



**UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA**  
**CENTRO DE TECNOLOGIA**  
**CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AMBIENTAL**

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO**

**EFEITO COMBINADO DE TELHADO VERDE E PAVIMENTO PERMEÁVEL NO  
CONTROLE DA GERAÇÃO DO ESCOAMENTO SUPERFICIAL**

**THALITA RAQUEL PEREIRA DE OLIVEIRA**

**JOÃO PESSOA**

**2018**

**THALITA RAQUEL PEREIRA DE OLIVEIRA**

**EFEITO COMBINADO DE TELHADO VERDE E PAVIMENTO PERMEÁVEL NO  
CONTROLE DA GERAÇÃO DO ESCOAMENTO SUPERFICIAL**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à  
Coordenação do Curso de Engenharia  
Ambiental da Universidade Federal da Paraíba,  
como pré-requisito para a obtenção do título de  
Bacharel em Engenharia Ambiental

Orientador: Prof. Gustavo Barbosa Lima da  
Silva

JOÃO PESSOA

2018

O48e Oliveira, Thalita Raquel Pereira de.  
EFEITO COMBINADO DE TELHADO VERDE E PAVIMENTO PERMEÁVEL  
NO CONTROLE DA GERAÇÃO DO ESCOAMENTO SUPERFICIAL /  
Thalita Raquel Pereira de Oliveira. - João Pessoa,  
2018.  
72 f. : il.

Orientação: Gustavo Barbosa Lima da Silva.  
Monografia (Graduação) - UFPB/CT.

1. escoamento superficial. 2. técnicas sustentáveis. 3.  
pavimentos permeáveis. 4. telhado verde. I. Gustavo  
Barbosa Lima da Silva. II. Título.

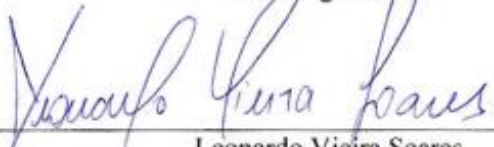
UFPB/BC

**FOLHA DE APROVAÇÃO****THALITA RAQUEL PEREIRA DE OLIVEIRA****EFEITO COMBINADO DE TELHADO VERDE E PAVIMENTO PERMEÁVEL NO  
CONTROLE DA GERAÇÃO DO ESCOAMENTO SUPERFICIAL**


Trabalho de Conclusão de Curso apresentado em 30/10/2018 perante a seguinte Comissão Julgadora:

  
\_\_\_\_\_  
Gustavo Barbosa Lima da Silva  
Departamento de Engenharia Civil e Ambiental do Centro de  
Tecnologia/UFPB

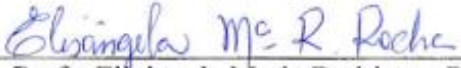
APROVADO

  
\_\_\_\_\_  
Leonardo Vieira Soares  
Departamento de Engenharia Civil e Ambiental do Centro de  
Tecnologia/UFPB

APROVADO

  
\_\_\_\_\_  
Adriano Rolim da Paz  
Departamento de Engenharia Civil e Ambiental do Centro de  
Tecnologia/UFPB

APROVADO

  
\_\_\_\_\_  
Profª. Elisângela Maria Rodrigues Rocha  
Coordenadora do Curso de Graduação em Engenharia Ambiental

Profª Elisângela M. R. Rocha  
Coord. CCGEAM/CT/UFPB  
Mat. SIAPE 1821373

## AGRADECIMENTOS

À minha mãe Francisca, por ter possibilitado minha formação e por todo amor e carinho; à Giovanna por ser o meu suporte, a melhor prima e com certeza o único membro da família que me entende verdadeiramente, obrigada pelas conversas profundas e existenciais.

Agradeço aos meus amigos fizeram parte, de um jeito ou de outro, desse meu caminho: Lucas, por todas as risadas no ônibus que foram muitas! Além de todo apoio emocional; Tallyson, pelas dicas de como sobreviver morando sozinha e pelo suporte nessa reta final; Raquel, por me proporcionar as melhores saídas e lembrar que a vida é muito mais do que só fazer o TCC; Isabelle e Daniela, por serem amigas que me ajudam a seguir em frente apesar das adversidades encontradas na trajetória da vida.

Em especial agradeço a Deborah, que foi a amiga que a vida me deu, inicialmente para dividir a pressão na universidade mas isso se expandiu de uma forma tão incrível que hoje ela é uma irmã pra mim. Agradeço também à sua família que me acolheu e me apoiou como se eu fosse filha.

Ao meu namorado, Angelo Medeiros, obrigada pela compreensão e apoio em todos os momentos e por sempre me incentivar a ser a melhor versão de mim mesma que eu possa ser.

Ao professor Gustavo Barbosa Lima da Silva, um mentor excepcional, agradeço por ter aceitado o convite de ser meu orientador e por toda calma, apoio e dedicação para realização deste trabalho.

## RESUMO

O número crescente de habitantes associado a falta de planejamento urbano resultou no aumento desordenado das áreas urbana e conseqüentemente a intensificação de superfícies impermeáveis nas cidades, causando inundações, prejuízos materiais à população, disseminação de doenças e impactos ao ambiente. As implantações dos sistemas tradicionais de drenagem urbana, conhecidos como higienista, no início do século XX, se tornaram essenciais para a remediação desses problemas, contudo, esse sistema tem como objetivo principal a transferência do escoamento superficial para jusante o mais rápido possível com intervenções na macrodrenagem e assim reduzindo os problemas de inundações apenas no local, mas não de maneira definitiva. Como uma forma de amenizar os impactos resultantes dos sistemas tradicionais, surge a estratégia do Desenvolvimento Urbano de Baixo Impacto que consiste em métodos baseados no planejamento integrado em escala de bacia e na instalação de dispositivos de armazenamento e infiltração. Baseado nisso, Este trabalho tem por objetivo avaliar o efeito da aplicação integrada de pavimentos permeáveis e telhados verdes no controle do escoamento superficial com a utilização do software SWMM, para diferentes combinações de área de cobertura e espessura das camadas subjacentes e analisar a eficiência hidrológica de diferentes alternativas associada ao custo total de implantação. Os resultados mostraram a eficiência dos dispositivos até para uma chuva mais intensa, além de alternativas com diversas taxas de ocupação e espessura, associadas a um orçamento, que podem ser escolhidas de acordo com as possibilidades disponíveis da área.

**Palavras-chaves:** Escoamento superficial, Técnicas sustentáveis, Pavimentos permeáveis, Telhado verde.

## ABSTRACT

The increasing number of inhabitants associated with the lack of urban planning resulted in the disorderly increase of urban areas and consequently the intensification of impermeable surfaces in the cities, causing floods, material damages to the population, dissemination of diseases and impacts to the environment. The implantations of traditional urban drainage systems, a hygienist concept, in the early 20th century, have become essential for remediation to these problems, however, the main purpose of this system is to transfer downstream runoff as quickly as possible with macrodrainage interventions and thus to reduce flooding problems only locally, but not in a definitive way. To mitigate the impacts resulting from traditional systems, the Low Impact Development strategy emerges, consisting of methods based on integrated subcatchment scale planning and the installation of storage and infiltration devices. Based on this, this work aims to evaluate the integrated effect of the application of permeable pavements and green roofs in the control of surface runoff using SWMM software for different combinations of coverage area and thickness of the underlying layers and to analyze the hydrological efficiency of different alternatives associated with the total cost of implantation. Results have shown the efficiency of the devices even for a more intense rainfall, besides alternatives with different occupancy rates and thickness, associated to a budget, that can be chosen according to the available possibilities of the area.

**Keywords:** Runoff, sustainable techniques, permeable pavements, green roofs.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Hidrogramas comparativos para bacia pré-urbanizada e pós-urbanizada	3
Figura 2 – Exemplo de obstrução em bocas de lobo .....	4
Figura 3 – Camadas de um Pavimento Permeável .....	9
Figura 4 – Exemplo das camadas do telhado verde.....	11
Figura 5 – Representação idealizada de uma sub-bacia no SWMM .....	13
Figura 6 – Reservatório não linear.....	13
Figura 7 – Exemplo da divisão de uma sub-bacia no SWMM .....	16
Figura 8 – Representação conceitual de um dispositivo de infiltração no SWMM .....	17
Figura 9 – Fluxograma da metodologia realizada no estudo .....	18
Figura 10 – Mapa de Localização da Área de Estudo .....	19
Figura 11 – Mapa de uso e cobertura do solo da área de estudo .....	20
Figura 12 – Uso do solo: porcentagem em relação à área total .....	20
Figura 13 – Hietograma de Projeto.....	22
Figura 14 – Rede de microdrenagem.....	23
Figura 15 – Delimitação das sub-bacias .....	24
Figura 16 – Exemplo de representação de cenários no SWMM (S = sub-bacia).....	24
Figura 17 – Implantação de dispositivos LIDs em cada sub-bacia.....	26
Figura 18 – Hidrogramas sem implantação de LIDs .....	33
Figura 19 – Histogramas Vazão Máxima e Volume Total para TR = 5 anos .....	34
Figura 20 – Histogramas de Vazão Máxima e Volume Total para TR = 25 anos.....	35
Figura 21 – Hidrogramas de saída com dispositivos LIDs reduzindo 25% da vazão máxima .....	36
Figura 22 – Hidrogramas de saída com dispositivos LIDs reduzindo 50% da vazão máxima .....	36
Figura 23 – Hidrogramas de saída com dispositivos LIDs reduzindo 75% da vazão máxima .....	37
Figura 24 – Avaliação do Efeito do Pavimento Permeável com a variação da porcentagem de cobertura da área .....	38
Figura 25 – Hidrogramas de saída variando a espessura do TV.....	39
Figura 26 – Hidrogramas de saída para variação da área de cobertura do TV com área mínima de ocupação do PP.....	40

Figura 27 – Hidrogramas de saída para variação da área de cobertura do TV e com área máxima de ocupação do PP.....	41
Figura 28 – Relação da porcentagem de vazão máxima reduzida e o custo total da implantação.....	43
Figura 29 – Variação do custo total para uma redução da vazão máxima em torno de 50%.....	43

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Estágios do desenvolvimento sustentável da drenagem urbana nos países desenvolvidos - Adaptado de SNSA (2005).....	5
Tabela 2 – Benefícios dos telhados verdes .....	10
Tabela 3 – Informações dos trechos da rede de microdrenagem.....	22
Tabela 4 – Dados de entrada referentes às sub-bacias.....	25
Tabela 5 – Parâmetros para a camada de areia .....	26
Tabela 6 – Definição dos parâmetros para Pavimentos Permeáveis .....	28
Tabela 7 – Definição dos parâmetros para Telhado Verde.....	28
Tabela 8 – Variações das simulações .....	29
Tabela 9 – Exemplo da ordem como as simulações foram executadas .....	30
Tabela 10 – Itens do levantamento de custos para o orçamento do pavimento permeável .....	31
Tabela 11 – Itens do levantamento de custos para o orçamento do telhado verde .....	31
Tabela 12 – Informações das simulações variando a área de cobertura do PP.....	38
Tabela 13 – Resultados da variação da área ocupada por pavimentos permeáveis.....	38
Tabela 14 – Informações das simulações variando a espessura do TV .....	39
Tabela 15 – Porcentagens de redução da vazão variando a espessura do TV .....	39
Tabela 16 – Informações das simulações variando a área de ocupação do TV.....	40
Tabela 17 – Resultados da variação da área ocupada por telhado verde.....	41
Tabela 18 – Informações das simulações comparativas, variando a área de ocupação do TV.....	41
Tabela 19 – Resultados da variação da área ocupada por telhado verde e área máxima de ocupação de pavimento permeável .....	42
Tabela 20 – Custos para as soluções de redução de vazão máxima de 25, 50 e 75% ..	44

