



CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DE MINAS GERAIS
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA AMBIENTAL
GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AMBIENTAL E SANITÁRIA

TELHADOS VERDES: avaliação da capacidade de retenção do escoamento
superficial por meio de estudo experimental

NATÁLIA IZABEL MACEDO DE ALMEIDA NUNES

Belo Horizonte

2016

NATALIA IZABEL MACEDO DE ALMEIDA NUNES

TELHADOS VERDES: avaliação da capacidade de retenção do escoamento
superficial por meio de estudo experimental

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

Orientadora: Prof^a Dra. Luciana Peixoto Amaral
Coorientadora: Prof^a. Dra. Priscilla Macedo Moura

Belo Horizonte
2016

NUNES, Natália Izabel Macedo de Almeida.

S—

TELHADOS VERDES: avaliação da capacidade de retenção do escoamento
superficial por meio de estudo experimental

/ Natália Izabel Macedo de Almeida Nunes. –

Registro: 2016 91f; --cm

Orientadora: Prof. D. Sc Luciana Peixoto Amaral

Trabalho de conclusão de curso (Engenharia Ambiental e Sanitária)
– Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, 2016

1. Telhado verde. 2 Capacidade de retenção. 3 Técnicas compensatórias de drenagem pluvial. I. Nunes, Natália Izabel Macedo de Almeida Nunes. II. Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais. III. Telhados verdes: avaliação da capacidade de retenção do escoamento superficial por meio de estudo experimental.

NATÁLIA IZABEL MACEDO DE ALMEIDA NUNES

TELHADOS VERDES: avaliação da capacidade de retenção do escoamento
superficial por meio de estudo experimental

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

Data de aprovação: ___/___/___

Banca Examinadora:

_____ Data: ___/___/___

Prof^a. M.Sc. Karina Venâncio Bonitese

_____ Data: ___/___/___

Prof. D. Sc. Ricardo José Gontijo Azevedo

_____ Data: ___/___/___

Prof^a D.Sc. Luciana Peixoto Amaral – Orientadora

_____ Data: ___/___/___

Prof^a. D. Sc. Priscilla Macedo Moura - Coorientadora

AGRADECIMENTOS

Inicialmente, agradeço à Priscilla Moura a oportunidade e a confiança depositada para a realização deste trabalho. Agradeço também à minha orientadora Luciana Peixoto a paciência e dedicação.

Agradeço a todos que participaram da execução do telhado verde, pessoas que trabalharam duro para me ajudar – minhas irmãs, Júlia e Laís; meu primo Rodrigo; meu namorado Nikolas e minha amiga Ludmila.

Agradeço à minha prima Giselle as aulas de SketchUp e pela paciência.

Agradeço novamente à minha irmã Júlia e minha prima Giselle pela revisão de todo o texto do trabalho.

E agradeço principalmente aos meus pais, pela dedicação à realização do telhado verde e pelos conhecimentos de jardinagem extremamente importantes na realização deste trabalho.

RESUMO

Nos anos 70, começou no Brasil o processo de urbanização. Por ter se tratado de um processo acelerado, as estruturas das cidades não foram adequadamente preparadas para este crescimento populacional. Como resultado desse processo, houve uma mudança considerável das condições naturais das bacias hidrográficas, como é o caso da impermeabilização do solo. Esta mudança acarretou uma série de problemas ambientais como inundações e erosões. Com o objetivo de minimização desse problemas, foi construído um telhado verde para a análise de seu comportamento na minimização do pico vazões de cheia, adequando a distribuição temporal da vazão de chuva. Foram desenvolvidos quatro compartimentos de telhado (um com terra vegetal; um com grama esmeralda; um com rosa de pedra, uma espécie de suculenta; e o último como compartimento comparativo, sem substrato ou espécie vegetal). O trabalho em questão apresenta resultados preliminares quanto ao comportamento de telhados verdes. Alguns problemas de funcionamento dos compartimentos construídos foram observados a partir da ocorrência dos eventos chuvosos. Desta forma, faz-se necessária a coleta e análise de dados para um período maior de eventos, de forma a obter e comparar os resultados do protótipo construído nesta pesquisa com outros resultados de experimentos semelhantes. Espera-se que, na continuidade do trabalho em questão, obtenham-se resultados semelhantes aos já obtidos anteriormente por outros pesquisadores, com retenção de escoamento superficial em torno de 60%.

Palavras-chave: Telhado verde, capacidade de retenção, técnicas compensatórias de drenagem pluvial.

ABSTRACT

The urbanization process began in the early 70s, in Brazil. As an accelerated process, the city structures were not adequately prepared for the population growth. As a result of this process, there has been a considerable change in the natural conditions of the river basins, as in the case of soil impermeabilization. This change has led to several environmental problems such as floods and erosion. In order to minimize these problems, a green roof was constructed to analyze the minimization of peak flood flows, adjusting the temporal distribution of rainfall. Four roof compartments (one with vegetative soil, one with emerald grass, one with stone rose, one succulent species, and the last as comparative compartment, without substrate or plant species) were developed. This work presents preliminary results regarding the behavior of green roofs. Some problems in the operation of the compartments were observed through the occurrence of the rainy events, thus, it is necessary to collect and analyze data for a longer period of events, in order to obtain and compare the results of the prototype constructed in this research with another results from similars experiments. It is expected, in the further continuatios of this work, similar results to those obtained previously by other researchers, with retention of surface flow around 60%.

Key words: Green roof, retention capacity, compensatory drainage measures.

LISTA DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1 - Distribuição da população do Brasil em 2010 | 19 |
| Figura 2 - Impactos da urbanização na drenagem urbana | 21 |
| Figura 3 - Ciclo Hidrológico | 22 |
| Figura 4 - Balanço hídrico de um telhado verde comparado a um tradicional..... | 23 |
| Figura 5 - Componentes do hidrograma de cheia | 26 |
| Figura 6 - Efeitos da urbanização no ciclo hidrológico | 27 |
| Figura 7 - Hidrogramas de áreas urbanizadas e não urbanizadas..... | 28 |
| Figura 8 - Diferenças no amortecimento do hidrograma de enchente..... | 30 |
| Figura 9 - Esquema dos diferentes tipos de técnicas compensatórias..... | 32 |
| Figura 10 - Exemplos de telhados verdes construídos no mundo..... | 38 |
| Figura 11 - Classificação dos telhados verdes | 40 |
| Figura 12 - Composição do telhado verde | 41 |
| Figura 13 - Perspectiva e componentes da parte experimental instalada na edificação localizada na UFMG | 48 |
| Figura 14 - Reservatório utilizado..... | 48 |
| Figura 15 - Registro..... | 49 |
| Figura 16 - Tubulação das calhas | 49 |
| Figura 17 - Camadas utilizadas no trabalho | 50 |
| Figura 18 – Layout dos compartimentos da laje da edificação | 52 |
| Figura 19 - <i>Zoysia japonica</i> (Gramma esmeralda) | 53 |
| Figura 20 - <i>Graptopetalum paraguayense</i> (Rosa de pedra)..... | 53 |
| Figura 21 - Localização do experimento (em vermelho) e da estação automática do INMET(em amarelo) | 54 |
| Figura 22 - Reservatórios acoplados ao tubo de descida | 55 |
| Figura 23 – Edificação existente, campus da UFMG | 56 |
| Figura 24 – Tijolos..... | 57 |
| Figura 25 – Platibanda executada..... | 57 |
| Figura 26 - Retirada dos ferros da estrutura | 57 |
| Figura 27 - Fechamento dos buracos nas vigas..... | 58 |
| Figura 28 - Buraco fechado | 58 |
| Figura 29 - Aplicação da nata com rodo..... | 59 |
| Figura 30 - Aplicação da nata na platibanda | 59 |
| Figura 31 - Empoçamento de água no compartimento | 59 |
| Figura 32 - Orifícios feitos na laje..... | 60 |
| Figura 33 - Aplicação do impermeabilizante | 61 |
| Figura 34 - Laje com duas demãos de impermeabilizante | 61 |
| Figura 35 – Tela | 62 |
| Figura 36 – Colocação da Tela | 62 |
| Figura 37 - Lona colocada antes da camada de drenagem | 63 |
| Figura 38 - Funcionamento do Macdrain® J | 63 |
| Figura 39 - Macdrain® J..... | 64 |
| Figura 40 - Reforço nos tubos de descida..... | 64 |
| Figura 41 - Colocação da terra vegetal nos compartimentos | 65 |
| Figura 42 - Plantação da Gramma | 65 |
| Figura 43 - Plantação das suculentas | 66 |
| Figura 44 - Escoramento das calhas | 67 |

| | |
|--|----|
| Figura 45 - Nivelamento do reservatório | 67 |
| Figura 46 - Furos para a chegada da calha | 68 |
| Figura 47 – Vedante | 68 |
| Figura 48 - Canalização dentro do reservatório | 68 |
| Figura 49 - Registro instalado no fundo da caixa | 69 |
| Figura 50 - Detalhe do registro | 69 |
| Figura 51 - Instalação do registro | 69 |
| Figura 52 - Grama dia 05/11 | 71 |
| Figura 53 - Grama dia 14/11 | 71 |
| Figura 54 - Brotos nas suculentas | 71 |
| Figura 55 - Área de cada compartimento | 74 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|--|----|
| Tabela 1 - Fatores que influenciam o escoamento superficial | 25 |
| Tabela 2 - Dados de precipitação..... | 72 |
| Tabela 3 - Volume precipitado em cada compartimento antes da medição | 75 |
| Tabela 4 - Volumes escoados por compartimento | 75 |
| Tabela 5 - Balanço Hídrico | 76 |
| Tabela 6 - Coeficiente de escoamento | 77 |
| Tabela 7 - % Armazenada em cada compartimento | 77 |
| Tabela 8 - Resultados somando os compartimentos | 78 |
| Tabela 9 - Apresentação dos custos referentes à construção do projeto..... | 79 |
| Tabela 10 - Custo por m ² | 80 |

LISTA DE GRÁFICOS

| | |
|---|----|
| Gráfico 1 - Precipitações em 2016 na cidade de Belo Horizonte | 24 |
| Gráfico 2 - Dados pluviométricos | 73 |

SUMÁRIO

| | | |
|----------|--|-----------|
| 1 | INTRODUÇÃO | 14 |
| 2 | JUSTIFICATIVA | 16 |
| 3 | OBJETIVOS | 18 |
| 3.1 | Objetivo geral..... | 18 |
| 3.2 | Objetivos específicos..... | 18 |
| 4 | ÁREAS URBANAS: aspectos gerais e definições | 19 |
| 4.1 | O processo de urbanização..... | 19 |
| 4.2 | Ciclo hidrológico e hidrograma | 21 |
| 4.2.1 | Intensidade pluviométrica | 23 |
| 4.2.2 | Escoamento Superficial e o Coeficiente de <i>Runoff</i> | 24 |
| 4.2.3 | Hidrograma..... | 25 |
| 4.2.4 | Efeito da urbanização no comportamento hidrológico | 26 |
| 4.2.5 | Efeito da urbanização sobre o escoamento superficial..... | 27 |
| 5 | SISTEMAS DE DRENAGEM URBANA | 29 |
| 5.1 | Medidas de controle e técnicas compensatórias em drenagem urbana | 29 |
| 5.1.1 | Técnicas clássicas de drenagem urbana..... | 29 |
| 5.1.2 | Técnicas compensatórias de drenagem urbana | 31 |
| 6 | TELHADOS VERDES | 37 |
| 6.1.1 | Classificação dos telhados verdes..... | 39 |
| 6.1.2 | Composição dos telhados verdes..... | 40 |
| 6.1.3 | Camada de vegetação: espécies vegetais | 41 |
| 6.1.4 | Pesquisas desenvolvidas com telhados verdes visando à redução da vazão de pico 43 | |
| 6.1.5 | Fatores que influenciam na eficiência dos telhados verdes, quanto à redução da vazão de pico | 45 |
| 7 | METODOLOGIA | 47 |
| 7.1 | Descrição do experimento | 47 |
| 7.2 | Estrutura do telhado verde..... | 50 |
| 7.3 | Organização dos compartimentos | 51 |
| 7.4 | Estudo das espécies vegetais a serem utilizadas..... | 52 |
| 7.5 | Determinação da capacidade de retenção dos telhados verdes | 53 |
| 8 | RESULTADOS E DISCUSSÕES | 56 |
| 8.1 | Construção do experimento: telhados verdes..... | 56 |
| 8.1.1 | Preparação das lajes (camada 1) e aplicação da nata (camada 2) | 56 |
| 8.1.2 | Aplicação da camada de impermeabilizantes e tela (camadas 3 a 5) | 60 |
| 8.1.3 | Aplicação da camada de drenagem e lona (camada 6 e 7)..... | 62 |

| | | |
|-----------|---|-----------|
| 8.1.4 | Colocação da terra vegetal e plantação das mudas de espécies vegetais (camadas 8 e 9) | 65 |
| 8.1.5 | Instalações Hidráulicas | 66 |
| 8.1.6 | Problemas durante a execução do trabalho | 69 |
| 8.2 | Adaptação das espécies vegetais | 70 |
| 8.3 | Coleta e análise dos dados pluviométricos..... | 71 |
| 8.4 | Coleta e quantificação do volume armazenado | 73 |
| 8.5 | Balanço hídrico: capacidade da retenção dos telhados verdes | 75 |
| 8.6 | Determinação do coeficiente de escoamento | 76 |
| 9 | ANÁLISE DE CUSTOS..... | 79 |
| 10 | CONCLUSÕES..... | 81 |

1 INTRODUÇÃO

Desde 1970, a população brasileira vem sendo redistribuída. O aspecto mais importante dessa reorganização é a concentração acentuada da população em áreas urbanas (MARTINE, 1994).

Segundo Porto (1993), com a urbanização, as paisagens naturais são substituídas por condicionantes impermeáveis, reduzindo a capacidade de infiltração no solo. O escoamento superficial aumenta, elevando as vazões de pico, assim, as taxas de evapotranspiração são reduzidas, uma vez que as superfícies urbanas não retêm água como a cobertura vegetal, causando um perceptível desequilíbrio, tornando-se necessário, assim, o desenvolvimento de técnicas de drenagem urbana.

A drenagem urbana clássica era normalmente realizada através de canalizações e, assim, eram transferidas águas pluviais e esgotos para áreas a jusante, carregando com elas poluentes e contaminantes (CANHOLI, 2005).

Segundo Baptista et al. (2005), no início da década de 70, uma nova abordagem para lidar com os problemas decorrentes das inundações urbanas começou a ser estudada e implementada, principalmente na Europa e nos Estados Unidos. Começou a se adotar o conceito de tecnologias alternativas ou compensatórias de drenagem, que têm como objetivo a compensação dos efeitos da urbanização intensa nos processos hidrológicos, considerando soluções alternativas às clássicas implantadas - canalizações de cursos d'água, galerias, dentre outras. Uma técnica compensatória que vem sendo muito estudada e desenvolvida é o uso de telhados verdes.

Os telhados verdes vêm se destacando por suas diversas vantagens, como o controle de temperatura de edificações (RIVERO, 1998 *apud* OLIVEIRA, 2009); o auxílio na umidificação do ar (ROMERO, 2000); isolamento acústico; possibilidade de reaproveitamento de águas de chuva, além de seu uso como técnica compensatória de drenagem urbana, tendo assim um grande potencial como ponto chave para a gestão de águas pluviais. (GROMAIRE, 2013).

O uso desse tipo de telhado tem tido um grande destaque como técnica compensatória, não só por sua capacidade de retenção das águas de chuva, mas também a capacidade de evapotranspiração, reduzindo os impactos da urbanização no ciclo hidrológico (MOURA, 2014).

Em países como Alemanha, Áustria e Noruega, o conceito de telhado verde já é amplamente difundido, devido ao interesse desses países em combater a degradação ambiental e a rápida devastação dos espaços verdes em áreas de desenvolvimento urbano acelerado (ARAÚJO, 2007 *apud* OLIVEIRA, 2009). No Brasil, esta técnica vem aos poucos ganhando espaço nos estudos da arquitetura sustentável.

2 JUSTIFICATIVA

Nas últimas décadas, o Brasil passou por um processo de urbanização. Esse processo aconteceu de forma desordenada, não contando com a instalação da infraestrutura necessária. Houve ainda, em consequência dessa urbanização, a impermeabilização excessiva do solo e a canalização dos cursos d'água, canalizações essas referentes às técnicas clássicas de drenagem urbana e saneamento.

Em consequência dessa ocupação desordenada e das técnicas de drenagem urbana pouco adequadas, a incidência de inundações vem aumentando e os danos relacionados são tanto ao patrimônio quanto para a vida humana. Desta forma, são necessários estudos e pesquisas na área de hidrologia e drenagem urbana visando reverter esse quadro (TUCCI, 1995).

Existem diversas técnicas alternativas que podem ser implantadas de forma a minimizar os impactos causados pelo excesso de impermeabilização do solo. O telhado verde é um dos exemplos desse tipo de técnica que vem sendo usada alternativamente às técnicas clássicas.

O telhado verde funciona com o armazenamento de água, amortecendo o fluxo, evitando a rápida transferência da cheia para jusante, proporcionando a redução do pico de vazão e estendendo a duração do escoamento. Outro benefício do uso dos telhados verdes, é o aumento da evapotranspiração, reduzindo assim os impactos gerados pela urbanização no ciclo hidrológico.

As técnicas de manejo de águas pluviais em escala pontual como é o caso do telhado verde se mostram promissoras frente à necessidade de controle de cheias em áreas urbanas. Entretanto, o desempenho real dessas técnicas é ainda impreciso, tendo em vista questões de projeto, operação e manutenção. Além disso, seu papel na redução de cheias em escala da bacia hidrográfica foi pouco estudado.

