

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ  
COECI - COORDENAÇÃO DO CURSO DE ENGENHARIA CIVIL  
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

PATRICK LUIZ BONSERE

**UTILIZAÇÃO DO TELHADO VERDE COMO PARTE INTEGRANTE  
DO SISTEMA DE DRENAGEM URBANA NA CIDADE DE TOLEDO/PR**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

TOLEDO  
2019

PATRICK LUIZ BONSERE

**UTILIZAÇÃO DO TELHADO VERDE COMO PARTE INTEGRANTE DO  
SISTEMA DE DRENAGEM URBANA NA CIDADE DE TOLEDO/PR**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel, do curso de Engenharia Civil, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Orientadora: Prof.<sup>a</sup> D.ra Silmara Dias Feiber

Coorientador: Prof. D.r Wagner Alessandro Pansera

TOLEDO

2019



---

## TERMO DE APROVAÇÃO

Título do Trabalho de Conclusão de Curso de Nº 207

### Utilização do telhado verde como parte integrante do sistema de drenagem urbana na cidade de Toledo/Pr

por

**Patrick Luiz Bonsere**

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi apresentado às 9:10 h do dia **07 de junho de 2019** como requisito parcial para a obtenção do título **Bacharel em Engenharia Civil**. Após deliberação da Banca Examinadora, composta pelos professores abaixo assinados, o trabalho foi considerado **APROVADO**.

---

Prof. D.r Fúlvio Natercio Feiber  
(UTFPR – TD)

---

Prof. M.e Christian Valcir Kniphoff  
de Oliveira

---

Prof.<sup>a</sup> D.ra Silmara Dias Feiber  
(UTFPR – TD)

---

Prof. D.r Wagner Alessandro Pansera  
(UTFPR – TD)

---

Visto da Coordenação  
Prof. D.r Fúlvio Natercio Feiber  
Coordenador da COECI

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a minha família, em especial ao meu pai, pelo suporte e apoio fundamentais para que eu pudesse chegar até esse momento.

À minha orientadora, professora Silmara Dias Feiber, pela oportunidade de ter realizado a iniciação científica que resultou neste trabalho, pelos ensinamentos e orientações durante toda a pesquisa e pela disponibilidade para atendimento sempre que fosse necessário.

Ao meu coorientador, professor Wagner Alessandro Pansera, pela orientação e disponibilidade para atendimento sempre que solicitado.

Aos laboratoristas Wilson Leobet e Marcos Vinicius Schlichting, por toda ajuda durante a montagem dos módulos de telhado verde e realização dos experimentos.

À minha amiga e colega de pesquisa, Chih Jou Chang, pela ajuda e companhia durante o desenvolvimento deste trabalho e todo o período da graduação.

Ao meu amigo, colega de estudos e trabalho, engenheiro Victor de Sousa Guimarães, pela ajuda durante o desenvolvimento desta pesquisa e pelos 15 anos de amizade e parceria nos trabalhos de escola, graduação e projetos de engenharia.

À Mariele Kreutzfeld, por ceder a estrutura utilizada durante sua pesquisa, que serviu de base para montagem dos módulos de telhado verde.

A todos os professores com que tive a oportunidade de aprender muito durante toda essa trajetória acadêmica e que certamente também contribuíram de alguma forma para a realização deste trabalho.

## RESUMO

BONSERE, Patrick Luiz. **Utilização do telhado verde como parte integrante do sistema de drenagem urbana na cidade de Toledo/Pr.** 2019. 65f. Trabalho de Conclusão de Curso Graduação – Curso de Engenharia Civil. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Toledo, 2019.

Diante do crescente cenário de urbanização, a escassez da área verdes e elevada impermeabilização do solo, causada pelo elevado número de construções que tomaram lugar das áreas verdes e permeáveis nos centros urbanos, acabaram contribuindo para elevada incidência de alagamentos, enchentes e outros problemas de ordem hídrica, uma vez que acabam diminuindo o tempo de permanência do volume de água precipitado na bacia, reduzindo a infiltração desta água no solo. Diante disso, o telhado verde surge como uma alternativa construtiva que traz benefícios para o ambiente local, gerando melhorias que atingem os mais diversos setores da sociedade, buscando ainda minimizar impactos ambientais gerados pelo processo de urbanização. Visando verificar os benefícios dessas estruturas para a redução do escoamento superficial foram construídos três módulos de telhado verde, com variação na inclinação (2, 20 e 30%) e simulados eventos de chuvas intensas, verificando a influência da umidade antecedente e inclinação no coeficiente de escoamento, que apontaram para uma redução no coeficiente de escoamento de até 57,5% e grande influência da umidade antecedente. Para avaliar o desempenho do telhado verde como componente do sistema de drenagem urbana foram realizadas simulações computacionais por meio do dimensionamento de galerias de águas pluviais em cenários convencionais e com adoção das coberturas vegetais, que mostraram redução no diâmetro das tubulações e redução até 34% nas vazões de pico.

**Palavras-chave:** Telhado Verde. Drenagem Urbana. Escoamento Superficial.

## ABSTRACT

Due to the growing urbanization scenario, the scarcity of green area and high soil waterproofing, caused by the big number of buildings that took place of green and permeable area in urban centers, ended up contributing to high incidences of flood, overflow and other problems of water order, because it decrease the permanence time of water volume precipitated in the basin, reducing the water infiltration into the soil. So, with that, the green roof emerges as a constructive alternative that brings benefits to the local environment, generating improvements that affect the most diverse sectors of society, still seeking to minimize environmental impacts generated by the urbanization process. With the intention of verify the benefits of these structures for the reduction of surface runoff were constructed three modules of green roof, with variation in the inclination (2, 20 and 30%) and simulated intense rainfall, checking the influence of the antecedent humidity and slope in the run off, that pointed to a reduction in the run off of up to 57,5% and large influence of antecedent humidity. To evaluate the performance of the green roof as a component of the urban drainage system were realized computational simulations by dimensioning of stormwater galleries in conventional scenarios and with the use of green roof, that showing a reduction on pipe diameter and a reduction of up to 34% in peak flows.

**Key words:** Green roof. Urban drainage. Run off.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Melhor aproveitamento da água da chuva por meio de técnicas LID.	13
Figura 2 - Sub-bacias do município de Toledo, Paraná.	15
Figura 3 - Zigue de Nanna.	17
Figura 4 - Telhados verdes extensivos.	18
Figura 5 - Telhados verdes semiextensivos.	18
Figura 6 - Telhados verdes intensivos.	19
Figura 7 - Composição típica de um telhado verde.	21
Figura 8 - Zoysia Japonica (Grama-esmeralda).	23
Figura 9 - Hidrograma pré e pós-urbanização de uma bacia.	25
Figura 10 - Efeito da urbanização no hidrograma de uma bacia.	26
Figura 11 - Telhado verde do Hotel Fairmont Waterfront, Canadá.	31
Figura 12 - Localização da cidade de Toledo - Pr.	33
Figura 13 - Caixas de suporte dos módulos de cobertura vegetal.	35
Figura 14 - Tela de proteção.	35
Figura 15 - Módulos inclinados.	36
Figura 16 - Fixação dos módulos inclinados.	37
Figura 17 - Módulos de cobertura vegetal.	37
Figura 18 - Camada drenante em argila expandida.	38
Figura 19 - Manta Geotêxtil.	38
Figura 20 - Camada de solo e substrato.	39
Figura 21 - Módulos de telhado verde ao fim da montagem.	40
Figura 22 - Módulos 40 dias após o plantio da vegetação.	40
Figura 23 - Rede pluvial do Exemplo 4.4.	46
Figura 24 - Áreas de contribuição do trecho dimensionado.	46

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Metas do Plano Diretor Toledo 2050 para drenagem urbana.	15
Tabela 2 - Comparativo de custos/peso entre coberturas verdes e convencionais.	32
Tabela 3 - Equações de chuvas para Toledo e Cascavel.	41
Tabela 4 - Intensidades para os parâmetros estudados.	42
Tabela 5 - Percentual de umidade do solo antecedente.	47
Tabela 6 - Coeficientes de escoamento superficial.	48
Tabela 7 - Dados estatísticos para valores de C.	49
Tabela 8 – UAS x C.	50
Tabela 9 - Parâmetros utilizados em cada cenário simulado.	51
Tabela 10 - Resultados das simulações computacionais.	52



## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b>	<b>8</b>
1.1 JUSTIFICATIVA	10
1.2 OBJETIVOS	10
1.2.1 Objetivos Gerais	10
1.2.2 Objetivos Específicos	10
<b>2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b>	<b>11</b>
2.1 DRENAGEM URBANA	11
2.1.1 Drenagem Urbana para a Cidade de Toledo, Paraná	14
2.2 TELHADO VERDE	16
2.2.1 Classificação dos Tipos de Telhado Verde	18
2.2.2 Composição Estrutural	20
2.2.3 Tipos de Vegetação e Substratos	22
2.2.4 Benefícios do Uso do Telhado Verde	24
2.2.4.1 Retenção da água da chuva	25
2.2.4.2 Redução da ilha-de-calor urbano e conforto térmico da edificação	29
2.2.4.3 Econômico	30
<b>3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS</b>	<b>33</b>
3.1 CARACTERIZAÇÃO DO LOCAL DE ESTUDO	33
3.2 PROTÓTIPOS	34
3.2.1 Estruturas de Suporte	34
3.2.2 Módulos de Cobertura	37
3.3 SIMULAÇÃO DE CHUVAS	40
3.4 COLETA E ANÁLISE DOS DADOS	43
3.5 SIMULAÇÃO COMPUTACIONAIS	44
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÕES</b>	<b>47</b>
4.1 UMIDADE ANTECEDENTE DO SOLO (UAS)	47
4.2 RETENÇÃO DE ÁGUA	48
4.3 DESEMPENHO DA DRENAGEM URBANA	51
<b>5 CONCLUSÕES</b>	<b>53</b>
<b>REFERÊNCIAS</b>	<b>55</b>
<b>APÊNDICE A – TABELAS DE DIMENSIONAMENTO DE REDE ÁGUAS PLUVIAIS DOS CENÁRIOS 01 E 02</b>	<b>60</b>

<b>APÊNDICE B – TABELAS DE DIMENSIONAMENTO DE REDE ÁGUAS PLUVIAIS DOS CENÁRIOS 03 E 04</b>	<b>61</b>
<b>APÊNDICE C – TABELAS DE DIMENSIONAMENTO DE REDE ÁGUAS PLUVIAIS DOS CENÁRIOS 05 E 06</b>	<b>62</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Devido ao elevado número de pessoas residindo nos centros urbanos o território passa por intensas modificações de ordem física, econômica e social. Segundo dados do IBGE obtidos através da PNAD (Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios) realizada em 2015 aproximadamente de 84,72% da população brasileira vive em áreas urbanas e muitas dessas não contam com áreas verdes e permeáveis. Este fato vem contribuindo para que alagamentos e inundações passem a fazer parte da rotina de uma parte significativa da população residentes em grandes centros.

A partir dos anos de 1970 até 1980 o país passou por um intenso processo de migração da população residente nas áreas rurais para as zonas urbanas, esse processo de êxodo rural se deve muito pela mecanização das plantações e pelo processo de industrialização pelo qual passava o país. Em 1970 cerca de 55,98% da população brasileira vivia nas cidades, passando para 67,69% em 1980 até atingir 84,36% em 2010, segundo dados últimos Censos Demográficos realizados pelo IBGE.

Ao longo do desenvolvimento urbano e rural dados do Banco Mundial mostram que no Brasil em 2017 cerca de 86,17% da população reside em áreas urbanas, no que se refere a população mundial esse número chega aos 54,74%. Em grande parte dos países com as maiores economias do mundo esses números ultrapassam os 70%.

Em decorrência dessa intensa migração da população do campo para as cidades fez-se necessário um intenso processo de urbanização, que em muitos casos não ocorreu de forma ordenada e planejada. Os reflexos desta ausência de planejamento e de um crescimento desordenado foi o aumento excessivo da impermeabilização do solo. Assim, áreas anteriormente sujeitas ao equilíbrio ambiental alcançado de forma natural agora passam a ser ocupadas por estruturas antrópicas que afetam questões como estabilidade do solo, capacidade de infiltração de água, desvio de correntes de ar, dentre outras características.

Essa mudança da paisagem natural com a substituição das áreas verdes por estruturas de concreto, asfalto e todos os outros materiais comumente utilizados na construção civil, contribuem para a formação das ilhas de calor. Este fenômeno advém do fato desses materiais absorverem a radiação solar a qual são expostos,

transformando essa energia em calor sensível o que contribui para a elevação da temperatura nessas regiões.

O principal problema dessa elevação da temperatura gerada pelas ilhas de calor está associado com a maior ocorrência de chuvas de elevada intensidade nessas regiões. Em matéria publicada pela Folha de São Paulo em 2010 foram analisados dados que relacionam os volumes precipitados e a taxa de impermeabilização do solo. Concluiu-se que para a cidade de São Paulo das dez regiões onde mais chove em sete a impermeabilização do solo é maior que 65%, sendo estas regiões as que mais sofrem com constantes alagamentos.

De acordo com Tucci *et al.* (2003) a elevada incidência de alagamentos em grande parte das cidades brasileiras se deve, em partes pelo modo como foi realizada a gestão dos recursos hídricos ao longo do desenvolvimento urbano. Esta gestão por vezes trata da drenagem urbana de forma análoga ao esgoto sanitário, com estruturas de captação e transporte imediato para longe dos centros urbanos, potencializando os problemas nas regiões localizadas a jusante. Contando com o agravante do menor investimento em infraestrutura de drenagem urbana, que ao longo desse processo, foi deixado em segundo plano principalmente pelo custo de implantação e carência de redes coletoras de esgoto, tendo a última prioridade na alocação dos recursos.

Devido a frequência com que eventos de ordem hídrica tem atingido os centros urbanos e gerado muitos problemas nas esferas social e econômica surge a necessidade de se ampliar as pesquisas na área visando minimizar os efeitos da atual má gerencia dos sistemas. Associados ao elevado custo e a impossibilidade da remoção de parte dos centros urbanos para a construção de áreas permeáveis e estruturas de amortização das vazões, pesquisadores e governos vem buscando alternativas para minimizar os efeitos negativos de todo o processo de urbanização e melhorar a qualidade de vida nessas regiões.

Uma das alternativas que vem sendo estudada e aplicada em alguns países como Alemanha, Itália, Inglaterra, Estados Unidos e Canadá é a adoção do sistema denominado de telhado verde. Este sistema se aplica muito bem em áreas densamente povoadas já que não necessita de grandes intervenções e adaptações, mas que apresenta resultados satisfatórios no que diz respeito ao conforto térmico da edificação e melhora da qualidade do ar. Além destes benefícios possui elevada capacidade de retenção e retardo do escoamento de água da chuva, característica

que potencializa o sistema no sentido de atuar de forma direta no sistema de drenagem urbana, agindo de forma sustentável na gestão dos recursos hídricos minimizando os impactos e interferências no meio urbano.

## 1.1 JUSTIFICATIVA

Diante da elevada frequência de eventos de alagamentos nos centros urbanos, gerados pelo intenso processo de urbanização e impermeabilização do solo, surge a necessidade de se intensificar as pesquisas visando encontrar alternativas viáveis e sustentáveis que promovam redução dos impactos gerados por tais eventos.

## 1.2 OBJETIVOS

A seguir estão elencados os principais objetivos que nortearão as atividades de pesquisa.

### 1.2.1 Objetivos Gerais

Avaliar a viabilidade da utilização do telhado verde como agente integrante do sistema de drenagem urbana.

### 1.2.2 Objetivos Específicos

- a) Ampliar os estudos sobre a capacidade de retenção e aproveitamento de águas pluviais por meio de diferentes estruturas de telhados verdes.
- b) Avaliar a capacidade da retenção de água de duas estruturas de telhado verde, com variação da inclinação, submetidas a eventos de chuva simulados.
- c) Verificar o desempenho do telhado verde como medida de redução do escoamento superficial, atuando no sistema de drenagem urbana.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A adoção de coberturas verdes tem sido utilizada e aprimorada ao longo do desenvolvimento da humanidade, com registros de sua presença em edificações desde os anos 600 a.C. Isso se deve principalmente pela percepção humana dos benefícios da vegetação no contexto das edificações. Esta percepção que inicia de forma empírica passa a ser foco de pesquisas no âmbito de ciências que integram a preocupação com o bem-estar humano em relação ao ser ambiente de vivência.

Estudos como os realizados por Morais (2004), Baldessar (2012) e Saadatian *et al.* (2013) comprovam os benefícios deste sistema e o desenvolvimento de novas tecnologias que potencializam os efeitos dessas estruturas focadas no conforto térmico, qualidade e humidade do ar e grande potencial de retenção e aproveitamento da água da chuva.

Para compreender os efeitos dos telhados verdes no sistema de drenagem urbana se faz necessário primeiro compreender seu processo de formação, bem como as metodologias empregadas para seu funcionamento. Assim, como a temática é tratada pelos diversos setores da sociedade, uma vez que faz parte do cotidiano de toda a população e pode impactar de forma significativa nas atividades realizadas nos centros urbanos, a pesquisa segue com o aprofundamento das características do sistema de telhado verde.

### 2.1 DRENAGEM URBANA

Durante o processo de urbanização a maioria das cidades foram estabelecidas próximas dos cursos d'água, pela facilidade do abastecimento de água, questões sanitárias, comércio e até segurança. Isso pode ser observado no processo de formação de vários centros que vão desde as antigas civilizações até os centros urbanos recentemente estabelecidos.

De acordo com Baptista *et al.* (2005) inicialmente foram tomadas medidas higienistas na Europa durante o século XIX, com objetivo de combater novas epidemias de doenças de veiculação hídrica, uma vez que nesse período não existiam estruturas para coleta e transporte dos efluentes.

