0,00150	0,00126	0,00240
			0,7	1,7500	0,00175	0,00126	0,00263
			0,8	2,0000	0,00200	0,00126	0,00284
			0,9	2,2500	0,00225	0,00126	0,00304
			1	2,5000	0,00250	0,00126	0,00322

Tabela 8-4: Vazões de entrada para o modelo HECHMS no dimensionamento dos microrreservatórios (Diâmetro do orifício de saída igual a 0,050m)

D (m)	Altura (m)	Área da base (m ²)	Altura(m)	volume (m ³)	Volume (×1000 m ³)	Área (m ²)	Q (m ³ /s)	
0,050	1,0000	1,0000	0	0,0000	0,00000	0,00196	0,00000	
			0,1	0,1000	0,00010	0,00196	0,00000	
			0,2	0,2000	0,00020	0,00196	0,00168	
			0,3	0,3000	0,00030	0,00196	0,00237	
			0,4	0,4000	0,00040	0,00196	0,00290	
			0,5	0,5000	0,00050	0,00196	0,00335	
			0,6	0,6000	0,00060	0,00196	0,00375	
	1,6667	1,6667	1,6667	0	0,0000	0,00000	0,00196	0,00000
				0,1	0,1667	0,00017	0,00196	0,00000
				0,2	0,3333	0,00033	0,00196	0,00168
				0,3	0,5000	0,00050	0,00196	0,00237
				0,4	0,6667	0,00067	0,00196	0,00290
				0,5	0,8333	0,00083	0,00196	0,00335
				0,6	1,0000	0,00100	0,00196	0,00375
	2,6670	2,6670	2,6670	0	0,0000	0,00000	0,00196	0,00000
				0,1	0,2667	0,00027	0,00196	0,00000
				0,2	0,5334	0,00053	0,00196	0,00168
				0,3	0,8001	0,00080	0,00196	0,00237
				0,4	1,0668	0,00107	0,00196	0,00290
				0,5	1,3335	0,00133	0,00196	0,00335
				0,6	1,6002	0,00160	0,00196	0,00375
	3,3333	3,3333	3,3333	0	0,0000	0,00000	0,00196	0,00000
				0,1	0,3333	0,00033	0,00196	0,00000
				0,2	0,6667	0,00067	0,00196	0,00168
0,3				1,0000	0,00100	0,00196	0,00237	
0,4				1,3333	0,00133	0,00196	0,00290	
0,5				1,6667	0,00167	0,00196	0,00335	
0,6				2,0000	0,00200	0,00196	0,00375	
4,1667	4,1667	4,1667	0	0,0000	0,00000	0,00196	0,00000	
			0,1	0,4167	0,00042	0,00196	0,00000	
			0,2	0,8333	0,00083	0,00196	0,00168	
			0,3	1,2500	0,00125	0,00196	0,00237	
			0,4	1,6667	0,00167	0,00196	0,00290	
			0,5	2,0833	0,00208	0,00196	0,00335	
			0,6	2,5000	0,00250	0,00196	0,00375	
0,6000	0,6000	0,6000	0	0,0000	0,00000	0,00196	0,00000	
			0,1	0,0600	0,00006	0,00196	0,00000	
			0,2	0,1200	0,00012	0,00196	0,00168	
			0,3	0,1800	0,00018	0,00196	0,00237	

D (m)	Altura (m)	Área da base (m ²)	Altura(m)	volume (m ³)	Volume (×1000 m ³)	Área (m ²)	Q (m ³ /s)	
1,00	1,000		0,4	0,2400	0,00024	0,00196	0,00290	
			0,5	0,3000	0,00030	0,00196	0,00335	
			0,6	0,3600	0,00036	0,00196	0,00375	
			0,7	0,4200	0,00042	0,00196	0,00411	
			0,8	0,4800	0,00048	0,00196	0,00444	
			0,9	0,5400	0,00054	0,00196	0,00474	
			1	0,6000	0,00060	0,00196	0,00503	
			0	0,0000	0,00000	0,00196	0,00000	
			0,1	0,1000	0,00010	0,00196	0,00000	
			0,2	0,2000	0,00020	0,00196	0,00168	
	0,3	0,3000	0,00030	0,00196	0,00237			
	0,4	0,4000	0,00040	0,00196	0,00290			
	0,5	0,5000	0,00050	0,00196	0,00335			
	0,6	0,6000	0,00060	0,00196	0,00375			
	0,7	0,7000	0,00070	0,00196	0,00411			
	0,8	0,8000	0,00080	0,00196	0,00444			
	0,9	0,9000	0,00090	0,00196	0,00474			
	1	1,0000	0,00100	0,00196	0,00503			
	1,600			0	0,0000	0,00000	0,00196	0,00000
				0,1	0,1600	0,00016	0,00196	0,00000
0,2				0,3200	0,00032	0,00196	0,00168	
0,3				0,4800	0,00048	0,00196	0,00237	
0,4				0,6400	0,00064	0,00196	0,00290	
0,5				0,8000	0,00080	0,00196	0,00335	
0,6				0,9600	0,00096	0,00196	0,00375	
0,7				1,1200	0,00112	0,00196	0,00411	
0,8				1,2800	0,00128	0,00196	0,00444	
0,9				1,4400	0,00144	0,00196	0,00474	
1	1,6000	0,00160	0,00196	0,00503				
2,000			0	0,0000	0,00000	0,00196	0,00000	
			0,1	0,2000	0,00020	0,00196	0,00000	
			0,2	0,4000	0,00040	0,00196	0,00168	
			0,3	0,6000	0,00060	0,00196	0,00237	
			0,4	0,8000	0,00080	0,00196	0,00290	
			0,5	1,0000	0,00100	0,00196	0,00335	
			0,6	1,2000	0,00120	0,00196	0,00375	
			0,7	1,4000	0,00140	0,00196	0,00411	
			0,8	1,6000	0,00160	0,00196	0,00444	
			0,9	1,8000	0,00180	0,00196	0,00474	
1	2,0000	0,00200	0,00196	0,00503				
2,500			0	0,0000	0,00000	0,00196	0,00000	