Os telhados verdes têm sido implantados sobretudo com vistas a benefícios estéticos e de conforto térmico nas edificações; seu real benefício em termos de amortecimento de cheias em zona tropical ainda permanece pouco estudado. Dessa forma, restam lacunas relativas ao desempenho desse tipo de telhados, ao seu funcionamento hidráulico, ao seu comportamento em termos de retenção da poluição, às suas práticas de manutenção, aos seus custos de instalação e ao impacto social utilização.

Outra dúvida existente em relação à esta tecnologia refere-se ao seu comportamento em áreas com clima tropical, visto que grande parte dos estudos já realizados para melhor conhecimento desta tecnologia são estudos internacionais realizados em países com clima diferente do encontrado no Brasil.

Esta pesquisa faz parte do projeto de pesquisa “Avaliação do funcionamento de dispositivos compensatórios de manejo de águas pluviais urbanas na escala de lote” e conta com financiamento do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), que concedeu auxílio financeiro para a aquisição de material utilizado na pesquisa.

3 OBJETIVOS

3.1 Objetivo geral

Avaliar o desempenho de telhados verdes, com diferentes espécies vegetais, como dispositivos compensatórios de manejo de águas pluviais urbanas, visando a redução do escoamento superficial.

3.2 Objetivos específicos

- Estudar e propor o layout do experimento;
- Avaliar os tipos de vegetação a serem utilizados;
- Analisar a adaptação de cada espécie utilizada;
- Analisar o custo de implementação do projeto;
- Construir os telhados verdes e o sistema de coleta e armazenamento da água;
e
- Quantificar o volume armazenado e precipitado.

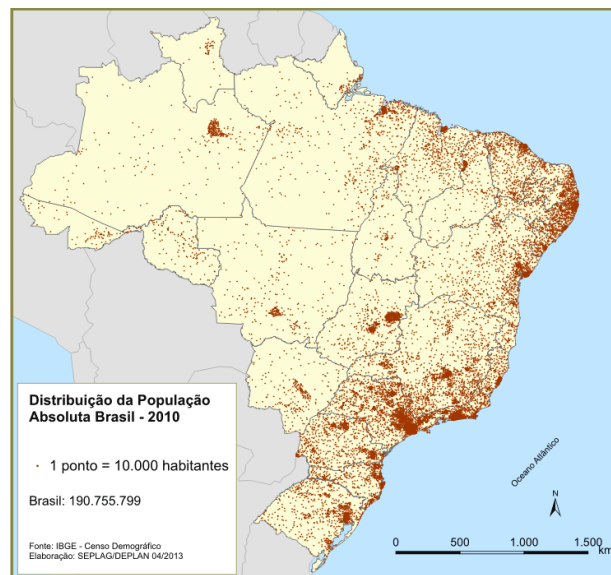
4 ÁREAS URBANAS: aspectos gerais e definições

4.1 O processo de urbanização

Segundo dados do IBGE, em 1940, a população urbana girava em torno de 13 milhões de habitantes, representando 31% da população brasileira, já a população rural indicava um número aproximado de 30 milhões, cerca de 69% da população. Desde o ano de 1970 nota-se pelos censos realizados, uma drástica queda da população rural no Brasil, queda essa que vem sendo acentuada ano após ano. Em 2010, ano do último censo realizado, a população rural alcançava aproximadamente 30 milhões, representando 15% da população. A população urbana neste mesmo ano, representava por volta de 160 milhões de habitantes (Figura 1).

A Figura 1 mostra a distribuição populacional no Brasil, em 2010, ano de realização do último censo. É fácil notar que a população brasileira em 2010 já se encontra concentrada em centros urbanos.

Figura 1 - Distribuição da população do Brasil em 2010



Fonte: IBGE (2010).

Durante muitos anos, no Brasil, como em outros países, a drenagem urbana foi tratada de forma marginal. Na maior parte do desenvolvimento das grandes cidades, o crescimento se deu de forma acelerada e, somente em algumas situações, a

drenagem urbana teve importância no que se refere ao planejamento das cidades (CANHOLI, 2005).

Habitualmente, o processo de urbanização tem seu início nas áreas mais baixas da bacia hidrográfica, que possuem um melhor acesso e melhores condições para a construção, permitindo a instalação das comunidades e atividades produtivas. Após a ocupação das áreas mais planas, a urbanização se expande para as regiões mais altas, substituindo a vegetação natural por áreas impermeáveis e, assim, dificultando a retenção das águas de chuva (REZENDE, 2010).

Segundo Tucci (2008), a urbanização pode ocorrer formalmente ou informalmente. No âmbito formal, a urbanização ocorre assistida pelo poder público local, com instalação da infraestrutura necessária. A urbanização informal acontece principalmente em áreas periféricas, desassistidas pelo poder público, o que permite a ocupação de forma desordenada das planícies de inundação dos cursos d'água urbanos.

Levando em consideração a rápida mudança organizacional ocorrida no Brasil, é relevante o questionamento quanto à disposição da população nas cidades, que não decorre da maneira formal. Segundo Grostein (2001), o processo de urbanização brasileiro conduziu à formação de várias aglomerações em áreas metropolitanas; essas características refletem diretamente em todo o plano organizacional das cidades, dificultando o atendimento das demandas de infraestrutura urbana.

Ainda segundo Grostein (2001), a falta de uma política de desenvolvimento urbano ambiental acarreta problemas no crescimento urbano: permite expansões desnecessárias da malha urbana e possibilita a impermeabilização de áreas de várzea. “A expansão urbana sem transporte público metropolitano de massa eficiente é um caminho explosivo do ponto de vista da qualidade de vida nas metrópoles e aglomerações urbanas, assim como a impermeabilização descontrolada do solo com pavimentação, sem projetos de macrodrenagem”.¹

O ideal é que o processo de urbanização seja realizado juntamente ao desenvolvimento do sistema de drenagem urbana, o que não aconteceu na maioria das cidades brasileiras. A falta de sincronização da urbanização com o

¹ GROSTEIN, M. D., *Metrópole e expansão urbana: a persistência de processos “insustentáveis”*. *Perspec*, vol.15 n.1. São Paulo, 2001.

desenvolvimento da drenagem urbana das cidades implica em grandes impactos no sistema de drenagem (Figura 2).

Figura 2 - Impactos da urbanização na drenagem urbana

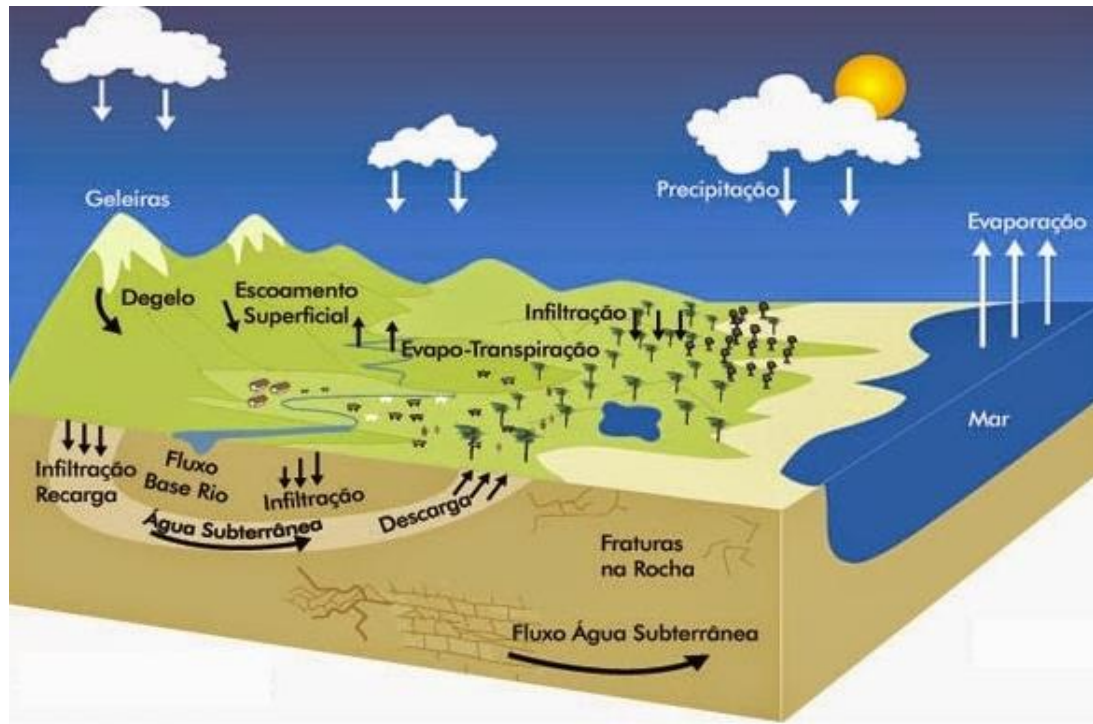


Fonte: SUDERSHA (2002) *apud* Tucci (2005).

4.2 Ciclo hidrológico e hidrograma

Segundo Tucci et al. (2005), o ciclo hidrológico é o fenômeno global de circulação fechada da água entre a superfície terrestre e a atmosfera, impulsionado fundamentalmente pela energia solar associada à gravidade e à rotação terrestre (Figura 3).

Figura 3 - Ciclo Hidrológico



Fonte: Ministério do Meio Ambiente.

Fundamentalmente, os processos compreendidos no ciclo hidrológico são: precipitação; infiltração; escoamento superficial (“runoff”); escoamento subterrâneo; e evapotranspiração.

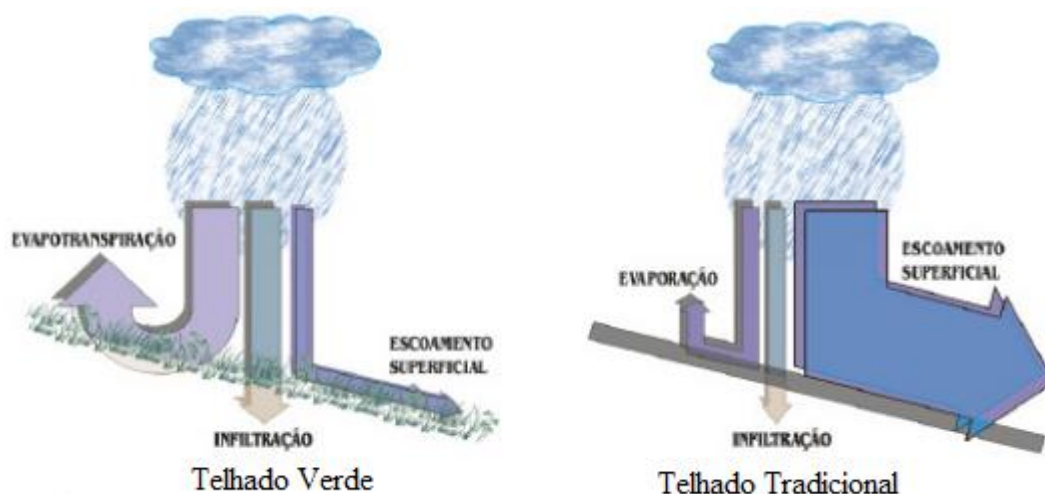
Tucci et al. (2005) descrevem que a precipitação ocorre com fenômenos complexos de aglutinação e crescimento de microgotículas em nuvens com presença significativa de umidade. Essas microgotículas formam uma gota que tem peso e tamanho suficiente para precipitar. Em direção à superfície terrestre, a água precipitada pode sofrer evaporação ou cair sobre o solo. Caindo sobre o solo com cobertura vegetal, parte do volume de água precipitado sofre interceptação em folhas e caules e evapora. A água que atinge o solo segue diversos caminhos. Como o solo é um meio poroso, há infiltração de toda a água precipitada que chega a ele enquanto o mesmo não se satura. Quando ocorre a saturação do solo, o excesso precipitado compõe o escoamento superficial.

A água pode ainda infiltrar no subsolo, escoar pelos aquíferos e compor posteriormente a recarga de um rio, ou até ser destinada aos oceanos. A água pode também ser absorvida pelas raízes das plantas e retornar à atmosfera por meio de

evapotranspiração. Todo esse ciclo é essencial para manter a vida na terra (NAGHETTINI, 1999).

Nos telhados verdes, o ciclo hidrológico ocorre de maneira semelhante ao processo natural. Como é esquematizado na Figura 4, com os telhados verdes, a evapotranspiração é aumentada. Além disso, nesse tipo de telhado, ocorre a infiltração de uma parcela de água de chuva, diferentemente do telhado convencional. Essa parcela de água infiltrada fica retida na camada de drenagem do telhado, o que consequentemente reduz o escoamento superficial e o tempo de concentração ².

Figura 4 - Balanço hídrico de um telhado verde comparado a um tradicional



Fonte: OHNUMA (2008).

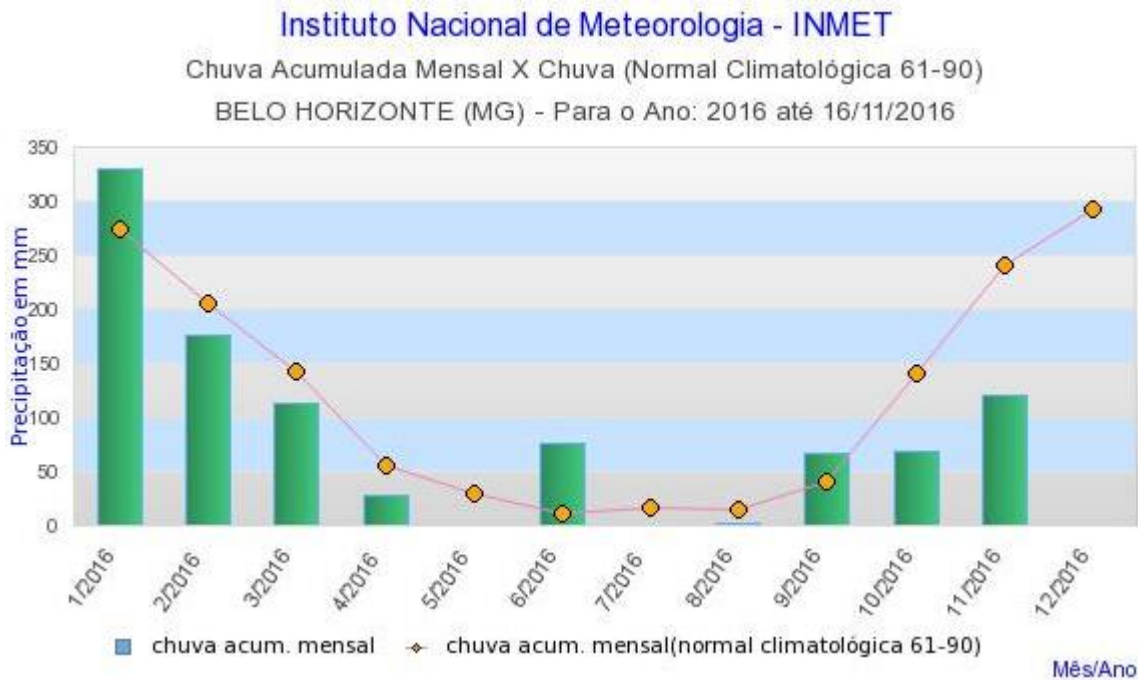
4.2.1 Intensidade pluviométrica

No ano início do ano de 2016, a cidade de Belo Horizonte teve uma quantidade mais baixa de chuvas do que a normal climatológica ³, representada pela linha laranja no Gráfico 1. Em junho e novembro, a chuva superou a média normal de chuvas, o que pode ser notado no Gráfico 1.

² Tempo de concentração é o tempo que toda a bacia considerada leva para contribuir para o escoamento superficial na seção estudada; Tempo que leva uma gota de água mais distante até o trecho considerado na bacia.

³ As normais climatológicas são obtidas através do cálculo da média de parâmetros meteorológicos por um período padronizado de 30 anos.

Gráfico 1 - Precipitações em 2016 na cidade de Belo Horizonte



Fonte: INMET.

Pela linha laranja foram representados os dados de precipitação acumulada mensal e anual em milímetros da normal climatográfica entre 1960 e 1990. De acordo com os dados do INMET, os meses com mais precipitação registrados em Belo Horizonte são janeiro e dezembro, os meses com menor quantidade de precipitação registrados são junho, julho e agosto.

4.2.2 Escoamento Superficial e o Coeficiente de *Runoff*

O escoamento superficial é impulsionado pela gravidade para as cotas mais baixas, vencendo principalmente o atrito com a superfície do solo. A presença de vegetação na superfície do solo contribui como obstáculo para o escoamento superficial, favorecendo a infiltração da água. A vegetação contribui também para a redução da energia cinética de impacto das gotas de chuva no solo, minimizando a erosão (KHRAN et al., 2007).

Existem diversos fatores que podem influenciar no escoamento superficial, descritos na Tabela 1.

Tabela 1 - Fatores que influenciam o escoamento superficial

| FATORES CLIMÁTICOS | FATORES FISIAGRÁFICOS |
|-------------------------------------|------------------------------------|
| Tipo de Precipitação | Área de Drenagem |
| Intensidade da Chuva | Uso da Terra |
| Duração da Chuva | Cobertura Vegetal |
| Distribuição da Chuva por Região | Tipo de Solo |
| Direção do Deslocamento do Temporal | Forma e Drenagem |
| Chuva Antecedente | Distribuição do Relevo |
| Umidade do Solo Antecedente | Altitude Média |
| Evaporação | Comprimento do Rio Principal |
| Transpiração | Declividade da Bacia |
| Outros | Reservatórios Naturais/Artificiais |

Fonte: NAGHETTINI (1999).

O coeficiente *runoff* é definido como a razão entre o volume de água escoado superficialmente e o volume de água precipitado. Este coeficiente pode ser relativo à uma chuva isolada ou relativo a um intervalo de tempo onde várias chuvas ocorreram (CARVALHO et al., 2006).

Segundo Barbosa Jr. (2013), o coeficiente *runoff* leva em consideração o grau de permeabilidade da área de drenagem. Quanto mais impermeável uma área, maior será o volume de água escoado superficialmente.