O conceito higienista consiste na rápida captação e transporte para locais afastados dos centros urbanos dos efluentes oriundos das residências e águas

pluviais. Por meio de uma única canalização ou conduto para todos os efluentes, em sua maioria localizados abaixo das vias de tráfego, ocorre a descarga destes efluentes de forma padronizada. Este método acabou sendo o primeiro no âmbito da drenagem urbana e coleta de esgoto efetivamente implementado no Brasil, logo após a proclamação da República (BAPTISTA *et al.*, 2005).

Posteriormente, no início do século XX, pelas necessidades geradas advindas do crescimento do processo industrial no país associado com o crescimento econômico, o engenheiro Francisco Saturnino Rodrigues de Brito propõe a implantação de sistemas separados para a captação da drenagem urbana e esgotamento sanitário, desenvolvendo o sistema separador absoluto utilizado maciçamente até os dias atuais. A maior vantagem desse sistema quando comparado com o método unificado, desenvolvido nos países europeus com índices pluviométricos inferiores aos encontrados no Brasil com clima tropical, se deu pelo menor custo de implantação das tubulações de esgotamento sanitário, uma vez que se fossem dimensionadas para suportar também os grandes volumes de chuvas torrenciais apresentariam custos demasiadamente superiores (TUCCI, 2008).

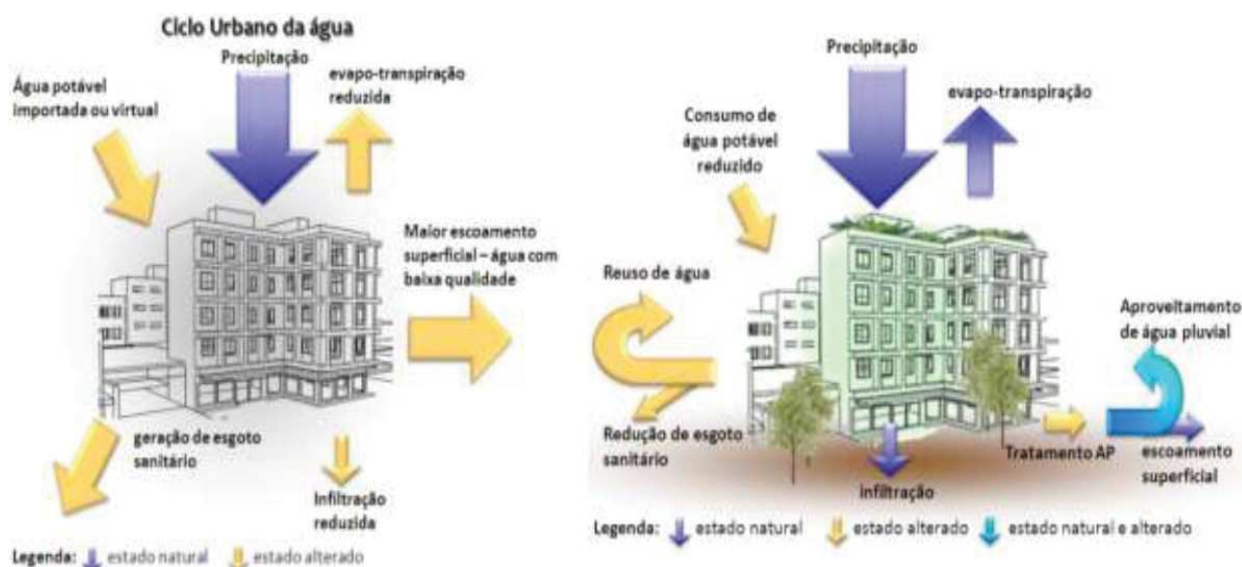
De acordo com Faria (2015), os projetos de saneamento básico e drenagem pluvial realizados por Saturnino de Brito buscavam a harmonização dos canais de drenagem urbana com a arquitetura e o paisagismo já existentes, como ocorreu nos projetos realizados para as cidades de Santos e Recife, nos estados de São Paulo e Pernambuco respectivamente. Compreende-se que para as necessidades da época considerando ainda o grau de urbanização das cidades por volta dos anos 1930 os métodos aplicados eram eficientes, contudo a grande problemática tem início com o passar dos anos, adentrando a década de 1970, quando a temática da drenagem urbana continua sendo tratada da mesma forma por parte do poder público, com o agravante do baixo investimento em redes drenagem pluvial, que acabou ficando em segundo plano, sendo dado prioridade para redes de coleta de esgoto.

Conforme SNSA (2005), a partir dos anos de 1970 com uso de técnicas corretivas e compensatórias passou-se a tratar a gestão da drenagem como instrumento de controle para mitigação de impactos e melhora na qualidade desses volumes de água. Neste caso o uso de técnicas corretivas e compensatórias se fez com a adoção de estruturas que promovessem a retenção do escoamento, promovendo a amortização das vazões de pico. De acordo com Forgiarini *et al.* (2007), essa forma de planejamento da drenagem urbana se baseou nas técnicas de

*Best Management Practices* (BMPs), sendo muito difundidas e adotadas em todo o mundo para a gestão do escoamento pluvial.

Foi apenas a partir da década de 1990 que se passou a ter uma visão sustentável do manejo das águas pluviais nos sistemas de drenagem urbana SNSA (2005). Essa visão sustentável se baseia no planejamento da ocupação do espaço urbano respeitando os mecanismos naturais do escoamento, controle dos micropoluentes e o desenvolvimento sustentável do escoamento pluvial por meio da recuperação da infiltração, conforme apresentado na Figura 1. Forgiarini *et al.* (2007) afirmam que essas técnicas vêm sendo estudadas e desenvolvidas em diversos países com diferentes nomenclaturas de acordo com a região do globo. No Brasil tem sido utilizada a técnica *Low Impact Development* (LID) desenvolvida inicialmente no Canadá e Estados Unidos, no Brasil passou a ser denominada como Desenvolvimento Urbano de Baixo Impacto.

Figura 1 - Melhor aproveitamento da água da chuva por meio de técnicas LID.



Fonte: Ibiapina *et al.* (2011).

De modo geral segundo os autores, as técnicas de LID se diferem das BMPs, também conhecidas como “Técnicas Compensatórias”, pelo fato de compreenderem o processo de drenagem urbana de forma mais ampla, incluindo em suas diretrizes o melhor desenvolvimento dos espaços urbanos de forma a minimizar a impermeabilização do solo, além de maximizar o uso do solo e vegetação nativos agindo mais próximo das áreas onde ocorrem as interferências no meio natural. Por outro lado, as técnicas BMPs atuam de forma menos abrangente e mais distante da



origem do escoamento necessitando de estruturas mais robustas que, por sua vez causam maior interferência no meio urbano.

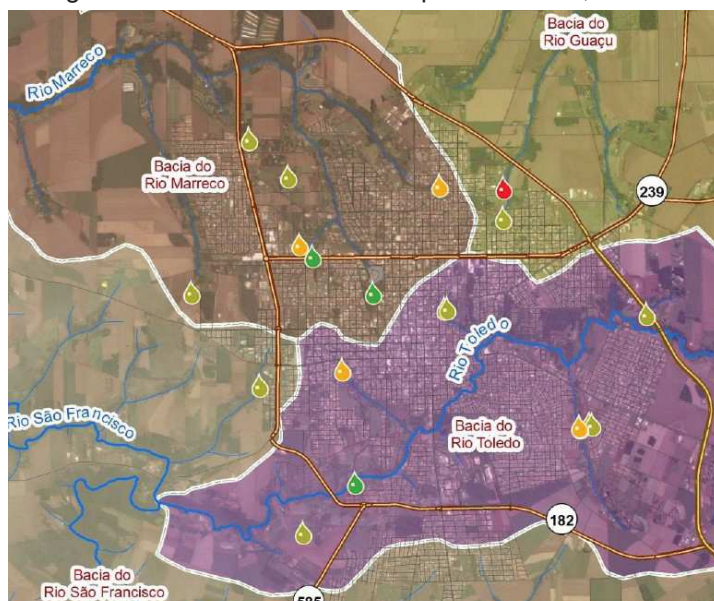
Algumas cidades brasileiras como São Paulo, Porto Alegre e Canoas reconhecem o uso do telhado e jardins verticais como medidas de compensação ambiental para construções urbanas. Por sua vez, as cidades de Goiânia, Guarulhos, Salvador e Santos promovem o incentivo do uso de técnicas LID por meio da redução das tarifas do Imposto Territorial Urbano (IPTU), já os municípios de Recife, Guarulhos e João Pessoa tornam obrigatório o uso do telhado verde para o licenciamento de novas edificações que se enquadrem aos critérios estabelecidos por cada município.

A seguir serão elencados alguns pontos sobre as políticas públicas no campo da drenagem urbana para o município de Toledo no estado do Paraná, cidade na qual serão realizados estudos experimentais com objetivo de validar a eficácia do telhado verde como técnica de drenagem urbana, atendendo aos preceitos das técnicas de Desenvolvimento Urbano de Baixo Impacto.

### 2.1.1 Drenagem Urbana para a Cidade de Toledo, Paraná

O município está localizado na região oeste do estado do Paraná que segundo dados do último censo do IBGE no ano de 2010, abrigava uma população de 119.313 habitantes, com perspectiva de atingir no ano de 2030 um total de 185.230 habitantes, sendo 173.089 destes residentes na área urbana no município (PMRH, 2017). Ainda de acordo com o Plano Municipal de Recursos Hídricos (PMRH) do município, toda extensão territorial faz parte da Bacia Hidrográfica do Paraná 3, a qual faz parte da Bacia Hidrográfica do Paraná, compreendida pela ecorregião aquática Alto Paraná. No âmbito do território urbano da cidade estão compreendidas Sub-bacias dos rios Guaçu, Marreco, São Francisco e Toledo, conforme apresentado na Figura 2.

Figura 2 - Sub-bacias do município de Toledo, Paraná.



Fonte: PMRH (2017).

Durante análise do plano diretor, o qual apresenta as ações e metas do poder público até o ano de 2050, causa preocupação o modo como estão previstos os investimentos para as políticas de drenagem urbana. Esta preocupação se dá pelo fato de serem como metas, contemplando apenas ações que ainda remetem a política higienista, com emprego de técnicas BMPs, estando o mais próximo das técnicas LID a instalação de pavimentos drenantes em espaços públicos. A Tabela 1 apresenta as principais metas para drenagem urbana presentes no Plano Diretor Municipal – Toledo 2050.

Tabela 1 - Metas do Plano Diretor Toledo 2050 para drenagem urbana.

Área de atuação	Meta	Ações	Prazo
Políticas de Urbanismo	Execução e manutenção de Galerias pluviais	Melhorias no sistema de drenagem ineficiente e implantação onde não existe. Realizar manutenção pra eficácia do sistema.	2017 a 2020
Meio Ambiente	Até 2050, implantar sistema de galeria pluvial em toda a área urbana da sede e distritos do município.	Implementar o plano de drenagem de águas pluviais	2050
Meio Ambiente	Elaborar o Plano Municipal de Drenagem Urbana da cidade e distritos, logo após a conclusão do Plano de Recursos Hídricos.	Contratar empresa para elaborar o Plano.	2018 a 2019

Fonte: Plano Diretor Municipal – Toledo 2050 (2016).

Passadas três décadas desde o início dos estudos acerca das temáticas que abordam o desenvolvimento urbano de forma mais sustentável, mesmo com todo material presente na literatura como Baptista *et al.* (2005), Forgiarini *et al.* (2007), Tucci (2008) entre outros, percebe-se que a temática ainda não tem sido tratada de acordo com sua importância por muitos gestores.

Durante a elaboração do atual PMRH, segundo o próprio plano, foi realizada análise da gestão dos recursos hídricos do município de acordo com a metodologia SWOT, sigla da língua inglesa para Forças (*Strengths*), Fraquezas (*Weaknesses*), Oportunidades (*Opportunities*) e Ameaças (*Threats*), que para a ocorrência de eventos críticos, considerados aqueles acidentes ambientais que possam causar danos aos recursos hídricos, foi listada como fraqueza a inexistência de um plano municipal de drenagem urbana.

Em agosto de 2017 foi publicado o Manual de Drenagem Urbana em seu primeiro volume, que já apresenta ações LID, definindo como principais componentes pra tal projeto a existência de Projeto Urbanístico e Paisagístico e a definição das alternativas de drenagem e das medidas de controle atuando na fonte, micro ou macrodrenagem de modo que se possa utilizar dos condicionantes de ocupação, priorizando o aumento da infiltração e o armazenamento.

Dentro do escopo das medidas de Desenvolvimento Urbano de Baixo Impacto destaca-se o uso do telhado verde, estrutura que atua na retenção do escoamento dos volumes precipitados e ainda apresenta características que atuam na melhoria do conforto térmico das edificações, podendo ainda quando utilizado em larga escala, atuar na alteração e controle do microclima das regiões densamente povoadas. Medida de controle que ainda não é citada ou sugerida no âmbito municipal, reforçando a necessidade da realização de pesquisas e estudos acerca desta temática.

## 2.2 TELHADO VERDE

As coberturas verdes já vem sendo utilizadas em construções há milhares de anos, principalmente pelo conforto térmico proporcionado pelas camadas de solo e vegetação. Segundo Osmundson (1999, *apud* Moraes 2004), os primeiros registros históricos que tratam do uso de jardins suspensos em zigurates na antiga Mesopotâmia, construídos por volta de 600 a.C., o mais preservado destas

estruturas é o zigurate de Nanna, na antiga cidade de Ur, atual sul do Iraque (Figura 3).

Figura 3 - Zigurate de Nanna.



Fonte: Morais (2004).

Os telhados verdes estruturados e utilizados nos dias de hoje foram inicialmente criados e difundidos na Alemanha, obtiveram ampla aceitação no território Europeu na década de 60, representando sinal de bom gosto e visual paisagístico, com maior enfoque em questões arquitetônicas e paisagísticas (MORAIS, 2004).

O telhado verde é caracterizado por uma cobertura vegetal constituída por gramíneas e demais espécies de vegetações de pequeno ou até médio porte. A *National Roofing Contractors Association* (NRCA) dos Estados Unidos, define o telhado verde como um sistema no qual a vegetação aplicada sobre uma camada de substrato, colocado em qualquer nível impermeabilizado da estrutura, composto por uma barreira de proteção das raízes, uma camada de drenagem e uma camada de isolamento térmico.

A NRCA lançou o *Green Roof Systems Manual* (2007), que fornece informações técnicas referentes ao projeto e instalação de sistemas de qualidade para telhados verdes. O objetivo do manual é apresentar os aspectos de sistema de impermeabilização e as características dos componentes do sistema que estão relacionados ao meio de crescimento, camada de proteção contra raízes, reservatório e à própria impermeabilização.

### 2.2.1 Classificação dos Tipos de Telhado Verde

A *International Green Roof Association* (IGRA), divide o telhado verde em três categorias, distintas pela densidade de plantio, tipo de vegetação utilizada, frequência de irrigação e manutenção e ainda, capacidade estrutural do telhado. Conforme as características apresentadas por cada tipo de estrutura os telhados verdes são classificados da seguinte forma:

1 - Extensiva: ideal para ser empregado em locais de acesso restrito, exige baixa manutenção e dispensa irrigação já que faz o uso de vegetações resistentes às intempéries, sendo estas de pequeno porte como gramíneas e forrações;

Figura 4 - Telhados verdes extensivos.



Fonte: IGRA (2018).

2 - Semiextensiva: indicado para locais com maior finalidade paisagística, exige maior manutenção, irrigação periódica, apresenta custos maiores. Aplica-se vegetação de característica ornamental, porém de porte baixo como forrações e arbustos.

Figura 5 - Telhados verdes semiextensivos.



Fonte: IGRA (2018).

3 - Intensiva: deve ser empregado em locais com estrutura preparada para suportar elevadas cargas, exige manutenção e irrigação frequentes e apresenta custos elevados devido à sua estrutura e materiais empregados. Nesta tipologia permite-se a inserção de vegetação de médio e grande porte como arbustos e árvores.

Figura 6 - Telhados verdes intensivos.



Fonte: IGRA (2018).

O Quadro 1 apresenta as principais características que influenciam na classificação das estruturas de telhado verde, segundo a IGRA.

Quadro 1 - Classificação em relação ao tipo.

	<b>Extensivo</b>	<b>Semiextensivo</b>	<b>Intensivo</b>
<b>Manutenção</b>	Baixa	Periódica	Alta
<b>Irrigação</b>	Não	Periódica	Regularmente
<b>Vegetação</b>	<i>Moss, Sedum</i> , ervas e gramas	Gramas, ervas e Arbustos	Gramados perenes, arbustos e árvores
<b>Altura (mm)</b>	60 - 200	120 – 250	150 – 400, >1000 <sup>(1)</sup>
<b>Peso (kg.m<sup>-2</sup>)</b>	60 - 150	120 - 250	180 - 500
<b>Custos</b>	Baixo	Médio	Alto
<b>Tipo de uso</b>	Camada de proteção ecológica	Telhado verde projetado	Parque como jardim

<sup>(1)</sup> Geralmente utilizado em garagens subterrâneas.

Fonte: Adaptado de IGRA (2018).

Os textos encontrados na literatura nacional classificam os telhados verdes em dois grupos, os telhados verdes intensivos e os extensivos. As classificações encontradas fazem referência com o que é definido por instituições e entidades internacionais que tratam sobre o assunto.

Segundo Krebs (2005) e Oliveira (2009) os telhados verdes intensivos, ou acessíveis, são aqueles com camadas de substratos superiores a 20 cm, restritos às coberturas planas. Eles funcionam como jardins no topo dos edifícios: abertos ao uso de pessoas, fazem a função de uma área de recreação, proporcionando benefícios sociais aos seus usuários, agregando valor comercial ao edifício. Utilizam várias espécies de plantas, canteiros e até mesmo pequenos lagos, por essas razões exigem fortes elementos estruturais para suportar seu peso, havendo a necessidade de manutenções periódicas. Devido às características especiais necessárias para mantê-los são menos comuns do que os telhados extensivos.