D (m)	Altura (m)	Área da base (m ²)	Altura(m)	volume (m ³)	Volume (×1000 m ³)	Área (m ²)	Q (m ³ /s)
			0,1	0,2500	0,00025	0,00196	0,00000
			0,2	0,5000	0,00050	0,00196	0,00168
			0,3	0,7500	0,00075	0,00196	0,00237
			0,4	1,0000	0,00100	0,00196	0,00290
			0,5	1,2500	0,00125	0,00196	0,00335
			0,6	1,5000	0,00150	0,00196	0,00375
			0,7	1,7500	0,00175	0,00196	0,00411
			0,8	2,0000	0,00200	0,00196	0,00444
			0,9	2,2500	0,00225	0,00196	0,00474
			1	2,5000	0,00250	0,00196	0,00503

Tabela 8-5: Vazões de entrada para o modelo HECHMS no dimensionamento dos microrreservatórios (Diâmetro do orifício de saída igual a 0,063m)

D (m)	Altura (m)	Área da base (m ²)	Altura(m)	volume (m ³)	Volume (×1000 m ³)	Área (m ²)	Q (m ³ /s)	
0,063	1,0000	1,0000	0	0,0000	0,00000	0,00312	0,00000	
			0,1	0,1000	0,00010	0,00312	0,00000	
			0,2	0,2000	0,00020	0,00312	0,00266	
			0,3	0,3000	0,00030	0,00312	0,00376	
			0,4	0,4000	0,00040	0,00312	0,00461	
			0,5	0,5000	0,00050	0,00312	0,00532	
			0,6	0,6000	0,00060	0,00312	0,00595	
	1,6667	1,6667	1,6667	0	0,0000	0,00000	0,00312	0,00000
				0,1	0,1667	0,00017	0,00312	0,00000
				0,2	0,3333	0,00033	0,00312	0,00266
				0,3	0,5000	0,00050	0,00312	0,00376
				0,4	0,6667	0,00067	0,00312	0,00461
				0,5	0,8333	0,00083	0,00312	0,00532
				0,6	1,0000	0,00100	0,00312	0,00595
	2,6670	2,6670	2,6670	0	0,0000	0,00000	0,00312	0,00000
				0,1	0,2667	0,00027	0,00312	0,00000
				0,2	0,5334	0,00053	0,00312	0,00266
				0,3	0,8001	0,00080	0,00312	0,00376
				0,4	1,0668	0,00107	0,00312	0,00461
				0,5	1,3335	0,00133	0,00312	0,00532
				0,6	1,6002	0,00160	0,00312	0,00595
	3,3333	3,3333	3,3333	0	0,0000	0,00000	0,00312	0,00000
				0,1	0,3333	0,00033	0,00312	0,00000
				0,2	0,6667	0,00067	0,00312	0,00266
0,3				1,0000	0,00100	0,00312	0,00376	
0,4				1,3333	0,00133	0,00312	0,00461	
0,5				1,6667	0,00167	0,00312	0,00532	
0,6				2,0000	0,00200	0,00312	0,00595	
4,1667	4,1667	4,1667	0	0,0000	0,00000	0,00312	0,00000	
			0,1	0,4167	0,00042	0,00312	0,00000	
			0,2	0,8333	0,00083	0,00312	0,00266	
			0,3	1,2500	0,00125	0,00312	0,00376	
			0,4	1,6667	0,00167	0,00312	0,00461	
			0,5	2,0833	0,00208	0,00312	0,00532	
			0,6	2,5000	0,00250	0,00312	0,00595	
0,6000	0,6000	0,6000	0	0,0000	0,00000	0,00312	0,00000	
			0,1	0,0600	0,00006	0,00312	0,00000	
			0,2	0,1200	0,00012	0,00312	0,00266	
			0,3	0,1800	0,00018	0,00312	0,00376	