**LISTA DE ABREVIATURAS**

CT	Centro de Tecnologia
EPA	Environmental Protection Agency
LARHENA	Laboratório de Recursos Hídricos e Engenharia Ambiental
LID	Low Impact Development
PP	Pavimentos Permeáveis
SEINFRA	Secretaria de Infraestrutura
SINAPI	Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil
SUDS	Sustainable Urban Drainage Systems
SWMM	Storm Water Management Model
TR	Tempo de Retorno
TV	Telhado Verde
UFPB	Universidade Federal da Paraíba
WSUD	Water Sensitive Urban Design

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>1</b>
1.1. Objetivos .....	2
1.1.1. Objetivo Geral .....	2
1.1.2. Objetivos Específicos .....	2
<b>2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....</b>	<b>3</b>
2.1. Impacto da urbanização nas águas urbanas .....	3
2.2. Sistemas de drenagem urbana .....	5
2.2.1. Sistema tradicional de drenagem urbana.....	5
2.2.2. Sistema Sustentável em Drenagem Urbana .....	6
2.3. Estruturas de controle na fonte.....	7
2.3.1. Pavimentos Permeáveis.....	8
2.3.2. Telhado Verde .....	10
2.4. Legislação sobre drenagem de águas pluviais.....	11
2.5. SWMM.....	12
2.5.1. Equações governantes .....	13
2.5.2. Propagação do escoamento em galerias .....	15
2.5.3. Divisão das sub-bacias no SWMM .....	16
2.5.4. Dispositivos LID .....	16
<b>3. METODOLOGIA.....</b>	<b>18</b>
3.1. Descrição geral da metodologia .....	18
3.2. Área de Estudo .....	19
3.3. Cálculos de parâmetros hidrológicos .....	21
3.3.1. Chuva de Projeto .....	21
3.3.2. Rede de Microdrenagem .....	22
3.4. Discretização da área estudo .....	23

3.4.1.	Dispositivos LIDs na área de estudo .....	26
3.5.	MATLAB .....	29
3.6.	Levantamento de Custos .....	30
<b>4.</b>	<b>RESULTADOS .....</b>	<b>33</b>
4.1.	Geração de Escoamento sem implantação de LIDs .....	33
4.2.	Geração de Escoamento com combinação de LIDs .....	33
4.2.1.	Avaliação do efeito do Pavimento Permeável.....	37
4.2.2.	Avaliação do efeito do Telhado Verde.....	39
4.3.	Orçamento .....	42
<b>5.</b>	<b>CONCLUSÃO.....</b>	<b>45</b>
<b>6.</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>46</b>
	<b>APÊNDICE .....</b>	<b>51</b>

## 1. INTRODUÇÃO

Desde o início do século XX o crescimento populacional aumentou exponencialmente, gerando cada vez mais aumento das áreas urbanas e conseqüentemente a intensificação de superfícies impermeáveis nas cidades. A falta de planejamento associado ao número crescente de habitantes, assim como a ausência de fiscalização do uso e ocupação do solo, resultou nos problemas relacionados às águas pluviais e principalmente quando se refere à sua quantidade e qualidade (CANHOLI, 2013).

Com o solo impermeabilizado, ocorre uma série de conseqüências hidrológicas, dentre elas o aumento do volume escoado e das vazões máximas; a diminuição do tempo de pico; e a redução da infiltração, causando inundações cada vez mais frequentes assim como prejuízos materiais à população, disseminação de doenças de veiculação hídrica e impactos ao ambiente.

Nesse contexto, as implantações de sistemas de drenagem urbana se tornaram essenciais para a remediação do problema. Porém, esses sistemas tradicionais visam a transferência do escoamento superficial para jusante o mais rápido possível com intervenções na macrodrenagem, aumentando a capacidade das galerias e assim reduzindo os problemas apenas no local (CANHOLI, 2005), mas sem solucionar o problema em si.

Como forma de amenizar os impactos resultantes dos sistemas tradicionais, surge a estratégia do *Low Impact Development* (LID, traduzido como Desenvolvimento Urbano de Baixo Impacto) que consiste em métodos baseados no planejamento integrado em escala de bacia e na instalação de dispositivos de armazenamento e infiltração (SOUZA *et al.*, 2012). Essas práticas envolvem as medidas não-estruturais, tais como legislações municipais, plano diretores e manuais técnicos de drenagem urbana, e a implantação de soluções que buscam controlar do escoamento na fonte, para assim reduzir a vazão de pico a jusante, aumentando a eficiência da rede atual de drenagem e diminuindo o impacto ambiental.

Existem diversos dispositivos voltados para controle do escoamento na fonte, como pavimentos permeáveis, microrreservatórios de lote, trincheiras de infiltrações, telhados verdes, jardins de chuva, dentre outros. A aplicação em conjunto de vários dispositivos LIDs, como os citados, podem levar a diversas alternativas com desempenhos hidrológicos diferentes, sendo possível atingir um mesmo objetivo de controle com diferentes formas de combinações.

Diante disso, o presente trabalho busca avaliar a eficiência hidrológica de diferentes estruturas de controle (telhado verde e pavimento permeável) atuando de forma integrada, por

meio de simulações do escoamento superficial pelo *Storm Water Management Model – SWMM Version 5.1* (U.S. Environmental Protection Agency), para identificar quais alternativas apresentam um custo-benefício mais satisfatório.

## **1.1. Objetivos**

### **1.1.1. Objetivo Geral**

Avaliar o efeito da aplicação integrada de pavimentos permeáveis e telhados verdes no controle do escoamento superficial por meio de simulação hidrológica para diferentes combinações de área de cobertura e espessura das camadas subjacentes.

### **1.1.2. Objetivos Específicos**

- Avaliar a influência da magnitude da chuva no desempenho hidrológico a partir de diferentes combinações dos pavimentos permeáveis e telhados verdes;
- Verificar o impacto da urbanização da área com relação ao escoamento superficial gerado;
- Analisar a eficiência das alternativas combinadas na redução da vazão máxima e do volume total em relação aos originais;
- Avaliar o custo-benefício da implantação de diferentes alternativas que ofereçam eficiência hidrológica semelhante.

## 2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

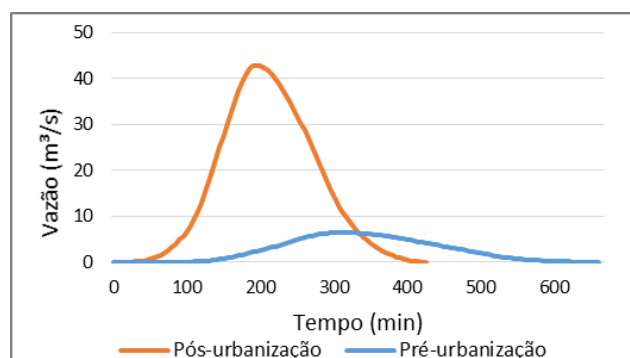
### 2.1. Impacto da urbanização nas águas urbanas

A concentração populacional nos grandes centros urbanos tem gerado uma impermeabilização devido às construções de telhados, vias, calçadas, estacionamentos, o que acaba por afetar as zonas de infiltração natural, alterando a qualidade e quantidade da água no seu ciclo hidrológico (ARAÚJO *et al.*, 1999).

O crescimento da população urbana tem se intensificado geralmente nas áreas adjacentes das metrópoles. A falta de planejamento e investimento público em implantação de infraestrutura contribui para agravar a situação, na qual essa expansão, muitas vezes irregular, ocorre sobre áreas de mananciais de abastecimento humano, prejudicando a qualidade dos recursos hídricos das cidades (TUCCI, 2002).

Como consequência, nos eventos de precipitação, a água que deveria infiltrar acaba, em sua maior parte, escoando por efeito da superfície urbanizada praticamente toda impermeável, que pode ser observado na Figura 1, que exemplifica os hidrogramas da situação de pré-urbanização e pós-urbanização. Esse escoamento superficial em grande escala é responsável por grandes alagamentos nas cidades, riscos de desastres ambientais aos moradores em áreas de instabilidade do solo, além de danos e prejuízos à população como um todo. Pompeo (2000) ressalta ainda que tais condicionantes como a falta de planejamento da expansão urbana e os diversos fatores correlacionados acima são resultantes de questões econômicas, políticas e sociais que antecedem o problema.

Figura 1 - Hidrogramas comparativos para bacia pré-urbanizada e pós-urbanizada



Fonte: Elaboração própria, 2018.

Segundo Tassi (2002), as alterações mais comuns no regime hidrológico resultante do desenvolvimento urbano podem ser descritas como:

- Aumento do volume escoado;
- Acréscimo da frequência de vazões extremas;
- Redução da infiltração natural;
- Diminuição do tempo de pico, juntamente com a redução do tempo de concentração;
- Perda de armazenamento.

Além disso, diversos fatores relacionados aos hábitos urbanos acabam por dificultar o funcionamento adequado das redes de drenagem, colaborando com a ampliação dos problemas citados acima. Dentre esses fatores, os principais envolvem o acúmulo de resíduos sólidos urbanos que podem obstruir as bocas de lobo, a implantação irregular de obstruções nas sarjetas impedindo a passagem da água para rede de drenagem existente, o acúmulo de sedimentos nos canais que provoca a necessidade de manutenções frequentes, dentre outros (Figura 2).

Figura 2 – Exemplo de obstrução em bocas de lobo



Fonte: Arquivo pessoal, 2018.

Em quase cinquenta anos, o planejamento em drenagem urbana evoluiu de forma significativa, passando por alguns estágios de diferentes técnicas para solucionar os problemas ocasionados pela grande quantidade de escoamento superficial gerado pelas cidades. Esses estágios são exemplificados na Tabela 1.

Segundo Canholi (2013), a revolução na engenharia de recursos hídricos das últimas décadas ocorreu primeiramente diante dos problemas da fase higienista com a quantidade exorbitante de águas, danos causados por inundações e deterioração dos corpos d'água. Assim, novos conceitos foram surgindo com o objetivo de recuperar as condições hidrológicas de pré urbanização da área, dentre elas, as técnicas compensatórias aparecem tendo como alvo uma visão integrada da bacia onde se promove a diminuição do volume escoado, sua velocidade e tempo de pico, manutenção do tempo de concentração da bacia no período de pré urbanização, e a melhora da qualidade da água.

Tabela 1 - Estágios do desenvolvimento sustentável da drenagem urbana nos países desenvolvidos - Adaptado de SNSA (2005)

Anos	Período	Características
Até 1970	Higienista	Abastecimento de água sem tratamento de esgoto; Transferência do escoamento pluvial para jusante por canalização.
1970 - 1990	Corretivo	Tratamento de esgoto; Amortecimento quantitativo da drenagem; Controle do impacto existente da qualidade da água pluvial.
1990* - ?	Sustentável	Planejamento da ocupação do espaço urbano, obedecendo aos mecanismos naturais do escoamento; Controle de micropoluentes e da poluição difusa; Desenvolvimento Sustentável por meio da recuperação da infiltração.

\*Período no qual esse tipo de visão iniciou-se.

## 2.2. Sistemas de drenagem urbana

### 2.2.1. Sistema tradicional de drenagem urbana

No contexto histórico, as primeiras ideias voltadas para a solução do problema de drenagem vieram por volta do século XX na fase higienista, onde se buscavam principalmente por resultados rápidos a fim de evitar a proliferação de doenças de veiculação hídrica (TUCCI, 2012). O meio de se obter isso veio com despejo dessas águas a jusante, sem tratamento, resolvendo o problema localmente, porém transferindo-o para áreas subsequentes.

De acordo com Nascimento *et al.* (1999), a época higienista contribuiu significativamente para a melhora na qualidade de vida da população com a redução de contaminação por doenças de veiculação hídrica, visto que, antigamente o sistema funcionava com esgotos abertos, fossas sem coleta ou tratamento adequado. Dessa forma, com o passar dos anos, os avanços do cálculos hidráulicos juntamente com uma visão sistêmica da bacia auxiliaram no aprimoramento das concepções de projetos, contudo no Brasil, esses progressos ainda se desenvolvem lentamente.