Já os telhados extensivos, inacessíveis, possuem uma camada de substrato menor, geralmente próxima de 10 cm, e podem ser executados tanto em coberturas planas, quanto inclinadas. A vegetação desse tipo de cobertura é resistente e rasteira, com abastecimento de água e nutrientes por processos naturais, dispensando manutenções periódicas (KREBS, 2005; OLIVEIRA, 2009).

### 2.2.2 Composição Estrutural

Para a implantação de telhados verdes, de acordo com Costa *et al.* (2012), o projeto da obra exige a instalação de estrutura específica na cobertura da casa. Caso o telhado seja simplesmente uma laje, é preciso impermeabilizar; já se for feito de telhas de cerâmica, é preciso retirá-las e colocar placas de compensado que servirão de base para a cobertura vegetal, onde serão colocados a terra e o adubo para o crescimento das plantas.

Segundo levantamento bibliográfico realizado, estando de acordo com várias definições presentes na literatura como Krebs (2005), Oliveira (2009) e Snodgrass e McIntyre (2010), os elementos básicos necessários para compor a estrutura dos telhados verdes são:

**1 - Laje e Camada impermeabilizante:** elemento estrutural onde devem ser consideradas as cargas permanentes e as cargas acidentais; também pode ser utilizado um outro suporte estrutural. Por sua vez a camada impermeabilizante tem função de proteger o elemento estrutural de infiltrações; podem ser utilizados diferentes materiais como betuminosos e sintéticos.

**2 - Isolante térmico e armazenamento:** é utilizado de acordo com a incidência de energia solar que a cobertura absorve; poliestireno extrudado pode ser

utilizado como material isolante térmico. Contudo, existem módulos para o armazenamento de água que também realizam a função de isolante térmico, já que a água neles armazenada possui um alto valor de calor específico (necessitando de uma grande quantidade de energia para mudança de temperatura), além da elevada capacidade de armazenamento que pode chegar a 50 l/m<sup>2</sup> em alguns módulos já comercializados.

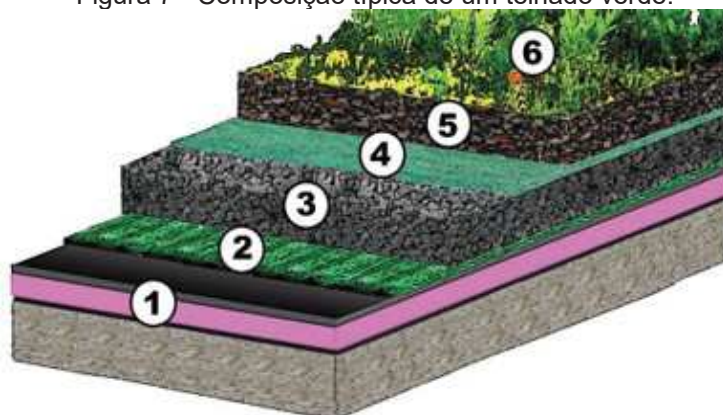
**3 - Camada drenante:** tem como função dar vazão ao excesso de água no solo; pode ser constituída de argila expandida, brita ou seixos de diâmetros semelhantes, sendo fundamental para o sistema. Sua espessura pode variar de 5 cm a 10 cm;

**4 - Camada filtrante:** evita que a água das chuvas promova o carreamento de solo da camada de substrato, utiliza-se normalmente uma manta geotêxtil que impede a passagem de substratos finos;

**5 - Solo:** substrato orgânico que deve possuir boa drenagem, de preferência um solo não argiloso que apresente uma boa composição mineral de nutrientes para o sucesso das plantas, a espessura varia de acordo com o tamanho das plantas, quanto maior forem as plantas, maior será a sua camada de solo, sendo comum o uso de “terra preta” uma composição de solos muito utilizado para jardinagem.

**6 - Vegetação:** consiste na parte vegetal propriamente dita; para a sua escolha é necessário o conhecimento do clima local, o tipo de substrato a ser utilizado e tipo de manutenção que será adotada no telhado verde.

Figura 7 - Composição típica de um telhado verde.



Fonte: Snodgrass e McIntyre (2010).

A exposição detalhada do sistema de cobertura se faz necessária para que se possa compreender o processo de montagem do telhado verde o que dará apoio a



execução dos protótipos de estudo. Soma-se a este conteúdo o estudo da vegetação a ser inserida visando contemplar as tipologias propostas pelas bibliografias investigadas e que será discutido no item a seguir.

### 2.2.3 Tipos de Vegetação e Substratos

São poucas as semelhanças entre um ambiente encontrado em um telhado e um jardim convencional, ao nível do chão. O calor, a luz solar e o vento são mais intensos em um telhado e as qualidades do solo, como os conteúdos orgânicos, que são valiosos em um jardim ao nível do solo, podem ser indesejáveis em um telhado, podendo levar à degradação e perda do volume de cultura (SNODGRASS E MCINTYRE, 2010). Sob condições adversas e com restrição de muitos cuidados e manutenção várias plantas não conseguem prosperar ou até mesmo sobreviver em um ambiente com tais características.

Durante o processo de escolha do substrato e das espécies vegetais que serão aplicados em cada tipo de telhado verde devem ser determinadas e estudadas as principais características de cada vegetação, para que o tipo empregado seja capaz de sobreviver e suportar a ação dos agentes externos ao qual estará sujeita.

Para atenuar o efeito da maior incidência e intensidade dos ventos, as plantas escolhidas precisam ter uma boa ligação das raízes com o substrato, suportando a ação dos ventos e impedindo deslocamentos. No caso de telhados extensivos, com manutenção baixa, a vegetação escolhida precisa ter a capacidade de sobreviver em períodos de estiagem, além de promover uma boa evapotranspiração.

De acordo com Snodgrass e McIntyre (2010), a folhagem das plantas deve possuir superfície suficiente para sombrear o meio, impedindo a germinação de sementes de ervas daninhas, entretanto em muitos telhados percebe-se o uso de gramíneas de pequeno porte. Devem ainda ter um prazo de vida longo, ou seja, plantas perenes, para que se minimize em gastos com trocas e o desperdício de substituições. Segundo os autores um bom jardim é aquele que executa o armazenamento e movimento de água, de refrigeração, de alimentos para os polinizadores, de habitat e beleza.

Em estudo realizado por Gouvea (2008), foram levantadas as características de alguns tipos de vegetação que seriam plantadas em estruturas de telhado verde na cidade de Itamonte, região sul do estado de Minas Gerais, foram avaliados

alguns tipos de vegetação, dentre eles destaca-se a *Zoysia Japonica* (Gramma-esmeralda) de origem japonesa, provavelmente, a grama mais difundida no Brasil (Figura 8).

Figura 8 - *Zoysia Japonica* (Gramma-esmeralda).



Fonte: Gouvea (2008).

Entre as principais vantagens estão seu grande efeito ornamental, baixo índice de infestação de plantas daninhas, baixa manutenção, facilidade do plantio e a alta resposta à adubação nitrogenada. É mais rústica que as demais espécies de *zoysia*, entretanto não resiste tanto ao pisoteio e a sombra. Esse tipo de grama é muito utilizado em projeto de paisagismo a céu aberto, com muita irrigação, pois é receptiva à água. Com manutenção adequada, apenas água e sol são suficientes para manter a qualidade do gramado, sendo a grama ideal para o sol, muito embora chegue a tolerar um pequeno período de sombra. Seu crescimento é rasteiro, atingindo até os 10 cm de altura, necessita de podas periódicas.

A escolha do substrato onde serão depositadas as espécies vegetais também requer estudo prévio com relação a capacidade de nutrientes oferecida pelo composto usado, além da adaptabilidade e necessidades da vegetação empregada. Outro fator que deve ser avaliado para escolha do substrato empregado tem relação com a capacidade deste solo, ou composto formado por solo e adições com objetivo de potencializar características específicas.

Willes e Reichardt (2014) realizaram estudo a respeito as da capacidade de retenção de água por parte do substrato e sua capacidade de drenagem para assegurar as condições naturais das raízes vegetais, comparando diversos tipos de substratos encontrados no mercado especializado. Foram avaliados três tipos de turfa que segundo Cabral *et al.* (2016), são um tipo de solo enriquecido de matéria orgânica formado a partir da decomposição anaeróbica de matéria de origem vegetal

por microrganismos presentes no solo, sendo avaliadas três tipos de turfas, Turfa Preta, Turfa Vermelha e Turfa Marrom provenientes da região de Criciúma em Santa Catarina. Sendo ainda avaliados três tipos de substratos comerciais compostos por cascas de Pinus e vermiculita em diferentes proporções sendo eles Substrato para Espécies Hortícolas, Substrato para Mudas Florestais e Substrato para Mudas de Tabaco, oriundos da região de Telêmaco Borba, Paraná.

Segundo os autores, entre os substratos comerciais analisados, o Substrato para Espécies Hortícolas apresentou os maiores valores de capacidade de retenção de água e água disponível para as culturas, características importantes para o uso em telhados verdes, já que possibilitam maior intervalo entre irrigações ou chuvas. Já para as turfas, o material que apresentou o melhor conjunto de características foi a Turfa Marrom, tendo menor densidade, maior capacidade de retenção de água e água disponível para as vegetações.

Em estudo realizado por Miller (2014) na cidade de Curitiba no Paraná, foram avaliados substratos com diferentes proporções de terra, turfa, casca de arroz carbonizada e vermiculita, sendo avaliados quanto a capacidade de retenção de água e crescimento das vegetações, por meio da construção de vários protótipos. O substrato com composição de 35% de terra, 20% de turfa, 40% de casca de arroz carbonizada e 5% de vermiculita se mostrou mais adequado ao crescimento vegetação empregada, apresentando também maior retenção de água pluvial em relação aos demais, segundo a autora, sendo possível afirmar que mais ou menos terra, mais turfa ou menos vermiculita (materiais usados no protótipo) fazem diferença no comportamento de uma cobertura vegetada.

Percebe-se que a preocupação com o tipo de substrato e as espécies vegetais é uma premissa que deve ser considerada para o sucesso do telhado verde. O uso indiscriminado de espécies vegetais e substratos impróprios para estas espécies, pode comprometer a eficácia do jardim e acarretar em perdas das condições ambientais promovidas por um telhado verde de qualidade.

#### 2.2.4 Benefícios do Uso do Telhado Verde

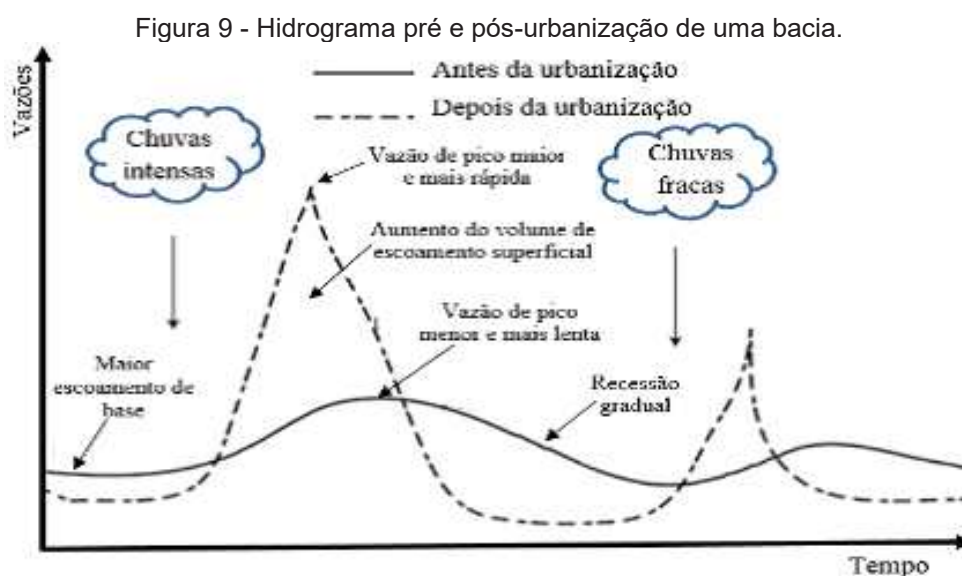
Na diversidade de estudos investigados, dentre eles Morais (2004), Cantor (2008), Baldessar (2012) e Garrido Neto (2016), pode-se obter a comprovação sobre os benefícios obtidos através do uso de telhado verde em edificações,

principalmente nas áreas urbanas. Constata-se que as melhorias após o emprego dessas estruturas interferem de forma direta na qualidade de vida das pessoas que convivem no entorno de áreas onde se adota o sistema de cobertura vegetal. Alguns destes aspectos relacionados à qualidade ambiental promovida pelo telhado verde serão elencados visando esclarecer o papel deste sistema diante da problemática ambiental urbana.

#### 2.2.4.1 Retenção da água da chuva

A implantação do Telhado Verde em edificações promove maior retenção da água da chuva, uma vez que a composição desse sistema se dá por elementos vivos. As gramíneas e demais espécies fazem o uso e retenção de água, além de materiais que retardam o escoamento, aumentando a evapotranspiração e reduzindo o volume de águas pluviais lançadas no sistema de drenagem urbana.

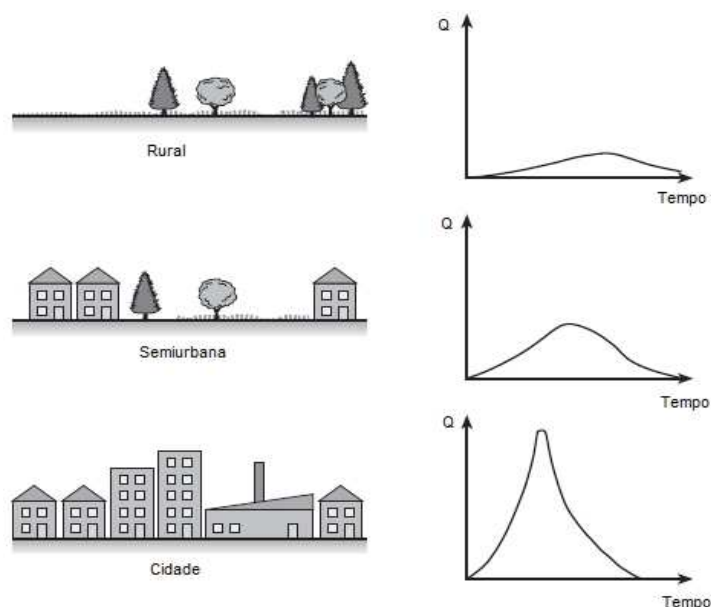
De acordo com Linsley *et al.* (1958, apud Garrido Neto 2016), em áreas urbanas o pico da cheia tende a ser maior e ocorrer de forma mais acelerada quando comparado à bacia natural, uma vez que uma maior quantidade de água fica disponível para escoar mais rapidamente, pela diminuição das retenções superficiais e impermeabilização do solo. Na Figura 9 é possível observar as diferenças entre os hidrogramas obtidos para uma mesma seção de referência em um rio que compõe a macrodrenagem de uma bacia hidrográfica, considerando um cenário pré-urbanização e outro pós-urbanização da bacia.



Fonte: Schueler (1987, apud Garrido Neto, 2016).

Na Figura 10 é possível observar a evolução da urbanização e o seu efeito no pico das vazões e tempo de permanência dos volumes precipitados, nos respectivos hidrogramas.

Figura 10 - Efeito da urbanização no hidrograma de uma bacia.



Fonte: Butler e Davies (2004, apud Garrido Neto, 2016).

Ainda segundo Cantor (2008), durante e após fortes chuvas, os materiais de planta, substrato e a camada de drenagem projetada em um telhado verde podem absorver quantidades significativas de precipitação e escoamento de águas pluviais. Em estudo realizado na cidade de Portland (EUA), foram obtidos resultados que comprovaram a retenção do volume da água entre 10 e 35% durante a estação chuvosa e de 65 a 100% durante a estação seca. Constatou-se que a redução da taxa de drenagem pode chegar a aproximadamente 35%. Como resultado destes estudos a tecnologia de telhado verde vem recebendo cada vez mais espaço e notoriedade em estudos para gestão de águas pluviais em várias regiões do mundo. O autor afirma ainda que, mesmo que a quantidade de água retida por um telhado verde seja mensurável, para que o mesmo efeito ocorra em larga escala, de forma que gere mudanças em uma bacia de drenagem, se faz necessária a adoção em massa do sistema. Este impacto cumulativo está sendo modelado em uma série de cidades, incluindo Winnipeg (Canadá), Toronto (Canadá) e Washington DC (EUA).

Em estudo realizado por VanWoert *et al.* (2005) nos Estados Unidos foram investigadas a influência da inclinação do telhado (2 e 6,5%), profundidade média da

camada de substrato (2,5; 4,0 e 6,0 cm) e tipo de cobertura adotada (cascalho, telhado extensivo sem vegetação e outro com plantas). Para quase todos os eventos de chuva natural, as plataformas vegetadas e com inclinação de 2% e espessura média de 4 cm tiveram a maior retenção média de 87%. Segundo os autores a combinação de inclinação e espessuras médias reduzidas diminui a quantidade total de escoamento superficial. Os telhados verdes além de reduzir o volume de água escoado, também atuaram na redução da velocidade de escoamento, mostrando-se uma tecnologia que deve ser considerada para todos os projetos de coberturas, especialmente aqueles projetos em áreas onde a gestão de águas pluviais é uma preocupação para os centros urbanos (VANWOERT *et al.*, 2005).