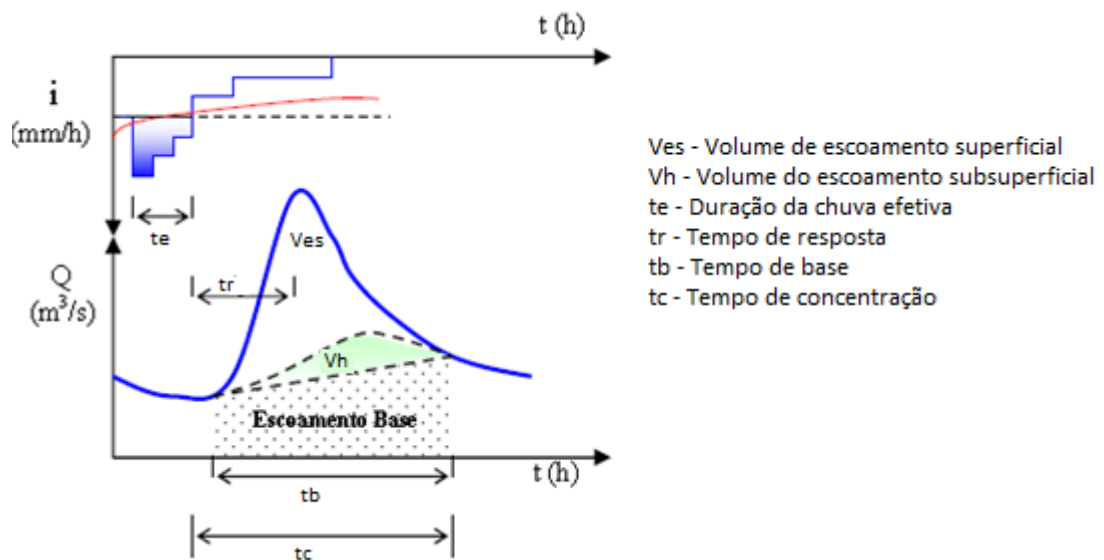
4.2.3 Hidrograma

Segundo Tucci (2004), um hidrograma é um gráfico que apresenta a vazão distribuída no tempo. Essa distribuição de vazão no tempo resulta da interação de todos os componentes do ciclo hidrológico entre a ocorrência da precipitação e a vazão da bacia hidrográfica.

A forma do gráfico hidrograma depende de diversos fatores, dentre eles: relevo (densidade de drenagem, declividade da bacia, capacidade de armazenamento e

forma); cobertura da bacia (nível de impermeabilização); modificações artificiais nos rios; distribuição, duração e intensidade da precipitação; solo (condições iniciais de umidade) (TUCCI, 2004).

Figura 5 - Componentes do hidrograma de cheia



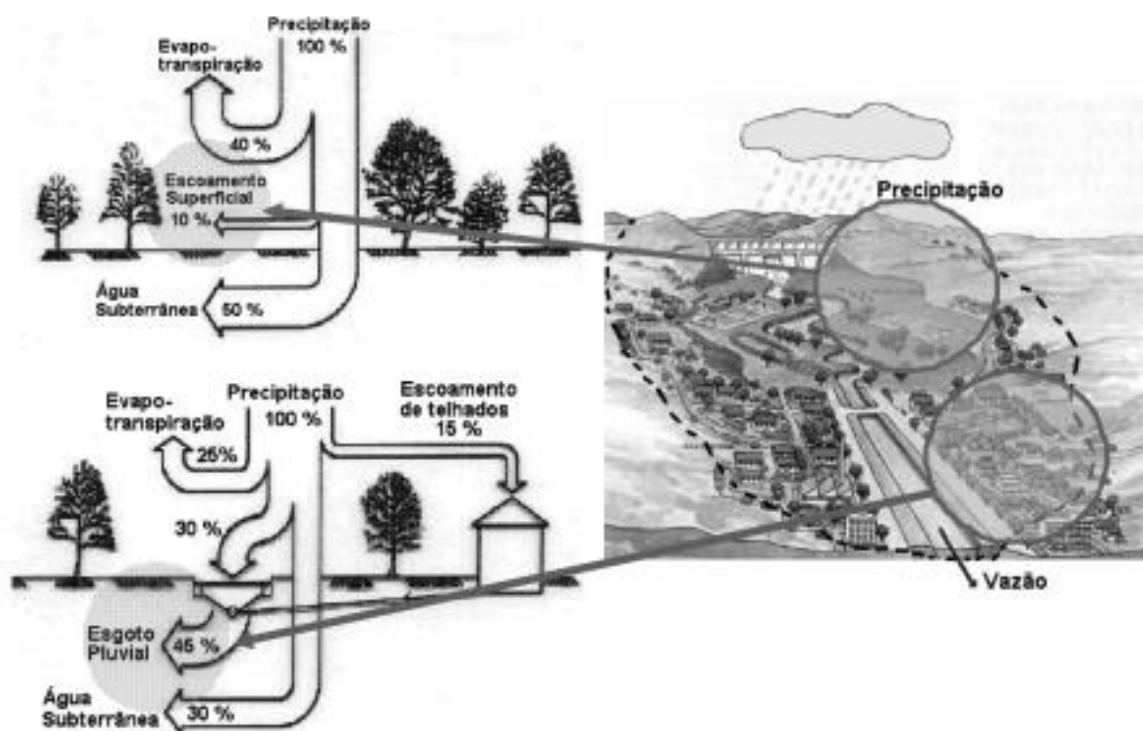
Fonte: Naghettini, 1999 adaptado.

A Figura 5 representa um hidrograma de cheia com suas respectivas componentes. Sendo o tempo de resposta (t_r) o tempo que a bacia leva para responder à precipitação, e o tempo de base (t_b) a duração do escoamento superficial.

4.2.4 Efeito da urbanização no comportamento hidrológico

Além das transformações causadas no sistema de drenagem, a urbanização causa grandes modificações no ciclo hidrológico (Figura 6).

Figura 6 - Efeitos da urbanização no ciclo hidrológico



Fonte: TUCCI (2008).

Segundo Drumond (2012), com a retirada da vegetação existente para a ocupação humana, a evapotranspiração natural da vegetação e o armazenamento da água pluvial são diminuídos significativamente. O processo de infiltração é diminuído em até 7 vezes (LEOPOLD, 1968), e conseqüentemente o escoamento superficial é significativamente aumentado.

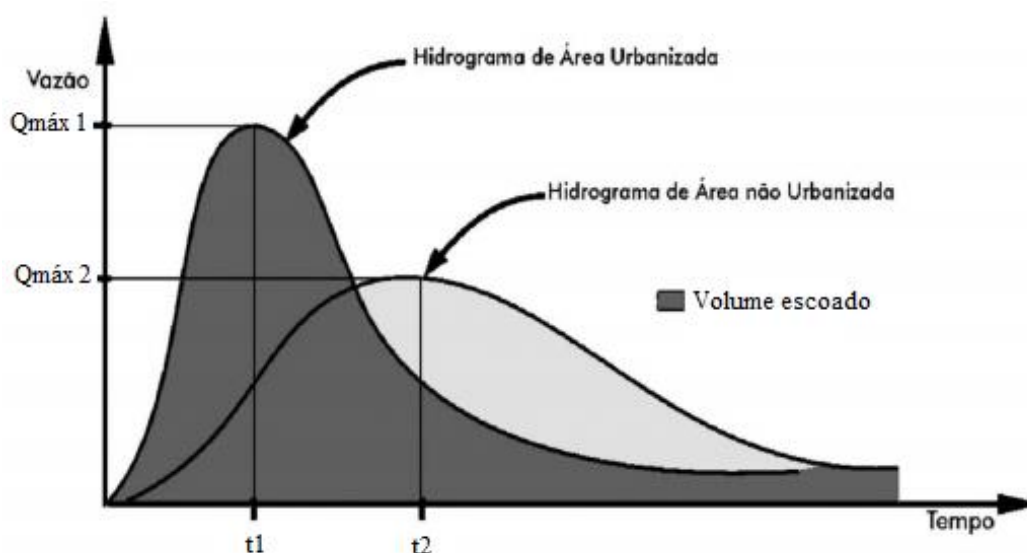
Com a urbanização, há também a redução do tempo de concentração da bacia hidrográfica, devido à implantação de estruturas que aceleram a velocidade das águas pluviais e aumentam o volume do escoamento superficial, o que acarreta o aumento das vazões e antecipação dos picos de vazão.

4.2.5 Efeito da urbanização sobre o escoamento superficial

Conforme Vargas et al. (2008), alguns fatores resultam em um hidrograma na configuração de áreas urbanizadas, são eles: a dificuldade de infiltração em consequência da impermeabilização de grandes superfícies; a ocupação de áreas

ribeirinhas à causa da urbanização desordenada; e obras de drenagem inadequadas (entende-se por inadequadas as obras antigas que se tornam insuficientes devido ao grande aumento de população naquela área) (Figura 7).

Figura 7 - Hidrogramas de áreas urbanizadas e não urbanizadas



Fonte: Tucci (2008).

No hidrograma da Figura 7 são apresentadas duas diferentes configurações de vazão pluvial: uma representando área urbanizada e outra, área não urbanizada. O pico de cheia do hidrograma da área urbanizada ($Q_{máx 1}$), ocorre no tempo t_1 , anteriormente ao pico de vazão da área não urbanizada que ocorre no tempo t_2 . A sua vazão também é bem maior, podendo chegar a várias vezes a vazão não urbanizada ($Q_{máx 2}$). Esse tempo que é levado para que a máxima vazão ocorra, é chamado de tempo de concentração e é tanto menor quanto maior a urbanização da bacia hidrográfica (Plano de Saneamento Básico do Município de Piraquara, 2015).

O avanço do processo de urbanização e o aumento de canalizações implicam em maiores vazões iniciais de escoamento superficial, já que a água que antes infiltrava, agora escoava para jusante. O resultado é o aumento do pico do hidrograma de eventos chuvosos.

5 SISTEMAS DE DRENAGEM URBANA

Desde os primórdios, houve a ligação entre cidades e os cursos d'água, uma vez que as aglomerações urbanas localizaram-se preferencialmente junto a locais de grande disponibilidade hídrica (BAPTISTA et al., 2005).

A proximidade das cidades dos cursos d'água, frequentemente acarretavam problemas de inundações que afetavam principalmente populações ribeirinhas. Além disso, todo o sistema de evacuação de esgotamento sanitário das cidades era destinado às ruas, acarretando condições extremamente insalubres. Com o avanço dos conhecimentos em microbiologia e epidemiologia, as práticas de saneamento tornaram-se mais relevantes na vida urbana (BAPTISTA et al., 2005). Com isso, houve a necessidade do desenvolvimento de sistemas de drenagem urbana.

5.1 Medidas de controle e técnicas compensatórias em drenagem urbana

Muitos autores, assim como Baptista et al. (2005) consideram dois tipos de abordagens para o sistema de drenagem urbana: os sistemas clássicos de drenagem urbana e os sistemas alternativos de drenagem urbana, também chamados de técnicas compensatórias.

5.1.1 Técnicas clássicas de drenagem urbana

Segundo Canholi (2005), historicamente, os sanitaristas responsáveis pelo plano diretor e implementação da drenagem urbana nas cidades tentaram solucionar o problema da impermeabilização e a perda do armazenamento natural das águas pluviais provocando o aumento da velocidade dos escoamentos com obras de canalização, o que transfere para jusante o problema de redução dos espaços naturais.

Os sistemas clássicos são inspirados no princípio do higienismo, que prioriza a evacuação rápida dos dejetos. Assim, para evitar o acúmulo de águas pluviais em locais indesejados, desenvolveram-se sistemas de drenagem com estruturas capazes de captar e transportar os efluentes para áreas a jusante da área de interesse.

Segundo Drumond (2012), essas estruturas são compostas por dispositivos de microdrenagem, como sarjetas, bocas de lobo, condutos enterrados, entre outros e por dispositivos de macrodrenagem, como canais abertos, galerias, bueiros, dissipadores de energia e outras obras complementares.

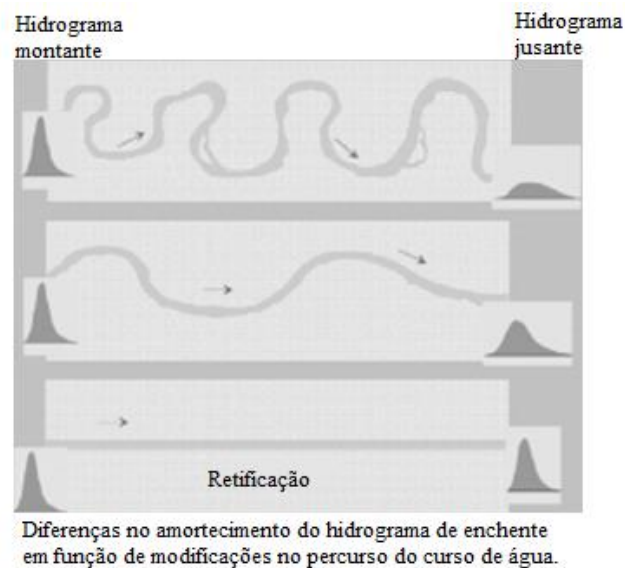
Em um primeiro momento, a canalização é capaz de solucionar o problema das inundações em uma área. No entanto, com o passar do tempo, a urbanização e a impermeabilização de áreas são intensificadas. A parte a montante da bacia sobrecarrega o sistema, e a rede de drenagem clássica falha (MIGUEZ e MAGALHÃES, 2010).

A urbanização intensa observada evidenciou os limites das soluções clássicas de drenagem urbana. A canalização de cursos d'água mostrou-se eficaz na solução de problemas locais, entretanto se revelou responsável por provocar ou agravar problemas de inundação em áreas a jusante. (BAPTISTA e NASCIMENTO, 1996).

A canalização de córregos sem a análise das áreas à jusante pode levar a sérios problemas como inundações, sendo somente transferidos os pontos de suas ocorrências.

Na Figura 8 são representados os efeitos da modificação no percurso dos cursos d'água, resultante da canalização, nos hidrogramas de cheias.

Figura 8 - Diferenças no amortecimento do hidrograma de enchente



Fonte: SEMADS (2001), adaptado.

Observa-se que, com a retificação dos cursos d'água, o amortecimento do pico de vazão, que ocorria de forma natural no trajeto curvilíneo do rio, não ocorre mais. Em consequência disso, o hidrograma de jusante tem seu pico de vazão cada vez maior.

Dessa forma, como tentativa de contornar os novos problemas apresentados pelas cidades em relação à drenagem urbana, técnicas compensatórias de drenagem foram desenvolvidas.

5.1.2 Técnicas compensatórias de drenagem urbana

Quando começava no Brasil o processo de urbanização, a Europa e América do Norte começavam a lidar com os problemas decorrentes de inundações urbanas de um ângulo diferente, desenvolvendo o conceito de “tecnologias alternativas/compensatórias” de drenagem urbana. Essas tecnologias vieram como alternativas de controle das inundações, considerando os impactos da urbanização.

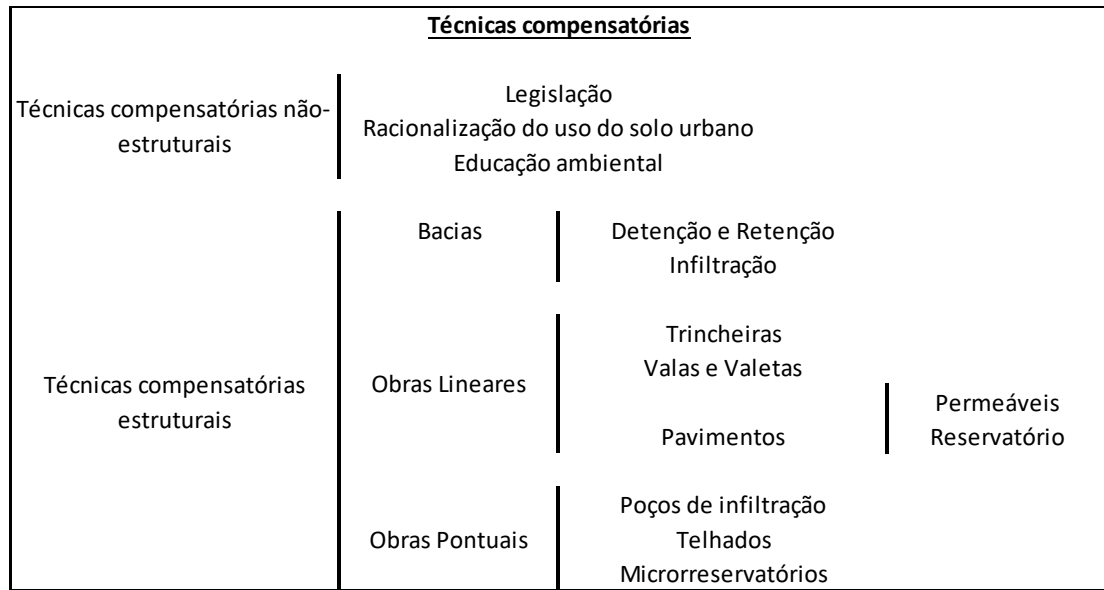
Segundo Baptista et al. (2005), as técnicas compensatórias baseiam-se na ideia da retenção e infiltração das águas precipitadas, visando o rearranjo temporal das vazões e, eventualmente, a diminuição do volume escoado, reduzindo a probabilidade de inundações e possibilitando ganhos na qualidade das águas pluviais.

Em relação às cidades urbanizadas, essas tecnologias se mostram de fácil integração, oferecendo múltiplos usos, como por exemplo, bacias utilizadas como quadras de esporte, parques ou estacionamentos. Os diferentes tipos de técnicas podem ainda ser combinados em função do contexto da urbanização, das necessidades de equipamentos e das restrições do terreno. (BAPTISTA et al., 2005). Essas técnicas são consideradas soluções alternativas às clássicas implantadas, como canalizações de cursos d'água, galerias dentre outras.