Diante de alagamentos, inundações e circulação de doenças de veiculação hídrica, surgiram medidas para tentar evitar ao máximo tais transtorno. As estruturas de drenagem desenvolvidas para solucionar os problemas com eficácia se fundamentaram nos dispositivos de microdrenagem: sarjetas, bocas de lobo, condutos enterrados; e de macrodrenagem: canais abertos, galerias, bueiros, dissipadores de energia, dentre outras (DRUMOND, 2012).

Assim, a maior parcela da água de um evento chuvoso é direcionada primeiramente às sarjetas, que encaminha o escoamento para as bocas de lobo e então prossegue para as galerias, onde tem sua destinação “final” para canais que transportam todo o escoamento para jusante. Entretanto, canalização dos corpos d’água acaba por agravar ainda mais o problema a jusante, devido à redução do atrito da superfície, ocasionando o aumento da velocidade e podendo levar a sérios problemas pela inundação.

Além disso, Martínez (2010) destaca a relação entre o desenvolvimento urbano e o aumento na quantidade de sedimentos da bacia, geralmente produzidos devido às construções novas de edificações, de ruas, avenidas, limpeza de terrenos para novos loteamentos, entre outros. A autora também ressalta que esses sedimentos são levados juntamente com o escoamento superficial ocasionando obstrução das canalizações em razão do seu acúmulo e prejudicando a eficiência das redes de drenagem assim como a qualidade dos corpos d’água.

Por essas razões e com a urbanização cada vez mais intensa, o sistema tradicional de drenagem tende a ficar obsoleto rapidamente, sendo necessário mais e mais obras para aumentar a profundidade e a seção transversal dos canais, diminuir a rugosidade da superfície, duplicar a rede de drenagem, entre outras intervenções (DRUMOND, 2012). Além de não sustentável, essa situação, que não é tão eficiente, exige grandes quantias de recursos para ser executada.

### **2.2.2. Sistema Sustentável em Drenagem Urbana**

Com o aumento da notoriedade sobre as questões ambientais, nas últimas décadas ocorreu uma busca de técnicas e estratégias visando o manejo mais sustentável das águas pluviais. Essas abordagens tem diferentes denominações de acordo com o local como: *Low Impact Development* (LID), nos EUA e Canadá; *Sustainable Urban Drainage Systems* (SUDS), no Reino Unido; *Water Sensitive Urban Design* (WSUD), na Austrália, dentre outros (FORGIARINI, 2010). No Brasil essas técnicas foram traduzidas como Desenvolvimento Urbano de Baixo Impacto (BRASIL, 2012).

Segundo Davis e Masten (2016), as metas do desenvolvimento de baixo impacto envolvem minimizar os principais impactos do sistema tradicional de drenagem através de medidas que possam reduzir os volumes escoados, melhorar a infiltração da bacia e remover poluentes que possam estar presentes nas águas da chuva.

De acordo com a ASCE (2007), algumas abordagens fundamentais do LID incluem:

- Evitar impactos através da conservação e preservação das características naturais;
- Minimizar os impactos inevitáveis por meio de um melhor planejamento;
- Mitigação dos impactos inevitáveis utilizando LID no tratamento de escoamento pluvial em pequena escala baseada nas práticas de controle integrado;
- Controle das vazões de pico para níveis de pré-urbanização;
- Prevenção de poluição em escala local.

Na prática, o controle do escoamento superficial com o desenvolvimento urbano de baixo impacto acontece na fonte, ou seja, próximo às superfícies onde o escoamento é inicialmente gerado, como os lotes, entre outros. Dessa forma a redução do escoamento pode ocorrer por duas maneiras: pela infiltração e pelo armazenamento temporário (BRASIL, 2012).

Na infiltração é realizada a implantação de dispositivos como pavimentos permeáveis, trincheiras de infiltração e jardins de chuva, os quais favorecem uma maior infiltração da água pluvial; já no modo que visa o armazenamento temporário, são utilizadas estruturas como micro reservatório de lote que torna possível o reuso da água pluvial (usualmente para usos não potáveis como em descargas de bacias sanitárias, limpeza de pisos em geral, aguar jardins, entre outros) ou um descarte lento de forma a garantir um comportamento semelhante às condições hidrológicas de pré-urbanização.

### **2.3. Estruturas de controle na fonte**

Do ponto de vista geral, ao passo que os sistemas tradicionais visam o transporte rápido da água pluvial para jusante, os dispositivos de baixo impacto buscam reduzir o escoamento por meio da infiltração e do armazenamento temporário. De acordo com a SUDERHSA (2002), a função das estruturas de controle na fonte se dá pelas alternativas que promovem a redução e/ou a retenção do escoamento superficial, promovendo a otimização dos sistemas tradicionais através da redução do escoamento que chega nas galerias e podendo até evitar gastos com ampliações destas estruturas. Deste modo, os dispositivos de controle na fonte propõem o manejo das águas urbanas de forma, podendo reduzir o escoamento gerado, assim como substituir as soluções tradicionais.

Nos últimos anos, diversos resultados demonstraram os benefícios da utilização de dispositivos LIDs para controle de vazão em micro escala. A modelagem realizada por Palla e

Gnecco (2015) confirma a eficácia das soluções LIDs mesmo na redução de 5% da área impermeável efetiva para obter benefícios hidrológicos perceptíveis. Também foi avaliada a eficiência de pavimentos permeáveis e telhados verdes a partir de diferentes tempos de retorno da chuva de projeto, por meio de simulações com o *software* SWMM, onde foi apontado o benefício da utilização dos dispositivos LIDs na restauração da vazão de pré-urbanização em escala de lote.

No trabalho de Guan *et al.* (2015), avaliou-se a eficiência dos dispositivos LIDs com o objetivo de alcançar a vazão de pré-urbanização de uma bacia urbana, a partir de simulações de estruturas LIDs como pavimentos permeáveis, microrreservatórios e telhados verdes, atuando de forma isolada e também com combinações. Obteve-se como resultado a redução do pico de vazão de 25,3-92% dependendo do dispositivo, assim como, uma redução de 24,5-78,3% do volume total de escoamento superficial. De acordo com o esperado, também foi possível concluir que sistemas combinados com mais de uma estrutura LID são mais eficientes do que alternativas baseadas em um único dispositivo atuando de forma isolada.

Outros estudos analisam tanto os efeitos hidrológicos e de custo-benefício de células de biorretenção, telhado verde, pavimentos permeáveis e trincheiras de infiltração com diferentes combinações e localizações dos dispositivos LIDs (JOKSIMOVIC *et al.*, 2014; CHUI *et al.*, 2016). Já no estudo de Li *et al.* (2018), houve avanços também ao avaliar a eficiência na redução de cargas não pontuais de poluentes, atingindo em torno de 60% de remoção com implantação de dos mesmos dispositivos citados acima, indicando até a redução do impacto negativo na saúde da população.

### **2.3.1. Pavimentos Permeáveis**

A utilização de Pavimentos Permeáveis (PP) é um tipo de controle LID que pode ser implementados em estacionamentos substituindo o asfalto tradicional e assim reduzindo a impermeabilização do solo. Bahiense (2013) reitera que esse dispositivo permite a infiltração das águas pluviais e armazena nos espaços vazios do reservatório de rochas que se situa abaixo da superfície, promovendo uma melhora na qualidade da água, dado que o agregado de rochas no reservatório serve como um filtro, retendo uma parte das impurezas que possam estar presentes na água pluvial.

Segundo Araújo *et al.* (1999), o procedimento ocorre da seguinte forma: o escoamento infiltra rapidamente na camada porosa, passa por um filtro de agregado e segue para um reservatório de pedras mais profundo, onde o controle do escoamento a um nível desejado fica em função da altura dessa camada, e por fim, o escoamento poderá infiltrar no subsolo ou ser drenado para uma saída. A estrutura básica dos pavimentos permeáveis é esquematizada na Figura 3, apresentando um exemplo de como essas camadas são organizadas.

Figura 3 – Camadas de um Pavimento Permeável



Fonte: Elaboração própria, 2018.

A camada da superfície composta pelos pavimentos porosos (asfalto ou concreto) é construída semelhante aos pavimentos tradicionais mas com a retirada da fração da areia fina na mistura dos agregados (ARAÚJO *et al.*, 1999). Os autores também afirmam que as principais limitações dos pavimentos estão relacionadas com a possibilidade da água infiltrada ser extremamente poluidora, ou seja, podendo provocar diversos impactos no lençol freático; e quando se trata da falta de controle na construção e manutenção que podem afetar a eficiência do dispositivo.

Portanto, o bom funcionamento da estrutura é garantido quando ocorre uma manutenção adequada para que não haja colmatção da camada de infiltração (TASSI, 2002). Quando a capacidade de armazenamento da camada do reservatório atingir o seu máximo e ainda permanecer a vazão direcionada para o pavimento, então o dispositivo não executa mais sua função e ocorre escoamento superficial (BAHIENSE, 2013).

### 2.3.2. Telhado Verde

O Telhado Verde (TV) se enquadra como um outro dispositivo voltado para o controle de escoamento superficial. Essa estrutura apresenta um grande potencial para proteger a cobertura diante dos raios ultravioletas, extremas temperaturas e efeitos do vento, prolongando a vida útil das estruturas do telhado. Além disso, os telhados verdes podem mudar a forma que estão relacionados os ambientes urbanos e a natureza, auxiliando na percepção da sustentabilidade (ROSENZWEIG *et al.*, 2006; TASSI *et al.*, 2014). A Tabela 2 mostra alguns exemplos dos benefícios dos telhados verdes em pequena e grande escala.

Tabela 2 – Benefícios dos telhados verdes

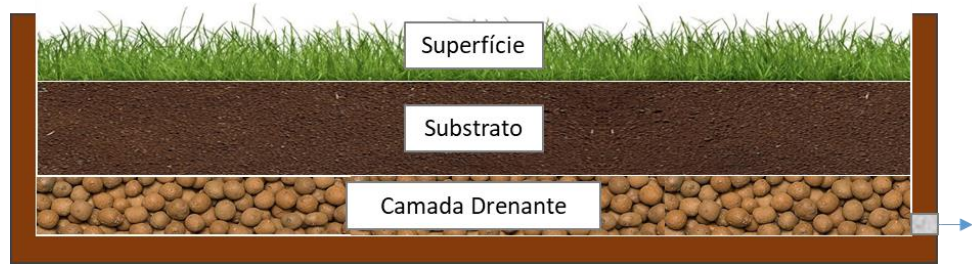
<b>Benefícios locais (nível de edificação)</b>	<b>Benefícios públicos (nível de cidade)</b>
Prolonga a vida útil da superfície do telhado	Reduz gastos de vazões de pico
Reduz gastos com energia para resfriamento	Reduz o impacto de ilhas de calor
Isolamento acústico	Melhora a qualidade do ar
Produção de comida (pequenas hortas)	Reduz emissões de gases do efeito estufa
Valor estético	Valor estético

Fonte: Adaptado de Rosenzweig *et al.* (2006).

A estrutura de um telhado verde basicamente inclui três camadas, conforme a Figura 4. A camada superficial envolve a vegetação, na qual é recomendada a diversificação das plantas para contribuir com o sucesso da cultura, tanto por questões sazonais como de adaptação. Em seguida, a camada de substrato possui pouca semelhança com os solos de jardins ou campos, geralmente ele é composto por partículas leves que não se compactam por seu próprio peso e precisam ser suficiente para as plantas absorverem umidade e nutrientes necessário para o seu desempenho adequado. Já a última camada serve para recolher o excesso de água pluvial que não foi absorvida pelas plantas, sendo direcionada para o sistema de drenagem e pode ser feita a partir de materiais sintéticos com grande permeabilidade (BALDESSAR, 2012).

Costa *et al.* (2012) advertem que a estrutura da edificação precisa ser projetada ou adaptada para suportar o peso do telhado verde em consequência das cargas adicionais procedente do saturação do solo com as águas pluviais.