D (m)	Altura (m)	Área da base (m ²)	Altura(m)	volume (m ³)	Volume (×1000 m ³)	Área (m ²)	Q (m ³ /s)		
1,00	1,000		0,4	0,2400	0,00024	0,00312	0,00461		
			0,5	0,3000	0,00030	0,00312	0,00532		
			0,6	0,3600	0,00036	0,00312	0,00595		
			0,7	0,4200	0,00042	0,00312	0,00652		
			0,8	0,4800	0,00048	0,00312	0,00704		
			0,9	0,5400	0,00054	0,00312	0,00753		
			1	0,6000	0,00060	0,00312	0,00799		
	1,600		0	0,0000	0,00000	0,00312	0,00000		
			0,1	0,1000	0,00010	0,00312	0,00000		
			0,2	0,2000	0,00020	0,00312	0,00266		
			0,3	0,3000	0,00030	0,00312	0,00376		
			0,4	0,4000	0,00040	0,00312	0,00461		
			0,5	0,5000	0,00050	0,00312	0,00532		
			0,6	0,6000	0,00060	0,00312	0,00595		
			0,7	0,7000	0,00070	0,00312	0,00652		
			0,8	0,8000	0,00080	0,00312	0,00704		
			0,9	0,9000	0,00090	0,00312	0,00753		
			1	1,0000	0,00100	0,00312	0,00799		
			2,000		0	0,0000	0,00000	0,00312	0,00000
					0,1	0,1600	0,00016	0,00312	0,00000
0,2	0,3200	0,00032			0,00312	0,00266			
0,3	0,4800	0,00048			0,00312	0,00376			
0,4	0,6400	0,00064			0,00312	0,00461			
0,5	0,8000	0,00080			0,00312	0,00532			
0,6	0,9600	0,00096			0,00312	0,00595			
0,7	1,1200	0,00112			0,00312	0,00652			
0,8	1,2800	0,00128			0,00312	0,00704			
0,9	1,4400	0,00144			0,00312	0,00753			
1	1,6000	0,00160			0,00312	0,00799			
2,500		0			0,0000	0,00000	0,00312	0,00000	
		0,1			0,2000	0,00020	0,00312	0,00000	
		0,2	0,4000	0,00040	0,00312	0,00266			
		0,3	0,6000	0,00060	0,00312	0,00376			
		0,4	0,8000	0,00080	0,00312	0,00461			
		0,5	1,0000	0,00100	0,00312	0,00532			
		0,6	1,2000	0,00120	0,00312	0,00595			
		0,7	1,4000	0,00140	0,00312	0,00652			
		0,8	1,6000	0,00160	0,00312	0,00704			
		0,9	1,8000	0,00180	0,00312	0,00753			
		1	2,0000	0,00200	0,00312	0,00799			
		2,5000	0	0,0000	0,00000	0,00312	0,00000		

D (m)	Altura (m)	Área da base (m ²)	Altura(m)	volume (m ³)	Volume (×1000 m ³)	Área (m ²)	Q (m ³ /s)
			0,1	0,2500	0,00025	0,00312	0,00000
			0,2	0,5000	0,00050	0,00312	0,00266
			0,3	0,7500	0,00075	0,00312	0,00376
			0,4	1,0000	0,00100	0,00312	0,00461
			0,5	1,2500	0,00125	0,00312	0,00532
			0,6	1,5000	0,00150	0,00312	0,00595
			0,7	1,7500	0,00175	0,00312	0,00652
			0,8	2,0000	0,00200	0,00312	0,00704
			0,9	2,2500	0,00225	0,00312	0,00753
			1	2,5000	0,00250	0,00312	0,00799

Tabela 8-6: Vazões de entrada para o modelo HECHMS no dimensionamento dos microrreservatórios (Diâmetro do orifício de saída igual a 0,075m)