Essas técnicas compensatórias usam diferentes processos físicos e biológicos com uma visão multidisciplinar e sistêmica do problema, o que aumenta muito os horizontes de resolução do problema (CANHOLI, 2005).

Baptista et al. (2005) dividem as técnicas compensatórias em dois grupos: as técnicas compensatórias não estruturais e as estruturais (Figura 9).

Figura 9 - Esquema dos diferentes tipos de técnicas compensatórias



Fonte: Adaptado de Baptista et al. (2005).

As medidas não estruturais são aquelas que não envolvem construção física, mas utilizam o conhecimento, a prática ou a junção destas com objetivo de reduzir riscos e impactos (UNISDR, 2009).

Como exemplo de técnicas compensatórias não estruturais tem-se: legislações; racionalização da ocupação do solo urbano; e o uso de procedimentos de controle na fonte e princípios de prevenção, ligados à sensibilização da população, como as ações de educação ambiental.

Já as técnicas compensatórias estruturais, podem ser subdivididas em três grupos:

a) bacias: são estruturas de acumulação temporária utilizadas para atender três funções: o amortecimento de cheias, redução do volume de escoamento superficial, e redução da poluição difusa de origem pluvial (BAPTISTA et al., 2005);

b) técnicas lineares (obras lineares): são obras implantadas usualmente junto aos sistemas viários, pátios, estacionamentos e arruamentos, com uma ampla gama de porte de áreas de drenagem associadas; e

c) técnicas para controle na fonte (obras pontuais): são obras implantadas junto a parcelas ou pequenos conjuntos de parcelas, associadas, portanto, à pequenas superfícies de drenagem, como os poços, valas e valetas de infiltração, micro reservatórios, telhados verdes, entre outras técnicas.

a.1.) Bacias de detenção e bacias de retenção

Bacias de detenção são estruturas com a função de acumulação temporária de águas de escoamento de origem pluvial e sua eventual infiltração (BAPTISTA et al., 2005). Os estudos que abrangem esse tipo de estrutura focam bastante nos aspectos de qualidade das águas.

Moura, em 2004, realizou estudos para a avaliação (dentre outros dispositivos compensatórios) de bacias de detenção como sistemas de drenagem urbana. Essas demonstraram potencial como técnicas compensatórias.

As bacias de retenção, por sua vez, tratam-se de estruturas de armazenamento de águas pluviais com o objetivo de regularizar as vazões, reduzindo riscos de inundações (MATIAS, 2006).

a.2.) Bacias de infiltração

Bacias de infiltração são bacias que permitem que o escoamento recupere as suas condições de infiltração. Para tal, são escavadas bacias no solo em uma área permeável e próxima ao aquífero freático (BOUWER, 2002). Ou seja, essa técnica é mais utilizada para a recarga do aquífero de forma artificial.

b.1) Pavimentos permeáveis

Os pavimentos permeáveis substituem pavimentos destinados ao sistema viário ou áreas de estacionamentos, possibilitando a diminuição da velocidade de escoamento superficial e a retenção temporária de pequenos volumes de água na própria superfície do pavimento.

Araújo et al. (2000) estudaram a eficiência de pavimentos permeáveis na redução de escoamento superficial. Foram feitas simulações de chuva nos seguintes pavimentos experimentais: solo compactado, pavimentos impermeáveis (concreto convencional de cimento, areia e brita), pavimentos semipermeáveis (paralelepípedos) e pavimentos permeáveis (blocos de concreto com orifícios verticais preenchidos com material granular). Nas simulações com o pavimento impermeável, foi concluído que praticamente toda chuva gera escoamento superficial com

acrécimo de 44% no coeficiente de escoamento em comparação com a simulação no solo compactado. As simulações nas superfícies semipermeáveis apresentaram escoamento superficial inferior ao do concreto: nos blocos de concreto observa-se crescimento de 22% no coeficiente de escoamento, e nos paralelepípedos é registrada queda de 11% neste coeficiente, sempre em comparação com o solo compactado. Na simulação de chuva no pavimento permeável, praticamente não ocorreu escoamento superficial.

b.2.) Valas de infiltração

Valas de infiltração são técnicas compensatórias constituídas de simples depressões escavadas no solo com o objetivo de recolher as águas pluviais e efetuar o seu armazenamento temporário, favorecendo sua infiltração (BAPTISTA et al., 2005).

Ainda segundo BAPTISTA et al. (2005), essas técnicas são comumente utilizadas junto ao sistema viário, conduzindo longitudinalmente as águas pluviais. Essa técnica vem sendo utilizada desde a década de 70 em muitos países.

Bäckström (2002) realizou um estudo com o uso de valas de infiltração para a análise de transporte e retenção de sólidos e metais pesados. Os resultados da pesquisa levaram a correlacionar exponencialmente o potencial de remoção de sedimentos na vala de infiltração e tempo médio de detenção hidráulica.

b.3.) Trincheiras de infiltração

Segundo Baptista (2005), as trincheiras são técnicas compensatórias lineares, implantadas com a finalidade de recolher as águas pluviais favorecendo a infiltração. Podem ser utilizadas em diversos locais, sem prejudicar o espaço físico de onde forem implantadas.

As trincheiras são utilizadas há algum tempo em diversos países europeus além da Austrália e Estados Unidos. No Japão, o uso dessa técnica já ocorre há muitos anos para a evacuação das águas dos telhados de templos e castelos antigos (BAPTISTA, 2005).

No Brasil, essa técnica foi utilizada por Baptista et al. (1998) em um loteamento em Belo Horizonte, no qual foram implantadas trincheiras de infiltração ao longo do sistema viário e praças. Reis et al. (2008) analisaram o desempenho e características dessa técnica, observando um aumento da capacidade de infiltração.

c.1.) Microrreservatórios

O microrreservatório trata-se de uma estrutura de retenção para controle na fonte que atua no local onde o escoamento é gerado. Esse dispositivo pode captar águas de todo o lote ou apenas dos telhados (GENZ, 1994).

Segundo Tsuchiya (1978) *apud* Agra (2001), internacionalmente os microrreservatórios já vêm sendo utilizados desde a década 70. No Japão, esta técnica compensatória já é obrigatória devido a problemas de cheias decorrentes da urbanização. Na Austrália, desde 1991, os microrreservatórios são implantados largamente (O'LOUGHLIN et al., 1995).

Em Champigny sur Marne, na França, foi criado um programa com a distribuição gratuita de tanques de armazenamento de águas de chuva oriundas de telhados no distrito, com isso, Petrucci et al. (2010) *apud* Moura (2014) verificaram que houve uma redução considerável do escoamento para chuvas de pequenas e médias intensidades.

c.2.) Poços de infiltração

Os poços de infiltração são dispositivos que requerem pequena ocupação de área superficial, concebidos para evacuar as águas pluviais diretamente no subsolo por infiltração. Em alguns países essa técnica é utilizada exclusivamente para recarga do lençol (BAPTISTA et al., 2005).

Reis et al. (2008) analisaram o desempenho e as principais características operacionais de um poço de infiltração. Seus resultados mostraram que essa técnica aumenta a capacidade de infiltração do solo em comparação a um poço sem revestimento e escavado a trado.

Sobrinha (2012) avaliou o comportamento de um poço de infiltração em escala real no controle do escoamento superficial, da vazão de pico e do escoamento

superficial direto. A eficiência encontrada do poço de infiltração foi de 100%, visto que toda a água coletada foi infiltrada pelo poço.

c.3.)Telhados verdes

Outra técnica compensatória são os chamados telhados verdes, que serão abordados neste trabalho de forma mais detalhada.

6 TELHADOS VERDES

Os telhados verdes são conhecidos por converter a superfície de um telhado convencional em um espaço multifuncional, utilizando, para isso, a vegetação (TASSI et al., 2014).

Os telhados verdes foram aprimorados e estimulados na Europa, onde mostrou sua importante função ecológica, social e econômica do ponto de vista energético, em função do seu comportamento térmico (OLIVEIRA, 2009).

Tendo em vista a grande expansão da arquitetura verde, existem pesquisas no que tange a utilização de telhados verdes em termos de benefícios estéticos e econômicos, entretanto, poucos estudos existem em clima tropical sobre o uso de telhados verdes como medida compensatória de drenagem pluvial. Sendo assim, há uma lacuna no que se refere ao estudo do comportamento de telhados verdes sob as condições desse tipo de clima. As pesquisas nesse sentido são necessárias, tendo em vista a melhor definição do funcionamento, das características construtivas, impactos positivos gerados, e escolha de espécies vegetais (OLIVEIRA et al., 2012).

Existem diversas configurações que podem ser levadas em consideração na realização do projeto de um telhado verde. Muita tecnologia vem sendo desenvolvida para um melhor resultado na implantação do telhado, de acordo com o interesse em questão. Esses interesses podem ser: conforto térmico, contenção de picos de vazões, ou até mesmo o puro interesse em cultivar plantas.

A maior parte dos estudos no Brasil e no mundo foca nas questões de conforto térmico e balanço energético, sendo a temática de retenção hídrica a terceira mais estudada (OLIVEIRA et al., 2012).

Os telhados verdes conheceram um rápido desenvolvimento em muitos países nos últimos anos. Na Alemanha, país que lidera nas pesquisas e implantações desse tipo de tecnologia, os telhados verdes já representam 12% dos telhados do país. Na França por volta de 4% dos telhados já são desse tipo (GROMAIRE et al., 2013). Em Tokyo, quase 20% das novas construções já são realizadas com uma estrutura de telhado verde (WARK e WARK, 2003).

Gromaire et al. (2013) desenvolveram um estudo na região de Paris, analisando não só a qualidade e quantidade do escoamento em telhados verdes, como também o impacto dos diferentes parâmetros de telhados verdes, tipo de drenagem, tipo e espessura do substrato, e tipo de vegetação. Foi confirmado o já esperado: o telhado

verde diminui o coeficiente de escoamento superficial em comparação com outros telhados, pelo menos 50% da chuva pôde ser retida.

Uma abordagem interessante foi realizada por Moghadas et al. (2011). Eles estudaram em diferentes regiões da Suécia, as mudanças climáticas e como elas afetariam a precipitação em cada uma das regiões. Foi então estudado se a implantação de telhados verdes nas regiões seriam uma solução para possíveis alterações das precipitações. Além disso, uma interessante observação foi feita no trabalho: telhados verdes têm diferentes funcionamentos dependendo da região de estudo (áreas mais urbanizadas ou menos urbanizadas, clima característico da região, entre outros fatores).

Na Figura 10 são mostradas algumas configurações de telhados verdes em vários locais do mundo.

Figura 10 - Exemplos de telhados verdes construídos no mundo

(a) Vietnã.



Fonte: Ecoeficientes.

(b) Chicago.



Fonte: Sustentarquí.

(c) Alemanha.



Fonte:Jardinaria.

(d) Dinamarca



Fonte:Revistaecologico.

(e) Espanha



Fonte: Ecotelhado

(f) Singapura.



Fonte: Exame.

6.1.1 Classificação dos telhados verdes

Os telhados verdes podem ser divididos em três categorias: intensivos, semi-intensivos e extensivos (Figura 11).

Os telhados verdes intensivos são também chamados de jardins de telhado, e permitem uma grande diversidade de vegetação e habitats. Precisam de uma camada de solo relativamente profunda (15 a 90 cm), o que permite a utilização de plantas de maior porte, dessa forma, normalmente precisam de um sistema de irrigação (TASSI et al., 2014). De acordo com Varela (2011), por se tratar de uma vegetação mais robusta, são mais pesados e necessitam de uma estrutura mais resistente nos prédios em que são implantadas.

Os sistemas extensivos são coberturas leves projetadas para comportar plantas resistentes a situações climáticas severas. Em relação aos termos físicos, apresentam pouca profundidade do solo (5 a 15 cm), adicionando pouco peso à estrutura da edificação que o suporta. As plantas devem ser resistentes às condições climáticas. Normalmente a água é armazenada no substrato, sendo a camada de drenagem (retenção) suficiente para suprir a necessidade hídrica das plantas (TASSI, 2014).

Um conceito mais recente de telhados verdes vem sendo desenvolvido, é o telhado semi-intensivo (chamado de semi-extensivo por alguns autores), que tenta trazer um conceito de meio-termo dos jardins de cobertura intensiva e extensiva. O

conceito desse telhado muitas vezes se assemelha aos conceitos intensivo e extensivo (Varela, 2011).

Figura 11 - Classificação dos telhados verdes



Fonte: Osmundson (1999) *apud* Varela (2011).

6.1.2 Composição dos telhados verdes

Os telhados verdes são usualmente compostos por várias camadas conforme sua estrutura e necessidade. Oliveira (2009) descreveu em seu trabalho a composição usual de um telhado verde (Figura 12).

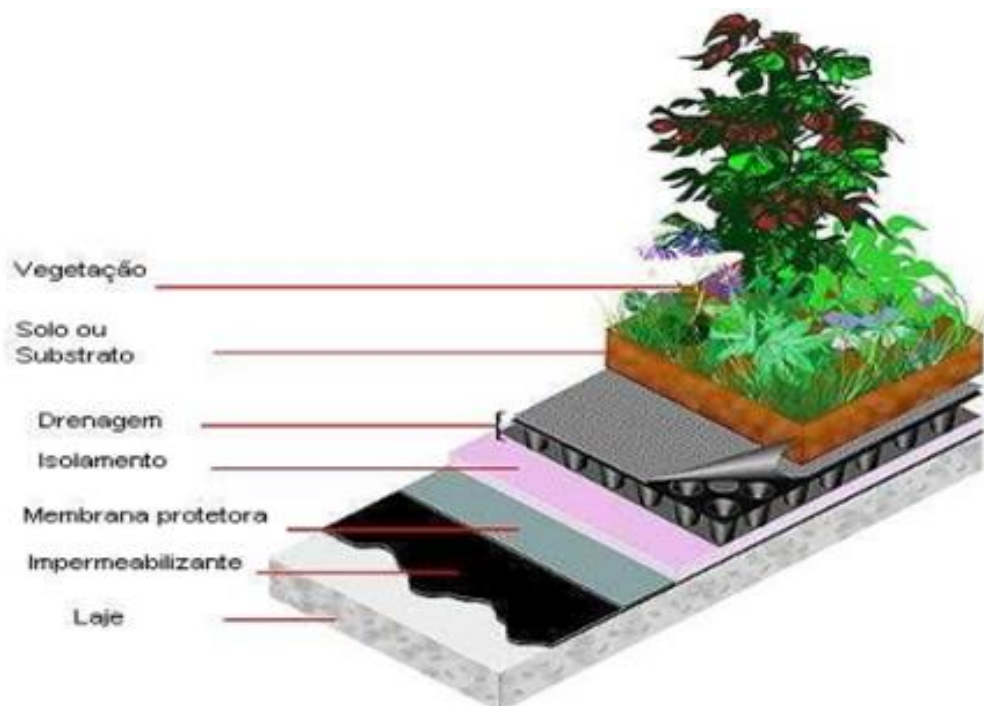
- Laje – Elemento estrutural. Deve sempre ser considerada a carga prevista para o telhado, assim pode ser analisada a capacidade de suporte da mesma (VECCHIA, 2005 *apud* OLIVEIRA 2009).
- Camada de impermeabilização – Para impedir a infiltração de água na laje.
- Camada de isolamento térmico – Quando o trabalho tem um cunho de conforto térmico, essa é uma parte importante do trabalho.
- Camada de proteção mecânica - Impede danos na impermeabilização.
- Camada de drenagem - Responsável pela regulagem da retenção de água.
- Camada de filtragem (facultativo) - Impede a passagem dos substratos, para a camada de drenagem, evitando a colmatação.
- Camada de substrato - Camada onde se encontram os nutrientes que dão suporte à vegetação, retendo e absorvendo água. O tipo de substrato, bem

como a altura do mesmo, irá variar conforme a vegetação escolhida e o tipo de telhado.

- Camada de vegetação - Consiste na cobertura vegetal propriamente dita e, vai depender do tipo de telhado verde proposto, da altura do solo, e do substrato disponível, calculado pelo projetista.

Na Figura 12 são representadas as camadas usuais de um telhado verde.

Figura 12 - Composição do telhado verde



Fonte: Oliveira (2009).

6.1.3 Camada de vegetação: espécies vegetais

Algumas espécies vegetais se destacam no que se refere à utilização em telhados verdes. Duas situações devem ser levadas em conta em relação às espécies vegetais quando se fala em realização de um projeto de telhado verde: a previsão de irrigação ou não.

Além disso, é importante abordar as diferenças entre trabalhos nacionais e internacionais. O estudo das plantas a serem utilizadas em telhados verdes internacionais é feito em consideração ao clima (entre outros fatores) existente

naquele país. Tendo em vista essa situação, pouco provavelmente uma planta altamente utilizada em telhados verdes em climas frios será adequada para ser utilizada em países de clima tropical.

Em 2015, Poórová et al. realizaram um estudo para mostrar maneiras de se projetar e construir um telhado verde, identificando as melhores escolhas de plantas para compor a camada de vegetação. Foram listadas pelos autores algumas espécies mais comuns. As suculentas - *Sempervivium*, *Sedum*, *Talinum*, *Jovibarba*, *Delosperma* - foram evidenciadas como uma escolha excelente para telhados verdes extensivos por serem bem adaptáveis à condições extremas de temperatura ou umidade entre outros fatores.

O gênero *Sedum* foi classificado por Berardi et al. (2014) como um dos mais populares tipos de plantas para os telhados verdes, por proporcionarem sombreamento contra a radiação solar, terem uma estrutura de raiz pequena (o que facilita a realização de telhados verdes extensivos) além de serem bem indicadas na questão de estresse hídrico, podendo ser utilizadas em culturas onde não é prevista a rega.

VanWoert et al. (2005) pesquisaram como o regime chuvoso altera o desenvolvimento da espécie *Sedum*. A espécie foi dada como ideal para cultivo extensivo devido à sua capacidade de adaptação em condições de estresse hídrico.