Figura 4 – Exemplo das camadas do telhado verde



Fonte: Elaboração própria, 2018.

#### 2.4. Legislação sobre drenagem de águas pluviais

As leis e regulamentações são consideradas como medidas não-estruturais para o controle do escoamento superficial urbano. No Brasil, existem poucas leis que abrangem o assunto mas, dentre elas, as principais são:

- Política Nacional de Recursos Hídricos (Lei nº 9.433/97), que tem como um dos objetivos a prevenção e a defesa contra eventos hidrológicos críticos de origem natural ou decorrentes do uso inadequado dos recursos naturais (BRASIL, 1997).
- A Lei nº 11.445/07 estabelece diretrizes para o saneamento básico e inclui a drenagem e manejo das águas pluviais urbanas como um conjunto de serviços do saneamento, envolvendo também a detenção ou retenção para o amortecimento de vazões de cheias, tratamento e disposição final das águas pluviais drenadas (BRASIL, 2007).
- A Medida Provisória nº 844 de 2018, determina também na Lei nº 11.445/07, a disponibilidade, nas áreas urbanas, de serviços de drenagem e manejo das águas pluviais, limpeza e fiscalização preventiva das redes, adequados à saúde pública.

Algumas cidades estabelecem diretrizes mais detalhadas sobre o assunto, como Curitiba que no decreto municipal 212/2007 determina que as novas edificações devem ter no mínimo 25% de área permeável (COBRAPE, 2012).

No Distrito Federal, a Resolução nº 9, de 8 de abril de 2011, limita a vazão específica decorrente da impermeabilização do solo de até 24,4 L/s.ha, e em casos de impossibilidade do cumprimento dessa condição, devem ser apresentados estudos alternativos para solucionar o problema.

Em João Pessoa, o Código de Urbanismo da cidade define que o percentual de solo permeável em edificações verticais deve ser no mínimo 2% da área total do lote, e de 4% caso o lote possua mais de uma frente. Além disso, o código também indica que deverá ser feito um Projeto de Drenagem toda vez que for necessário a realização de obras de saneamento e drenagem (JOÃO PESSOA, 2001).

Assim se constata a existência de leis e regulamentações, ainda que insuficientes, criadas para minimização dos problemas da impermeabilização e conseqüentemente do aumento do escoamento superficial. A grande questão se fundamenta no não cumprimento dessas normas e da falta de fiscalização, resultando nos danos tão comumente discutidos nesse trabalho.

Já a legislação internacional é mais avançada com leis e regulamentações que são mais detalhadas. Petrucci *et al.* (2011) apresentam um pouco sobre o desenvolvimento para implantação de dispositivos de controle para limite do escoamento superficial, ocorrendo a partir de duas abordagens:

- Adoção de uma taxa máxima permitida de escoamento;
- Concepção de operações para cálculo de vazão de pré-urbanização que se recomenda ser mantida apesar da urbanização.

Nos Estados Unidos, as iniciativas relacionadas as técnicas de baixo impacto e infraestrutura verde estão previstas em lei nas construções de edificações federais. De acordo com a Lei de Independência e Segurança Energética de 2007, toda edificação federal é obrigada a desenvolver estratégias de planejamento visando manter a hidrologia local original (DAVIS e MASTEN, 2016).

## **2.5. SWMM**

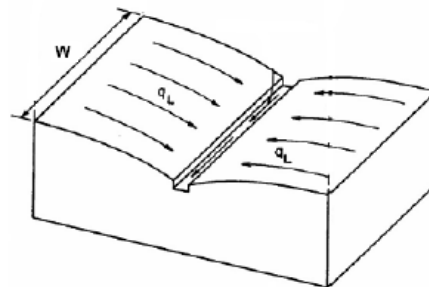
O SWMM é um modelo de gestão da drenagem de águas pluviais que simula a quantidade e a qualidade do escoamento superficial tanto de um evento único de precipitação como de uma série contínua de longo prazo. Foi desenvolvido em 1971 pela *Environmental Protection Agency – EPA U.S.* e desde então passou por diversas atualizações até chegar na quinta versão que é a utilizada atualmente. Dentre diversas funcionalidades, o modelo pode auxiliar em planejamentos, análises e projetos de drenagem urbana, sendo capaz de determinar

a quantidade de escoamento gerado nas sub-bacias, informando a vazão e a profundidade do fluxo, assim como a qualidade da água nas tubulações ou canais durante o período da simulação (ROSSMAN, 2012).

### 2.5.1. Equações governantes

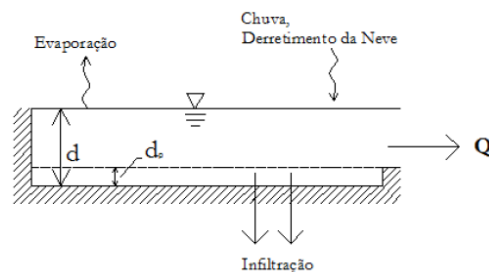
O SWMM representa conceitualmente cada sub-bacia como uma superfície retangular de declividade constante  $S$  e uma largura  $W$ , onde a vazão específica  $q_L$  (m/s) percorre perpendicularmente essa largura até chegar a um canal que drena todo o escoamento para um único local de saída (Figura 5). A partir dos dados de entrada, o modelo também realiza a simulação hidrológica considerando que cada sub-bacia se comporta como um reservatório não linear (Figura 6), no qual a sub-bacia, após um evento de precipitação ( $i$ ), sofre perdas pela evaporação ( $e$ ) e infiltração ( $f$ ), e tem o escoamento superficial apenas quando a capacidade de armazenamento de água na superfície  $d_p$  é superada (ROSSMAN e HUBER, 2016).

Figura 5 – Representação idealizada de uma sub-bacia no SWMM



Fonte: Rossman e Huber, 2016.

Figura 6 – Reservatório não linear



Fonte: Rossman, 2012.

Assim, a Lei da Conservação de Massa é utilizada para definir a variação da lâmina de água no reservatório em relação ao tempo, considerando o fluxo de entrada menos o fluxo de

saída (Equação 1). No fluxo de entrada apenas a parcela da precipitação ( $i$ ) foi estudada devido a não ocorrência de derretimento de neve na região, e como fluxo de saída a parcela da evaporação também foi desconsiderada pelo fato de ser avaliado um único evento de precipitação, portanto, a quantidade de água evaporada pode ser desprezível quando comparada com o escoamento gerado. Além disso, o modelo também considera que, caso a superfície seja impermeável a infiltração decorrente é nula.

$$\frac{\partial d}{\partial t} = i - f - q_L \quad \text{Equação 1}$$

Onde:  $d$  = lâmina de água no reservatório;  $i$  = precipitação;  $f$  = infiltração;  $q_L$  = vazão específica. Todas as parcelas são expressas em vazão por área (m/s).

O SWMM também considera, como uma das hipóteses iniciais, que o escoamento superficial se aproxima de um fluxo uniforme dentro de um canal, onde a superfície retangular foi apresentada anteriormente na Figura 5, e a altura é representada pela lâmina de água que gera escoamento ( $d-d_p$ ). Dessa forma é utilizada a Equação de Manning (Equação 2) para determinação da vazão escoada.

$$Q = \frac{1}{n} A R_H^{2/3} S^{1/2} \quad \text{Equação 2}$$

Onde:  $n$  = coeficiente de rugosidade de Manning;  $A$  = área da seção transversal ao escoamento (m<sup>2</sup>);  $R_H$  = raio hidráulico (m),  $R_H = \text{área/perímetro}$  molhado na seção transversal ao escoamento;  $S$  = declividade (m/m).

Como a largura  $W$  é muito maior do que a lâmina  $d-d_p$ , pode-se considerar que ela é desprezível em relação a  $W$ , e por isso o perímetro molhado ( $P$ ), necessário para o cálculo do raio hidráulico, que antes era definido como  $P = W + 2(d-d_p)$ , passa a ser aproximado por  $P \approx W$ , assim, o raio hidráulico é determinado por  $R_H = d - d_p$ . Com essa consideração, a Equação 2 pode ser redefinida pela Equação 3 abaixo:

$$Q = \frac{W S^{1/2}}{n} (d - d_p)^{5/3} \quad \text{Equação 3}$$

Para obter a vazão específica  $q_L$ , basta dividir a vazão de escoamento resultante da Equação 3 e portanto, tem-se a Equação 4:

$$q_L = \frac{W S^{1/2}}{A n} (d - d_p)^{5/3} \quad \text{Equação 4}$$

Já que a largura  $W$ , a declividade  $S$ , a área  $A$  e o coeficiente de rugosidade de Manning  $n$ , são parâmetros informados pelo usuário, logo são conhecidos para cada sub-bacia. Assim, o

termo  $\frac{wS^{1/2}}{An}$  pode ser substituído por uma constante  $\alpha$  para uma melhor visualização da Equação 4. A partir disso, pode-se comparar com a Equação da Conservação da Massa (Equação 1) e então obter a Equação Diferencial Ordinária não linear (Equação 5  $\alpha(d - d_p)^{5/3}$ ):

$$\frac{\partial d}{\partial t} = i - f - \alpha(d - d_p)^{5/3} \quad \text{Equação 5}$$

Como a Equação 5 é uma equação não linear, não é possível obter a solução analiticamente, assim, o SWMM utiliza o método de *Runge Kutta* de 5ª ordem para solucioná-la. Dessa maneira, conhecendo a altura da lâmina inicial  $d_n$ , o programa aplica o método de *Runge Kutta* para determinar a altura no instante seguinte  $d_{n+1}$ , e pela Equação 4 é definido  $q_L$ . Dado que o  $d_{n+1}$  agora é conhecido, ele passa a ser o  $d_n$  da próxima sequência de cálculos, e assim por diante.

Nota-se que apenas ocorrerá escoamento quando a lâmina de água inicial ( $d_n$ ) mais a precipitação efetiva ( $i-f$ ) no intervalo de tempo analisado for maior que o valor fixo pré-estabelecido da capacidade de armazenamento do reservatório ( $d_p$ ), caso contrário, o fluxo de entrada não será suficiente para gerar escoamento superficial.

### 2.5.2. Propagação do escoamento em galerias

O transporte hidráulico em um conduto no SWMM é regido pelas Equações de Conservação de Massa e da Quantidade de Movimento, voltado para um fluxo gradualmente variado e não permanente. Dependendo do objetivo do estudo, é possível selecionar um modelo dentre os três disponibilizados pelo programa, como demonstrado por Rossman (2012):

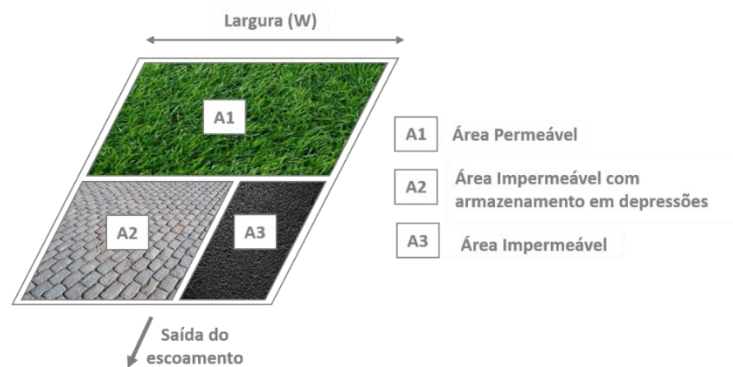
- Escoamento em Regime Uniforme: esse modelo consiste no transporte da água de forma simplificada, apenas transferindo o hidrograma de entrada no poço de visita localizado a montante para o poço de jusante sem atrasos ou mudanças no seu formato.
- Onda Cinemática: a partir da resolução da Equação da Continuidade juntamente com uma forma simplificada da equação de Quantidade de Movimento, o transporte da vazão ocorre considerando sua variação no tempo e no espaço. É indicado quando as análises de comportamento dentro da tubulação, tais como o ressalto hidráulico, o remanso e o fluxo pressurizado, não são significativamente importante para o objetivo final da pesquisa.