D (m)	Altura (m)	Área da base (m ²)	Altura(m)	volume (m ³)	Volume (×1000 m ³)	Área (m ²)	Q (m ³ /s)	
0,075	1,0000	1,0000	0	0,0000	0,00000	0,00442	0,00000	
			0,1	0,1000	0,00010	0,00442	0,00000	
			0,2	0,2000	0,00020	0,00442	0,00377	
			0,3	0,3000	0,00030	0,00442	0,00534	
			0,4	0,4000	0,00040	0,00442	0,00653	
			0,5	0,5000	0,00050	0,00442	0,00755	
			0,6	0,6000	0,00060	0,00442	0,00844	
	1,6667	1,6667	1,6667	0	0,0000	0,00000	0,00442	0,00000
				0,1	0,1667	0,00017	0,00442	0,00000
				0,2	0,3333	0,00033	0,00442	0,00377
				0,3	0,5000	0,00050	0,00442	0,00534
				0,4	0,6667	0,00067	0,00442	0,00653
				0,5	0,8333	0,00083	0,00442	0,00755
				0,6	1,0000	0,00100	0,00442	0,00844
	2,6670	2,6670	2,6670	0	0,0000	0,00000	0,00442	0,00000
				0,1	0,2667	0,00027	0,00442	0,00000
				0,2	0,5334	0,00053	0,00442	0,00377
				0,3	0,8001	0,00080	0,00442	0,00534
				0,4	1,0668	0,00107	0,00442	0,00653
				0,5	1,3335	0,00133	0,00442	0,00755
				0,6	1,6002	0,00160	0,00442	0,00844
	3,3333	3,3333	3,3333	0	0,0000	0,00000	0,00442	0,00000
				0,1	0,3333	0,00033	0,00442	0,00000
				0,2	0,6667	0,00067	0,00442	0,00377
				0,3	1,0000	0,00100	0,00442	0,00534
				0,4	1,3333	0,00133	0,00442	0,00653
				0,5	1,6667	0,00167	0,00442	0,00755
				0,6	2,0000	0,00200	0,00442	0,00844
4,1667	4,1667	4,1667	0	0,0000	0,00000	0,00442	0,00000	
			0,1	0,4167	0,00042	0,00442	0,00000	
			0,2	0,8333	0,00083	0,00442	0,00377	
			0,3	1,2500	0,00125	0,00442	0,00534	
			0,4	1,6667	0,00167	0,00442	0,00653	
			0,5	2,0833	0,00208	0,00442	0,00755	
			0,6	2,5000	0,00250	0,00442	0,00844	
0,6000	0,6000	0,6000	0	0,0000	0,00000	0,00442	0,00000	
			0,1	0,0600	0,00006	0,00442	0,00000	
			0,2	0,1200	0,00012	0,00442	0,00377	
			0,3	0,1800	0,00018	0,00442	0,00534	

D (m)	Altura (m)	Área da base (m ²)	Altura(m)	volume (m ³)	Volume (×1000 m ³)	Área (m ²)	Q (m ³ /s)		
1,00	1,0000		0,4	0,2400	0,00024	0,00442	0,00653		
			0,5	0,3000	0,00030	0,00442	0,00755		
			0,6	0,3600	0,00036	0,00442	0,00844		
			0,7	0,4200	0,00042	0,00442	0,00924		
			0,8	0,4800	0,00048	0,00442	0,00998		
			0,9	0,5400	0,00054	0,00442	0,01067		
			1	0,6000	0,00060	0,00442	0,01132		
	1,6000		0	0,0000	0,00000	0,00442	0,00000		
			0,1	0,1000	0,00010	0,00442	0,00000		
			0,2	0,2000	0,00020	0,00442	0,00377		
			0,3	0,3000	0,00030	0,00442	0,00534		
			0,4	0,4000	0,00040	0,00442	0,00653		
			0,5	0,5000	0,00050	0,00442	0,00755		
			0,6	0,6000	0,00060	0,00442	0,00844		
			0,7	0,7000	0,00070	0,00442	0,00924		
			0,8	0,8000	0,00080	0,00442	0,00998		
			0,9	0,9000	0,00090	0,00442	0,01067		
			1	1,0000	0,00100	0,00442	0,01132		
			2,0000		0	0,0000	0,00000	0,00442	0,00000
					0,1	0,1600	0,00016	0,00442	0,00000
0,2	0,3200	0,00032			0,00442	0,00377			
0,3	0,4800	0,00048			0,00442	0,00534			
0,4	0,6400	0,00064			0,00442	0,00653			
0,5	0,8000	0,00080			0,00442	0,00755			
0,6	0,9600	0,00096			0,00442	0,00844			
0,7	1,1200	0,00112			0,00442	0,00924			
0,8	1,2800	0,00128			0,00442	0,00998			
0,9	1,4400	0,00144			0,00442	0,01067			
2,5000		1	1,6000	0,00160	0,00442	0,01132			
		0	0,0000	0,00000	0,00442	0,00000			
		0,1	0,2000	0,00020	0,00442	0,00000			
		0,2	0,4000	0,00040	0,00442	0,00377			
		0,3	0,6000	0,00060	0,00442	0,00534			
		0,4	0,8000	0,00080	0,00442	0,00653			
		0,5	1,0000	0,00100	0,00442	0,00755			
		0,6	1,2000	0,00120	0,00442	0,00844			
		0,7	1,4000	0,00140	0,00442	0,00924			
		0,8	1,6000	0,00160	0,00442	0,00998			
		0,9	1,8000	0,00180	0,00442	0,01067			
1	2,0000	0,00200	0,00442	0,01132					
2,5000	0	0,0000	0,00000	0,00442	0,00000				