São muito utilizados também mix de plantas diferentes, para uma melhor gestão do telhado e facilidade de atingir os resultados esperados. A exemplo de Tassi et al. (2014) que construiu um modelo de cobertura verde com quatro espécies diferentes (falso boldo - *Plectranthus barbatus*, gravatinha - *Chlorophytum comosum*, aspargo palito - *Asparagus-densiflorus* 'sprengeri' e echeveria - *Echeveria*) espalhadas uniformemente dentro do mesmo módulo. O modelo experimental não prevê nenhum tipo de rega.

Santos et al. (2013) utilizou as plantas coroa-de-frade (*Melocactus macrodiscus*) e grama de burro (*Cynodum dactylum*) em seu projeto de telhado verde. Os autores afirmaram ainda, que as espécies plantadas foram selecionadas considerando-se, principalmente, sua capacidade de sobrevivência diante da baixa disponibilidade hídrica da região.

Já foram desenvolvidas também, construções de telhados verdes para o cultivo de hortaliças. Oliveira (2009) desenvolveu, no Rio de Janeiro, um estudo de telhados verdes com o uso de rúculas (*Eruca sativa*) como vegetação.

6.1.4 Pesquisas desenvolvidas com telhados verdes visando à redução da vazão de pico

Alguns estudos brasileiros que abordam a retenção hídrica dos telhados verdes foram encontrados na literatura.

Mediondo e Cunha (2004) realizaram um estudo de interceptação, radiação e escoamento em protótipos com diferentes tipos de vegetação na cidade de São Carlos - SP. O telhado verde era composto de laje impermeabilizada com uma camada de geomanta coberta por terra e grama. A cobertura verde desenvolvida demonstrou ser capaz de absorver a água pluvial no momento de maior intensidade de chuva, ocasionando um retardo de escoamento para a rede de coleta de águas pluviais. As plantas foram ainda, mantidas sem rega por períodos longos de uma ou duas semanas, tendo as mesmas se comportado bem. A grama começou a demonstrar coloração amarela devido à situação de seca. Não houve, porém, resultados referentes a cada tipo de vegetação.

Oliveira (2009) estudou a possibilidade de implantar telhados verdes para atender a estrutura mais simples de uma edificação popular (telhados de fibrocimento), utilizando cultivos de hortaliças ou plantas ornamentais como possibilidade de geração de renda e trabalho. O trabalho do autor avaliou a redução do escoamento superficial e o conforto térmico das edificações. Foi observada uma redução de 56% do volume escoado em comparação com um telhado tradicional.

Costa et al. (2011) desenvolveram um projeto de telhado verde para minimizar problemas de inundação. Foi criado um protótipo de um telhado em uma placa de madeira impermeabilizada, com inclinação de 12%. Foram feitos três testes na estrutura, um na estrutura pura, sem nenhum cobrimento, o segundo na estrutura coberta por um material desenvolvido para gerar uma superfície áspera para ajudar na retenção de água, e o terceiro teste foi feito com uma cobertura vegetal no protótipo desenvolvido. Os resultados foram satisfatórios evidenciando a possibilidade de usar telhados verdes para a retenção de água, minimizando os riscos de inundação.

Pimentel da Silva et al. (2012) estudaram a influência do substrato utilizado no escoamento superficial gerado nos telhados verdes cultivados no Rio de Janeiro com a espécie de restinga *Ipomoea pes-caprae brasiliensis*.

Persch et al. (2012) estudaram módulos experimentais com estrutura de telhados verdes em Santa Maria – RS, com a finalidade de quantificar a capacidade de armazenamento de água na estrutura. Foi obtido um valor de 14mm/m² de água pluvial retida (não foi identificado o tipo de planta utilizada na cobertura vegetal), corroborando outras estimativas já realizadas por outros autores, a exemplo Mendiondo e Cunha (2004).

Santos et al. (2013) também realizaram o projeto de telhado verde com duas espécies vegetais no município de Caruaru no Pernambuco. O principal objetivo do experimento era a análise da retenção hídrica das duas espécies. Os fatores que mais influenciaram o funcionamento do telhado foram os tipos de vegetação e solo utilizados, assim como a espessura dessas camadas. Como era de se esperar, os telhados verdes apresentaram alta capacidade de retenção do volume escoado.

Moruzzi et al. (2014) estudaram a influência da umidade antecedente do solo nas lâminas escoadas, armazenadas e percoladas; e da inclinação no desempenho do telhado verde e seus efeitos na quantidade e qualidade para chuvas recorrentes e consecutivas. Os resultados indicaram que a inclinação e a umidade antecedente são decisivas tanto na redução do escoamento gerado quanto no transporte de material do telhado para o sistema de drenagem.

Tassi et al. (2014) avaliaram o controle quantitativo do escoamento pluvial proporcionado pelo telhado verde. Foi construído um modelo experimental de telhado, com duas regiões, uma com cobertura verde com quatro espécies diferentes espalhadas uniformemente dentro do mesmo módulo, e outra com telhado convencional (telha em fibrocimento). Durante o período de monitoramento, o telhado verde não recebeu qualquer tipo de irrigação para não afetar as estimativas de evapotranspiração e retenção de água. Comparativamente com os telhados convencionais, o telhado verde reduziu em média 62% dos volumes escoados superficialmente, além de promover o retardo no início do escoamento superficial.

6.1.5 Fatores que influenciam na eficiência dos telhados verdes, quanto à redução da vazão de pico

Existem diversos fatores que podem influenciar na eficiência de um telhado verde quanto à sua capacidade de retenção hídrica, tem-se, entre outros fatores, a altura e composição do substrato, a inclinação do telhado, as características climáticas do local e a situação de umidade anterior do substrato.

Gromaire et al. (2013) realizaram um experimento onde foram estudadas a qualidade e a quantidade de escoamento superficial em telhados verdes extensivos na região de Paris. Foram construídos seis telhados verdes diferentes para a comparação de tipos e alturas diferentes de substratos e diferentes plantas. Os substratos utilizados tinham altura de 3 e 15 cm. Os resultados do trabalho indicaram que a altura de substrato utilizada tem influência na capacidade de retenção de água, visto que os substratos mais profundos tiveram uma capacidade de retenção maior.

Foi avaliado em um trabalho desenvolvido por Moruzzi et al. (2014) a influência da umidade e da inclinação no desempenho de um telhado verde extensivo. Segundo o estudo, a inclinação e a umidade antecedente são decisivas tanto na redução do escoamento quanto no transporte de material do telhado para o sistema de drenagem. Quanto mais inclinado o telhado, menor a capacidade de retenção, assim como quanto mais úmido o substrato anteriormente à chuva, menos água será retida no evento chuvoso.

A manutenção dos telhados verdes, assim como de outras técnicas compensatórias, se mostra extremamente ligada ao seu desempenho. É comum, em trabalhos científicos, o relato de falhas em dispositivos compensatórios devido à falta de manutenção adequada.

Oliveira (2009) realizou o projeto de um telhado verde para o cultivo de hortaliças. Em seu trabalho foram relatadas a presença de mosquitos e a mortalidade de algumas espécies. A mortalidade de algumas espécies foi relacionada ao excesso de luz em que as plantas estavam submetidas. Dessa forma, é importante o estudo de cada espécie cotada para uso de acordo com as intenções do projeto a ser realizado. Em locais onde não é prevista a rega, por exemplo, é de extrema importância a escolha de plantas que se adaptam ao período de seca. No caso de o

telhado receber sol direto na maior parte do dia, como foi o caso do trabalho de Oliveira, devem ser escolhidas plantas que suportem essas condições.

Mediondo e Cunha (2004) realizaram um projeto sem a previsão de rega das plantas utilizadas no telhado. Foi observado que a espécie de grama utilizada, apresentava a coloração amarela no final do experimento, indicando a necessidade de rega e a utilização de Nitrogênio, Fósforo e Potássio (NPK) para a reposição dos nutrientes do substrato.

Como evidenciado por Barrett (2003), também é de extrema importância o controle dos mosquitos no experimento. A manutenção das caixas d'água deve ser realizada frequentemente para evitar a proliferação dos mosquitos, principalmente os *Aedes aegypti*, vetores da Dengue, Chikungunya, Zica entre outras doenças.

Além de todos os problemas citados, a colmatação também se apresenta como grande causador de falhas nos telhados verdes. Lino et al. (2009) relataram problemas de eficiência em um dos módulos de seu telhado verde experimental e evidenciaram possíveis problemas de colmatação.

Moghadas et al. (2011) concluíram, com sua pesquisa, que os telhados verdes têm diferentes funcionamentos dependendo da região de estudo. O clima característico da região e seu índice pluviométrico devem ser levados em consideração na implantação de um sistema de controle de pico de vazões como esse.

7 METODOLOGIA

Essa pesquisa é do tipo experimental, sendo o telhado verde o objeto de estudo e busca determinar como as variáveis (diferentes elementos) são capazes de influenciar seu desempenho quanto à redução do escoamento superficial.

Inicialmente foi realizada uma extensa revisão bibliográfica sobre telhados verdes: conceito, classificação, componentes, funcionamento e manutenção, bem como pesquisas e seus resultados sobre a capacidade de retenção de escoamento superficial. Conjuntamente à contínua revisão bibliográfica, construiu-se um experimento contendo diferentes compartimentos de telhados verdes. Dois dos compartimentos apresentam diferentes culturas vegetais, a fim de avaliar seu comportamento como dispositivos compensatórios de manejo de águas pluviais urbanas. Um dos compartimentos tem composição somente até a camada do substrato (terra vegetal), e o último compartimento consistiu em um compartimento base para comparação, sendo constituído até a camada de impermeabilização. Para a pesquisa, utilizou-se a variável “capacidade de retenção do escoamento superficial”, por meio de balanço hídrico, com coleta de dados do volume precipitado e volume escoado.

7.1 Descrição do experimento

A edificação utilizada para a construção do experimento está localizada na Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG). O experimento é composto por uma laje de tamanho 8,2m x 5,8m, divididos em quatro compartimentos; calha; tubo de descida em cada compartimento; e reservatórios para armazenamento de água de cada um dos compartimentos do telhado.

Na Figura 13 é apresentada a perspectiva do edifício no qual serão construídos os telhados verdes.

Figura 13 - Perspectiva e componentes da parte experimental instalada na edificação localizada na UFMG



Fonte: A autora.

Foram utilizadas quatro caixas d'água de 1000L da marca Tigre com o fechamento seguro (Figura 14). O fechamento seguro garante que não entre água na caixa d'água durante um evento chuvoso, desta forma, toda água dentro do reservatório, é proveniente do compartimento do telhado a ser medido.

Figura 14 - Reservatório utilizado



Fonte: A autora.

Foram acoplados registros (Figura 15) nas caixas para a retirada da água e posterior medição de vazão escoada de cada compartimento.

Figura 15 - Registro



Fonte: A autora.

Como calhas, foram utilizadas tubulações de 75 milímetros (Figura 16). Para a conexão entre os tubos, foram utilizadas luvas quando não havia necessidade de mudança de direção da calha e joelhos de 90 graus para a mudança de direção das calhas.

Figura 16 - Tubulação das calhas



Fonte: A autora.

Para fixar as calhas, braçadeiras flexíveis foram utilizadas, sendo as mesmas fixadas na parede por buchas e parafusos.

7.2 Estrutura do telhado verde

A estrutura do telhado verde foi realizada sobre a camada da laje de concreto da edificação. Na Figura 17 estão representadas as camadas executadas para a construção do telhado.

Figura 17 - Camadas utilizadas no trabalho



Fonte: A autora.

A camada 1 do desenho representa a laje existente, em concreto. Para a planificação do concreto da laje, a camada 2 será uma nata composta de tinta, cimento e água. A terceira, quarta e quinta são camadas de impermeabilização, sendo a terceira composta por duas demãos de impermeabilizante, a quarta por uma tela e a quinta por mais uma demão de impermeabilizante.

A camada 6 é uma lona para evitar danos e garantir a impermeabilização, essa a lona é dupla face, e a face voltada para cima tem proteção UV. A camada de drenagem (camada 7) no telhado de pequena declividade, como é o caso do telhado apresentado no presente trabalho, tem a função de evitar alagamentos indesejáveis e estresse das culturas. Além disso, ela irá reter água necessária para a vegetação durante os períodos de estiagem, já que não é previsto no projeto a irrigação artificial

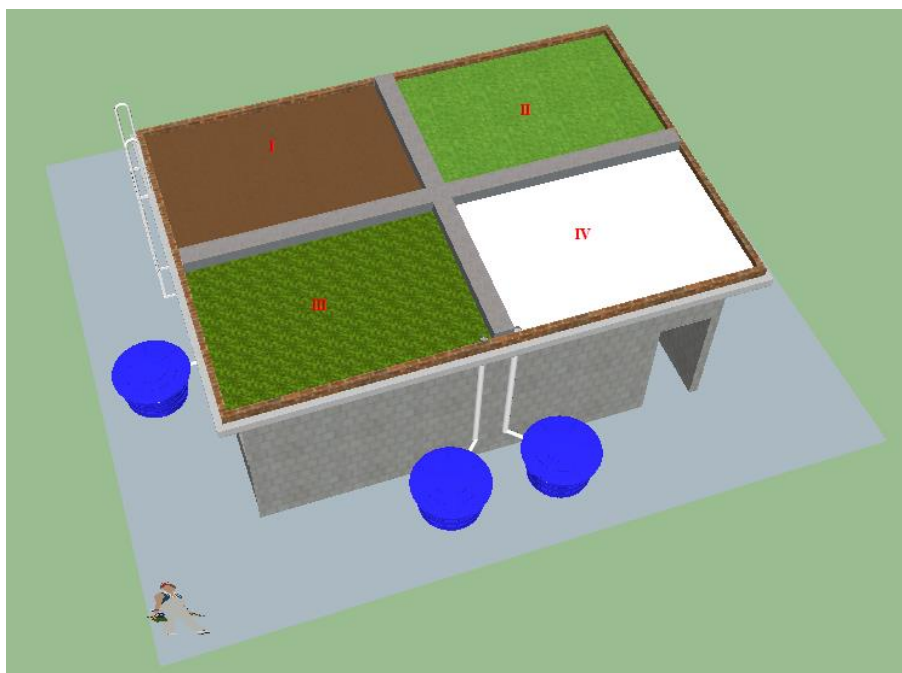
das plantas. Essa camada de drenagem será composta por um geocomposto (Macdrain J®).

A camada 8 é composta por terra vegetal e a camada 9 é composta pelas espécies vegetais plantadas.

7.3 Organização dos compartimentos

A laje da edificação foi dividida em quatro diferentes compartimentos: no compartimento número 1 foi executada uma estrutura de telhado verde e substrato de terra vegetal, sem plantação de nenhuma espécie vegetal. No compartimento número 2 foi também executada uma estrutura de telhado verde com substrato de terra vegetal e plantação de grama esmeralda (*Zoysia japonica*). No compartimento número 3 foi executada uma estrutura de telhado verde com substrato de terra vegetal e plantação de rosa de pedra (*Graptopetalum paraguayense*). E no compartimento número 4 foram executadas todas as camadas que foram realizadas nos outros compartimentos até a impermeabilização, ou seja, o último compartimento servirá como base de comparação da quantidade de escoamento. (Figura 18).

Figura 18 – Layout dos compartimentos da laje da edificação



Fonte: A autora.

A disposição dos substratos em cada um dos compartimentos foi definida após um evento chuvoso que ocorreu durante a execução do telhado. Percebeu-se que em algumas das lajes se acumulava mais água do que em outras. A laje onde houve menos acumulação de água (IV) foi escolhida como a laje para comparação, onde seriam executadas as camadas somente até a impermeabilização.

7.4 Estudo das espécies vegetais a serem utilizadas

A escolha das espécies a serem cultivadas foi baseada na adaptação a longos períodos de estiagem, tendo em vista a não previsão de irrigação das culturas.

A grama esmeralda (*Zoysia japonica*) (Figura 19) foi plantada no compartimento II, ela é uma das espécies de grama mais resistentes a longos períodos secos. É a grama utilizada em campos de futebol, portanto, resistente à grande quantidade de sol direto e à falta de rega.

A espécie a ser plantada no compartimento III do telhado verde será uma rosa de pedra (*Graptopetalum paraguayense*), do gênero *Sedum*. (Figura 20). O gênero *Sedum* foi escolhido por se tratarem de plantas com grande capacidade de armazenagem de água (Getter et al., 2009). Além disso, seu hábito de crescimento a

torna uma planta ideal para a cobertura verde, ela cobre o substrato em um curto período, reduzindo o potencial de erosão e a possibilidade de ervas daninhas, além de ser muito tolerante ao período de estiagem (Durhman et al., 2007).

Figura 19 - *Zoysia japonica* (Gramma esmeralda)



Fonte: Triangleurf.

Figura 20 - *Graptopetalum paraguayense* (Rosa de pedra)



Fonte: Anniesannuals.

7.5 Determinação da capacidade de retenção dos telhados verdes

Para a determinação da capacidade de retenção dos diferentes telhados verdes propostos nessa pesquisa, foram realizados a coleta e o tratamento de dados de precipitação, obtidos por meio de uma estação automática do INMET. A estação (Belo Horizonte – Pampulha-A521) fica localizada dentro da UFMG, instalada a cerca de um km do local do experimento, como mostrado na Figura 21.

Os dados das estações automáticas do INMET são medidos através de uma unidade de memória central "*data logger*", ligada a vários sensores dos parâmetros meteorológicos, que integram os valores observados minuto a minuto e os disponibiliza automaticamente a cada hora. Todos os dados gerados estão disponíveis eletronicamente (INMET).

Figura 21 - Localização do experimento (em vermelho) e da estação automática do INMET(em amarelo)



Fonte: Google Earth, adaptado.

Para a medição do escoamento, foi acoplado ao tubo de descida da calha de cada um dos compartimentos, um reservatório, como mostrado na Figura 22.