- Onda Dinâmica: o modelo resolve as equações mencionadas de forma completa e unidimensional, sendo adequado para considerar as objeções do modelo anterior, resultando em uma maior precisão.

### 2.5.3. Divisão das sub-bacias no SWMM

O programa oferece a possibilidade de dividir cada sub-bacia em áreas permeáveis e impermeáveis, sendo que as impermeáveis também podem ser subdivididas em impermeáveis com e sem armazenamento em depressões ( $d_p$ ), como ilustra a Figura 7. Além dessas repartições, também existe a possibilidade de direcionar o escoamento entre as sub-áreas antes da saída do escoamento, permitindo que, por exemplo, o fluxo gerado pela área impermeável se desloque para a área permeável, passando por todo o processo de infiltração, para então resultar o escoamento final da sub-bacia.

Figura 7 – Exemplo da divisão de uma sub-bacia no SWMM



Fonte: Elaboração própria, 2018.

### 2.5.4. Dispositivos LID

O programa também disponibiliza a opção da implantação de dispositivos LIDs, os quais são representados por uma combinação de camadas verticais e permitem a implantação em diferentes porcentagens de área de cobertura. De acordo com Rossman e Huber (2016), a implantação dessas estruturas podem ser realizadas de duas maneiras:

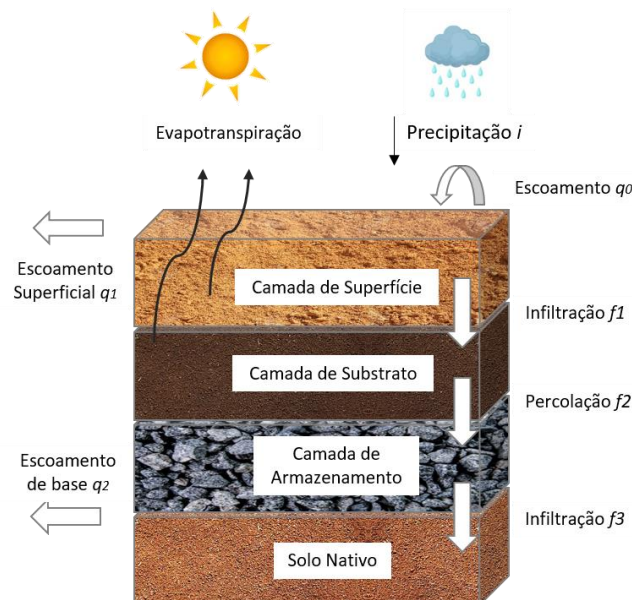
- A partir da criação de uma sub-bacia destinada apenas para a implantação do dispositivo, onde o escoamento superficial das sub-bacias adjacentes pode ser direcionado para ela.

- Implantar um ou mais dispositivos LIDs em uma parte da área das sub-bacias analisadas.

Sendo assim, as camadas são construídas basicamente como o esquema da Figura 8, onde é possível desconsiderar algumas camadas que não façam parte do dispositivo desejado pelo usuário.

A camada de superfície representa a superfície da estrutura LID, sendo assim, se o dispositivo requerido for um telhado verde, a camada superficial é definida por uma vegetação, se for pavimento permeável é do tipo pavimentação e assim por diante. Essa camada também é a que recebe diretamente o escoamento no sistema. O substrato se refere ao solo que pode ser utilizado para manter o crescimento vegetal ou como mecanismo para filtração.

Figura 8 – Representação conceitual de um dispositivo de infiltração no SWMM



Fonte: Adaptado de Rossman, 2016.

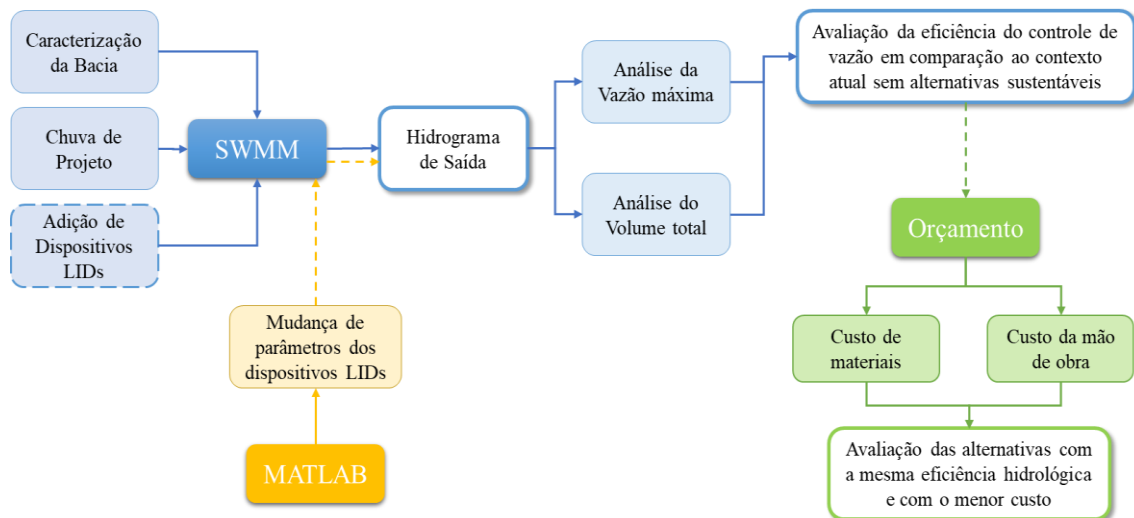
O reservatório de rochas é representado pela camada de armazenamento, onde cabe ao usuário definir os parâmetros necessários. Logo após, há a camada do solo nativo onde pode haver a infiltração de forma mais lenta a partir da liberação da água armazenada no reservatório de rochas. Também existe a opção de colocar um dreno profundo que tem a função de transportar a água que vem da camada de armazenamento para um conduto final (ROSSMAN, 2012).

### 3. METODOLOGIA

#### 3.1. Descrição geral da metodologia

O presente estudo avalia o efeito da aplicação combinada do Pavimento Permeável (PP) e do Telhado Verde (TV) no controle da geração do escoamento superficial, considerando taxas de aplicação e espessuras de camadas subjacentes variáveis, assim como chuvas de projeto diferentes. No caso do PP, a variação ocorreu na altura da camada de armazenamento do pavimento; no TV, a camada variável foi a espessura do substrato do telhado. A metodologia utilizada nesta pesquisa segue o esquema de acordo com a Figura 9.

Figura 9 – Fluxograma da metodologia realizada no estudo



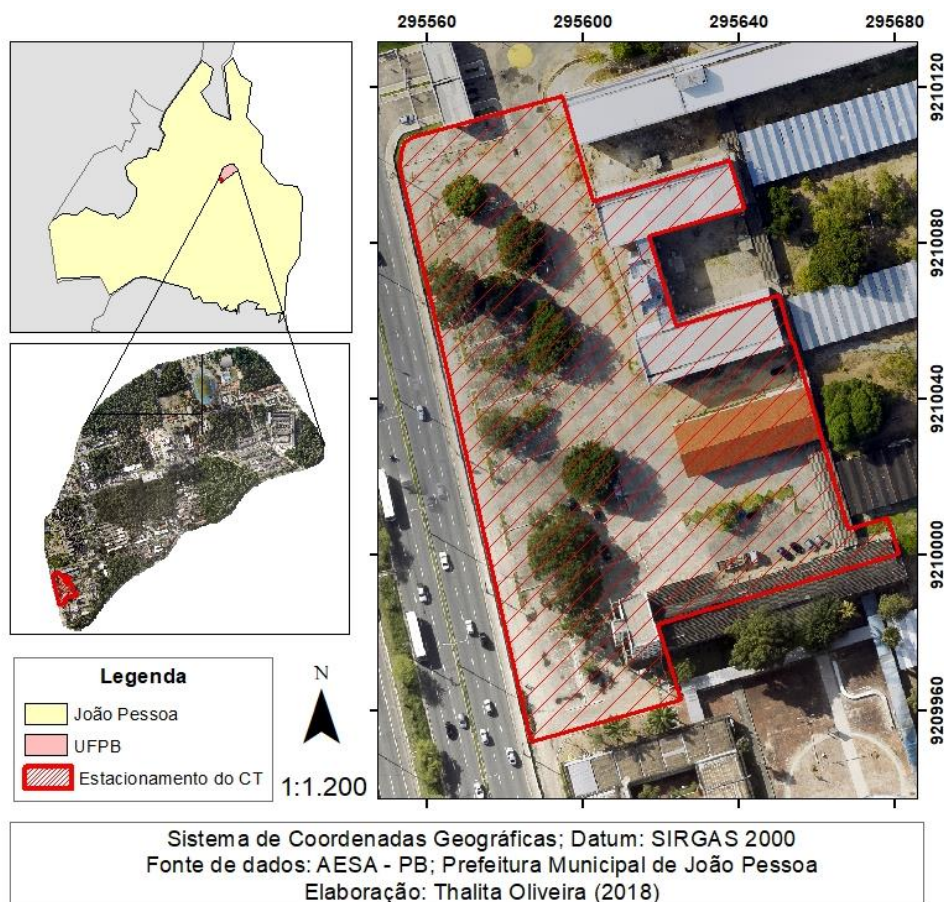
Fonte: Elaboração própria, 2018.

Através do *software* ArcGIS, foi delimitada a bacia estudada e definida a divisão das sub-bacias. Em seguida, foi estabelecido o Tempo de Retorno (TR), a duração e assim foram determinadas as chuvas de projetos. Devido ao grande número de simulações necessárias, o SWMM foi integrado à plataforma MATLAB por meio de uma rotina computacional para permitir a realização de rodadas sequenciais com a modificação automática do arquivo de entrada, e assim foi possível automatizar as mudanças requeridas nas simulações e gravar os resultados dos hidrogramas de saída. Por fim, foi feita a análise dos hidrogramas e a composição de um orçamento para implantação dessas estruturas.

### 3.2. Área de Estudo

A área de estudo desse trabalho fica localizada no Centro de Tecnologia do *campus I* da Universidade Federal da Paraíba localizada no bairro Castelo Branco, em João Pessoa, e é composta pelo estacionamento e pelas edificações em seu entorno (Figura 10). Localizada entre as coordenadas 7° 08' 15'' S e 34° 51' 01'' e com 2,5 ha, a área engloba os telhados dos prédios do CTM, CTK, Biblioteca Setorial, LARHENA, metade do telhado da praça do CT (considerando que a outra parte direciona o escoamento para o lado oposto).

Figura 10 – Mapa de Localização da Área de Estudo

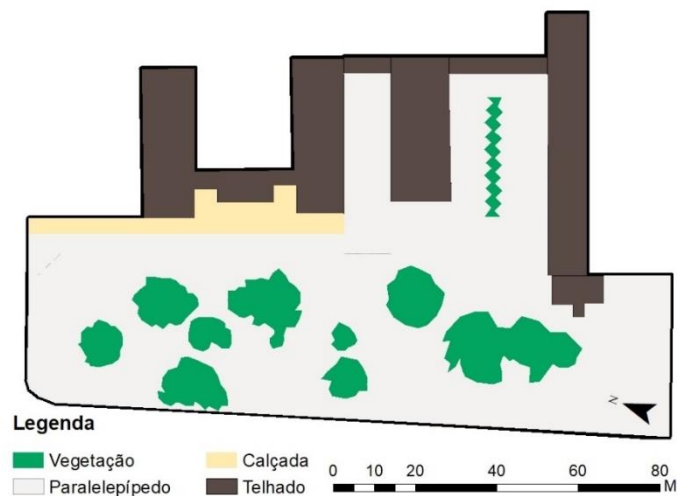


Fonte: Elaboração própria, 2018.