Burszta-Adamiak (2012) realizou na Universidade de Ciências da Vida e Meio Ambiente em Wrocław, na Polônia, ensaios através da construção de três módulos (laje impermeabilizada, telhado verde extensivo convencional e telhado verde extensivo com camadas adicionais de membranas e materiais drenantes) para determinação da capacidade de retenção de águas pluviais dos telhados verdes, do retardo no escoamento superficial e consequente redução no pico do hidrograma durante eventos naturais de chuva. De acordo com os resultados encontrados, foi observado que os telhados verdes possuem camadas que contribuíram para a redução da velocidade do escoamento e a redução no pico do hidrograma em comparação ao valor máximo de precipitação registrado. Ainda segundo o autor, a retenção média para 153 eventos de precipitação analisados variou de 82,5% a 85,7% para os telhados verdes.

Palla *et al.* (2008), estudaram o desempenho dos telhados verdes usando simulação hidrológica EPA *Storm Water Management Model* (SWMM) para estimar os efeitos hidrológicos de três cenários para telhados verdes hipotéticos, com 10, 20 e 100% de implementação do telhado verde em edificações na bacia hidrográfica da região de Colle Ometti cidade de Genova (Itália), onde são monitoradas a qualidade e quantidade do escoamento de águas pluviais. O modelo foi ajustado e validado com dados de um pequeno telhado verde implantado na Universidade de Genova, na Itália. Os eventos de precipitação foram estabelecidos com base em dados de pluviômetros coletados durante um período de 18 anos, com resolução de um minuto. De acordo com os autores, a implementação de telhados verdes em uma grande área pode reduzir significativamente o pico do escoamento superficial e o tempo de retardo (7 e 15 min) do volume escoado.

Durante estudo realizado por Moruzzi *et al.* (2014), foram desenvolvidos três módulos de telhado verde, todos com mesma composição e características. O estudo teve por objetivo avaliar a interferência gerada pela alteração da inclinação dos módulos e umidade antecedente na retenção de água da chuva, através da simulação de eventos de chuva com uso de aspersores, os protótipos foram montados com inclinações de 10, 20 e 30% e realizadas simulações de eventos com intensidade de aproximadamente  $103 \text{ mm.h}^{-1}$ . Segundo os autores para o telhado com inclinação de 10% foi registrado capacidade de retenção de chuvas com até 13 mm, 11,2 mm para inclinação de 20% e 10,6 mm para 30% de inclinação, ainda de acordo com Moruzzi *et al.* (2014) a inclinação e umidade antecedente são decisivas na redução do escoamento superficial.

Santos *et al.* (2013) desenvolveu uma proposta para a região norte do Brasil, na cidade de Caruaru, Pernambuco, para a coleta de dados foram utilizados três protótipos de coberturas, um com telhas de barro para simular telhados convencionais, um módulo de telhado verde em que foi adotada grama para compor a vegetação e, por fim outro módulo de telhado verde no qual foram empregados cactos de pequeno porte para composição da camada vegetal.

Os estudos se basearam na simulação de eventos chuvosos com vários períodos de duração e intensidade, determinados com base no estudo dos dados pluviométricos da região e simulação de eventos de chuva com tempo de recorrência muito elevados, com objetivo de verificar a capacidade de retenção e redução da velocidade de escoamento. Os eventos chuvosos foram simulados com uso de uma bomba hidráulica que foi ligada a uma tubulação que conduzia água para aspersores localizados sobre os módulos de coberturas.

Segundo os autores, para um evento de precipitação com intensidade de  $42 \text{ mm.h}^{-1}$  o módulo composto por grama apresentou retenção de 33,6% do volume precipitado, enquanto que o módulo em que foram empregados os cactos apresentou retenção de 32,1%, ambos superando o valor observado para o telhado convencional, que apresentou 2,3% de retenção, que de acordo com os autores está associada com a evapotranspiração e absorção por parte das telhas cerâmicas.

Em pesquisa desenvolvida por Baldessar (2012), na cidade de Curitiba, após a construção de 3 protótipos de coberturas distintas, uma com telhado verde e duas convencionais, com telhas de barro e laje impermeabilizada, constatou que a cobertura com telhado verde foi capaz de escoar apenas 30,7% de todo volume

precipitado enquanto a cobertura com telhas de barro escoou 77,3%. Esse montante retido em coberturas convencionais é normalmente destinado diretamente à rede pública de drenagem urbana, ocasionando um “superfluxo” que pode gerar inundações, quando somadas todas as contribuições das várias edificações em centros urbanos. Assim, a pesquisa demonstrou a eficácia de telhados verdes no que tange a prevenção de enchentes.

Conseqüentemente, os sistemas de captação de água de chuva podem ser dimensionados de tamanho menor, eliminando em muitas cidades a necessidade da construção de grandes reservatórios, subterrâneos ou não, para armazenar os excessos de água que ocorrem em dias de chuvas, além de prolongar a vida útil das galerias já existentes.

#### 2.2.4.2 Redução da ilha-de-calor urbano e conforto térmico da edificação

O ambiente construído dos centros urbanos, com suas variedades de materiais de cor escura, absorve o calor durante o dia em sua massa construída e no solo, em especial o asfalto, e libera-o à noite. Nestes centros, a temperatura é mais alta do que nas regiões menos urbanizadas ou rurais. A energia solar é convertida em calor que se concentra no ar em torno do edifício ocasionando, muitas vezes, a necessidade de se recorrer a sistemas de condicionamento de ar aumentando o gasto em energia (CANTOR, 2008), contribuindo para a elevação da temperatura externa, uma vez que o funcionamento dessas máquinas também gera mais calor no ambiente externo.

Em contrapartida, o emprego de vegetação nestes ambientes densamente construídos, pode ajudar no conforto térmico utilizando as propriedades térmicas das vegetações que, ao entrarem em processo de evapotranspiração acabam por minimizar a temperatura ambiente do edifício. Diante destas potencialidades, caso os telhados verdes fossem instalados em larga escala teriam um potencial para mitigar o efeito de ilha-de-calor (BALDESSAR, 2012). Este benefício pode ser observado em centros urbanos que contam com áreas de mata como bosques e pequenos parques no seu entorno, nestes espaços é perceptível a redução da temperatura e melhor qualidade do ar.

Em revisão bibliográfica realizada, Saadatian *et al.* (2013), demonstram através de gráficos comparativos que o emprego de características arquitetônicas



voltadas para estratégias bioclimáticas geram economia de energia pelo seu melhor isolamento. Ainda atuam melhorando o conforto térmico dos ocupantes em clima quente, pois reduzem a temperatura do edifício em até 20°C, absorvendo 60% deles através da fotossíntese. Soma-se a isto o fato de reduzirem a energia gasta com ar-condicionado entre 25% e 80% quando comparado a outros telhados.

Kolb (2003), com base nos estudos realizados na cidade de Veitshöchheim, na Alemanha, comprovou que os telhados verdes são capazes de reduzir significativamente a demanda por refrigeração, quando comparado com os telhados convencionais sem cobertura verde. A vegetação composta por gramíneas e pequenos arbustos instalados em coberturas pode reduzir a amplitude térmica em 60% a 90%.

Morais (2004) avaliou na cidade de São Carlos, São Paulo a influência do telhado verde no conforto térmico das edificações por meio da elaboração de dois protótipos de grande porte, instalados sobre uma cobertura (laje maciça) já existente, comparando as temperaturas nas faces externas e internas de uma cobertura com vegetação e outra sem qualquer tipo de vegetação ou cobrimento. Segundo a autora para os períodos de clima mais frio a cobertura vegetal proporcionou amplitude térmica 70% menor quando comparada com a estrutura convencional, já nos períodos mais quentes apresentou temperaturas internas 5° C menores. Machado (2016), em estudo realizado na cidade de Toledo, Paraná avaliou a influência do telhado verde no conforto térmico por meio da construção de pequenos protótipos com cobertura verde e telhas de fibrocimento, constatando que o telhado verde promoveu a redução da flutuação térmica diária em cerca de 68% e 73% no calor e no frio, respectivamente.

São significativos os resultados provenientes do emprego de telhado verde como estrutura de auxílio no controle térmico no interior de edificações, atuando na manutenção da temperatura interna, contribuindo para a redução dos gastos com energia para a climatização dos ambientes, contribuindo ainda para o controle da temperatura e umidade nos ambientes externos às edificações.

#### 2.2.4.3 Econômico

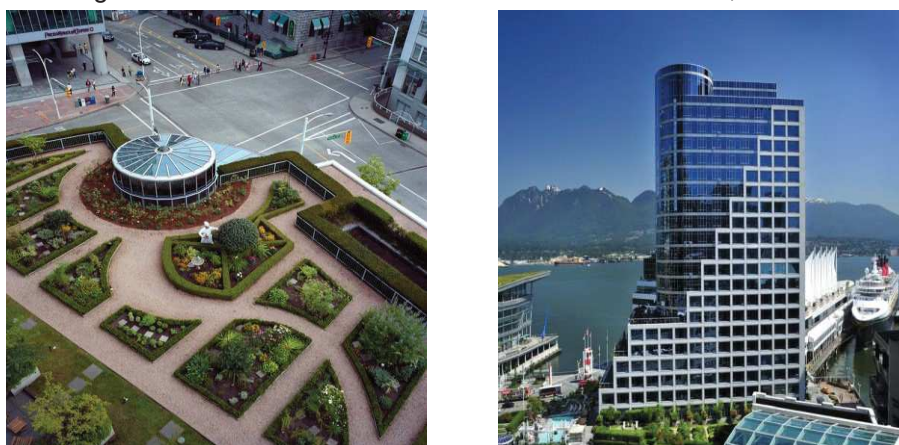
Para Silva (2011), o aspecto econômico é mais um dos fatores que tornam o telhado verde um sistema construtivo eficiente, já que se torna possível a

“recuperação” de um espaço que normalmente não é utilizado nas edificações, as áreas de telhado, sendo possível promover seu uso e conseqüentemente torná-los habitáveis, aumentando a área dos imóveis e conseqüentemente seu valor de mercado.

Ainda no que tange o aspecto econômico, o telhado verde tornou-se um componente muito utilizado em edificações que buscam certificações internacionais de desempenho energético, uma vez que edifícios que possuem essas certificações tem seu valor de mercado majorado. Uma das classificações mais conhecidas e almejadas no mercado é o selo LEED (*Leadership in Energy and Environmental Design*), classificação internacional que qualifica edificações quanto ao seu nível de eficiência energética, que avalia todos os materiais empregados durante a construção e operação das edificações, visando o melhor aproveitamento energético e medidas construtivas que sejam ecologicamente corretas.

Existem ainda outros tipos de ocupação e uso para as coberturas verdes, como o que ocorre no Hotel Fairmont Waterfront (Figura 11), em Vancouver no Canadá, com 2100 m<sup>2</sup> de jardim localizado na cobertura de uma parte térrea, aproveitamento de espaço que foi pioneiro no estado. Segundo Rocha (2014), a economia gerada pelo cultivo de mais de sessenta variedades de ervas, legumes, frutas e flores comestíveis, além de cerca de dez espécies de aves, chegou na casa de US\$ 30.000 (trinta mil dólares).

Figura 11 - Telhado verde do Hotel Fairmont Waterfront, Canadá.



Fonte: (www.booking.com; 2018)

Em estudo desenvolvido por Cordoni Savi (2012) foram analisados os custos de implantação e peso de sete sistemas de coberturas, diferentes entre si, sendo

três sistemas de coberturas convencionais e quatro sistemas de coberturas nas quais foram empregados diferentes tipos de telhados verdes. A Tabela 2 apresenta os resultados obtidos pela autora, onde os dados das colunas proporção representam a proporção da variável correspondente a linha do sistema analisado em relação ao sistema que apresentou o menor valor de custo ou peso.

Tabela 2 - Comparativo de custos/peso entre coberturas verdes e convencionais.

Sistemas		Custos		Peso	
		R\$/m <sup>2</sup>	Proporção	kg/m <sup>2</sup>	Proporção
Sistema 01	Laje pré-moldada com cobertura em telha cerâmica	249,55	1,37	398	4,18
Sistema 02	Laje pré-moldada com sombreamento	202,68	1,11	324	3,48
Sistema 03	Telhado coberto com telha cerâmica e acabamento em forro de madeira	195,09	1,07	114	1,23
Sistema 04	Telhado verde: Sistema Hexa	275,25	1,51	93	1,00
Sistema 05	Sistema Modular	271,32	1,49	112	1,21
Sistema 06	Sistema vernacular	182,06	1,00	126	1,36
Sistema 07	Telhado verde vernacular sobre laje pré-moldada	225,32	1,24	401	4,31

Fonte: Adaptado de Cordoni Savi (2012).

Para a composição dos custos Cordoni Savi (2012) realizou levantamento no qual foram considerados gastos com materiais e mão de obra para execução da cobertura de uma residência, totalizando uma área de cobertura de 57,60 m<sup>2</sup>.

Quando analisados os sistemas 01 e 07 percebe-se que o telhado verde apresenta custo de implantação inferior ao sistema convencional de cobertura, apresentando ainda peso similar entre os sistemas, não interferindo no custo e dimensionamento da estrutura. O mesmo não ocorre ao se comparar os sistemas 03, 04, 05 e 06 onde o sistema convencional apresenta vantagem econômica, tornando-se mais recomendado em relação custo e peso de cobertura.

Após este resgate de informações percebe-se a potencialidade deste sistema enquanto agente ambiental. Os benefícios da adoção do telhado verde extrapolam a simples questão climática e atuam de forma incisiva na qualidade de vida da população que habita o ambiente urbano. Sendo assim a pesquisa segue de forma empírica, baseada nos estudos já realizados.

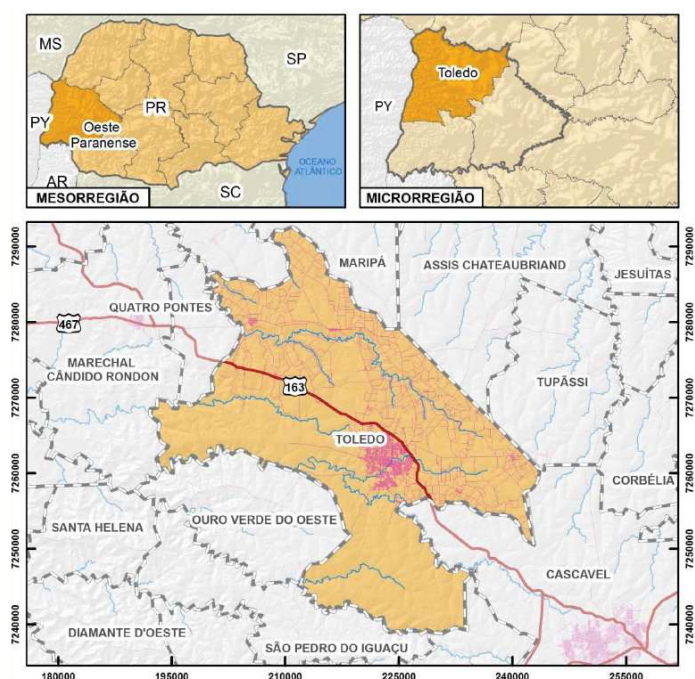
### 3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Durante o processo de revisão da literatura foram encontradas diversas publicações que tratam sobre a retenção e retardo no escoamento de água da chuva por meio de telhados verdes. Com base nas várias metodologias e estudos analisados, optou-se pela realização de estudos experimentais e simulações computacionais, sendo o primeiro fundamentado na construção de quatro protótipos de coberturas (três coberturas vegetais e uma convencional) e o segundo baseado na simulação de cenários com uso do telhado verde.

#### 3.1 CARACTERIZAÇÃO DO LOCAL DE ESTUDO

Os estudos experimentais e montagem dos protótipos foram realizados na cidade de Toledo no estado no Paraná, Brasil. De acordo com PMRH (2017), o município contém uma área total de aproximadamente 1199 km<sup>2</sup>, 560 m de altitude em relação ao nível do mar, latitude 24°42'46''S e longitude 53°44'35''W, localizado na região Oeste do Paraná, numa área conhecida como planalto de Guarapuava ou terceiro planalto paranaense, conforme Figura 12.

Figura 12 - Localização da cidade de Toledo - Pr.



Fonte: PMRH (2017).

Ainda de acordo com o manual, Toledo apresenta clima temperado chuvoso, moderadamente quente e sem estação seca, com precipitação média anual que varia de 1600 a 2000 mm e evapotranspiração média anual na faixa de 1000 a 1200 mm apresentando temperatura média e umidade relativa do ar média anual de 21° C e 75% respectivamente.

Os protótipos foram montados e instalados na Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Toledo (UTFPR-TD), pela necessidade do uso da estrutura, instalações, equipamentos e ferramentas presentes nos laboratórios do curso de Engenharia Civil.

## 3.2 PROTÓTIPOS

Para a realização dos ensaios e coleta dos dados, foram construídos três módulos, em escala reduzida, de coberturas verdes com diferentes inclinações, além da a construção de uma cobertura, também em escala reduzida, que simule método convencional de cobertura utilizadas na região. A seguir é detalhada a metodologia de construção aplicada na montagem dos protótipos.