A determinação da capacidade de retenção de cada um dos compartimentos foi feita através da vazão escoada para cada um dos reservatórios. Em cada uma das caixas d'água foram instalados registros, e toda a água presente em cada um dos reservatórios foi retirada e medida. Dessa forma, foram determinadas as capacidades de retenção respectivas de cada um dos compartimentos.

Figura 22 - Reservatórios acoplados ao tubo de descida



Fonte: A autora.

8 RESULTADOS E DISCUSSÕES

8.1 Construção do experimento: telhados verdes

Para a implantação do experimento (telhados verdes) foi utilizada uma construção já existente. A laje já estava pronta na edificação (Figura 23).

Figura 23 – Edificação existente, campus da UFMG



Fonte: A autora.

Na fase de construção do experimento, foram realizadas as etapas descritas a seguir.

8.1.1 Preparação das lajes (camada 1) e aplicação da nata (camada 2)

Inicialmente, em todas as quatro seções do telhado, foram construídas platibandas constituídas de duas fiadas de tijolos maciços simples (Figura 24) e argamassa industrializada Precon. Na Figura 25 é mostrada a platibanda já finalizada. Para a preparação da argamassa foram seguidas as instruções da embalagem (para cada 20 quilos de argamassa, foram adicionados 3,6 litros de água).

Figura 24 – Tijolos



Fonte: A autora.

Figura 25 – Platibanda executada



Fonte: A autora.

A platibanda foi rebocada com a mesma massa utilizada anteriormente, tomando-se o cuidado de arredondar os cantos para facilitar as próximas etapas de construção do telhado verde. Além disso, algumas pontas da estrutura metálica que ultrapassavam a laje foram serradas para que não atrapalhassem a execução das próximas camadas (Figura 26).

Figura 26 - Retirada dos ferros da estrutura



Fonte: A autora.

Existiam também, nas vigas da laje, alguns buracos com tubulações, que foram fechados com pedaços de tijolos e argamassa (Figura 27 e Figura 28).

Figura 27 - Fechamento dos buracos nas vigas



Fonte: A autora.

Figura 28 - Buraco fechado



Fonte: A autora.

Após a finalização do arredondamento dos cantos, uma nata de cimento, composta de tinta látex, cimento e água, foi aplicada. Essa nata foi aplicada na laje com a finalidade de se espalhar pelas imperfeições do concreto, deixando-a mais plana. A nata foi espalhada com o auxílio de rodos (Figura 29) e, na platibanda, com o auxílio de uma broxa (Figura 30).

Figura 29 - Aplicação da nata com rodo



Fonte: A autora.

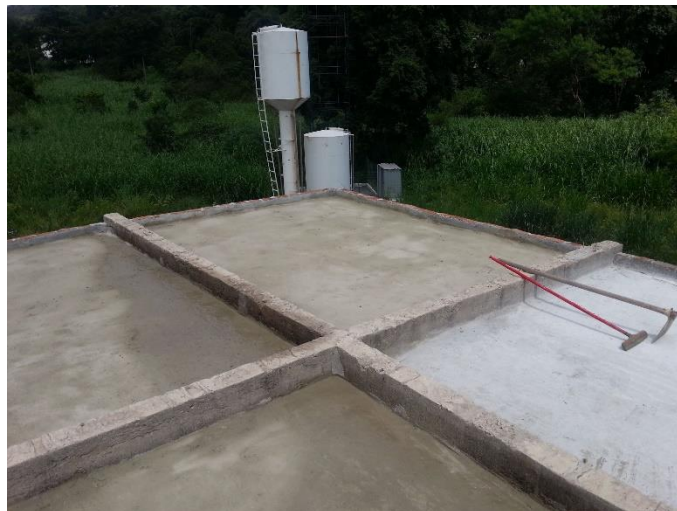
Figura 30 - Aplicação da nata na platibanda



Fonte: A autora.

Durante a execução da nata de concreto, ocorreu um evento de precipitação. Os buracos para a drenagem da água pluvial até então não haviam sido feitos, o que acarretou o empoçamento da água em alguns dos compartimentos do telhado (Figura 31).

Figura 31 - Empoçamento de água no compartimento



Fonte: A autora.

Dessa forma, para evitar o acúmulo de água, foram feitos orifícios na laje (Figura 32), nos locais onde seriam colocados os tubos de descida.

Figura 32 - Orifícios feitos na laje



Fonte: A autora.

Durante a execução dos orifícios, alguns tijolos da platibanda foram danificados, e tiveram que ser consertados. Depois do conserto, os tubos de descida foram acoplados.

8.1.2 Aplicação da camada de impermeabilizantes e tela (camadas 3 a 5)

O impermeabilizante utilizado foi o Elastiflex, que pode ser aplicado com rolo de lã e trincha (Figura 33). O impermeabilizante Elastiflex foi escolhido principalmente por sua facilidade de aplicação, apesar de requerer diversas demãos de aplicação. Além disso, o produto apresenta diversas vantagens, como sua resistência ao ressecamento, envelhecimento e intemperismo.

Figura 33 - Aplicação do impermeabilizante



Fonte: A autora.

A aplicação de cada camada de impermeabilizante exige uma secagem de 24 horas. Entre uma aplicação e outra, foi difícil transitar na laje, já que o impermeabilizante utilizado é muito aderente. Algumas vezes, o calçado utilizado para andar na laje aderiu ao impermeabilizante, arrancando a nata de cimento. Nos locais onde a nata de cimento foi arrancada, uma camada mais espessa de impermeabilizante foi aplicada.

A Figura 34 mostra a laje com duas demãos de impermeabilizante.

Figura 34 - Laje com duas demãos de impermeabilizante



Fonte: A autora.

Após a aplicação de três demãos do impermeabilizante, uma tela para a estabilização das camadas de impermeabilizante foi aplicada (Figura 35 e Figura 36).

Figura 35 – Tela



Fonte: A autora.

Figura 36 – Colocação da Tela



Fonte: A autora.

Para a aplicação da tela, a laje deve estar seca, e a aplicação deve ser feita com a utilização de mais uma demão do impermeabilizante.

Após a secagem do impermeabilizante, choveu e a água ficou empoçada, o que significa que a impermeabilização está funcionando bem.

8.1.3 Aplicação da camada de drenagem e lona (camada 6 e 7)

Antes da aplicação da camada de drenagem, foi colocada uma lona (Figura 37). Essa lona tem a função de impedir danos na camada de drenagem e garantir a impermeabilização.

Figura 37 - Lona colocada antes da camada de drenagem

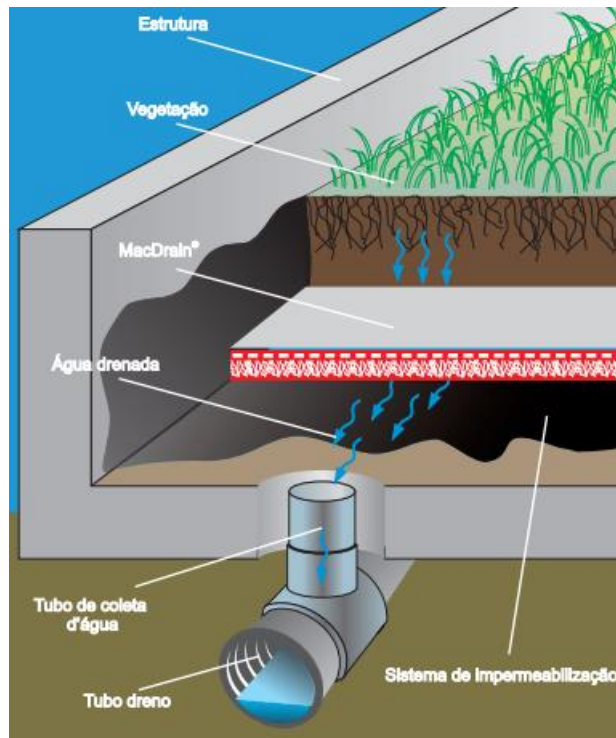


Fonte: A autora.

Para a camada de drenagem foi utilizada o geocomposto Macdrain® J, um geocomposto com elevada capacidade de vazão. Além de ser leve e de simples instalação, esse composto irá evitar o carregamento de partículas de solo e a colmatção do sistema.

Na Figura 38 é mostrado como o geocomposto funciona na drenagem.

Figura 38 - Funcionamento do Macdrain® J



Fonte: Maccaferri.

O geocomposto é constituído por uma tela, que foi colocada virada para baixo, e, por cima do mesmo existe uma camada de tecido, como mostra a Figura 39, o que permite a colocação do substrato logo acima da camada de drenagem.

Figura 39 - Macdrain® J



Fonte: A autora.

Nos locais onde estão localizados os tubos de decida, foi reforçada a camada de drenagem com uma camada extra de Macdrain® J. (Figura 40).

Figura 40 - Reforço nos tubos de descida



Fonte: A autora.

8.1.4 Colocação da terra vegetal e plantação das mudas de espécies vegetais (camadas 8 e 9)

Em três dos compartimentos foi colocado terra vegetal por cima da camada de drenagem. Foram colocados oito sacos de terra em cada compartimento, sendo que cada saco continha 20 kg de terra (Figura 41).

Figura 41 - Colocação da terra vegetal nos compartimentos



Fonte: A autora.

Fonte: A autora.

A grama esmeralda foi comprada em placas, e sua plantação foi simples e rápida. Após a instalação de todas as placas de grama, foi colocado um pouco de terra vegetal entre as placas, além disso, a grama foi regada por um período de 1 mês, para garantir a adaptação da planta em seu novo local (Figura 42).

Figura 42 - Plantação da Grama



Fonte: A autora.

Fonte: A autora.

A plantação da suculenta (rosa de pedra) foi feita folha a folha devido à capacidade das mesmas de se enraizarem. Foi feita a plantação desta forma porque suas folhas são facilmente soltas devido ao manuseamento (Figura 43).

As suculentas também foram regadas logo após serem plantadas, por um período mês para garantir a sua adaptação.

Figura 43 - Plantação das suculentas



Fonte: A autora.



Fonte: A autora.

8.1.5 Instalações Hidráulicas

Acoplado ao tubo de descida de cada um dos compartimentos, foram instaladas calhas. Para instalação das calhas para coleta da água de cada compartimento, foram utilizados tubos de 75 milímetros. O diâmetro utilizado na tubulação de descida foi definido anteriormente por exigência da UFMG. Os tubos de descida se encontravam longe da parede, dessa forma, as calhas tiveram que ser escoradas (Figura 44).

Figura 44 - Escoramento das calhas



Fonte: A autora.

Foram utilizadas quatro caixas d'água Tigre de 1000 litros, por se tratarem de caixas muito grandes, foi escolhido primeiramente o lugar onde cada uma das caixas iria ficar, sem atrapalhar o trânsito de pessoas na edificação.

A dimensão dos reservatórios foi definida anteriormente na proposta do projeto apresentada para a CNPQ. Para a determinação foi considerado um evento chuvoso de 24 horas com um período de retorno de 2 anos.

O local escolhido para cada um dos reservatórios foi nivelado (Figura 45) para que os mesmos fossem instalados, posteriormente, foram realizadas as instalações hidráulicas.

Figura 45 - Nivelamento do reservatório



Fonte: A autora.

Os reservatórios foram, então, furados com o auxílio de uma serra copo de 75mm para a chegada da canalização da calha (Figura 46).

Figura 46 - Furos para a chegada da calha



Fonte: A autora.

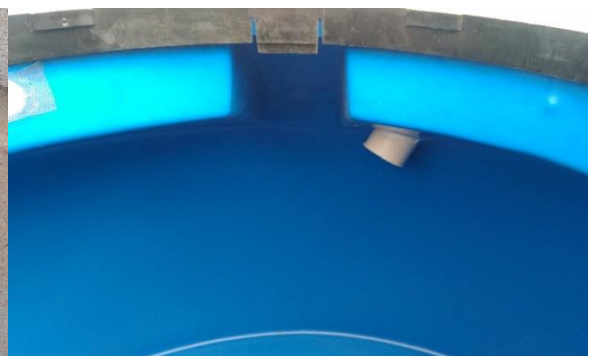
Após os furos serem feitos e a canalização da calha ser instalada, foi passado um material vedante envolta da canalização, dentro e fora do reservatório, para garantir que as águas no reservatório sejam exclusivamente do compartimento do telhado. (Figura 47 e Figura 48).

Figura 47 – Vedante



Fonte: A autora.

Figura 48 - Canalização dentro do reservatório



Fonte: A autora.

Para a medição da quantidade da água armazenada, na parte debaixo de cada um dos reservatórios, foi instalado um registro (Figura 49 e Figura 50). Dessa forma, a medição de quantidade de água foi realizada a partir da retirada da água do reservatório e posterior medida do volume armazenado.

Figura 49 - Registro instalado no fundo da caixa



Fonte: A autora.

Figura 50 - Detalhe do registro



Fonte: A autora.

Para a instalação do registro, foi feito um furo em cada um dos reservatórios com uma serra copo de 48mm (Figura 51).

Figura 51 - Instalação do registro



Fonte: A autora.

8.1.6 Problemas durante a execução do trabalho

Enquanto as camadas do telhado estavam sendo construídas, foi percebida a presença de um cigarro de palha em cima da laje, o que indicou que a mesma estava sendo transitada por pessoas que não faziam parte do projeto.

Além disso, para a disposição da terra na laje, todos os sacos de terra foram levados até o telhado com auxílio de uma roldana. Ao voltarmos no dia seguinte, percebemos que alguns dos sacos haviam sido jogados de cima da laje e estavam estourados no chão.

Para resolver esse problema, uma corrente com cadeado foi colocada na escada para evitar que outras pessoas subissem na laje. A maior preocupação era que, quando fossem plantadas as espécies, pessoas estranhas prejudicassem o trabalho de pesquisa.

Porém, a corrente e o cadeado foram roubados. Além disso, também foi roubada uma torneira que foi comprada para facilitar a rega das espécies vegetais logo após sua plantação.

Devido à esses imprevistos, foi decidido que o equipamento que inicialmente seria utilizado para a medição da vazão de cada compartimento não seria mais utilizado por se tratar de um equipamento muito caro. Dessa forma, a medição da vazão de cada uma das calhas teve que ser adaptada, como já descrito.

8.2 Adaptação das espécies vegetais

A grama foi plantada no dia 24 de agosto e a suculenta, dia 27. Para garantir a adaptação das espécies, inicialmente as plantas foram regadas durante um mês. Após esse período, houve um mês de estiagem antes dos eventos chuvosos começarem.

A grama mostrou grande dificuldade de adaptação durante o período de estiagem. A Figura 52 mostra a grama antes dos eventos chuvosos. A Figura 53 mostra a grama após nove dias de chuva, é fácil perceber maior adaptação da grama após os eventos chuvosos.

Figura 52 - Grama dia 05/11



Fonte: A autora.

Figura 53 - Grama dia 14/11



Fonte: A autora

No caso das suculentas, a dificuldade encontrada foi a demora de cada folha para começar a brotar. Somente dois meses após plantação, foram percebidos brotos nas suculentas (Figura 54).

Figura 54 - Brotos nas suculentas



Fonte: A autora.

8.3 Coleta e análise dos dados pluviométricos

O período escolhido para a coleta de dados foi o mês de novembro de 2016, quando começaram os eventos chuvosos frequentes do ano de 2016.

A Tabela 2 apresenta os dados de pluviosidade de cada evento chuvoso. Cada evento chuvoso foi identificado pela estiagem durante o período de no mínimo uma hora. Além disso, está representada na tabela a soma do total de chuva precipitada antes de cada medição de água nos reservatórios. Todos os dados foram coletados no web site do INMET.

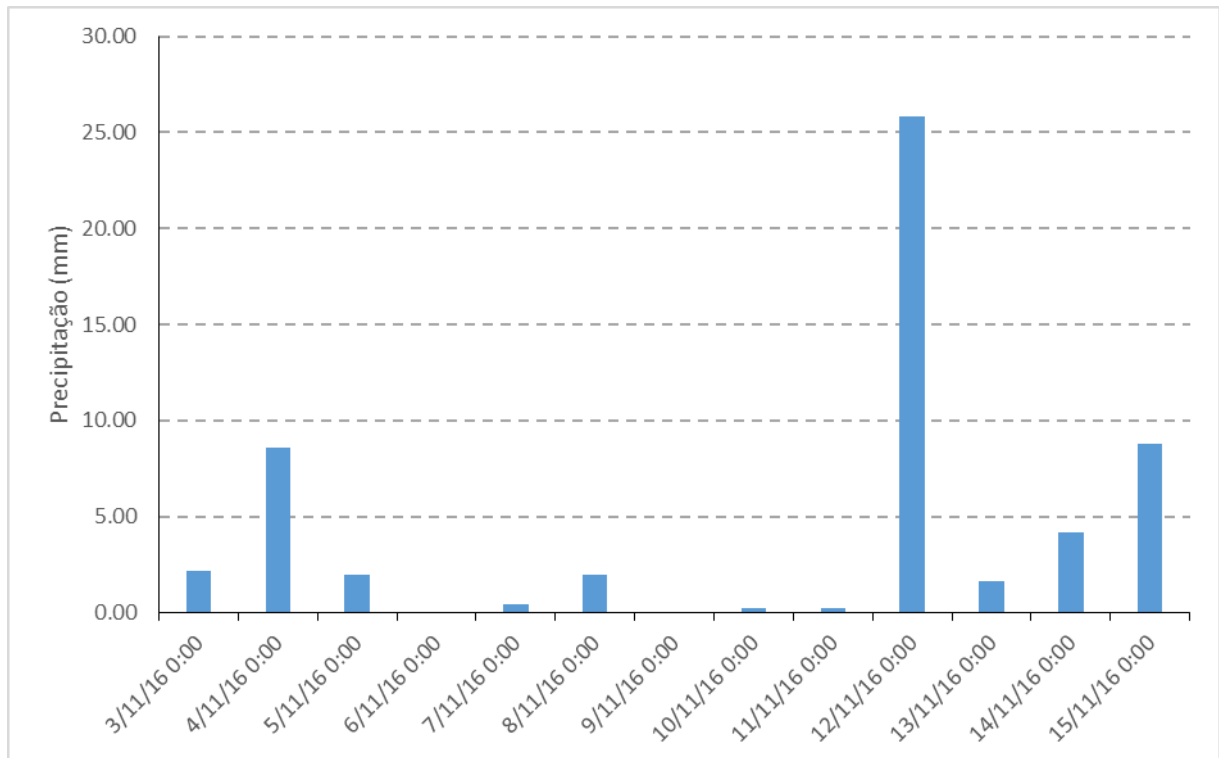
Tabela 2 - Dados de precipitação

| Evento chuvoso | Data | Horário | Precipitação de cada evento chuvoso (mm) |
|---|---------------|---------|--|
| 1 | 03-Nov | 17 - 19 | 3.6 |
| 2 | 03-Nov | 21 | 0.2 |
| Total precipitado antes da medição | | | 3.8 |
| Medição 04/11 10:00 | | | |
| 3 | 04-Nov | 17 - 21 | 13.2 |
| 4 | 04-Nov | 23 | 0.8 |
| 5 | 05-Nov | 4 | 0.2 |
| 6 | 05-Nov | 10 | 2 |
| Total precipitado antes da medição | | | 16.2 |
| Medição 05/11 12:00 | | | |
| 7 | 07-Nov | 18 - 20 | 0.8 |
| 8 | 08-Nov | 01 - 06 | 4.6 |
| 9 | 08-Nov | 13 - 16 | 4.2 |
| Total precipitado antes da medição | | | 9.6 |
| Medição 09/11 08:00 | | | |
| 10 | 10-Nov | 9 | 0.2 |
| 11 | 11-Nov | 21 | 0.2 |
| 12 | 12-Nov | 14 - 15 | 26.6 |
| 13 | 12-Nov | 21 | 0.2 |
| 14 | 13-Nov | 1 | 0.2 |
| 15 | 13-Nov | 3 - 12 | 7.2 |
| 16 | 13 - 15 - Nov | 15 - 00 | 41 |
| 17 | 15-Nov | 2 | 0.2 |
| 18 | 15-Nov | 04 - 08 | 7.6 |
| 19 | 15-Nov | 10 - 12 | 12.4 |
| 20 | 15-Nov | 14 - 15 | 9.4 |
| Total precipitado antes da medição | | | 105.2 |
| Medição 15/11 16:00 | | | |

Fonte: A autora.