Por se tratar de uma área basicamente plana, foi adotada uma declividade mínima de 0,5% para fins de cálculos nos locais de estacionamento, calçadas e telhado da passarela. Segundo Lopes (2017), os telhados do CTM e CTK possuem declividades de 6,67% e do prédio do LARHENA de 14,3%, e com relação aos prédios da Biblioteca setorial e da praça do CT, ambos apresentam uma declividade de 33,3%.

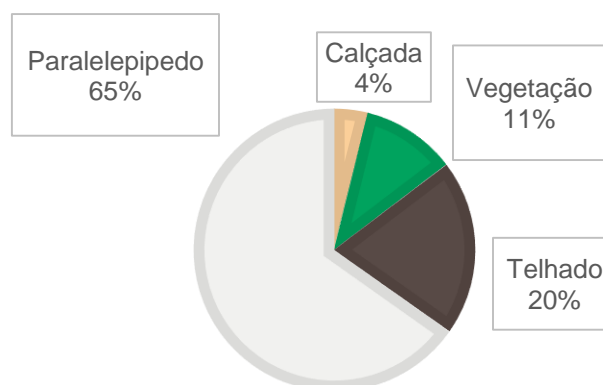
O tipo de solo predominante na região é classificado como Argissolo Vermelho-Amarelo (FURRIER, 2007), sendo solos minerais com argila de baixa atividade (Tb), moderada taxa de infiltração e enquadrados no Grupo Hidrológico B (SARTORI *et al.*, 2005). Com relação ao uso e cobertura da área, a Figura 11 apresenta um mapa identificando os respectivos usos do solo. Já a Figura 12 mostra a porcentagem de cada tipo de uso, identificando que a maior parte se trata de paralelepípedo.

Figura 11 – Mapa de uso e cobertura do solo da área de estudo



Fonte: Elaboração própria, 2018.

Figura 12 – Uso do solo: porcentagem em relação à área total



Fonte: Elaboração própria, 2018.

Apesar da cobertura do solo apresentar 11% de vegetação, essa parcela não é considerada devido ao pouco espaço para infiltração, visto que o solo ao redor das árvores está coberto por paralelepípedos.

### 3.3. Cálculos de parâmetros hidrológicos

#### 3.3.1. Chuva de Projeto

Para as análises realizadas neste estudo, foram utilizadas chuvas de projeto construídas a partir da curva intensidade-duração-frequência (Equação 6) da cidade de João Pessoa, com os parâmetros originais ajustados para chuvas extremas por Silva e Oliveira (2017). Para ampliar as análises, foram consideradas chuvas com diferentes magnitudes (62,9 mm e 84,7 mm), definidas a partir da variação do TR. Neste caso, utilizou-se TR de 5 anos, normalmente adotado em projetos de microdrenagem (2 a 10 anos) e TR de 25 anos, valor dentro do intervalo em projetos de macrodrenagem (IPH, 2005).

$$i = \frac{1011,8743 \times TR^{0,1846}}{(t+9,7855)^{0,7242}} \quad \text{Equação 6}$$

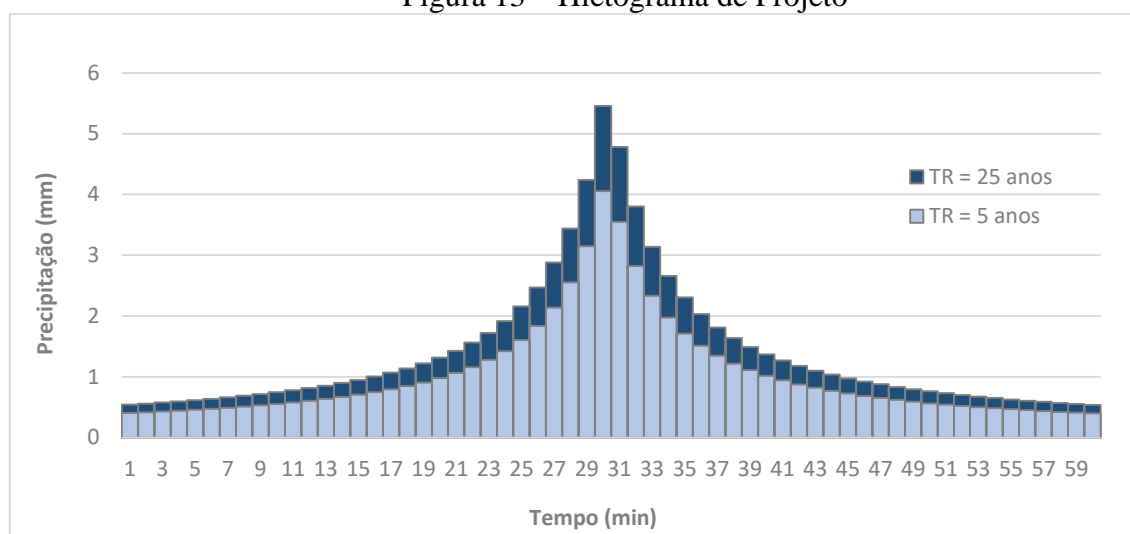
Onde:  $i$  = intensidade da chuva (mm/h);  $TR$  = tempo de retorno (ano);  $t$  = duração do evento chuvoso (min).

A Equação de Kerby (Equação 7) é indicada para bacias que atendam os seguintes critérios: área menor que 4 ha; comprimento do ponto mais distante até o exutório menor que 365 m e declividade menor que 1% (TOMAZ, 2013). A bacia em estudo possui essas características, e obteve um tempo de concentração em torno de 14 minutos. Entretanto, a duração da chuva foi fixada em 60 min, maior que o tempo de concentração estimado para a área, para avaliar o desempenho dos dispositivos quando submetidos a condições mais críticas, relacionadas a alturas totais precipitadas maiores.

$$Tc = 1,44 \left( \frac{rL}{S^{0,5}} \right)^{0,467} \quad \text{Equação 7}$$

Em seguida, foi adotada uma discretização de um minuto e calculada a chuva de projeto por meio do método dos blocos alternados, onde ocorre a reorganização da lâmina d'água precipitada de modo a se alcançar o cenário mais crítico possível, como pode ser observado na Figura 13.

Figura 13 – Hietograma de Projeto



Fonte: Elaboração própria, 2018.

### 3.3.2. Rede de Microdrenagem

Foram definidos dois trechos, onde as informações estão exibidas na Tabela 3, para a rede de microdrenagem (Figura 14). Adotou-se os dados de entrada necessários para realizar a simulação do escoamento no SWMM, sendo eles: o formato circular da galeria; a declividade da tubulação de 0,5%; rugosidade de Manning de 0,01 e diâmetro mínimo de 400 mm para ambos os trechos. Contudo, foi visto na simulação que o segundo trecho ficou sobrecarregado com o diâmetro de 400 mm, alcançando a seção plena da área transversal ao escoamento no tempo de pico, assim foi adotado o diâmetro de 500 mm para a tubulação em questão.

Tabela 3 – Informações dos trechos da rede de microdrenagem

Trecho	Nós	Comprimento (m)	Diâmetro (mm)
T1	N1 – N2	37	400
T2	N2 – E1	63	500

Fonte: Elaboração própria, 2018.

Também foram observados e atendidos durante o dimensionamento dos critérios sugeridos pelo IPH (2005) como:

- Velocidade mínima: 0,8 m/s;
- Velocidade máxima: 4,00 m/s;

- Diâmetro mínimo: 0,40 m;

Além disso, já que para o objetivo do trabalho não envolvia a precisão de resultados referentes ao comportamento do escoamento dentro da tubulação, foi escolhido o modelo de propagação da Onda Cinemática.

Figura 14 – Rede de microdrenagem



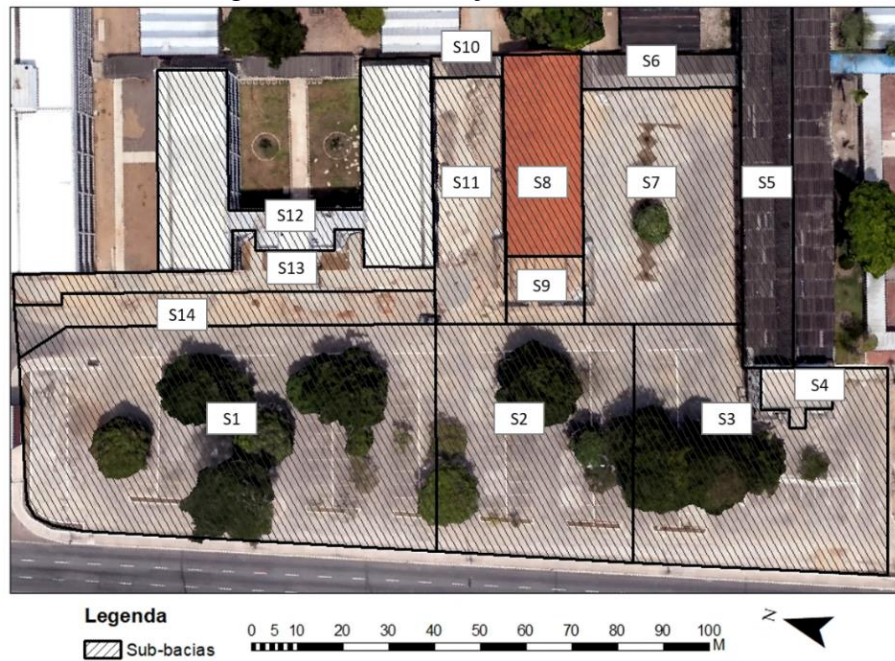
Fonte: Elaboração própria, 2018.

### 3.4. Discretização da área estudo

Neste trabalho, assumiu-se que as sub-bacias da área de estudo são 100% impermeáveis sem armazenamento em depressões, tanto os telhados como o estacionamento com paralelepípedos, e para a rugosidade de Manning dessas áreas foi adotado um valor de 0,01. Para a declividade das sub-bacias, foi considerado o valor mínimo de 0,5% por se tratar de uma área plana.

A divisão das sub-bacias está apresentada na Figura 15, sendo divididas de forma semelhante ao trabalho de Lopes (2017), que utilizou a mesma área de estudo, onde foram consideradas as áreas dos telhados de cada edificação como uma sub-bacia e o estacionamento foi fracionado em áreas menores.

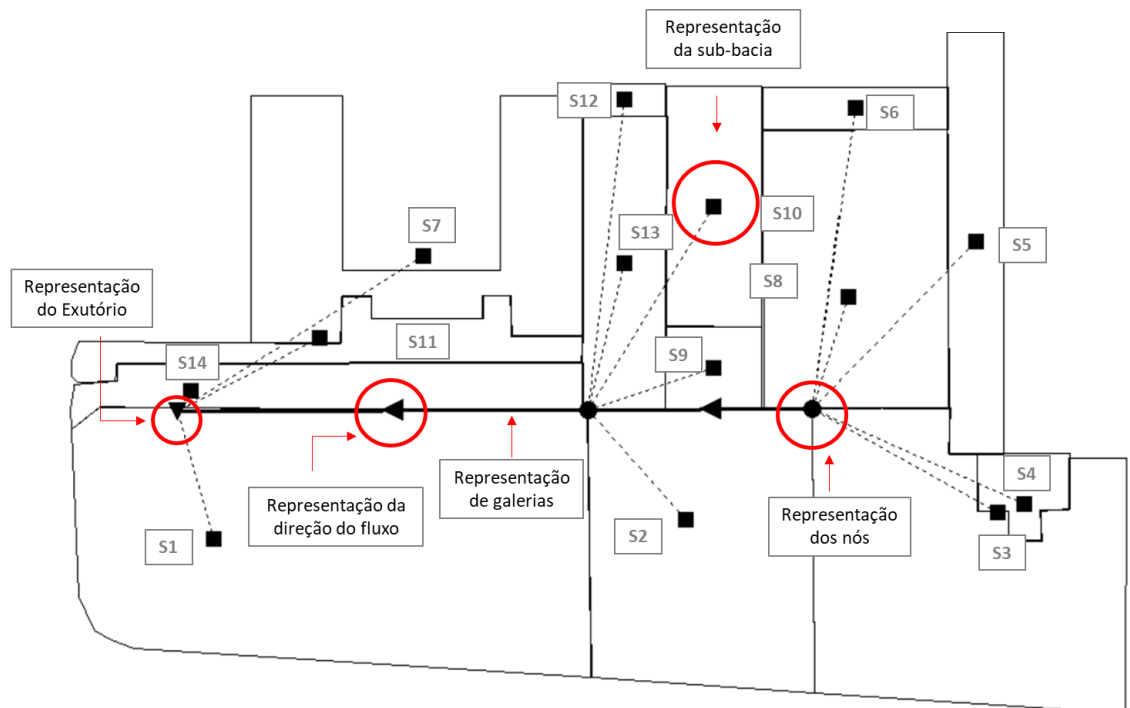
Figura 15 – Delimitação das sub-bacias



Fonte: Elaboração própria, 2018.