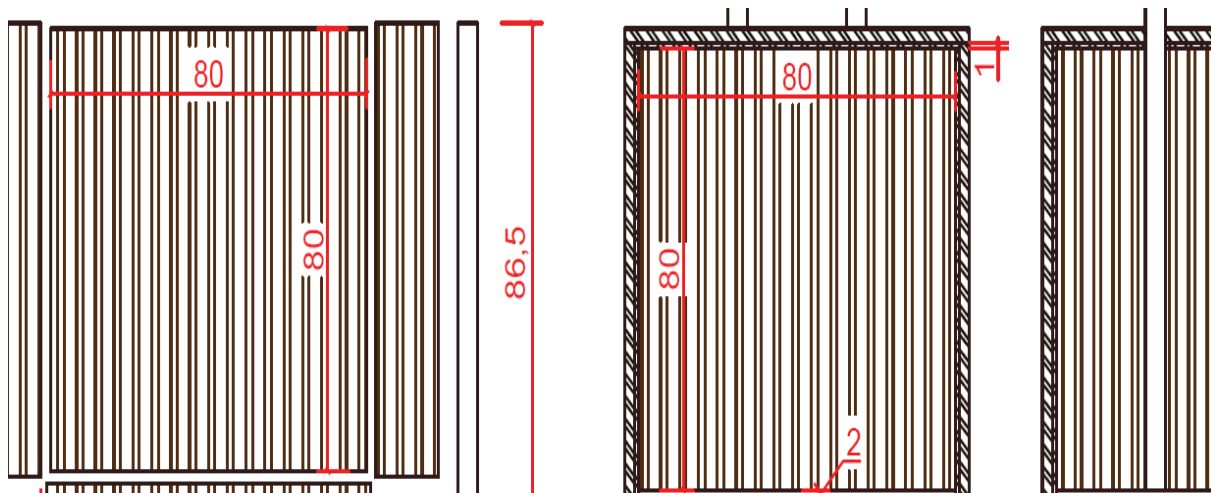
### 3.2.1 Estruturas de Suporte

Foi utilizada parte da estrutura construída por Kreutzfeld (2018) como base para instalação dos módulos, composta por caibros de madeira com 10 centímetros de diâmetro para os pilares e fundação. A base que serviu de suporte para os módulos foi construída, segundo a autora, com uso de tábuas com 2,54 centímetros de espessura, assentadas sobre vigas de sustentação e construídas com mesmo material, pregadas aos caibros, formando um pequeno pórtico de base inclinada, com 2% de inclinação.

As caixas quadradas que serviram como base para a instalação das estruturas de telhado verde foram montadas com madeirite de 10 milímetros de espessura e pregadas com prego com cabeça Gerdau (6x6), para realizar o travamento nas laterais, aumentar a rigidez do fundo e auxiliar na fixação das caixas inclinadas há estrutura de suporte foram utilizadas ripas de madeira com 2,5 centímetros de espessura e 5 centímetros de altura, fixadas com pregos com cabeça Gerdau (8x10). Todas as caixas foram construídas com 0,64 m<sup>2</sup> de área útil

na base e 15 centímetros de altura útil. A Figura 13 mostra como foram montadas as caixas de suporte.

Figura 13 - Caixas de suporte dos módulos de cobertura vegetal.



Fonte: Autor (2019).

As caixas foram montadas com um vão de 2 centímetros de largura ao longo de toda a borda que fosse assentada na cota mais baixa da estrutura de suporte, servindo como exutório de cada módulo, conforme apresentado na Figura 13.

Concluído o processo de montagem das caixas foi realizada a impermeabilização dos módulos com uso de lona plástica, fixada em todo interior e parte da superfície externa das caixas, foram utilizados percevejos latonados para fixação da lona na estrutura de madeira. Para evitar que a camada drenante pudesse passar pelo vão destinado a drenagem, foi instalado um trecho de tela sobre a lona plástica, permitindo apenas a passagem de água pelo vão, também fixada com percevejos, conforme mostrado na Figura 14.

Figura 14 - Tela de proteção.

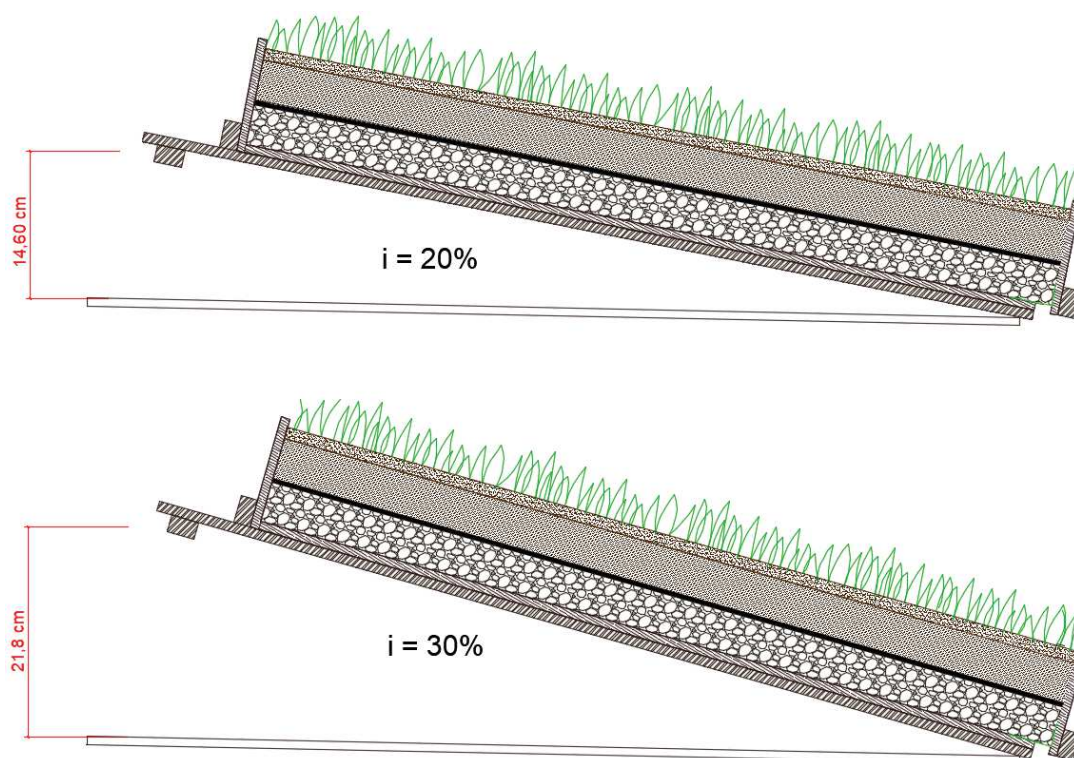


Fonte: Autor (2019).

Os protótipos foram fixados sobre a estrutura de suporte com diferentes inclinações, como o módulo que simula coberturas planas necessitava de uma inclinação de 2%, comumente utilizada para lajes impermeabilizadas a caixa alocada sobre a base de suporte, dispensando qualquer modificação para garantir a inclinação, já que, de acordo com Kreutzfeld (2018) a base foi montada com inclinação de 2%.

Já os módulos inclinados foram montados com inclinações de 20 e 30%, para simular coberturas com telhas de fibrocimento e telhas cerâmicas, respectivamente, atendendo as diretrizes das normativas vigentes para construção de coberturas de acordo com o material de cobrimento, sendo elas as NBR 7196 e NBR 8039. A Figura 15 traz um esquema que representa como foi realizada a fixação dos módulos inclinados.

Figura 15 - Módulos inclinados.



Fonte: Autor (2019).

Para garantir as inclinações necessária a cada módulo, foram fixadas ripas travadas nas laterais da estrutura de suporte, alterando a altura em relação a base da mesa, como apresentado na Figura 16. Cabe ressaltar que as calhas metálicas utilizadas para o estudo já estavam fixadas à estrutura de suporte, montadas por Kreutzfeld (2018). Como as calhas possuem um metro de comprimento e os

módulos 80 centímetros de largura, foi possível fazer a reutilização dessas calhas, já que atendem às demandas da nova estrutura.

Figura 16 - Fixação dos módulos inclinados.



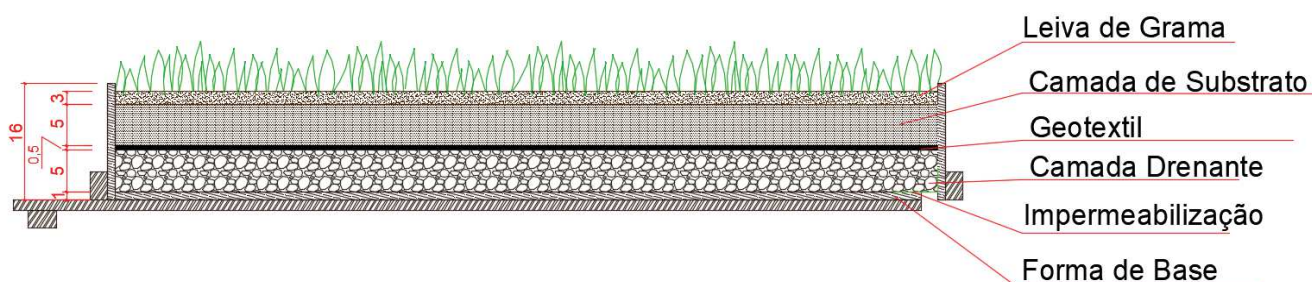
Fonte: Autor (2019).

Finalizados os processos de montagem, impermeabilização e fixação dos módulos no pórtico de suporte, foram realizados os procedimentos referentes à montagem das demais camadas que compõe os módulos de telhado verde, descritos no item a seguir.

### 3.2.2 Módulos de Cobertura

Todos os três módulos de telhado verde foram montados de forma análoga, mantendo as mesmas características e composição dos materiais empregados, tendo apenas variação na inclinação dos módulos. A Figura 17 apresenta um corte esquemático com as camadas que compõe os módulos desenvolvidos.

Figura 17 - Módulos de cobertura vegetal.



Fonte: Autor (2019).



Para a composição da camada drenante foi utilizada argila expandida do tipo 2215 Miúda, optou-se por fazer o uso desse material por conta de suas características físicas como o baixo peso específico, por conta da sua composição e processo de produção, facilidade para compra e transporte, uma vez que é comercializada em sacos de 50 litros e facilmente encontrada em casas de jardinagem. A camada drenante foi montada com cerca de cinco centímetros de espessura, a Figura 18 mostra os módulos com a camada drenante instalada.

Figura 18 - Camada drenante em argila expandida.



Fonte: Autor (2019).

Sobre a camada drenante foi colocada o geotêxtil que compõe a camada antirraiz, sendo utilizada uma membrana de poliéster para drenagem de solo que permite a passagem de água e retém as partículas de solo, também encontrada em casas de jardinagem. Foi utilizada em cada módulo uma manta com 1m<sup>2</sup> de área, para garantir que toda a superfície interna fosse coberta, evitando a passagem de solo e raízes, conforme apresentado na Figura 19.

Figura 19 - Manta Geotêxtil.



Fonte: Autor (2019).

Para a camada de solo optou-se pelo uso de uma composição de 65% de substrato para jardinagem e 35% de solo da região (argiloso), adotada com base nos resultados obtidos por Miller (2014), com a substituição da composição de turfa, casca de arroz carbonizada e vermiculita pelo substrato para jardinagem composto por turfa, casca de pinus e vermiculita, com objetivo de utilizar materiais com as características desejadas e facilmente encontrados no comércio. Foi utilizado o substrato para jardinagem da marca Humusfertil, segundo o fabricante, possui 60% de capacidade de retenção de água.

Os materiais foram dispostos no interior de um carrinho de mão, nas devidas proporções, onde foi realizada a combinação dos materiais de modo que se obtivesse uma mistura uniforme. Na sequência a composição foi disposta sobre a manta geotêxtil formando uma camada de cinco centímetros de espessura, conforme apresentado na Figura 20.

Figura 20 - Camada de solo e substrato.



Fonte: Autor (2019).

Por fim, acima da camada de solo foram dispostos os módulos de grama com 60 centímetros de comprimento e 40 centímetros de largura, conforme mostra a Figura 21. Foi utilizada grama esmeralda, por se tratar de uma variedade de crescimento lento, possuir significativa resistência a intempéries, exigir baixa manutenção e disponibilidade de compra na região, características que fazem com que seja muito utilizada na região. Após o plantio da grama os três módulos foram irrigados com água abundante, com auxílio de uma mangueira.

Figura 21 - Módulos de telhado verde ao fim da montagem.



Fonte: Autor (2019).

Durante os dias subsequentes ao plantio da vegetação os módulos foram constantemente irrigados, uma vez que o tempo na região estava bastante seco e os módulos ficaram expostos a longos períodos de sol, processo que perdurou por cerca de 40 dias. A Figura 22 apresenta os módulos após o período de crescimento e fixação das raízes, onde fica possível visualizar a mudança na coloração e tamanho da vegetação.

Figura 22 - Módulos 40 dias após o plantio da vegetação.



Fonte: Autor (2019).

Para o módulo que simula coberturas convencionais foram utilizadas todas as estruturas montadas por Kreutzfeld (2018), que conta com todo o madeiramento de suporte e telha de fibrocimento, instalada com inclinação de 15 %, montado com área útil de 1m<sup>2</sup>.

### 3.3 SIMULAÇÃO DE CHUVAS

Como o presente estudo tem por objetivo avaliar a capacidade das coberturas verdes em atuar como componente do sistema de drenagem urbana, por meio da retenção das águas pluviais, se fez necessária a análise do comportamento dessas

estruturas quando submetidas a eventos extremos de precipitação. Considera-se que uma vez obtendo resultados satisfatórios em condições atípicas, terão papel importante na redução do escoamento durante eventos recorrentes. Diante da incerteza e recorrência com que eventos naturais dessa magnitude são registrados surge a necessidade da simulação destes eventos, que pode ser realizada por meio de métodos computacionais ou de forma empírica, sendo a última a metodologia utilizada durante o estudo.

Para realizar a estimativa acerca da intensidade do evento de chuva que serviria de base para os ensaios, foi realizado levantamento bibliográfico com objetivo de encontrar equações de chuva que possam ser modeladas para que se determine a intensidade da chuva com base em parâmetros previamente estabelecidos. Foram utilizadas equações de chuva do tipo IDF, que tem como parâmetros a Intensidade ( $I$ ), Duração ( $t$ ) e Frequência ou Período de Retorno ( $T$ ), estando as equações para os municípios de Toledo e Cascavel, cidade vizinha ao município de estudo, apresentadas na Tabela 3.

Tabela 3 - Equações de chuvas para Toledo e Cascavel.

Autor	IDF
Fendrich (1989, apud MDU 2017)	$I = \frac{3221,07 * T^{0,25}}{(t + 26)^{1,01}}$
Oliveira e Pansera (2016)	$I = \frac{861,7 * T^{0,176}}{(t + 9,8)^{0,724}}$
Quadros (2008)	$I = \frac{699,0765 * T^{0,1236}}{(t + 1,9182)^{0,6674}}$
Fendrich (2003, apud Quadros 2008)	$I = \frac{1062,92 * T^{0,141}}{(t + 5)^{0,776}}$
Longo <i>et al.</i> (2006)	$I = \frac{778,54 * T^{0,1729}}{(t + 9,65)^{0,7204}}$

Fonte: Autor (2019).

Segundo a NBR 10844, para o dimensionamento do sistema de coleta de águas pluviais devem ser fixados período de retorno igual a 5 anos para coberturas e terraços e duração de 5 minutos, aplicados esses parâmetros para a determinação da intensidade da chuva em milímetros por hora, ainda de acordo com a normativa,

esses parâmetros devem ser aplicados em conformidade com os parâmetros pluviométricos locais, portanto podem ser aplicados como parâmetros para as equações do tipo IDF, desenvolvidas a partir dos dados pluviométricos registrados para cada localidade de estudo.

Conforme dados apresentados na Tabela 4 três dados apresentam baixa variação, mesmo comportamento observado para os outros dois que apresentam valores significativamente maiores em relação aos demais.

Tabela 4 - Intensidades para os parâmetros estudados.

<b>Autor</b>	<b>I (mm.h<sup>-1</sup>)</b>
Fendrich (1989, apud MDU 2017)	150,13
Oliveira e Pansera (2016)	162,59
Quadros (2008)	234,59
Fendrich (2003, apud Quadros 2008)	223,39
Longo <i>et al.</i> (2006)	148,68

Fonte: Autor (2019).

Desta forma para a realização do estudo foi utilizado o valor de 150 mm.h<sup>-1</sup> para intensidade de chuva a ser simulada, atendendo aos requisitos do Manual de Drenagem Urbana de Toledo.

Como cada módulo de telhado verde possui 0,64 m<sup>2</sup> de área e sabendo que o valor de intensidade adotado equivale a um volume de 150 litros, precipitado sobre cada metro quadrado de área durante o período de uma hora, foi possível obter o volume água que deveria ser utilizado para cada módulo durante os ensaios.

Foi adotado que o tempo de precipitação seria de cinco minutos, portanto, para os módulos de telhado verde foi utilizado um volume de oito litros de água para cada ensaio, já para o módulo de cobertura convencional foram utilizados 12,5 litros. Os eventos de precipitação foram simulados com uso de um regador com capacidade de 14 litros, escolhido por possuir bico de saída capaz de produzir esguicho com características próximas as de uma chuva convencional.

### 3.4 COLETA E ANÁLISE DOS DADOS

Passados 42 dias após a montagem dos módulos e plantio da grama foram realizados os ensaios de precipitação, antes da realização de cada ensaio foi retirada uma amostra de solo de cada módulo com cobertura vegetal e realizado testes em laboratório para determinação da umidade, seguindo as diretrizes da NBR 6457, uma vez que a umidade antecedente pode influenciar na capacidade de retenção de água como apontam os estudos realizados por Moruzzi *et al.* (2014).

Foram realizados três ensaios de precipitação em dias consecutivos e o último três após a realização do terceiro ensaio, apenas um por dia, respeitando um período mínimo de aproximadamente 24 horas entre cada ensaio, já que durante o período de realização dos ensaios não foram registrados eventos de chuva. Nos três dias que antecederam o primeiro ensaio foi registrado um total acumulado de 65 mm de chuva, aferido com pluviômetro instalado por Kreutzfeld (2018) na estrutura de suporte dos módulos.