Foram quantificados ao todo, vinte eventos chuvosos. No Gráfico 2, estão representados todos os eventos chuvosos ocorridos durante o período de estudo.

Gráfico 2 - Dados pluviométricos



Fonte: A autora.

Inicialmente os eventos chuvosos ocorridos durante o período de medição tiveram baixa altura de precipitação, o que não nos deu resultados significativos para o trabalho. Porém, no início do dia 12, como mostrado pelo Gráfico 2, foi quantificada uma altura de mais de 25 milímetros de chuva, o que nos deu resultados mais concretos sobre o comportamento do telhado.

8.4 Coleta e quantificação do volume armazenado

A partir dos dados fornecidos pela estação automática, foram calculados quantos litros de água foram precipitados em cada um dos compartimentos.

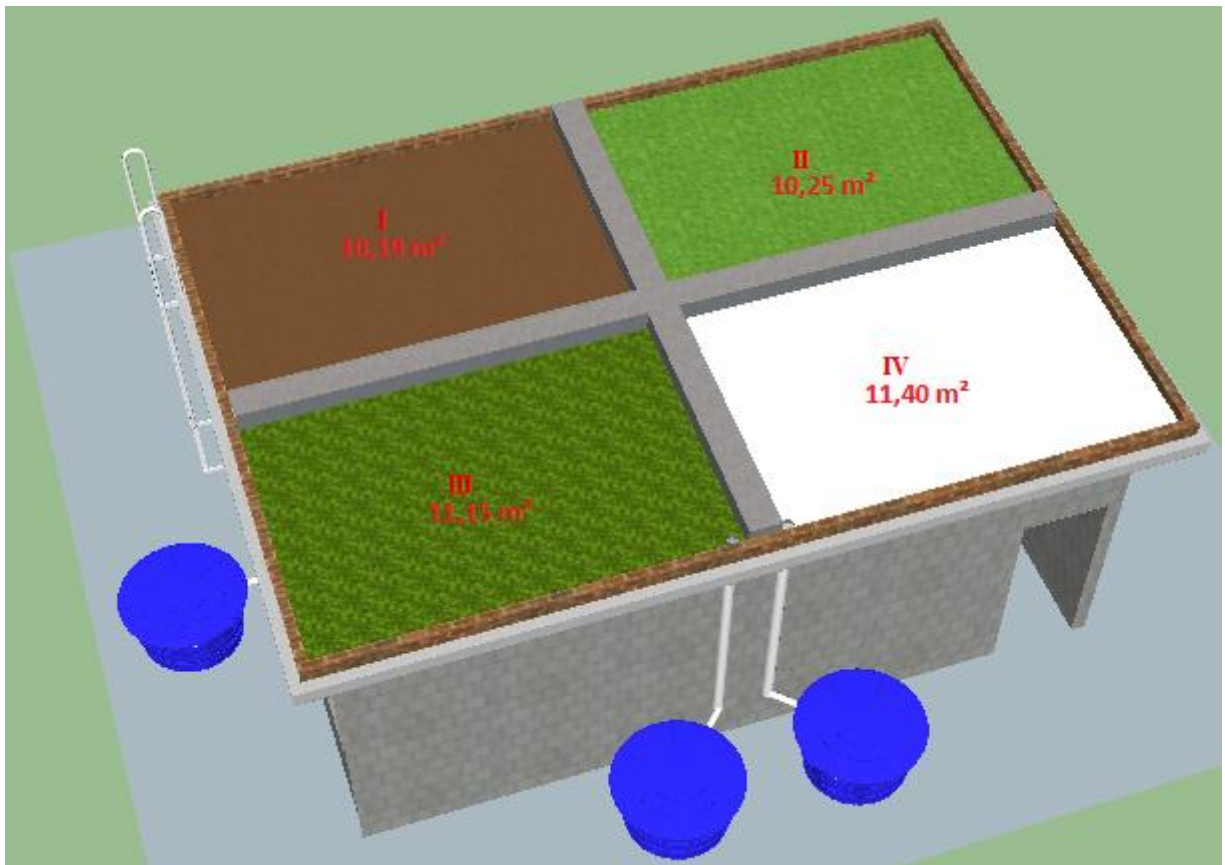
A precipitação dos eventos chuvosos é medida, normalmente, por altura em milímetros, o que significa que, em cada metro quadrado de área precipita uma altura

em milímetros de água. O volume de água precipitado em uma determinada área, pode então ser calculado a partir da seguinte equação:

$$V = \text{Altura da chuva} \times \text{Área analisada}$$

Com essa equação foi então calculado o volume de água precipitado por evento chuvoso, em cada um dos compartimentos do telhado. Para tal, foi necessária a medição da área de cada um dos compartimentos. Essas áreas estão representadas na Figura 55.

Figura 55 - Área de cada compartimento



Fonte: A autora.

A Tabela 3 representa os volumes precipitados em cada um dos compartimentos por evento chuvoso analisado, assim como as datas em que foram realizadas as medições dos volumes escoados em cada um dos reservatórios.

Tabela 3 - Volume precipitado em cada compartimento antes da medição

| Data da medição | Evento Chuvoso número | Precipitação (mm) | Volume precipitado/compartimento (L) | | | |
|-----------------|-----------------------|-------------------|--------------------------------------|-------------|-----------------|-----------|
| | | | Terra (I) | Gramma (II) | Suculenta (III) | Laje (IV) |
| 04-Nov | 1 e 2 | 3.8 | 38.72 | 38.95 | 42.37 | 43.32 |
| 05-Nov | 3 a 6 | 16.2 | 165.08 | 166.05 | 180.63 | 184.68 |
| 09-Nov | 7 a 9 | 9.6 | 97.82 | 98.40 | 107.04 | 109.44 |
| 15-Nov | 10 a 20 | 105.2 | 1071.99 | 1078.30 | 1172.98 | 1199.28 |

Fonte: A autora.

Os volumes escoados e armazenados em cada um dos reservatórios, foram então medidos. Normalmente seus valores foram medidos pela retirada da água de cada um dos reservatórios. Porém, na última coleta realizada, devido à grande quantidade de água armazenada em cada um dos reservatórios, o volume foi estimado pela diferença de altura entre a lâmina d'água e a borda do reservatório. Os valores quantificados estão representados na Tabela 4.

Tabela 4 - Volumes escoados por compartimento

| Data da coleta | Evento Chuvoso número | Precipitação (mm) | Escoamento (L) | | | |
|----------------|-----------------------|-------------------|----------------|-------------|-----------------|-----------|
| | | | Terra (I) | Gramma (II) | Suculenta (III) | Laje (IV) |
| 04-Nov | 1 e 2 | 3.8 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 26.36 |
| 05-Nov | 3, 4, 5 e 6 | 16.2 | 0.00 | 0.00 | 52.54 | 215.41 |
| 09-Nov | 7, 8 e 9 | 9.6 | 0.66 | 18.00 | 12.25 | 121.85 |
| 12-Nov | 10 | 105.2 | 671.89 | 712.90 | 757.70 | 1021.37 |

Fonte: A autora.

8.5 Balanço hídrico: capacidade da retenção dos telhados verdes

O balanço hídrico também foi calculado. Ele representa o resultado da quantidade de água que entra e sai de cada compartimento do telhado em um determinado intervalo de tempo. Como não foi medida a evaporação de água em cada compartimento, o balanço hídrico realizado é representado por:

$$\text{Balanço} = \text{Precipitado} - \text{Escoamento}$$

A equação acima representa o que foi armazenado por cada compartimento, ou seja, a capacidade de retenção de cada um deles.

Tabela 5 - Balanço Hídrico

| Data da coleta | Evento Chuvoso número | Precipitação (mm) | Balanço Hídrico | | | |
|----------------|-----------------------|-------------------|-----------------|-------------|-----------------|-----------|
| | | | Terra (I) | Gramma (II) | Suculenta (III) | Laje (IV) |
| 04-Nov | 1 e 2 | 3.8 | 38.72 | 38.95 | 42.37 | 16.96 |
| 05-Nov | 3, 4, 5 e 6 | 16.2 | 165.08 | 166.05 | 128.09 | -30.73 |
| 09-Nov | 7, 8 e 9 | 9.6 | 97.16 | 80.40 | 94.79 | -12.41 |
| 12-Nov | 10 | 105.2 | 400.10 | 365.40 | 415.28 | 177.92 |

Fonte: A autora

Em alguns dos eventos chuvosos, o que foi calculado de precipitação em cada compartimento foi menor do que o que foi armazenado nos reservatórios, representado de vermelho na Tabela 5, o que pode indicar que houve o transbordamento de um compartimento para outro.

8.6 Determinação do coeficiente de escoamento

A determinação do coeficiente de escoamento superficial em cada um dos compartimentos é representado pela seguinte equação:

$$C = \frac{\text{Volume total escoado}}{\text{Volume total precipitado}}$$

Em cada evento chuvoso um coeficiente de escoamento superficial foi calculado. Os resultados obtidos estão representados na Tabela 6.

Tabela 6 - Coeficiente de escoamento

| Data da coleta | Evento Chuvoso número | Precipitação (mm) | Coeficiente de escoamento | | | |
|----------------|-----------------------|-------------------|---------------------------|-------------|-----------------|-----------|
| | | | Terra (I) | Gramma (II) | Suculenta (III) | Laje (IV) |
| 04-Nov | 1 e 2 | 3.8 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.61 |
| 05-Nov | 3, 4, 5 e 6 | 16.2 | 0.00 | 0.00 | 0.29 | 1.17 |
| 09-Nov | 7, 8 e 9 | 9.6 | 0.01 | 0.18 | 0.11 | 1.11 |
| 12-Nov | 10 | 105.2 | 0.63 | 0.66 | 0.65 | 0.85 |

Fonte: A autora

Os valores dos coeficiente de escoamento confirmam que no compartimento de Laje, onde não havia nenhum substrato ou plantas, foi escoada uma maior quantidade de água do que foi precipitado no compartimento em alguns dos eventos chuvosos. Tal resultado pode indicar que um copartimento teve parte de sua água transbordada para o outro compartimento.

A Tabela 7 apresenta a porcentagem de armazenamento apresentada por cada um dos compartimentos.

Tabela 7 - % Armazenada em cada compartimento

| Data da coleta | Evento Chuvoso número | Precipitação (mm) | % Armazenada | | | |
|----------------|-----------------------|-------------------|--------------|-------------|-----------------|-----------|
| | | | Terra (I) | Gramma (II) | Suculenta (III) | Laje (IV) |
| 04-Nov | 1 e 2 | 3.8 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 39.15 |
| 05-Nov | 3, 4, 5 e 6 | 16.2 | 100.00 | 100.00 | 70.91 | -16.64 |
| 09-Nov | 7, 8 e 9 | 9.6 | 99.33 | 81.71 | 88.56 | -11.34 |
| 12-Nov | 10 | 105.2 | 37.32 | 33.89 | 35.40 | 14.84 |

Fonte: A autora.

Tendo em vista a hipótese do transbordamento de um compartimento para outro, foram feitos calculos somando o volume precipitado dos compartimentos de terra e suculenta (I e III) e dos compartimentos de laje e grama (II e IV). Os resultados estão apresentados na Tabela 8.

Tabela 8 - Resultados somando os compartimentos

| Data de coleta | Evento chuvoso número | Precipitação (mm) | Escoamento (L) | | Volume precipitado/ compartimento (L) | | Coeficiente de escoamento | |
|----------------|-----------------------|-------------------|----------------|----------|---------------------------------------|---------|---------------------------|-------|
| | | | I+III | II+IV | I+III | II+IV | I+III | II+IV |
| 04-Nov | 1 e 2 | 3.8 | 0 | 26.36 | 81.092 | 82.27 | 0.00 | 0.32 |
| 05-Nov | 3 a 6 | 16.2 | 52.54 | 215.41 | 345.708 | 350.73 | 0.15 | 0.61 |
| 09-Nov | 7 a 9 | 9.6 | 12.91 | 139.85 | 204.864 | 207.84 | 0.06 | 0.67 |
| 15-Nov | 10 a 20 | 105.2 | 1429.59 | 1734.269 | 2244.968 | 2277.58 | 0.64 | 0.76 |

Fonte: A autora.

9 ANÁLISE DE CUSTOS

Na Tabela 9 foram relacionados todos os materiais utilizados para a construção do projeto (os materiais constituintes das camadas; substratos e plantas; instalações hidráulicas; e segurança) aos seus respectivos custos.

Tabela 9 - Apresentação dos custos referentes à construção do projeto

| Material | Quantidade | Unidade | Custo Unitário (R\$) | Custo Total (R\$) |
|---|------------|---------------------------|----------------------|-------------------|
| Construção das camadas | | | | |
| Argamassa | 9 | saco/20kg | 8.50 | 76.50 |
| Bloco vazado para apoio dos reservatórios | 30 | unidades | 3.00 | 90.00 |
| Cimento | 4 | saco/50kg | 21.00 | 84.00 |
| Dreno Macdrain J | 40 | m ² | 15.44 | 617.60 |
| Impermeabilizante | 2 | barricas de 50 kg | 787.00 | 1574.00 |
| Rodo | 1 | unidades | 8.80 | 8.80 |
| Tela poliéster | 1 | rolo de 50 m ² | 178.00 | 178.00 |
| Tijolos | 300 | unidades | 0.48 | 144 |
| Tinta | 1 | lata 20 litros | 100.00 | 100.00 |
| Substrato e plantas | | | | |
| Grama | 12 | m ² | 4.00 | 48.00 |
| Lona | 36 | m ² | 2.30 | 82.80 |
| Suculenta | 20 | unidades | 5.80 | 116.00 |
| Terra | 60 | Saco/20kg | 6.00 | 360.00 |
| Instalação Hidraulica | | | | |
| Fita braçadeira | 10 | m | 1.60 | 16.00 |
| Joelho | 10 | unidades | 5.20 | 52.00 |
| Luva 75 mm | 9 | unidades | 4.90 | 44.10 |
| Parafuso arruela e bucha | 24 | unidades | 0.25 | 6.00 |
| Registro saída reservatório | 4 | unidades | 9.50 | 38.00 |
| Reservatório 1000l | 4 | unidades | 449.90 | 1799.60 |
| Tubo 75mm | 36 | m | 47.50 | 1710.00 |
| Segurança | | | | |
| Cadeado | 1 | unidades | 20.90 | 20.90 |
| Corrente | 5 | metros | 11.50 | 57.50 |
| Total | | | | 7223.8 |

Fonte: A autora.

Sabe-se que a laje tem dimensões de 8,2m por 5,8m, ou seja, uma área de 47,56 m², e o custo total com o projeto foi de 7223,80 reais. A Tabela 10 apresenta o custo do projeto por metro quadrado.

Tabela 10 - Custo por m²

| | |
|--|---------|
| Custo total (R\$) | 7223.80 |
| Área do telhado (m²) | 47.56 |
| Custo por m² (R\$/m²) | 151.89 |

Fonte: A autora.

10 CONCLUSÕES

Este trabalho apresenta resultados preliminares quanto ao comportamento de telhados verdes. Alguns problemas de funcionamento dos compartimentos construídos foram observados a partir da ocorrência dos eventos chuvosos. Em dois dos eventos chuvosos quantificados a quantidade precipitada de água no compartimento da laje foi menor do que a quantidade coletada de água, desta forma, tanto os dados da capacidade de retenção do telhado do balanço hídrico tiveram resultados negativos. Além disso, o coeficiente de escoamento superficial teve valor maior que um.