Considerou-se que cada sub-bacia drena somente a si própria, não ocorrendo a transferência do escoamento para sub-bacias adjacentes. A Figura 16 apresenta o esquema da área no SWMM com as divisões e a rede de microdrenagem adotada.

Figura 16 – Exemplo de representação de cenários no SWMM (S = sub-bacia)



Fonte: Elaboração própria, 2018.

Um procedimento importante, devido a sua alta sensibilidade, é a determinação da largura  $W$  de cada sub-bacia. Como esse parâmetro pode ocasionar diversas variações no resultado final da simulação, os estudos de Li *et al.* (2015) e Krebs *et al.* (2014) apresentam diferentes métodos utilizados para o cálculo do  $W$ , como a Equação 8 e a Equação 9 a seguir:

$$W = \frac{A}{L} \quad \text{Equação 8}$$

Onde:  $A$  = área da sub-bacia ( $\text{m}^2$ );  $L$  = comprimento do caminho do fluxo (m).

$$W = k\sqrt{A} \quad \text{Equação 9}$$

Onde:  $k$  = parâmetro adimensional ( $0,2 < k < 5$ );  $A$  = área da sub-bacia.

A Equação 9 permite o cálculo da largura  $W$  sem a especificação do  $L$ , mas para isso se faz necessário a determinação do parâmetro  $k$ . Krebs *et al.* (2014) definiram esse valor a partir do cálculo utilizando primeiramente a Equação 8 em diferentes sub-bacias e assim, com o resultado gerado de  $W$  foi possível estimar um valor para  $k$ . Na maior parte das vezes  $k$  obteve resultados dentro do intervalo de 0,5 à 1,1, e atingiu o valor mais frequente igual a 0,7, o qual foi utilizado neste trabalho. Assim, a Tabela 4 contém os dados referentes a cada sub-bacia.

Tabela 4 – Dados de entrada referentes às sub-bacias

Sub-bacias	Área Total ( $\text{m}^2$ )	W (m)
1	2951	38,0
2	1366	25,9
3	1780	29,5
4	99	6,9
5	625	17,5
6	183	9,5
7	1051	22,7
8	526	16,0
9	186	9,5
10	65	5,6
11	517	15,9
12	1087	23,0
13	489	15,5
14	415	14,2

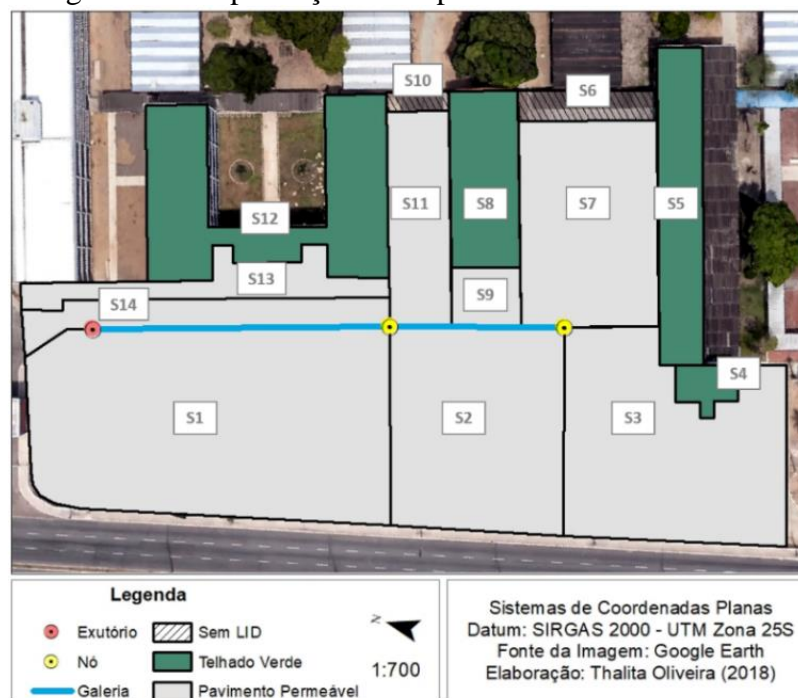
Fonte: Elaboração própria, 2018.

### 3.4.1. Dispositivos LIDs na área de estudo

Para a implantação dos dispositivos LIDs nas sub-bacias, foram utilizados telhados verdes para as sub-bacias de edificações e pavimentos permeáveis para as sub-bacias de estacionamento, com exceção das sub-bacias S6 e S10 por serem a cobertura de uma passarela, portanto sem viabilidade de implantação de LID. A Figura 17 apresenta uma representação no mapa dos dispositivos.

Para o pavimento permeável, foi adotada uma camada de areia acima do reservatório de rochas com a finalidade de facilitar o assentamento do pavimento e também como um meio filtrante. Os parâmetros adotados para essa camada estão listados na Tabela 5.

Figura 17 – Implantação de dispositivos LIDs em cada sub-bacia



Fonte: Elaboração própria, 2018.

Tabela 5 – Parâmetros para a camada de areia

<b>Espessura (mm)</b>	50
<b>Porosidade</b>	0,3
<b>Capacidade de campo (m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>)</b>	0,2
<b>Ponto de murcha (m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>)</b>	0,05
<b>Condutividade (mm/h)</b>	120
<b>Inclinação de condutividade</b>	5
<b>Sucção capilar (mm)</b>	50

Fonte: IPH (2005), Rossman e Huber (2016).

Para a adoção dos demais parâmetros exigidos pelo SWMM na construção dos dispositivos LIDs, foram analisadas diferentes trabalhos e assim foi possível definir um valor, tanto para pavimentos permeáveis (Tabela 6), como para telhado verde (Tabela 7). Vale salientar que a capacidade de armazenamento dos PP é definida pela altura da camada do reservatório de rocha mais o escoamento infiltrado pelo solo (IPH, 2005). De forma semelhante, no dispositivo de TV, a capacidade de armazenamento depende da altura definida para a camada do substrato, que tem a função de reter a água e fornecer o suporte para a vegetação.

Tabela 6 – Definição dos parâmetros para Pavimentos Permeáveis

Camadas	Parâmetro	Fontes			Valores Adotados
		Qin, Li, Fu, 2013 (Type II)	Chui, Liu, Zhan, 2016.	Rossmann, Hubber, 2016.	
Camada Superficial	Altura da berma (mm)	0	0	-	<b>0</b>
	Fração da cobertura vegetal (m³/m³)	0	0	-	<b>0</b>
	Rugosidade de Manning	0,014	0,012	-	<b>0,014</b>
	Declividade (%)	-	1	-	<b>1</b>
Camada de Pavimento	Espessura (mm)	100	Variável	76,2 - 203,2	<b>100</b>
	Fração de vazio (m³/m³)	0,2	0,15	0,1 - 0,4	<b>0,15</b>
	Fração da superfície impermeável	-	0		<b>0</b>
	Permabilidade (mm/h)	360	500	127 - 3810	<b>400</b>
	Fator de colmatção	-	0	-	<b>0</b>
Camada de Armazenamento	Espessura (mm)	150	300	152,4 - 914,4	<b>150 - 650</b>
	Fração de vazio (m³/m³)	0,5	0,4	0,2 - 0,4	<b>0,5</b>
	Taxa de infiltração do solo (mm/h)	-	750	Depende do tipo de solo da região	<b>50</b>
	Fator de colmatção	-	0	0	<b>0</b>

Fonte: Elaboração própria, 2018.

Tabela 7 – Definição dos parâmetros para Telhado Verde

Camadas	Parâmetro	Fontes			Valores Adotados
		Baek, Choi, Jung et al 2015	Qin, Li, Fu 2013	Chui, Liu, Zhan, 2016.	
Camada Superficial	Altura da berma (mm)	12,4 - 24,8	75	25	<b>30</b>
	Fração da cobertura vegetal (m³/m³)	0	-	0,1	<b>0,1</b>
	Rugosidade de Manning	0,1	-	0,1	<b>0,1</b>
	Declividade (%)	1	-	1	<b>1</b>
Camada de Solo	Espessura (mm)	74,9 - 149,8	150	Variável	<b>75-200</b>
	Porosidade	0,5	0,437	0,5	<b>0,5</b>
	Capacidade de campo (m³/m³)	0,2	0,1	0,2	<b>0,3</b>
	Ponto de murcha (m³/m³)	0,1	0,024	0,1	<b>0,1</b>
	Condutividade (mm/h)	12,7	120	750	<b>600</b>
	Inclinação de condutividade	10	5	10	<b>10</b>
	Sucção capilar (mm)	88,9	50	87,5	<b>75</b>
Material do Dreno	Espessura (mm)	-	-	75	<b>50</b>
	Fração de vazio (m³/m³)	-	-	0,5	<b>0,5</b>
	Rugosidade de Manning	-	-	0,1	<b>0,1</b>

Fonte: Elaboração própria, 2018.

### 3.5. MATLAB

O procedimento de mudança das variáveis (armazenamento do pavimento permeável, espessura do substrato do telhado verde e assim como as porcentagens de área ocupada de cada tipo de estrutura LID), resultou em um total de 900 simulações para cada chuva de projeto. Portanto, foi utilizada uma rotina de códigos com o software de programação MATLAB integrado ao SWMM para automatizar as alterações das variáveis citadas e registrar a grande quantidade resultados finais, sendo eles os hidrogramas de saída. Dessa forma, foi possível avaliar e comparar o efeito dos hidrogramas realizados pelas diversas combinações, apresentadas na Tabela 8, simuladas primeiramente para uma chuva de projeto de tempo de retorno igual a 5 anos e logo após para a de 25 anos.

Tabela 8 – Variações das simulações

Tempo de Retorno da Chuva de Projeto	5 e 25 anos
Camada de armazenamento do Pavimento Permeável (mm)	150 – 250 – 350 – 450 – 550 – 650
Camada de substrato do Telhado Verde (mm)	75 – 100 – 125 – 150 – 175 - 200
Cobertura do PP na área disponível para sua implantação (%)	20 - 40 - 60 - 80 - 100
Cobertura do TV na área dos telhados (%)	20 - 40 - 60 - 80 - 100

Fonte: Elaboração própria, 2018.

As simulações ocorreram variando um parâmetro por vez, começando com os valores fixos da altura da camada de armazenamento do PP e espessura do TV, e modificando apenas a porcentagem de cobertura do telhado verde. Após as simulações modificando esse parâmetro, muda-se a porcentagem de cobertura do PP. Quando todas as possibilidades de área de cobertura foram simuladas para as determinadas alturas, modifica-se a altura da espessura do telhado verde, e repete-se o procedimento. E por último, ocorre a mudança da altura da camada de armazenamento do PP e recomeça o procedimento inicial para a nova altura. A Tabela 9 exemplifica o início das simulações.

Tabela 9 – Exemplo da ordem como as simulações foram executadas

<b>Simulação</b>	<b>Armazenamento PP (mm)</b>	<b>Espessura TV (mm)</b>	<b>% de cobertura do PP</b>	<b>% de cobertura do TV</b>
1	150	75	20%	20%
2	150	75	20%	40%
3	150	75	20%	60%
4	150	75	20%	80%
5	150	75	20%	100%
6	150	75	40%	20%
7	150	75	40%	40%
...	...	...	...	...