D (m)	Altura (m)	Área da base (m ²)	Altura(m)	volume (m ³)	Volume (×1000 m ³)	Área (m ²)	Q (m ³ /s)
			0,1	0,2500	0,00025	0,00442	0,00000
			0,2	0,5000	0,00050	0,00442	0,00377
			0,3	0,7500	0,00075	0,00442	0,00534
			0,4	1,0000	0,00100	0,00442	0,00653
			0,5	1,2500	0,00125	0,00442	0,00755
			0,6	1,5000	0,00150	0,00442	0,00844
			0,7	1,7500	0,00175	0,00442	0,00924
			0,8	2,0000	0,00200	0,00442	0,00998
			0,9	2,2500	0,00225	0,00442	0,01067
			1	2,5000	0,00250	0,00442	0,01132

Tabela 8-7: Vazões de entrada para o modelo HECHMS no dimensionamento dos microrreservatórios (Diâmetro do orifício de saída igual a 0,090m)

D (m)	Altura (m)	Área da base (m ²)	Altura(m)	volume (m ³)	Volume (×1000 m ³)	Área (m ²)	Q (m ³ /s)	
0,090	1,0000	1,0000	0	0,0000	0,00000	0,00636	0,00000	
			0,1	0,1000	0,00010	0,00636	0,00000	
			0,2	0,2000	0,00020	0,00636	0,00543	
			0,3	0,3000	0,00030	0,00636	0,00768	
			0,4	0,4000	0,00040	0,00636	0,00941	
			0,5	0,5000	0,00050	0,00636	0,01087	
			0,6	0,6000	0,00060	0,00636	0,01215	
	1,6667	1,6667	1,6667	0	0,0000	0,00000	0,00636	0,00000
				0,1	0,1667	0,00017	0,00636	0,00000
				0,2	0,3333	0,00033	0,00636	0,00543
				0,3	0,5000	0,00050	0,00636	0,00768
				0,4	0,6667	0,00067	0,00636	0,00941
				0,5	0,8333	0,00083	0,00636	0,01087
				0,6	1,0000	0,00100	0,00636	0,01215
	2,6670	2,6670	2,6670	0	0,0000	0,00000	0,00636	0,00000
				0,1	0,2667	0,00027	0,00636	0,00000
				0,2	0,5334	0,00053	0,00636	0,00543
				0,3	0,8001	0,00080	0,00636	0,00768
				0,4	1,0668	0,00107	0,00636	0,00941
				0,5	1,3335	0,00133	0,00636	0,01087
				0,6	1,6002	0,00160	0,00636	0,01215
	3,3333	3,3333	3,3333	0	0,0000	0,00000	0,00636	0,00000
				0,1	0,3333	0,00033	0,00636	0,00000
				0,2	0,6667	0,00067	0,00636	0,00543
0,3				1,0000	0,00100	0,00636	0,00768	
0,4				1,3333	0,00133	0,00636	0,00941	
0,5				1,6667	0,00167	0,00636	0,01087	
0,6				2,0000	0,00200	0,00636	0,01215	
4,1667	4,1667	4,1667	0	0,0000	0,00000	0,00636	0,00000	
			0,1	0,4167	0,00042	0,00636	0,00000	
			0,2	0,8333	0,00083	0,00636	0,00543	
			0,3	1,2500	0,00125	0,00636	0,00768	
			0,4	1,6667	0,00167	0,00636	0,00941	
			0,5	2,0833	0,00208	0,00636	0,01087	
			0,6	2,5000	0,00250	0,00636	0,01215	
0,6000	0,6000	0,6000	0	0,0000	0,00000	0,00636	0,00000	
			0,1	0,0600	0,00006	0,00636	0,00000	
			0,2	0,1200	0,00012	0,00636	0,00543	
			0,3	0,1800	0,00018	0,00636	0,00768	