A medição dos volumes incidentes e escoados foi realizada com base nas massas de água, aferidas com uso de balanças com precisão de 0,001 quilograma. Para os módulos de telhado verde foram utilizados baldes, com capacidade para armazenar 13 litros, para o armazenamento da água escoada. Já para o módulo com cobertura de fibrocimento foi empregado outro balde, com capacidade para armazenar até 20 litros.

Durante a realização do primeiro ensaio foi avaliado o tempo necessário para encerrar a coleta do volume não armazenado pelos telhados verdes, para garantir que os demais ensaios fossem realizados seguindo a mesma metodologia. Foi observado que passados 40 minutos após o fim dos eventos de precipitação o escoamento já não era significativo, apenas algumas gotas saíam dos módulos mais inclinados.

Após a coleta dos dados foram calculados os coeficientes de escoamento ( $C$ ) para cada um dos quatro módulos de coberturas para cada ensaio, podendo ser feita a análise quanto à eficácia das coberturas verdes na redução do escoamento pluvial. De acordo com TASSI *et al.* (2013), baixos valores para o coeficiente de escoamento são característicos de estruturas com alta eficiência, já os valores elevados refletem a baixa eficiência do sistema, uma vez que grande parte da precipitação é escoada.

O coeficiente de escoamento superficial pode ser calculado de acordo com a equação 1:

$$C = \frac{V_{escoado}}{V_{precipitado}} \quad (1)$$

Onde:

$C$  : corresponde ao coeficiente de escoamento superficial;

$V_{escoado}$  : volume escoado e armazenado nos reservatórios, e;

$V_{precipitado}$  : volume precipitado, valor definido como volume de controle.

Como o coeficiente de escoamento superficial é uma grandeza adimensional, tem-se apenas a necessidade de trabalhar com as mesmas unidades para os volumes escoado e precipitado, por esse motivo foram utilizados os dados obtidos em massa, já que durante a realização dos experimentos a aferição do volume de precipitação foi realizado com base na massa de água presente em cada regador, procedimento realizado de forma análoga para os baldes contendo o volume escoado.

### 3.5 SIMULAÇÃO COMPUTACIONAIS

Com objetivo de avaliar a eficácia do telhado verde na redução do escoamento superficial urbano foram realizadas simulações computacionais com uso de planilhas de cálculo nas quais foram dimensionadas redes para coleta de águas pluviais. Para o estudo optou-se pelo dimensionamento de um trecho de rede pluvial presente no Manual de Drenagem Urbana do município de Toledo, Paraná.

Como o manual traz normativas para a realização de obras de infraestrutura no município, estão definidos todos os procedimentos e parâmetros necessários para o dimensionamento e elaboração de projetos de galerias pluviais, poços de inspeção, sarjetas e bocas-de-lobo. No manual constam exemplos de cálculo para cada elemento constituinte do sistema de drenagem utilizados no município, logo todos os cálculos realizados seguiram as diretrizes do manual, com exceção dos dados alterados para simulação de outros cenários, previamente definidos.

Durante as etapas de cálculo para o dimensionamento da galeria foi preciso determinar a lâmina percentual ( $y/D$ ), que representa a altura de lâmina d'água no

interior da tubulação durante o escoamento, contudo no manual não constava qual metodologia deveria ser adotada para obtenção desta relação, fundamental para o cálculo dos demais parâmetros. Portanto, para a determinação da lâmina percentual foi empregado o método desenvolvido por Menezes Filho e Costa (2012), válido para lâminas percentuais de até 84%, a seguir estão apresentadas as equações que compõe a metodologia, que segundo os autores apresentaram coeficiente de determinação  $R^2$  de 0,99.

$$k = QnD^{-8/3}I^{-1/2} \quad (2)$$

Onde:

$K$ : constante;

$n$ : coeficiente de rugosidade de Manning;

$Q$ : vazão ( $m^3/s$ );

$D$ : diâmetro (m), e;

$I$ : declividade (m/m).

$$\emptyset = \frac{3\pi}{2} \sqrt{1 - \sqrt{1 - \sqrt{\pi K}}} \quad (3)$$

Onde:

$\emptyset$ : ângulo central (rad).

$$\frac{y}{D} = \frac{1}{2} [1 - \cos(\frac{\emptyset}{2})] \quad (4)$$

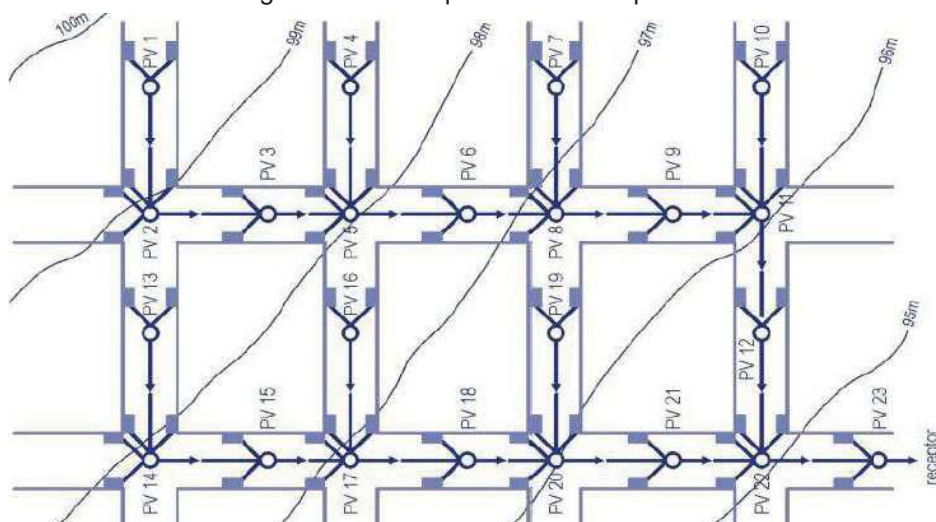
Onde:

$y/D$ : lâmina percentual.

As simulações foram realizadas com base no Exemplo 4.4 presente no manual, onde é realizado o dimensionamento de um trecho de rede coletora de águas pluviais, conforme apresenta a Figura 23. Para a primeira simulação foram realizadas alterações nos dados referentes ao coeficiente de escoamento superficial, sendo empregados os resultados obtidos por meio dos experimentos realizados com os protótipos de telhado verde.



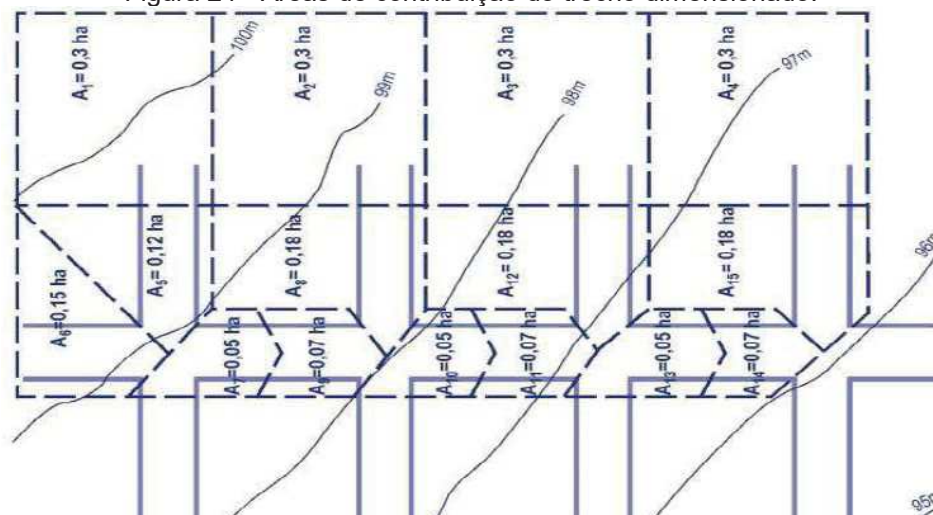
Figura 23 - Rede pluvial do Exemplo 4.4.



Fonte: Adaptado de MDU (2017).

No segundo cenário foram aumentados os percentuais de área impermeabilizada em cada terreno, para analisar o emprego das coberturas verdes em regiões onde se tem maior ocupação e por consequência, maior impermeabilização dos terrenos. A Figura 24 mostra os dados referentes as áreas de contribuição para cada seção da rede.

Figura 24 - Áreas de contribuição do trecho dimensionado.



Fonte: Adaptado de MDU (2017).

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A realização de procedimentos empíricos produziu dados que tornaram possível avaliar o desempenho do telhado verde quanto a sua capacidade de retenção de água da chuva em situações desfavoráveis, permitindo ainda, através dos resultados referentes ao coeficiente de escoamento superficial, testar sua eficácia como agente integrante do sistema de drenagem urbana para Toledo/Pr.

### 4.1 UMIDADE ANTECEDENTE DO SOLO (UAS)

Dos ensaios de determinação de umidade do solo, nos quais foi coletada uma amostra de solo para cada módulo de telhado verde antes da realização dos ensaios de precipitação, foi possível determinar a umidade do solo em cada módulo conforme apresenta a Tabela 5. Os dados apresentam valores elevados de umidade, fato que se deve às condições climáticas da região durante os ensaios. Neste período o clima apresentava temperaturas amenas e baixos índices de evapotranspiração, além da realização de três dos quatro ensaios com intervalo de apenas de 24 horas e do volume de chuva acumulado aos quais foram submetidos os módulos nos três dias que antecederam o primeiro ensaio.

Tabela 5 - Percentual de umidade do solo antecedente.

Ensaio	Umidade Antecedente do Solo (UAS) (%)		
	Inclinação 2%	Inclinação 20%	Inclinação 30%
01	77,46	59,02	58,93
02	67,27	68,45	62,32
03	78,17	65,78	64,67
04	77,16	57,19	56,84

Fonte: Autor (2019).

Esses dados são importantes para o entendimento do comportamento dos módulos e interpretação dos resultados correspondentes ao coeficiente de escoamento, uma vez que o solo já esteja com percentual de umidade elevado, sua capacidade de retenção fica reduzida. Moruzzi *et al.* (2014) concluíram em estudo realizado com base na simulação de chuvas e variação na inclinação de módulos de coberturas verdes que a umidade antecedente afeta de forma significativa a capacidade de retenção e absorção de água por parte das coberturas vegetais.

Com base nos resultados apresentado pela Tabela 5, pode-se observar que a inclinação dos módulos afeta o percentual de umidade do solo, sendo o módulo com a maior inclinação (30%) o que apresentou os menores valores de umidade, apesar da pequena diferença em relação ao módulo com 20% de inclinação, inferior a 2% para três dos quatro ensaios. Isso mostra que após o fim do escoamento principal, os telhados com maiores inclinações ainda promovem o escoamento, contudo de forma mais lenta e com menores vazões.

Essa característica traz certa vantagem para o emprego das estruturas com maiores inclinações, uma vez que quando submetidas a precipitações com elevada frequência tendem a se mostrar mais eficientes na redução do escoamento superficial durante o pico de vazões, por apresentarem maior capacidade para a retenção de água, mesmo que de forma temporária.

Os valores correspondentes a umidade antecedente do solo quando analisados em relação alteração de inclinação dos módulos apresentam comportamento similar ao encontrado por Moruzzi *et al.* (2014), que avaliaram esses parâmetros para módulos com inclinações de 10, 20 e 30%, onde os valores para os módulos mais inclinados também foram inferiores ao de menor inclinação, sendo de aproximadamente 6% a diferença dos valores encontrados para o módulo com 30% de inclinação em relação ao módulo com 20%.

## 4.2 RETENÇÃO DE ÁGUA

Durante a realização dos ensaios de precipitação simulada foram coletados dados referentes ao volume de água escoada pelos módulos de cobertura durante o intervalo correspondente ao início das simulações e 40 minutos após o término dos eventos. Com base nesses valores foi possível determinar o valor do coeficiente de escoamento para cada módulo conforme apresenta a Tabela 6.

Tabela 6 - Coeficientes de escoamento superficial.

Ensaio	Coeficiente de Escoamento Superficial (C)			
	Inclinação 2%	Inclinação 20%	Inclinação 30%	Telha de Fibrocimento
01	0,605	0,595	0,648	0,942
02	0,750	0,730	0,747	0,951
03	0,708	0,626	0,650	0,941
04	0,490	0,425	0,460	0,940

Fonte: Autor (2019).

Os valores apresentados pelo sistema de cobertura convencional, com telhas de fibrocimento, apresentaram pouca variação nos valores do coeficiente de escoamento, com coeficiente de variação de 0,53% conforme mostra a Tabela 7.

Kreutzfeld (2018) para o mesmo módulo, para eventos de chuva naturais, obteve valor de coeficiente de escoamento médio de 0,83 e coeficiente de variação de 13%, de acordo com a autora essa retenção de 17% pode estar associada com o transbordamento da calha que coletava e encaminha o montante escoado para o reservatório em eventos com alta intensidade, também observado durante a realização do presente estudo. A diferença entre os valores encontrados para o mesmo módulo, nos dois estudos, pode estar associada pelo fato de os ensaios realizados durante o presente estudo proporcionarem volume e intensidade controlada em todos os ensaios, uma vez que Kreutzfeld (2018) em três de seus nove dias com dados coletados obteve valores de coeficiente de escoamento semelhantes aos encontrados nesta pesquisa.

Tabela 7 - Dados estatísticos para valores de C.

Dados estatísticos	Inclinação de 2%	Inclinação de 20%	Inclinação de 30%	Telha de Fibrocimento
Média	0,638	0,594	0,626	0,943
Desvio Padrão	0,116	0,127	0,120	0,005
Coeficiente de variação (%)	18,20	21,34	19,17	0,53

Fonte: Autor (2019).

Ao analisar os dados presentes nas Tabela 7 é possível observar a diferença entre os valores que correspondem ao coeficiente de escoamento, com a cobertura convencional apresentando valores médios até 58% superiores aos encontrados para os módulos de telhado verde, valor que poderia ser ainda maior, levando em conta o elevado teor de umidade do solo, mostrando que mesmo em condições desfavoráveis as coberturas verdes promovem redução significativa no montante de águas pluviais.

Ainda com base na Tabela 7 percebe-se que os valores médios retenção para os três módulos de telhado verde apresentam pouca variação, em contrapartida o coeficiente de variação apresenta valor significativo, resultado da interferência da umidade antecedente do solo na capacidade de absorção e retenção de água. A Tabela 8 apresenta os dados de umidade antecedente do solo e coeficiente de escoamento de cada módulo de telhado verde, em estudos realizados por TASSI *et*

*al.* (2013) e Moruzzi *et al.* (2014) ambos os autores concluíram que o teor de umidade do solo tem papel fundamental para a eficiência das coberturas verdes na redução do escoamento.

Tabela 8 – UAS x C.

Inclinação	Ensaio 01			Ensaio 02			Ensaio 03			Ensaio 04		
	2%	20%	30%	2%	20%	30%	2%	20%	30%	2%	20%	30%
C	0,605	0,595	0,648	0,750	0,730	0,747	0,708	0,626	0,650	0,490	0,425	0,460
UAS (%)	77,46	59,02	58,93	67,27	68,45	62,32	78,17	65,78	64,67	77,16	57,19	56,84

Fonte: Autor (2019).

Fica evidente a diferença entre os valores do coeficiente de escoamento obtidos após o quarto ensaio quando comparado com os demais, devido ao intervalo de três dias entre a realização do terceiro e quarto ensaio, além das condições climáticas durante esse período, sem precipitações e nebulosidades, o que corrobora com os resultados encontrados por TASSI *et al.* (2013) que ao analisarem a influência das precipitações dos cinco dias antecedentes na retenção de água concluíram que esse fator pode reduzir a totalmente sua capacidade de retenção.

Pode ser observado comportamento semelhante ao encontrado pelos autores, uma vez que os dados obtidos com o segundo e terceiro ensaios foram os menores para o coeficiente de escoamento, sendo esses os que mais sofreram pelas condições de climáticas e de umidade.

A inclinação dos telhados também exerce influência no desempenho das coberturas quanto a retenção de água, por proporcionar condições que favorecem o escoamento o que por consequência, faz com que atue na redução da umidade do solo nas horas subsequentes ao término da precipitação.

Para as três inclinações analisadas, o módulo com inclinação de 20% apresentou os melhores valores para retenção de água. Moruzzi *et al.* (2014) encontraram valores mais favoráveis para inclinação de 10%, contudo os valores encontrados para inclinação de 20% em relação aos módulos com 30% apresentam comportamento similar aos encontrados no presente estudo.

De modo geral os módulos de telhado verde proporcionaram reduções no escoamento de variaram de 25 a 57,5%, estando de acordo com os percentuais encontrados por Kreutzfeld (2018) com média de 42% e Santos *et al.* (2013) com 33,6% ambos os resultados obtidos por telhados extensivos em que foi utilizada

grama como espécie vegetal. Já os estudos realizados por Baldessar (2012), TASSI *et al.* (2013) e Moruzzi *et al.* (2014) empregaram outras espécies de vegetação para a composição dos telhados verdes obtendo respectivamente, cerca de 70, 62 e 65% de retenção de água.

#### 4.3 DESEMPENHO DA DRENAGEM URBANA

Com base nas diretrizes do manual de drenagem urbana do município foi desenvolvida uma planilha eletrônica para o dimensionamento de um trecho de uma rede de galerias pluviais, sendo possível alterar os parâmetros utilizados para o dimensionamento criando a possibilidade de simular vários cenários de uso e ocupação do solo, emprego de medidas LID entre outras.

Foram criados seis cenários nos quais foram alterados os coeficientes de escoamento superficial, simulando a substituição das coberturas convencionais por telhado verde e com alteração na taxa de ocupação do solo, para avaliar os efeitos dessas estruturas nos diferentes zoneamentos da cidade. A Tabela 9 apresenta os cenários criados com os respectivos coeficientes empregados, onde os cenários 02, 04 e 06 simulam substituição total das coberturas convencionais pelo telhado verde.