Faz-se necessária a coleta e análise de dados para um período maior de eventos, de forma a obter e comparar os resultados do protótipo construído nesta pesquisa com outros resultados de experimentos anteriores, como os de MORUZZI, et al. (2015), COSTA et al. (2011), PIMENTEL DA SILVA et al. (2012), e PERSCH et al. (2012). Espera-se que, na continuidade do trabalho em questão, obtenham-se resultados semelhantes aos já obtidos anteriormente por outros pesquisadores, com retenção de escoamento superficial em torno de 60%.

Infelizmente, não puderam ser observadas a adaptação e a resistência de cada espécie utilizada, no período de estiagem. Uma vez que o período de plantação das espécies foi após o período de estiagem e coleta abrangeu apenas eventos chuvosos.

Em relação ao gênero *Sedum*, planta cultivada em um dos compartimentos do telhado, espera-se resultados semelhantes aos obtidos com o cacto no trabalho de Santos et al. (2013), em relação à adaptação da espécie, visto que as duas plantas se tratam de espécies com notável semelhança no que se refere à adaptação climática. Ou seja, espera-se a planta do gênero *Sedum* a ser plantada adapte bem ao período de seca.

Espera-se que a grama bermudas plantada em um dos compartimentos apresente resultados semelhantes aos obtidos por Mediondo e Cunha (2004), com bons resultados em relação à redução de escoamento, porém à adaptação ao período de estiagem apresentando-se mais complicada em relação à planta do gênero *Sedum*.

Em relação aos custos de implementação do projeto de pesquisa, o valor obtido foi por volta de R\$150,00 reais por metro quadrado de telhado. Oliveira (2009) realizou em seu trabalho, uma análise de custos, obtendo um valor de 102,59 reais por metro

quadrado de telhado implantado. Vale ressaltar que o trabalho de Oliveira possuía somente 2 reservatórios para a coleta de água, sendo que os reservatórios representam grande parte do valor em relação ao custo total do trabalho. Ou seja, os resultados obtidos para o custo de implementação do telhado foram aceitáveis tendo em vista a dimensão do experimento.

Para a continuação do projeto, deve ser identificado o problema ocorrido nos primeiros eventos chuvosos quando a quantidade de água escoada para o reservatório foi maior do que a quantidade de água precipitada no compartimento.

Em relação à quantificação do volume de água nos reservatórios, o ideal é que se desenvolva alguma forma de medição sem a necessidade da retirada da água do reservatório, pois no caso de precipitação de grandes volumes de água, como foi o caso dos últimos eventos quantificados, a medição fica muito difícil de ser realizada.

Em relação à dimensão dos reservatórios, em uma nova pesquisa, o ideal é que se considere uma chuva com um maior tempo de duração, ou que seja utilizada uma forma de quantificação do volume d'água automática.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGRA, S. G. *Estudo Experimental de Microrreservatórios para o Controle do Escoamento Superficial*. 2001. 105f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. 2001

ANNIESANNUALS. Disponível em <<https://www.anniesannuals.com/plants/view/?id=1809>>. Acesso em 06/10/2016.

ARAÚJO, P.R.; TUCCI, C.E.M.; GOLDENFUM, J. A. Avaliação da eficiência dos pavimentos permeáveis na redução de escoamento superficial. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*. Porto Alegre. 5(3): 21-28. 2000.

ARAÚJO, S.R. *As funções dos Telhados verdes no meio Urbano, na gestão e no planejamento de Recursos Hidricos*. 2007. 21f. Monografia (Graduação em Engenharia Florestal). Universidade Federal Rural do Rio Janeiro, Rio de Janeiro, 2007.

BÄCKSTRÖM, M. *Grassed swales for urban storm drainage*. 2002. 142 f. Tese (Mestrado em Engenharia Ambiental/Engenharia Sanitária). LULEA UNIVERSITY OF TECHNOLOGY. Suécia, 2002.

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. AIDIS. México, 1996.

BAPTISTA, M. B. et al. Aspectos da Evolução da Urbanização e dos Problemas de Inundações em Belo Horizonte. *Drenagem urbana: gerenciamento, simulação, controle*. Porto Alegre: Ed. Universidade/UFRGS/ABRH 1998.

BAPTISTA, M.; NASCIMENTO, N.; BARRAUD, S., *Técnicas compensatórias em drenagem urbana*. Porto Alegre: ABRH, 2005. 266p.

BARBOSA JR, A. R. *Elementos de Hidrologia Aplicada a Estudos de Graduação: 6. Escoamento Superficial*. 2013. Disponível em: http://www.em.ufop.br/deciv/departamento/~antenorrodriques/6_escoamento%20superficial.pdf. Acesso em 26/09/2015.

BARRETT, M.E. Performance, Cost, and Maintenance Requirements of Austin Sand Filters. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 129(3): 234-242, 2003.

BERARDI, U.; GHAFARIANHOSEINI, A.; GHAFARIANHOSEINI, A. State-of-the-art analysis of the environmental benefits of green roofs. *Applied energy*, 113, p. 788–807, 2014.

BOUWER, H. Artificial recharge of groundwater: Hydrogeology and engineering. *Hydrogeology Journal*. n.10, p. 121-142, 2002.

CANHOLI, A. P., *Drenagem Urbana e Controle de Enchentes*. São Paulo: Oficina de Textos, 2005. 302 p.

CARVALHO, D. F.; Silva, L. D. B. *Hidrologia: 7. escoamento superficial*. 2006. Disponível em: <http://www.ufrj.br/institutos/it/deng/leonardo/downloads/APOSTILA/HIDRO-Cap7-ES.pdf>. Acesso em 26/09/2016.

COSTA, J.; ALEANDRI, A.; POLETO C., Experimental studies of green roof systems as part of sustainable Urban Watershed on order to minimize the problems of flooding. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON URBAN DRAINAGE. UTFPR. Porto Alegre, 2011.

DRUMOND, P. P.; *Estudo da influência da reservação de águas pluviais em lotes no município de Belo Horizonte, MG: Avaliação hidráulica e hidrológica*, 2012.184 f. Dissertação (Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos). Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2012.

DURHMAN, A. K.; ROWE, D. B.; RUGH, C. L., Effect of substrate depth on initial growth, coverage, and survival of 25 succulent green roof plant taxa. *HortScience*, East Lansing, Estados Unidos, 42/3. 2007.

ECOEICIENTES. Telhado verde com horta em jardim de infância no Vietnã. Disponível em: <http://www.ecoeicientes.com.br/telhado-verde-com-horta-em-jardim-de-infancia-no-vietna/>. Acesso em: 12/05/2016

ECOTELHADO. Projeto propõe o uso de telhado verde em onibus na Espanha. Disponível em <https://ecotelhado.com/projeto-propoe-o-uso-de-telhado-verde-em-onibus-na-espanha/>. Acesso em 12/05/2016.

EXAME. Mc Donalds em Singapura manda telhado verde. Disponível em <http://exame.abril.com.br/negocios/mcdonald-s-em-singapura-ganha-telhado-verde/>. Acesso em 12/05/2016.

GENZ, F. Parâmetros para Previsão e Controle de Cheias Urbanas. 1994. 162f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre. 1994.

GETTER, K. L.; ROWE, D. B., Substrate depth influences Sedum plant community on a green roof. *HortScience*. East Lansing, Estados Unidos, 44/2. 2009.

GROMAIRE, M. C.; RAMIER, D.; SEIDL, M.; BERTHIER, E.; SAAD, M.; GOUVELLO, B., Impact of extensive green roofs on the quantity and the quality of runoff – first results of a test bench in the Paris region. *Novatech*, Paris. 2013

GROSTEIN, M. D., Metrópole e expansão urbana: a persistência de processos “insustentáveis”. *Perspec*, vol.15 n.1. São Paulo, 2001.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA – INMET. Disponível em http://www.inmet.gov.br/sim/gera_graficos.php. Acesso em: 15/11/2016.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA - INMET. Dados de precipitação. Disponível em :
http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=home/page&page=rede_estacoes_auto_graf. Acesso em: 15/11/2016.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Censo Demográfico**, 2010

JARDINARIA. Telhado verde. Disponível em: <http://www.jardinaria.com.br/blog/2011/08/telhado-verde/> Acesso em: 12/05/2016

KHRAN, F. S.; MACIEL, S.; DOURADO, T. M. Transposição de águas e bacias: Aspectos teóricos e conceituais. Seminário de Integração, Universidade Federal do Tocantins, 2007.

LEOPOLD, L. B. *Hydrology for Urban Land Planning*. 4ed, Washington: A Guidebook on The Hydrologic Effects of Urban Land Use, Geological Survey, 1968.

LINO, D. M., & CASTRO, A. S. Avaliação do desempenho de estruturas de controle na fonte para a redução do escoamento superficial durante dois eventos de chuva. In: SALÃO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA UFRGS, 2009, Porto Alegre. *Livro de resumos*. Porto Alegre: 2009, 19-23.

MARTINE, G., A redistribuição espacial da população brasileira durante a década de 80. IPEA. Brasília: Texto para discussão, n. 329. 1994.

MATIAS, M. G. B., *Bacias de Retenção Estudo de Métodos de Dimensionamento*. 2006. 194f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) Universidade do Porto, Porto, 2006.

MEDIONDO, E. M.; CUNHA, A. P. S. R., *Experimento hidrológico para aproveitamento de águas de chuva usando coberturas verdes leves (CLV)*. 2004. 41 f. Projeto de pesquisa – FAPESP, Universidade de São Paulo. São Carlos, 2004.

MIGUEZ, M. G., MAGALHÃES, L. P. C., Urban Flood Control, Simulation and Management: an Integrated Approach. In: Pina Filho, A. C., Pina, A. C. *Methods and Techniques in Urban Engineering*, 1 ed. India: Intech, 2010, cap 10.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE., Águas subterrâneas e o ciclo hidrológico Disponível em < <http://www.mma.gov.br/agua/recursos-hidricos/aguas-subterraneas/ciclo-hidrologico> > Acesso em: 22 set 2016.

MOGHADAS, S; BERGGREN, A-M. G.; VIKLANDER, M., Regional and Seasonal Variations in Future Climate. Is Green Roof One Solution? In: 12th INTERNATIONAL CONFERENCE ON URBAN DRAINAGE. Porto Alegre, 2011. p 11-16.

MORUZZI, B. M.; MOURA, C. C.; BARBASSA, A. P., Influência da umidade e da inclinação no desempenho de instalação experimental piloto de telhado verde extensivo. *Ambiente Construído*. v. 14 n. 3. Porto Alegre, 2014.

Moura, P. M. *Contribuição para a avaliação global de sistemas de drenagem urbana*. Diss. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Minas Gerais, Departamento de Engenharia Hidráulica e Recursos Hídricos, Belo Horizonte, Brasil, 2004.

MOURA, P. M.; *Avaliação do funcionamento de dispositivos compensatórios de manejo de águas pluviais urbanas na escala do lote*. 2014. 18 f. Projeto de pesquisa – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2014.

NAGHETTINI, M. *Notas de Aula: Engenharia de Recursos Hídricos*. 1999. 240 p. UFMG, Belo Horizonte, 1999.

OHNUMA, A. A. Medidas não convencionais de reservatório d'água e controle da poluição hídrica em lotes domiciliares. Tese (Doutorado Ciências da Engenharia Ambiental) - Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, 2008.

O'LOUGHLIN G. et al. Onsite Stormwater Detention System in Sydney. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON INNOVATIVE TECHNOLOGIES IN URBAN STORM DRAINAGE - NOVATECH, 2, 1995, Lyon.

OLIVEIRA, C. C.; MAGALHÃES, F. R.; MARQUES, M.; SILVA, L.P., Telhados verdes em regiões de clima tropical e subtropical: revisão crítica e preliminar. In: ENCONTRO NACIONAL DE ÁGUAS URBANAS. DESMA/UEMG. Rio de Janeiro, 2012.

OLIVEIRA, E. W. N., *Telhados verdes para habitações de interesse social: retenção das águas pluviais e conforto térmico*. 2009. 87 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental). Universidade do estado do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2009.

OSMUNDSON, T. *Roof Gardens: History, Design and Construction*. New York: W. W. Norton & Company, 1999.

PERSCH, C. G.; TASSI, R.; ALLASIA, D. G., Avaliação do comportamento de um telhado verde no controle quantitativo do escoamento pluvial a partir de um modelo de balanço de volumes de longo prazo. In: IX ENCONTRO NACIONAL ÁGUAS URBANAS. Belo Horizonte, 2012.

PETRUCCI, G. et al. Efficiency of distributed water harvesting on runoff reduction. Case-study of "Village Parisien" district, Champigny-sur-Marne, Ile de France. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON INNOVATIVE TECHNOLOGIES IN URBAN STORM DRAINAGE- NOVATECH, 7, 2010, Lyon.

PIMENTEL DA SILVA, L. et al. Telhados verdes como indutores de desenvolvimento sócio ambiental em áreas e habitações de interesse social. In: IX ENCONTRO NACIONAL ÁGUAS URBANAS. BELO HORIZONTE, 2012.

POÓROVÁ, Z.; VRANAYOVÁ, Z. *Green roof vegetation possibilities. Scientific Papers - Horticulture*, Bucareste Series B, Vol. LIX, 2015.

PORTO, R., et al. *Hidrologia: ciência e aplicação*. 4. ed. ABRH, 1993. v.2.

PREFEITURA MUNICIPAL DE PIRAQUARA. *Plano de saneamento básico do município de Piraquara – Diagnóstico do sistema de drenagem, manejo de águas pluviais urbanas, limpeza urbana e manejo de resíduos sólidos*. Itaquara: 2015.

REIS, R. P. A., OLIVEIRA, L. H., SALES, M. M. Sistemas de drenagem na fonte por poços de infiltração de águas pluviais. *Ambiente Construído*. v. 8, n. 2, p. 99 – 117, Porto Alegre, 2008.

REVISTA ECOLOGICO. O Verde subiu no telhado Vegetação na parte de cima das casas enfeita, refresca e melhora o clima. Disponível em:
<http://www.revistaecologico.com.br/materia.php?id=68&secao=1045&mat=1129>. Acesso em 12/05/2016.

REZENDE, O. M., *Avaliação de medidas de controle de inundações em um plano de manejo sustentável de águas pluviais aplicado à Baixada Fluminense*. 2010. 208 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2010.

RIVERO, R. *Arquitetura e clima: acondicionamento térmico natural*. Porto Alegre: D. C. Luzzatto Editores: Ed. da Universidade, UFRGS, 1998.

ROMERO, M. A. B. *Princípios bioclimáticos para o desenho urbano*. São Paulo. ProEditores, p.31-32, 2000.

SANTOS, P. T. S. et al. Telhado verde: desempenho do sistema construtivo na redução do escoamento superficial. *Ambiente Construído*. v. 13. n. 1. p. 161-174. Porto Alegre: 2013.

SECRETARIA DE ESTADO DE MEIO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL – SEMADS. **Revitalização de rios: Orientação técnica**. Rio de Janeiro, 2001.

SOBRINHA, L. A., *Monitoramento e modelagem de um poço de infiltração de águas pluviais em escala real e com filtro tampa*, 2012. 147 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana). Universidade Federal de São Carlos. São Carlos, 2012.

SUPERINTENDÊNCIA DE DESENVOLVIMENTO DE RECURSOS HÍDRICOS E SANEAMENTO – SUDERSHA. **Plano Diretor de Drenagem Urbana da Região Metropolitana de Curitiba**. Curitiba, 2002.

SUSTENTARQUI. Seis exemplos de telhados verde em Chicago. Disponível em: <http://sustentarqui.com.br/urbanismo-paisagismo/6-exemplos-de-telhados-verdes-em-chicago/>. Acesso em: 12/05/2016.

TASSI, S.; TASSINARI, L. C. S., Telhado verde: uma alternativa sustentável para a gestão das águas pluviais. *Ambiente Construído* v. 14 n. 1. p.139-154. Porto Alegre: 2014.

TRIANGLE, Turf Inc. Disponível em <http://www.triangleturf.com/Zoysia.htm>. Acesso em 06/10/2016.

TSUCHIYA, A. Evaluation of on-site stormwater detention methods in urbanized areas. In: HELLIWELL, P. R. *Urban Storm Drainage*. London: Pentech Press, 1978. p. 470-478.

TUCCI, C.E.M., Inundações Urbanas. In: *Drenagem Urbana*. Porto Alegre: Ed da Universidade. ARBH. 1995. p. 16-36.

TUCCI, C.E.M., *Hidrologia: Ciência e Aplicação*. 2 ed. Porto Alegre: Universidade UFRGS: ABRH, 2004.

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

TUCCI, C.E.M., Águas urbanas. *Estudos avançados*, 2008 v. 22, n. 63, p.1-16.

UNITED NATIONS INTERNATIONAL STRATEGY FOR DISASTER REDUCTION - UNISDR. **Terminology on Disaster Risk Reduction**. Geneva, Switzerland, 2009.

VANWOERT, N. D.; ROWE, D.B.; ANDRESEN, J. A.; Rugh, C. L.; Xiao, L. Watering Regime and Green Roof Substrate Design Affect Sedum Plant Growth. *HortScience* 40(3):659-664. 2005.

VARELA, A. F. S., *A utilização de revestimentos de vegetação intensivos e extensivos em projecto de arquitectura paisagista em cobertura*. 2011. 83 f. Dissertação (Mestrado em Arquitectura Paisagista). Universidade técnica de Lisboa. Lisboa, 2011.

VARGAS, A. C. V.; WERNECK, B. R.; FERREIRA, M. I. P. 6 – Controle de cheias Urbanas. In: *Boletim do Observatório Ambiental Alberto Ribeiro Lamego*. Campos dos Goytacazes, RJ: Centro Federal de Educação Tecnológica de Campos. v. 2 n. 2, 2008. p. 107 – 132.

VECCHIA, F., Cobertura Verde Leve (CVL): ensaio experimental. In: ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 6. Maceió: ANTAC, 2005.

WARK C.G. & WARK, W.W., 2003. Green roof specifications and standards; Establishing an emerging technology. *The Construction Specifier*, 56, 76-82. 2003.