D (m)	Altura (m)	Área da base (m ²)	Altura(m)	volume (m ³)	Volume (×1000 m ³)	Área (m ²)	Q (m ³ /s)
1,00	1,0000		0,4	0,2400	0,00024	0,00636	0,00941
			0,5	0,3000	0,00030	0,00636	0,01087
			0,6	0,3600	0,00036	0,00636	0,01215
			0,7	0,4200	0,00042	0,00636	0,01331
			0,8	0,4800	0,00048	0,00636	0,01437
			0,9	0,5400	0,00054	0,00636	0,01537
			1	0,6000	0,00060	0,00636	0,01630
	1,6000		0	0,0000	0,00000	0,00636	0,00000
			0,1	0,1000	0,00010	0,00636	0,00000
			0,2	0,2000	0,00020	0,00636	0,00543
			0,3	0,3000	0,00030	0,00636	0,00768
			0,4	0,4000	0,00040	0,00636	0,00941
			0,5	0,5000	0,00050	0,00636	0,01087
			0,6	0,6000	0,00060	0,00636	0,01215
			0,7	0,7000	0,00070	0,00636	0,01331
			0,8	0,8000	0,00080	0,00636	0,01437
			0,9	0,9000	0,00090	0,00636	0,01537
			1	1,0000	0,00100	0,00636	0,01630
			0	0,0000	0,00000	0,00636	0,00000
			0,1	0,1600	0,00016	0,00636	0,00000
			0,2	0,3200	0,00032	0,00636	0,00543
0,3	0,4800	0,00048	0,00636	0,00768			
0,4	0,6400	0,00064	0,00636	0,00941			
0,5	0,8000	0,00080	0,00636	0,01087			
0,6	0,9600	0,00096	0,00636	0,01215			
0,7	1,1200	0,00112	0,00636	0,01331			
0,8	1,2800	0,00128	0,00636	0,01437			
0,9	1,4400	0,00144	0,00636	0,01537			
1	1,6000	0,00160	0,00636	0,01630			
2,000		0	0,0000	0,00000	0,00636	0,00000	
		0,1	0,2000	0,00020	0,00636	0,00000	
		0,2	0,4000	0,00040	0,00636	0,00543	
		0,3	0,6000	0,00060	0,00636	0,00768	
		0,4	0,8000	0,00080	0,00636	0,00941	
		0,5	1,0000	0,00100	0,00636	0,01087	
		0,6	1,2000	0,00120	0,00636	0,01215	
		0,7	1,4000	0,00140	0,00636	0,01331	
		0,8	1,6000	0,00160	0,00636	0,01437	
		0,9	1,8000	0,00180	0,00636	0,01537	
		1	2,0000	0,00200	0,00636	0,01630	
2,5000	0	0,0000	0,00000	0,00636	0,00000		

D (m)	Altura (m)	Área da base (m ²)	Altura(m)	volume (m ³)	Volume (×1000 m ³)	Área (m ²)	Q (m ³ /s)
			0,1	0,2500	0,00025	0,00636	0,00000
			0,2	0,5000	0,00050	0,00636	0,00543
			0,3	0,7500	0,00075	0,00636	0,00768
			0,4	1,0000	0,00100	0,00636	0,00941
			0,5	1,2500	0,00125	0,00636	0,01087
			0,6	1,5000	0,00150	0,00636	0,01215
			0,7	1,7500	0,00175	0,00636	0,01331
			0,8	2,0000	0,00200	0,00636	0,01437
			0,9	2,2500	0,00225	0,00636	0,01537
			1	2,5000	0,00250	0,00636	0,01630

Tabela 8-8: Vazões de entrada para o modelo HECHMS no dimensionamento dos microrreservatórios (Diâmetro do orifício de saída igual a 0,110m)