Tabela 9 - Parâmetros utilizados em cada cenário simulado.

<b>Cenários</b>	<b>C área permeável</b>	<b>C área impermeável</b>	<b>Coeficiente de impermeabilização</b>
01	0,1	0,85	0,4
02	0,1	0,55	0,4
03	0,1	0,85	0,8
04	0,1	0,55	0,8
05	0,1	0,85	1
06	0,1	0,55	1

Fonte: Autor (2019).

Todas as seis planilhas com todas as variáveis utilizadas no dimensionamento estão apresentadas na íntegra nos Apêndices (A, B e C, a Tabela 10 apresenta apenas os valores referentes as vazões e diâmetros adotados. Para o dimensionamento dos trechos da rede, optou-se por não alterar a inclinação dos trechos, realizando apenas modificações nos diâmetros das tubulações por se tratar

de apenas um trecho de rede, podendo gerar trechos com cotas muito baixas em relação ao nível do terreno nos trechos de tubulações com função interceptores.

Tabela 10 - Resultados das simulações computacionais.

Trecho (PV)	Cenário 01		Cenário 02		Cenário 03		Cenário 04		Cenário 05		Cenário 06	
	Q (l/s)	D (m)	Q (l/s)	D (m)	Q (l/s)	D (m)	Q (l/s)	D (m)	Q (l/s)	D (m)	Q (l/s)	D (m)
1-2	96,59	0,3	80,49	0,3	128,79	0,4	96,59	0,3	144,89	0,4	112,69	0,3
2-3	181,18	0,4	150,92	0,4	241,86	0,5	181,18	0,5	272,17	0,5	211,43	0,5
3-5	194,94	0,4	162,34	0,4	260,50	0,5	195,03	0,4	293,21	0,5	227,66	0,4
4-5	96,59	0,3	80,49	0,3	128,79	0,4	96,59	0,3	144,89	0,4	112,69	0,4
5-6	364,60	0,5	303,53	0,5	487,57	0,6	364,75	0,5	548,90	0,6	425,86	0,5
6-8	377,55	0,5	314,24	0,5	505,17	0,6	377,71	0,5	568,79	0,6	441,06	0,5
7-8	96,59	0,3	80,49	0,3	128,79	0,4	96,59	0,3	144,89	0,4	112,69	0,4
8-9	544,02	0,6	452,70	0,6	728,30	0,7	544,25	0,6	820,14	0,7	635,62	0,7
9-11	555,33	0,6	462,01	0,6	743,86	0,7	555,57	0,6	837,75	0,7	649,09	0,7
10-11	96,59	0,3	80,49	0,3	128,79	0,4	96,59	0,3	144,89	0,4	112,69	0,4
11-12	717,96	0,6	597,19	0,6	962,22	0,7	718,26	0,6	1083,81	0,7	839,51	0,7

Fonte: Autor (2019).

Ao analisar os dados apresentados pela Tabela 10 percebe-se a eficiência do telhado verde na redução do escoamento superficial nas áreas urbanas, apresentando resultados mais expressivos em zonas com maior impermeabilização do solo.

Para os cenários com maior urbanização constata-se a redução dos diâmetros das tubulações, implicando em menores custos de implantação e maior aproveitamento dessas estruturas ao longo do tempo, mantendo e sua eficiência frente a cenários com precipitações atípicas.

O mesmo se aplica para os volumes transportados, apresentando redução nas vazões finais que apresentaram decréscimo de 20% para as regiões com menor taxa de ocupação, chegando a 34% para as zonas com ocupação maior impermeabilização do solo.

Esses percentuais quando analisados tomando como base grandes bacias de drenagem resultam na redução dos volumes de pico que são, na maioria dos casos, destinados os córregos e zonas mais baixas das cidades gerando vários problemas como enchentes e alagamentos, podendo ainda, reduzir a demanda por estruturas de amortização de vazões, que necessitam de grandes áreas para sua implantação e investimentos expressivos por parte do poder público.

## 5 CONCLUSÕES

Realizadas as etapas experimentais e analisados os resultados obtidos por meio dos ensaios de campo e simulações computacionais pode-se afirmar que o telhado verde apresenta grande potencial como componente do sistema de drenagem urbana, uma vez que atua de forma localizada e direta, já no início do escoamento, promovendo a redução das vazões de pico e do escoamento superficial, verificada a redução de até 57,5% do escoamento.

Analisando as características das estruturas de telhado verde juntamente com os resultados obtidos por meio da construção dos três módulos de cobertura vegetal, percebe-se que a umidade do solo representa o fator com maior influência para a eficiência dessas estruturas na redução do coeficiente de escoamento superficial.

Apesar de não ser a protagonista, a inclinação também atua de forma importante para a capacidade de retenção de água, uma vez que interfere velocidade de escoamento e na manutenção da umidade do solo. Para as situações estudadas os módulos com maior inclinação obtiveram os resultados, já que foram simuladas situações desfavoráveis para a retenção de água, com eventos consecutivos e de alta intensidade, realizados durante um período de clima ameno, proporcionando baixos índices de evapotranspiração.

Ao analisar os resultados obtidos durante o presente estudo e comparar com outros já realizados, percebe-se que para regiões em que são registradas precipitações com maior frequência os telhados verdes com maior inclinação apresentam maior eficiência. Por sua vez, para regiões com clima mais seco e eventos de precipitação com menor recorrência, os telhados com baixas inclinações são mais indicados por proporcionarem alta capacidade de retenção de água.

Por meio da simulação de vários cenários envolvendo o emprego do telhado verde nos centros urbanos, verificou-se que a adoção dessas estruturas foi capaz de reduzir os volumes escoados em até 34% nas regiões com maior impermeabilização do solo, além de reduzir os diâmetros das tubulações que compõe o sistema de drenagem urbana.

Resultados que comprovam a eficiência das coberturas vegetais na redução dos problemas causados por enchentes e alagamentos, além de gerar economia para o poder público, uma vez são menores as intervenções necessárias para realização de obras no sistema de drenagem urbana. Contudo esses benefícios



tornam-se realmente efetivos após a mobilização do poder público em conjunto com a sociedade, por meio de legislações que incluam, regulamentem e principalmente incentivem a adoção do telhado verde em novas edificações, bem como a substituição dos sistemas de coberturas convencionais, como já vem sendo realizado em alguns municípios, por meio da inclusão dessas estruturas aos códigos de obras e planos diretores.

Desta forma percebe-se a importância da discussão, continuação e desenvolvimento de novos estudos que busquem ampliar os conhecimentos sobre os resultados que podem ser obtidos através do uso do telhado verde, seja pra o controle do escoamento urbano, conforto térmico, fins econômicos ou paisagísticos.

## REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6457:2016 Versão corrigida:2016** Amostras de solo — Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização. Rio de Janeiro, 2016.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7196**: telhas de fibrocimento - Execução de coberturas e fechamentos laterais - Procedimento. Rio de Janeiro, 2014.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8039**: projeto e execução de telhados com telhas cerâmicas tipo francesa - Procedimento. Rio de Janeiro, 1983.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10844**: instalações prediais de águas pluviais - Procedimento. Rio de Janeiro, 1989.
- BALDESSAR, S. M. N. **Telhado Verde e Sua Contribuição na Redução da Vazão da Água Pluvial Escoda**. Curitiba, 2012. 124 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Construção Civil, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2012.
- BAPTISTA, M.; NASCIMENTO, N. O.; BARRAUD, S.. **Técnicas compensatórias em drenagem urbana**. Porto Alegre: ABRH, 2005. 266 p.
- BURSZTA-ADAMIAK, E.. Analysis of the retention capacity of green roofs. **Journal of Water and Land Development**, v. 16, n. 1, p. 3-9, 2012.
- CABRAL, V. O.; BOAS, D. C. V.; MATTOS, B. B.; TEIXEIRA, P. C. **Produção de fertilizantes organominerais a partir de substâncias húmicas**. In: SEMINÁRIO PIBIC EMBRAPA SOLOS, 2015-2016, Rio de Janeiro. Seminário PIBIC Embrapa Solos 2015/2016. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2016. (Embrapa Solos. Documentos, 188). p. 37-40.
- CANTOR, S. L.. **Green Roofs in Sustainable Landscape Design**. W.W. Norton & Company, New York – London, 2008.
- CORDONI SAVI, A.. **Telhados Verdes: análise comparativa de custo com sistemas tradicionais de cobertura**. 2012. 125f. Monografia (Construções Sustentáveis) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba. 2012.
- COSTA, J.; COSTA, A.; POLETO, C. Telhado Verde: redução e retardo do escoamento superficial. **Revista de Estudos Ambientais**, v. 14, n. 2, edição especial, p. 50-56, 2012.
- FARIA, T. J. P.. **Os projetos e obras do engenheiro Saturnino de Brito e mudança na paisagem urbana**, Geografia Ensino & Pesquisa, 19, 115-122, 2015.

Folha de São Paulo. **Área onde mais chove tem mais concreto**. Disponível em: <<http://www1.folha.uol.com.br/fsp/cotidian/ff1801201001.htm>>. Acesso em: 20 ago. 2018.

FORGIARINI, F. R., SOUZA, C. F., SILVEIRA, A., SILVEIRA, G., & TUCCI, C. E. M. **Avaliação de cenários de cobrança pela drenagem urbana de águas pluviais**. In: XVII Simpósio Brasileiro de 154 Recursos Hídricos, 2007, São Paulo. XVII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 2007.

GARRIDO NETO, P. de S.. **Telhados verdes como técnica compensatória em drenagem urbana na cidade do Rio de Janeiro: Estudo experimental e avaliação de sua adoção na bacia do rio Joana a partir do uso de modelagem matemática**. 2011. 344p. Dissertação de Mestrado (Engenharia Civil) – UFRJ / COPPE / Programa de Engenharia Civil, Rio de Janeiro, 2016.

GOUVEA, L. V. **Teto Verde: uma proposta ecológica e de melhoria do conforto ambiental a partir do uso de coberturas vegetais nas edificações**. Rio de Janeiro, Departamento de Artes & Design da PUC-RJ, 2008.

IBIAPINA, M. B., DA SILVA, V. G., DE OLIVEIRA ILHA, M. S., & KOWALTOWSKI, D. C. C. K. **Pesquisa experimental para avaliar a qualidade da água e a capacidade de retenção de água pluvial em coberturas verdes em Campinas - Brasil**. PARC Pesquisa em Arquitetura e Construção, Campinas, SP, v. 1, n. 6, p. 18-34, jul. 2011. ISSN 1980-6809.

IBGE. **População rural e urbana**. Disponível em: <<https://teen.ibge.gov.br/sobre-o-brasil/populacao/populacao-rural-e-urbana.html>>. Acesso em: 24 ago. 2018.

IBGE. **Sinopse do censo demográfico de 2010**. Disponível em: <<https://censo2010.ibge.gov.br/sinopse/index.php?dados=8>>. Acesso em: 24 ago. 2018.

INTERNATIONAL GREEN ROOF ASSOCIATION. **Green Roofs types**. Disponível em: <[http://www.igra-world.com/types\\_of\\_green\\_roofs/index.php](http://www.igra-world.com/types_of_green_roofs/index.php)>. Acesso em: 28 ago. 2018.

KOLB, W. **Telhados de cobertura verde e manejo de águas pluviais**. In SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CAPTAÇÃO E MANEJO DE ÁGUA DE CHUVA, v.4, 2003. Juazeiro.

KREBS, L.F. **Coberturas vivas extensivas: análise da utilização em projetos na região metropolitana de Porto Alegre e serra gaúcha**. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Curso de Mestrado Profissionalizante em Engenharia, Escola de Engenharia, UFRGS, Porto Alegre, 2005.

KREUTZFELD, M.. **Capacidade de retenção da água da chuva em telhados verdes no município de Toledo-Pr**. 2018. 50f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Curso de Engenharia Civil. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Toledo, 2018.

LONGO, A. J.; SAMPAIO, S. C.; SUSZEK, M.. **Equação de chuvas intensas e precipitação provável para o município de Cascavel-PR**. *Varia Scientia*, v. 6, n. 12, p. 119-127, 2006.

MACHADO, A. R.. **Estudo comparativo do conforto térmico gerado por uma cobertura verde em relação a uma cobertura convencional**. 2016. 99f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Curso de Engenharia Civil. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Toledo, 2016.

MILLER, A. P. R. R.. **Análise do comportamento de substrato para retenção de água pluvial para coberturas verdes extensivas em Curitiba-PR**. Dissertação (Mestrado em Engenharia da Construção Civil) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2014.

MORAIS, C. S.; **Desempenho térmico de coberturas vegetais em edificações na cidade de São Carlos – SP**. 2004. 108 f. Dissertação (Mestrado em Construção Civil) – Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2004.

MORUZZI, R. B.; MOURA, C. C. de; BARBASSA, A. P. **Avaliação do efeito da inclinação e umidade antecedente na qualidade e quantidade das parcelas escoadas, percoladas e armazenadas em telhado verde extensivo**. *Ambiente Construído*, Porto Alegre, v. 14, n. 3, p. 59-73, jul./set. 2014.

NRCA, National Ruffing Contractors Association (EUA) – **NRCA Green Roof Systems Manual**. 2007. Disponível em: < <http://www.nrca.net/>> Acesso em: 26 ago. 2018.

OLIVEIRA, E. W. N. de. **Telhados verdes para habitações de interesse social: retenção das águas pluviais e conforto térmico**. 2009. 86f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Faculdade de Engenharia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2009.

OLIVEIRA, R.S. & PANSERA, W.A. **Equação de Chuvas Intensas para p Município de Toledo/Pr**. IV ENDICT, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Toledo, 2016.

OHNUMA, A. A. **Medidas Não Convencionais de Reservação d'Água e Controle de Poluição Hídrica em Lotes Domiciliares**. São Carlos, 2008. 306 f. Tese (Doutorado em Ciências da Engenharia Ambiental) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2008.

PALLA, A.; BERRETTA, C.; LANZA L.G; LA BARBERA, P.. **Modelling Storm Water Control Operated by Green Roofs at the Urban Catchment Scale University of Genoa – Italy**, In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON URBAN DRAINAGE, 11., Edinburgh, 2008. Proceedings. Edinburgh, 2008.

QUADROS, L. E. de. **Distribuição de frequência e temporal de chuvas intensas**. 2008. 60f. Dissertação (Mestrado Engenharia de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) – Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, 2008.

PMRH. **Plano Municipal de Recursos Hídricos de Toledo**. 658p. Prefeitura Municipal de Toledo. Lei nº2.243, de 11 de outubro de 2017.

ROCHA, S.. **Hotel produz comida no telhado e economiza mais de 30 mil dólares por ano**. 20/08/2014. Disponível em: <<http://institutocidadejardim.com.br/2014/08/20/hotel-produz-comida-no-telhado-e-economiza-mais-de-30-mil-dolares-por-ano/>>. Acesso em: 27 ago. 2018.

SAADATIAN, O.; SOPIAN, K.; SALLEH E.; LIM, C.H.; RIFFAT, Safa; TOUDESHEKI, Arash; SULAIMAN ,M.Y. **A review of energy aspects of green roofs**. Revista Elsevier, 2013.

Santos, P. T. da S.; Santos, S. M. dos; Montenegro, S. M. G. L.; Coutinho, A. P.; Moura, G. S. S. de; Antonino, A. C. D. **Telhado verde: desempenho do sistema construtivo na redução do escoamento superficial**. Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 13, n. 1, p. 161-174, jan./mar. 2013.

SILVA, N. C. **Telhado verde: sistema construtivo de maior eficiência e menor impacto ambiental**. 2011. 60p. Monografia de especialização. (Curso de Especialização em Construção Civil), Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, agosto, 2011.

SNSA (2005). **Gestão do território e manejo integrado das águas urbanas: Cooperação Brasil- Itália em Saneamento Ambiental**. Programa de Modernização do Setor de Saneamento – Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental – Brasília: Ministério das Cidades, 270 p.

SNODGRASS, E. C.; McINTYRE, L.. **The Green Roof Manual. A Professional Guide to Design, Installation, and Maintenance**. Timber Press:Inc, 2010.

TASSI, R.; TASSINARI, L. C. S.; PICCILLI, D. G. A.; PERSCH, C. G. **Telhado verde: Uma alternativa sustentável para a gestão das águas pluviais**. Ambiente Construído, Porto Alegre, v.14, n.1, p. 139-154, jan./mar. 2014.

The World Bank. **Urban population (% of total)**. Disponível em : <<https://data.worldbank.org/indicator/SP.URB.TOTL.IN.ZS>>. Acesso em: 24 ago. 2018.

TOLEDO. **Plano Diretor Municipal - Toledo 2050**. 568p. Prefeitura Municipal de Toledo-Pr. 2016.

TOLEDO. **Manual de Drenagem Urbana**. 37p. Prefeitura Municipal de Toledo-Pr. V1. 2017.

TUCCI, C. E. M.. Águas urbanas. Estud. av., São Paulo , v. 22, n. 63, p. 97-112, 2008 .

TUCCI, C. E.M.. Drenagem urbana. **Ciência e cultura**, v. 55, n. 4, p. 36-37, 2003.

VANWOERT, N.; ROWE D. B., ANDRESEN B. J. A.; RUGHC C. L.; FERNANDEZA T. R.; L. XIAOD. **Green Roof Stormwater Retention: effects of roof surface, slope and media depth**. *Journal of Environmental Quality*, v. 34, n. 3, p. 1036-1044, 2005.

WILLES, J.; REICHARDT, K.. **TECNOLOGIAS EM TELHADOS VERDES EXTENSIVOS: substratos comerciais regionais mais apropriados ao sistema**. *Revista Internacional de Ciências*, v. 4, n. 2, p. 02-13, 2014.