D (m)	Altura (m)	Área da base (m ²)	Altura(m)	volume (m ³)	Volume (x 1000 m ³)	Área (m ²)	Q (m ³ /s)	
0,110	1,0000	1,0000	0	0,0000	0,00000	0,0095	0,00000	
			0,1	0,1000	0,00010	0,0095	0,00000	
			0,2	0,2000	0,00020	0,0095	0,00812	
			0,3	0,3000	0,00030	0,0095	0,01148	
			0,4	0,4000	0,00040	0,0095	0,01406	
			0,5	0,5000	0,00050	0,0095	0,01623	
			0,6	0,6000	0,00060	0,0095	0,01815	
	1,6667	1,6667	1,6667	0	0,0000	0,00000	0,0095	0,00000
				0,1	0,1667	0,00017	0,0095	0,00000
				0,2	0,3333	0,00033	0,0095	0,00812
				0,3	0,5000	0,00050	0,0095	0,01148
				0,4	0,6667	0,00067	0,0095	0,01406
				0,5	0,8333	0,00083	0,0095	0,01623
				0,6	1,0000	0,00100	0,0095	0,01815
	2,6670	2,6670	2,6670	0	0,0000	0,00000	0,0095	0,00000
				0,1	0,2667	0,00027	0,0095	0,00000
				0,2	0,5334	0,00053	0,0095	0,00812
				0,3	0,8001	0,00080	0,0095	0,01148
				0,4	1,0668	0,00107	0,0095	0,01406
				0,5	1,3335	0,00133	0,0095	0,01623
				0,6	1,6002	0,00160	0,0095	0,01815
	3,3333	3,3333	3,3333	0	0,0000	0,00000	0,0095	0,00000
				0,1	0,3333	0,00033	0,0095	0,00000
				0,2	0,6667	0,00067	0,0095	0,00812
0,3				1,0000	0,00100	0,0095	0,01148	
0,4				1,3333	0,00133	0,0095	0,01406	
0,5				1,6667	0,00167	0,0095	0,01623	
0,6				2,0000	0,00200	0,0095	0,01815	
4,1667	4,1667	4,1667	0	0,0000	0,00000	0,0095	0,00000	
			0,1	0,4167	0,00042	0,0095	0,00000	
			0,2	0,8333	0,00083	0,0095	0,00812	
			0,3	1,2500	0,00125	0,0095	0,01148	
			0,4	1,6667	0,00167	0,0095	0,01406	
			0,5	2,0833	0,00208	0,0095	0,01623	
			0,6	2,5000	0,00250	0,0095	0,01815	
0,6000	0,6000	0,6000	0	0,0000	0,00000	0,0095	0,00000	
			0,1	0,0600	0,00006	0,0095	0,00000	
			0,2	0,1200	0,00012	0,0095	0,00812	
			0,3	0,1800	0,00018	0,0095	0,01148	

D (m)	Altura (m)	Área da base (m ²)	Altura(m)	volume (m ³)	Volume (x 1000 m ³)	Área (m ²)	Q (m ³ /s)
1,00	1,0000		0,4	0,2400	0,00024	0,0095	0,01406
			0,5	0,3000	0,00030	0,0095	0,01623
			0,6	0,3600	0,00036	0,0095	0,01815
			0,7	0,4200	0,00042	0,0095	0,01988
			0,8	0,4800	0,00048	0,0095	0,02147
			0,9	0,5400	0,00054	0,0095	0,02296
			1	0,6000	0,00060	0,0095	0,02435
	1,6000		0	0,0000	0,00000	0,0095	0,00000
			0,1	0,1000	0,00010	0,0095	0,00000
			0,2	0,2000	0,00020	0,0095	0,00812
			0,3	0,3000	0,00030	0,0095	0,01148
			0,4	0,4000	0,00040	0,0095	0,01406
			0,5	0,5000	0,00050	0,0095	0,01623
			0,6	0,6000	0,00060	0,0095	0,01815
			0,7	0,7000	0,00070	0,0095	0,01988
			0,8	0,8000	0,00080	0,0095	0,02147
			0,9	0,9000	0,00090	0,0095	0,02296
			1	1,0000	0,00100	0,0095	0,02435
			2,0000		0	0,0000	0,00000
0,1	0,1600	0,00016			0,0095	0,00000	
0,2	0,3200	0,00032			0,0095	0,00812	
0,3	0,4800	0,00048			0,0095	0,01148	
0,4	0,6400	0,00064			0,0095	0,01406	
0,5	0,8000	0,00080			0,0095	0,01623	
0,6	0,9600	0,00096			0,0095	0,01815	
0,7	1,1200	0,00112			0,0095	0,01988	
0,8	1,2800	0,00128			0,0095	0,02147	
0,9	1,4400	0,00144			0,0095	0,02296	
1	1,6000	0,00160			0,0095	0,02435	
2,5000		0			0,0000	0,00000	0,0095
		0,1	0,2000	0,00020	0,0095	0,00000	
		0,2	0,4000	0,00040	0,0095	0,00812	
		0,3	0,6000	0,00060	0,0095	0,01148	
		0,4	0,8000	0,00080	0,0095	0,01406	
		0,5	1,0000	0,00100	0,0095	0,01623	
		0,6	1,2000	0,00120	0,0095	0,01815	
		0,7	1,4000	0,00140	0,0095	0,01988	
		0,8	1,6000	0,00160	0,0095	0,02147	
		0,9	1,8000	0,00180	0,0095	0,02296	
		1	2,0000	0,00200	0,0095	0,02435	
		0	0,0000	0,00000	0,0095	0,00000	

D (m)	Altura (m)	Área da base (m ²)	Altura(m)	volume (m ³)	Volume (x 1000 m ³)	Área (m ²)	Q (m ³ /s)
			0,1	0,2500	0,00025	0,0095	0,00000
			0,2	0,5000	0,00050	0,0095	0,00812
			0,3	0,7500	0,00075	0,0095	0,01148
			0,4	1,0000	0,00100	0,0095	0,01406
			0,5	1,2500	0,00125	0,0095	0,01623
			0,6	1,5000	0,00150	0,0095	0,01815
			0,7	1,7500	0,00175	0,0095	0,01988
			0,8	2,0000	0,00200	0,0095	0,02147
			0,9	2,2500	0,00225	0,0095	0,02296
			1	2,5000	0,00250	0,0095	0,02435

Observação: Apenas dois dispositivos, que possuíam diâmetro igual a 0,110 m; altura igual a 1,0 m; e áreas da base 2,0 m², um, e 2,5 m², outro, obtiveram sucesso no armazenamento do volume precipitado.

b- MR dimensionados em conformidade com a (LPOUS/BH

Tabela 8-9: Vazões de entrada para o modelo HECHMS no dimensionamento dos microrreservatórios (Diâmetro do orifício de saída igual a 0,09m)

D (m)	Altura (m)	Área da base (m ²)	Altura(m)	volume (m ³)	Volume (x1000 m ³)	Área (m ²)	Q (m ³ /s)
		5,800000	0,000000	0,000000	0,000000	0,006359	0,000000
		5,800000	0,100000	0,580000	0,000580	0,006359	0,000000
		5,800000	0,200000	1,160000	0,001160	0,006359	0,005433
	0,60	5,800000	0,300000	1,740000	0,001740	0,006359	0,007683
		5,800000	0,400000	2,320000	0,002320	0,006359	0,009410
		5,800000	0,500000	2,900000	0,002900	0,006359	0,010866
		5,800000	0,600000	3,480000	0,003480	0,006359	0,012148
		3,480000	0,000000	0,000000	0,000000	0,006359	0,000000
		3,480000	0,100000	0,348000	0,000348	0,006359	0,000000
0,09		3,480000	0,200000	0,696000	0,000696	0,006359	0,005433
		3,480000	0,300000	1044,000000	0,001044	0,006359	0,007683
		3,480000	0,400000	1392,000000	0,001392	0,006359	0,009410
	1,00	3,480000	0,500000	1,740000	0,001740	0,006359	0,010866
		3,480000	0,600000	2088,000000	0,002088	0,006359	0,012148
		3,480000	0,700000	2436,000000	0,002436	0,006359	0,013308
		3,480000	0,800000	2784,000000	0,002784	0,006359	0,014374
		3,480000	0,900000	3132,000000	0,003132	0,006359	0,015367
		3,480000	1,000000	3,480000	0,003480	0,006359	0,016299

Tabela 8-10: Vazões de entrada para o modelo HECHMS no dimensionamento dos microrreservatórios (Diâmetro do orifício de saída igual a 0,110m)

D (m)	Altura (m)	Área da base (m ²)	Altura(m)	volume (m ³)	Volume (×1000 m ³)	Área (m ²)	Q (m ³ /s)
0,600		5,8000000	0,0000000	0,0000000	0,0000000	0,0094985	0,0000000
		5,8000000	0,1000000	0,5800000	0,0005800	0,0094985	0,0000000
		5,8000000	0,2000000	1,1600000	0,0011600	0,0094985	0,0081159
		5,8000000	0,3000000	1,7400000	0,0017400	0,0094985	0,0114776
		5,8000000	0,4000000	2,3200000	0,0023200	0,0094985	0,0140571
		5,8000000	0,5000000	2,9000000	0,0029000	0,0094985	0,0162317
		5,8000000	0,6000000	3,4800000	0,0034800	0,0094985	0,0181476
0,110		3,4800000	0,0000000	0,0000000	0,0000000	0,0094985	0,0000000
		3,4800000	0,1000000	0,3480000	0,0003480	0,0094985	0,0000000
		3,4800000	0,2000000	0,6960000	0,0006960	0,0094985	0,0081159
		3,4800000	0,3000000	1044,0000000	0,0010440	0,0094985	0,0114776
		3,4800000	0,4000000	1392,0000000	0,0013920	0,0094985	0,0140571
	1,000	3,4800000	0,5000000	1,7400000	0,0017400	0,0094985	0,0162317
		3,4800000	0,6000000	2088,0000000	0,0020880	0,0094985	0,0181476
		3,4800000	0,7000000	2436,0000000	0,0024360	0,0094985	0,0198797
		3,4800000	0,8000000	2784,0000000	0,0027840	0,0094985	0,0214725
		3,4800000	0,9000000	3132,0000000	0,0031320	0,0094985	0,0229551
	3,4800000	1,0000000	3,4800000	0,0034800	0,0094985	0,0243476	

Observação: bem como no Item "a" todos os diâmetros foram testado, mas apenas o de 0,110 mm foi capaz de armazenar o volume precipitado quando usou-se uma altura de 1,0 m.