## APÊNDICE A – TABELAS DE DIMENSIONAMENTO DE REDE ÁGUAS PLUVIAIS DOS CENÁRIOS 01 E 02

Cenário 01																						
Trecho (PV)	L (m)	Áreas (ha)		tc (min)	I (mm/h)	Q (l/s)	D <sub>calc</sub> (m)	D (m)	S (m/m)	K	θ (rad)	y/D (%)	Rh	V (m/s)	te (min)	Cotas do terreno		Cotas do Greide		Profundidade (m)		C equi.
		Trecho	Acum.													Mont.	Jus.	Mont.	Jus.	Mont.	Jus.	
1-2	50	0,3	0,3	10,00	193,03	96,59	0,282	0,3	0,014	0,2631	3,939	69,4	0,089	1,809	0,46	99,50	98,80	98,50	97,80	1,00	1,00	0,60
2-3	40	0,27	0,57	10,46	190,56	181,18	0,396	0,4	0,008	0,3032	4,331	78,0	0,121	1,687	0,40	98,80	98,50	97,80	97,48	1,00	1,02	0,60
3-5	40	0,05	0,62	10,86	188,50	194,94	0,378	0,4	0,012	0,2663	3,965	70,0	0,118	2,033	0,33	98,50	98,00	97,48	97,00	1,02	1,00	0,60
4-5	50	0,3	0,3	10,00	193,03	96,59	0,290	0,3	0,012	0,2842	4,122	73,6	0,090	1,694	0,49	98,60	98,00	97,60	97,00	1,00	1,00	0,60
5-6	40	0,25	1,17	11,18	186,82	364,60	0,458	0,5	0,015	0,2457	3,804	66,3	0,145	2,603	0,26	98,00	97,40	97,00	96,40	1,00	1,00	0,60
6-8	40	0,05	1,22	11,44	185,53	377,55	0,464	0,5	0,015	0,2545	3,870	67,8	0,147	2,618	0,25	97,40	96,80	96,40	95,80	1,00	1,00	0,60
7-8	50	0,3	0,3	10,00	193,03	96,59	0,290	0,3	0,012	0,2842	4,122	73,6	0,090	1,694	0,49	97,40	96,80	96,40	95,80	1,00	1,00	0,60
8-9	40	0,25	1,77	11,69	184,27	544,02	0,574	0,6	0,01	0,2762	4,049	71,9	0,179	2,445	0,27	96,80	96,40	95,80	95,40	1,00	1,00	0,60
9-11	40	0,05	1,82	11,97	182,93	555,33	0,578	0,6	0,01	0,2819	4,101	73,1	0,180	2,452	0,27	96,40	96,00	95,40	95,00	1,00	1,00	0,60
10-11	50	0,3	0,3	10,00	193,03	96,59	0,300	0,3	0,01	0,3113	4,458	80,6	0,091	1,559	0,53	96,50	96,00	95,50	95,00	1,00	1,00	0,60
11-12	50	0,25	2,37	12,24	181,62	717,96	0,590	0,6	0,015	0,2976	4,262	76,6	0,182	3,022	0,28	96,00	95,50	95,00	94,25	1,00	1,25	0,60

Cenário 02																						
Trecho (PV)	L (m)	Áreas (ha)		tc (min)	I (mm/h)	Q (l/s)	D <sub>calc</sub> (m)	D (m)	S (m/m)	K	θ (rad)	y/D (%)	Rh	V (m/s)	te (min)	Cotas do terreno		Cotas do Greide		Profundidade (m)		C equi.
		Trecho	Acum.													Mont.	Jus.	Mont.	Jus.	Mont.	Jus.	
1-2	50	0,3	0,3	10,00	193,03	80,49	0,263	0,3	0,014	0,2193	3,612	61,7	0,084	1,752	0,48	99,50	98,80	98,50	97,80	1,00	1,00	0,50
2-3	40	0,27	0,57	10,48	190,48	150,92	0,370	0,4	0,008	0,2525	3,856	67,5	0,117	1,646	0,41	98,80	98,50	97,80	97,48	1,00	1,02	0,50
3-5	40	0,05	0,62	10,88	188,37	162,34	0,352	0,4	0,012	0,2218	3,630	62,1	0,113	1,969	0,34	98,50	98,00	97,48	97,00	1,02	1,00	0,50
4-5	50	0,3	0,3	10,00	193,03	80,49	0,271	0,3	0,012	0,2368	3,738	64,7	0,086	1,645	0,51	98,60	98,00	97,60	97,00	1,00	1,00	0,50
5-6	40	0,25	1,17	11,22	186,64	303,53	0,427	0,5	0,015	0,2046	3,510	59,1	0,138	2,514	0,27	98,00	97,40	97,00	96,40	1,00	1,00	0,50
6-8	40	0,05	1,22	11,48	185,31	314,24	0,433	0,5	0,015	0,2118	3,560	60,4	0,139	2,531	0,26	97,40	96,80	96,40	95,80	1,00	1,00	0,50
7-8	50	0,3	0,3	10,00	193,03	80,49	0,271	0,3	0,012	0,2368	3,738	64,7	0,086	1,645	0,51	97,40	96,80	96,40	95,80	1,00	1,00	0,50
8-9	40	0,25	1,77	11,75	184,00	452,70	0,536	0,6	0,01	0,2298	3,687	63,5	0,171	2,371	0,28	96,80	96,40	95,80	95,40	1,00	1,00	0,50
9-11	40	0,05	1,82	12,03	182,63	462,01	0,540	0,6	0,01	0,2345	3,721	64,3	0,172	2,380	0,28	96,40	96,00	95,40	95,00	1,00	1,00	0,50
10-11	50	0,3	0,3	10,00	193,03	80,49	0,280	0,3	0,01	0,2594	3,909	68,7	0,088	1,526	0,55	96,50	96,00	95,50	95,00	1,00	1,00	0,50
11-12	50	0,25	2,37	12,31	181,28	597,19	0,551	0,6	0,015	0,2475	3,817	66,6	0,175	2,943	0,28	96,00	95,50	95,00	94,25	1,00	1,25	0,50

## APÊNDICE B – TABELAS DE DIMENSIONAMENTO DE REDE ÁGUAS PLUVIAIS DOS CENÁRIOS 03 E 04

Cenário 03																						
Trecho (PV)	L (m)	Áreas (ha)		tc (min)	I (mm/h)	Q (l/s)	D <sup>calc</sup> (m)	D (m)	S (m/m)	K	θ (rad)	y/D (%)	Rh	V (m/s)	te (min)	Cotas do terreno		Cotas do Greide		Profundidade (m)		C equi.
		Trecho	Acum.													Mont.	Jus.	Mont.	Jus.	Mont.	Jus.	
1-2	50	0,3	0,3	10,00	193,03	128,79	0,314	0,4	0,014	0,1629	3,219	51,9	0,102	1,992	0,42	99,50	98,80	98,50	97,80	1,00	1,00	0,80
2-3	40	0,27	0,57	10,42	190,79	241,86	0,442	0,5	0,008	0,2232	3,640	62,3	0,141	1,868	0,36	98,80	98,50	97,80	97,48	1,00	1,02	0,80
3-5	40	0,05	0,62	10,78	188,92	260,50	0,421	0,5	0,012	0,1963	3,452	57,7	0,136	2,229	0,30	98,50	98,00	97,48	97,00	1,02	1,00	0,80
4-5	50	0,3	0,3	10,00	193,03	128,79	0,323	0,4	0,012	0,1760	3,311	54,2	0,105	1,876	0,44	98,60	98,00	97,60	97,00	1,00	1,00	0,80
5-6	40	0,25	1,17	11,07	187,38	487,57	0,511	0,6	0,015	0,2021	3,492	58,7	0,165	2,831	0,24	98,00	97,40	97,00	96,40	1,00	1,00	0,80
6-8	40	0,05	1,22	11,31	186,18	505,17	0,517	0,6	0,015	0,2094	3,543	60,0	0,167	2,852	0,23	97,40	96,80	96,40	95,80	1,00	1,00	0,80
7-8	50	0,3	0,3	10,00	193,03	128,79	0,323	0,4	0,012	0,1760	3,311	54,2	0,105	1,876	0,44	97,40	96,80	96,40	95,80	1,00	1,00	0,80
8-9	40	0,25	1,77	11,54	185,01	728,30	0,640	0,7	0,01	0,2451	3,799	66,1	0,203	2,658	0,25	96,80	96,40	95,80	95,40	1,00	1,00	0,80
9-11	40	0,05	1,82	11,79	183,77	743,86	0,645	0,7	0,01	0,2503	3,839	67,1	0,204	2,668	0,25	96,40	96,00	95,40	95,00	1,00	1,00	0,80
10-11	50	0,3	0,3	10,00	193,03	128,79	0,334	0,4	0,01	0,1927	3,427	57,1	0,108	1,747	0,48	96,50	96,00	95,50	95,00	1,00	1,00	0,80
11-12	50	0,25	2,37	12,04	182,55	962,22	0,659	0,7	0,015	0,2644	3,949	69,6	0,207	3,297	0,25	96,00	95,50	95,00	94,25	1,00	1,25	0,80

Cenário 04																						
Trecho (PV)	L (m)	Áreas (ha)		tc (min)	I (mm/h)	Q (l/s)	D <sup>calc</sup> (m)	D (m)	S (m/m)	K	θ (rad)	y/D (%)	Rh	V (m/s)	te (min)	Cotas do terreno		Cotas do Greide		Profundidade (m)		C equi.
		Trecho	Acum.													Mont.	Jus.	Mont.	Jus.	Mont.	Jus.	
1-2	50	0,3	0,3	10,00	193,03	96,59	0,282	0,3	0,014	0,2631	3,939	69,4	0,089	1,809	0,46	99,50	98,80	98,50	97,80	1,00	1,00	0,60
2-3	40	0,27	0,57	10,46	190,56	181,18	0,396	0,5	0,008	0,1672	3,249	52,7	0,129	1,758	0,38	98,80	98,50	97,80	97,48	1,00	1,02	0,60
3-5	40	0,05	0,62	10,84	188,58	195,03	0,378	0,4	0,012	0,2665	3,966	70,0	0,119	2,033	0,33	98,50	98,00	97,48	97,00	1,02	1,00	0,60
4-5	50	0,3	0,3	10,00	193,03	96,59	0,290	0,3	0,012	0,2842	4,122	73,6	0,090	1,694	0,49	98,60	98,00	97,60	97,00	1,00	1,00	0,60
5-6	40	0,25	1,17	11,17	186,90	364,75	0,458	0,5	0,015	0,2458	3,805	66,3	0,145	2,603	0,26	98,00	97,40	97,00	96,40	1,00	1,00	0,60
6-8	40	0,05	1,22	11,42	185,61	377,71	0,464	0,5	0,015	0,2546	3,871	67,8	0,147	2,618	0,25	97,40	96,80	96,40	95,80	1,00	1,00	0,60
7-8	50	0,3	0,3	10,00	193,03	96,59	0,290	0,3	0,012	0,2842	4,122	73,6	0,090	1,694	0,49	97,40	96,80	96,40	95,80	1,00	1,00	0,60
8-9	40	0,25	1,77	11,68	184,34	544,25	0,574	0,6	0,01	0,2763	4,050	71,9	0,179	2,445	0,27	96,80	96,40	95,80	95,40	1,00	1,00	0,60
9-11	40	0,05	1,82	11,95	183,01	555,57	0,579	0,6	0,01	0,2820	4,102	73,1	0,180	2,452	0,27	96,40	96,00	95,40	95,00	1,00	1,00	0,60
10-11	50	0,3	0,3	10,00	193,03	96,59	0,300	0,3	0,01	0,3113	4,458	80,6	0,091	1,559	0,53	96,50	96,00	95,50	95,00	1,00	1,00	0,60
11-12	50	0,25	2,37	12,22	181,69	718,26	0,590	0,6	0,015	0,2977	4,264	76,6	0,182	3,022	0,28	96,00	95,50	95,00	94,25	1,00	1,25	0,60



## APÊNDICE C – TABELAS DE DIMENSIONAMENTO DE REDE ÁGUAS PLUVIAIS DOS CENÁRIOS 05 E 06

Cenário 05																						
Trecho (PV)	L (m)	Áreas (ha)		tc (min)	I (mm/h)	Q (l/s)	D <sub>calc</sub> (m)	D (m)	S (m/m)	K	θ (rad)	y/D (%)	Rh	V (m/s)	te (min)	Cotas do terreno		Cotas do Greide		Profundidade (m)		C equi.
		Trecho	Acum.													Mont.	Jus.	Mont.	Jus.	Mont.	Jus.	
1-2	50	0,3	0,3	10,00	193,03	144,89	0,328	0,4	0,014	0,1833	3,362	55,5	0,106	2,045	0,41	99,50	98,80	98,50	97,80	1,00	1,00	0,90
2-3	40	0,27	0,57	10,41	190,85	272,17	0,462	0,5	0,008	0,2512	3,845	67,2	0,146	1,908	0,35	98,80	98,50	97,80	97,48	1,00	1,02	0,90
3-5	40	0,05	0,62	10,76	189,01	293,21	0,440	0,5	0,012	0,2209	3,624	61,9	0,141	2,283	0,29	98,50	98,00	97,48	97,00	1,02	1,00	0,90
4-5	50	0,3	0,3	10,00	193,03	144,89	0,338	0,4	0,012	0,1979	3,464	58,0	0,109	1,924	0,43	98,60	98,00	97,60	97,00	1,00	1,00	0,90
5-6	40	0,25	1,17	11,05	187,51	548,90	0,534	0,6	0,015	0,2275	3,671	63,1	0,171	2,898	0,23	98,00	97,40	97,00	96,40	1,00	1,00	0,90
6-8	40	0,05	1,22	11,28	186,34	568,79	0,541	0,6	0,015	0,2357	3,730	64,5	0,172	2,917	0,23	97,40	96,80	96,40	95,80	1,00	1,00	0,90
7-8	50	0,3	0,3	10,00	193,03	144,89	0,338	0,4	0,012	0,1979	3,464	58,0	0,109	1,924	0,43	97,40	96,80	96,40	95,80	1,00	1,00	0,90
8-9	40	0,25	1,77	11,51	185,19	820,14	0,670	0,7	0,01	0,2760	4,047	71,9	0,209	2,709	0,25	96,80	96,40	95,80	95,40	1,00	1,00	0,90
9-11	40	0,05	1,82	11,75	183,97	837,75	0,675	0,7	0,01	0,2819	4,101	73,1	0,210	2,717	0,25	96,40	96,00	95,40	95,00	1,00	1,00	0,90
10-11	50	0,3	0,3	10,00	193,03	144,89	0,349	0,4	0,01	0,2168	3,595	61,2	0,112	1,789	0,47	96,50	96,00	95,50	95,00	1,00	1,00	0,90
11-12	50	0,25	2,37	12,00	182,77	1083,61	0,689	0,7	0,015	0,2978	4,265	76,6	0,212	3,349	0,25	96,00	95,50	95,00	94,25	1,00	1,25	0,90

Cenário 06																						
Trecho (PV)	L (m)	Áreas (ha)		tc (min)	I (mm/h)	Q (l/s)	D <sub>calc</sub> (m)	D (m)	S (m/m)	K	θ (rad)	y/D (%)	Rh	V (m/s)	te (min)	Cotas do terreno		Cotas do Greide		Profundidade (m)		C equi.
		Trecho	Acum.													Mont.	Jus.	Mont.	Jus.	Mont.	Jus.	
1-2	50	0,3	0,3	10,00	193,03	112,69	0,299	0,3	0,014	0,3070	4,385	79,1	0,091	1,844	0,45	99,50	98,80	98,50	97,80	1,00	1,00	0,70
2-3	40	0,27	0,57	10,45	190,61	211,43	0,420	0,5	0,008	0,1951	3,444	57,5	0,136	1,818	0,37	98,80	98,50	97,80	97,48	1,00	1,02	0,70
3-5	40	0,05	0,62	10,82	188,69	227,66	0,400	0,4	0,012	0,3110	4,453	80,5	0,122	2,069	0,32	98,50	98,00	97,48	97,00	1,02	1,00	0,70
4-5	50	0,3	0,3	10,00	193,03	112,69	0,307	0,4	0,012	0,1540	3,155	50,3	0,100	1,820	0,46	98,60	98,00	97,60	97,00	1,00	1,00	0,70
5-6	40	0,25	1,17	11,14	187,04	425,86	0,485	0,5	0,015	0,2870	4,150	74,1	0,150	2,665	0,25	98,00	97,40	97,00	96,40	1,00	1,00	0,70
6-8	40	0,05	1,22	11,39	185,78	441,06	0,492	0,5	0,015	0,2973	4,258	76,5	0,151	2,676	0,25	97,40	96,80	96,40	95,80	1,00	1,00	0,70
7-8	50	0,3	0,3	10,00	193,03	112,69	0,307	0,4	0,012	0,1540	3,155	50,3	0,100	1,820	0,46	97,40	96,80	96,40	95,80	1,00	1,00	0,70
8-9	40	0,25	1,77	11,64	184,53	635,62	0,608	0,7	0,01	0,2139	3,575	60,7	0,196	2,592	0,26	96,80	96,40	95,80	95,40	1,00	1,00	0,70
9-11	40	0,05	1,82	11,90	183,27	649,09	0,613	0,7	0,01	0,2184	3,607	61,5	0,197	2,602	0,26	96,40	96,00	95,40	95,00	1,00	1,00	0,70
10-11	50	0,3	0,3	10,00	193,03	112,69	0,318	0,4	0,01	0,1687	3,259	52,9	0,104	1,697	0,49	96,50	96,00	95,50	95,00	1,00	1,00	0,70
11-12	50	0,25	2,37	12,15	182,03	839,51	0,626	0,7	0,015	0,2307	3,694	63,6	0,200	3,220	0,26	96,00	95,50	95,00	94,25	1,00	1,25	0,70