### 3.6. Levantamento de Custos

A partir das combinações encontradas foi elaborado um levantamento de custos para implantação dos sistemas visando encontrar as soluções mais econômicas e com o mesmo efeito hidrológico. Para isso, foram adotados os preços unitários do SINAPI (Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil) e da SEINFRA (Secretaria de Infraestrutura) utilizando o mês de setembro de 2018 como mês de base. Os itens aferidos estão descritos nas Tabela 10 e Tabela 11.

Para os itens que apresentaram o preço por metro cúbico, foram realizados cálculos para identificar o preço por metro quadrado, visto que já eram conhecidas as alturas fixas que foram adotadas nos parâmetros iniciais, com exceções do substrato e do reservatório de rochas que foram os elementos que variaram suas alturas nas simulações.

Não foi possível encontrar a opção relacionada a pavimentos permeáveis nas planilhas de custos do SINAPI e da SEINFRA, portanto, assumiu-se que o item de blocos de concreto sextavado tem um custo semelhante ao do analisado no estudo.

Baseado nas equações adotadas por Forgiarini (2010), os custos foram calculados a partir dos itens compostos na Tabela 6 e Tabela 7, em que foi possível elaborar equações que dependem apenas das variáveis estabelecidas nas simulações, sendo elas a altura da camada de armazenamento do PP e a espessura do substrato do TV, além das áreas de cobertura de cada dispositivo. A Equação 10 e Equação 11 exibem os cálculos do custo do pavimento permeável e telhado verde, respectivamente. Assim, a Equação 12 mostra o custo total com a integração dos dispositivos LIDs.

Tabela 10 – Itens do levantamento de custos para o orçamento do pavimento permeável

Fonte:	Descrição	unid.	Custo (R\$)
SEINFRA	<b>Escavação manual em campo aberto em terra até 2m</b>	m <sup>2</sup>	
	Servente + encargos	h	R\$ 30,93
SINAPI	<b>Execução de pavimento e piso intertravado, com bloco sextavado</b>		
	Bloquete/piso intertravado de concreto - modelo sextavado E=10cm	m <sup>2</sup>	R\$ 47,75
	Calceteiro com encargos complementares	h	R\$ 4,11
	Servente com encargos complementares		R\$ 3,27
	<b>Areia</b>	m <sup>2</sup>	
SINAPI	Areia média - posto jazida/fornecedor	m <sup>2</sup>	R\$ 3,00
SINAPI	<b>Reservatório de rochas</b>	mm	
	Pedra britada N.2 (19 a 38mm), posto pedreira/fornecedor	m <sup>3</sup>	R\$ 50,00
SINAPI	<b>Manta bidim RT-16 (fornecimento/instalação)</b>	m <sup>2</sup>	
	Geotêxtil não tecido agulhado de filamento contínuos, 100% poliéster, resistencia a tração = 16 kN/m	m <sup>2</sup>	R\$ 8,73
	Servente com encargos complementares	h	R\$ 0,35

Fonte: Elaboração própria, 2018.

Tabela 11 – Itens do levantamento de custos para o orçamento do telhado verde

Fonte:	Descrição	unid.	Custo (R\$)
SEINFRA	<b>Gramma em placas, E= 6cm (fornecimento e plantio)</b>	m <sup>2</sup>	
	Gramma tipo batatais em placa	m <sup>2</sup>	R\$ 6,79
	Ajudante	h	R\$ 1,16
	<b>Substrato</b>	mm	
SINAPI	Terra vegetal	m <sup>3</sup>	R\$ 42,46
	<b>Manta bidim RT-16 (fornecimento/instalação)</b>	m <sup>2</sup>	
	Geotêxtil não tecido agulhado de filamento contínuos, 100% poliéster, resistencia a tração = 16 kN/m	m <sup>2</sup>	R\$ 8,73
	Servente com encargos complementares	h	R\$ 0,35
	<b>Camada Drenante</b>	m <sup>2</sup>	
Minas Gramado	Argila expandida	m <sup>3</sup>	R\$918,00
SINAPI	<b>Manta impermeabilizante a base de asfalto (fornecimento e instalação)</b>	m <sup>2</sup>	
	Manta asfáltica elastomérica em poliéster, 3 mm	m <sup>2</sup>	R\$ 38,26
	Adesivo acrílico / Cola de contato	kg	R\$ 4,37
	Servente com encargos complementares	h	R\$ 1,64

Fonte: Elaboração própria, 2018.

Equação 10

$$Custo_{PP} = C1_{PP} \cdot A_{totalPP} \cdot a + C2_{PP} \cdot A_{totalPP} \cdot a + C3_{PP} \cdot A_{totalPP} \cdot a + C4_{PP} \cdot A_{totalPP} \cdot a * h_{PP} \\ + C5_{PP} \cdot A_{totalPP} \cdot a$$

Equação 11

$$Custo_{TV} = C1_{TV} \cdot A_{totalTV} \cdot b + C2_{TV} \cdot A_{totalTV} \cdot b * h_{TV} + C3_{TV} \cdot A_{totalTV} \cdot b + C4_{TV} \cdot A_{totalTV} \cdot b \\ + C5_{TV} \cdot A_{totalTV} \cdot b$$

Equação 12

$$Custo_{Total} = A_{totalPP} \cdot a \cdot (C1_{PP} + C2_{PP} + C3_{PP} * h_{PP} + C4_{PP}) \\ + A_{totalTV} \cdot b \cdot (C1_{TV} + C2_{TV} * h_{TV} + C3_{TV} + C4_{TV} + C5_{TV})$$

Onde:

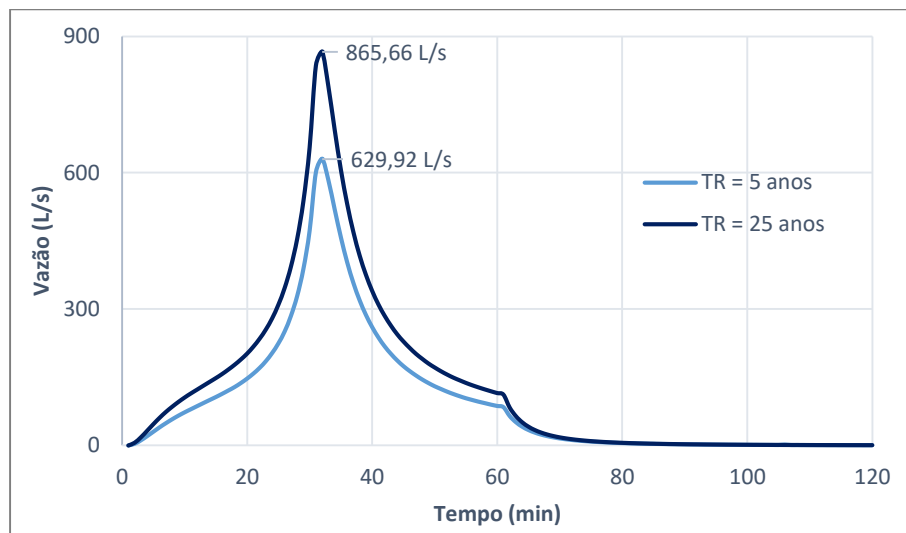
 $C1_{PP} = R\$30,93$  (Escavação manual - m<sup>2</sup>) $C1_{TV} = R\$7,95$  (Gramma em placas - m<sup>2</sup>) $C2_{PP} = R\$55,13$  (Piso intertravado - m<sup>2</sup>) $C2_{TV} = R\$42,46$  (Substrato - m<sup>3</sup>) $C3_{PP} = R\$3,00$  (Areia - m<sup>2</sup>) $C3_{TV} = R\$9,08$  (Manta bidim - m<sup>2</sup>) $C4_{PP} = R\$50,00$  (Reservatório de rocha - m<sup>3</sup>) $C4_{TV} = R\$45,90$  (Argila expandida - m<sup>2</sup>) $C5_{PP} = R\$9,08$  (Manta bidim - m<sup>2</sup>) $C5_{TV} = R\$44,27$  (Manta impermeabilizante - m<sup>2</sup>) $A_{totalPP} = 17.132,7$  m<sup>2</sup> $A_{totalTV} = 6.359,8$  m<sup>2</sup> $a = \%$  de área de cobertura do PP $b = \%$  de área de cobertura do TV $h_{PP} =$  altura da camada de armazenamento do PP $h_{TV} =$  altura da espessura do substrato do TV

## 4. RESULTADOS

### 4.1. Geração de Escoamento sem implantação de LIDs

De acordo com os parâmetros iniciais adotados, foram obtidos os valores de vazões escoadas para os dois tempos de retorno vistos na Figura 18. Nessa situação, todas as sub-bacias foram analisadas sem a implantação de estruturas LIDs e é possível perceber o impacto com as altas vazões de pico devido à impermeabilização.

Figura 18 – Hidrogramas sem implantação de LIDs



Fonte: Elaboração própria, 2018.

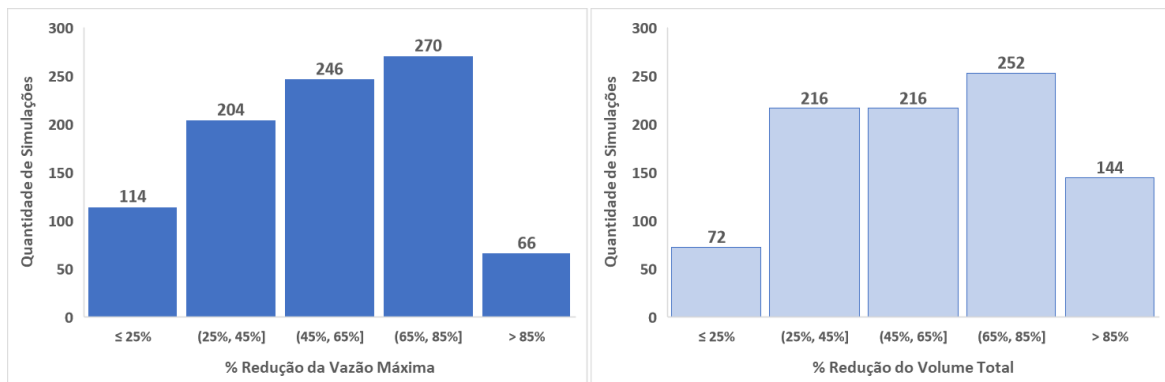
### 4.2. Geração de Escoamento com combinação de LIDs

A partir dos parâmetros adotados na construção das camadas dos dispositivos LIDs, e considerando as hipóteses adotadas para realização das simulações aplicando pavimentos permeáveis e telhados verdes de forma integrada, obteve-se como resultado um total de 900 simulações para o tempo de retorno de 5 anos e a mesma quantidade para o de 25 anos.

Em cada simulação, encontrou-se o pico da vazão de saída para obter uma comparação com a vazão máxima da área sem a implantação das estruturas LIDs. Assim, as simulações foram organizadas de acordo sua vazão máxima, onde a menor vazão de pico representa uma maior porcentagem de redução da vazão e a maior vazão de pico representa uma menor redução da vazão original.

Dessa forma, para os parâmetros iniciais estabelecidos, nas simulações com a chuva de projeto com TR = 5 anos, foi obtida uma redução da vazão máxima de 17,13% na situação com a altura mínima de 150 mm considerada para o armazenamento do pavimento permeável, e para a menor espessura do substrato do telhado verde, igual a 75 mm, e ainda com a mínima porcentagem de ocupação equivalente a 20% da área total ocupada por LIDs. Na situação mais favorável essa redução atingiu até 90,23% com 100% da área em estudo ocupada com dispositivos de baixo impacto. Assim, a Figura 19 apresenta os histogramas referentes às quantidades de simulações que proporcionaram uma porcentagem de redução da vazão máxima e do volume total.

Figura 19 – Histogramas Vazão Máxima e Volume Total para TR = 5 anos

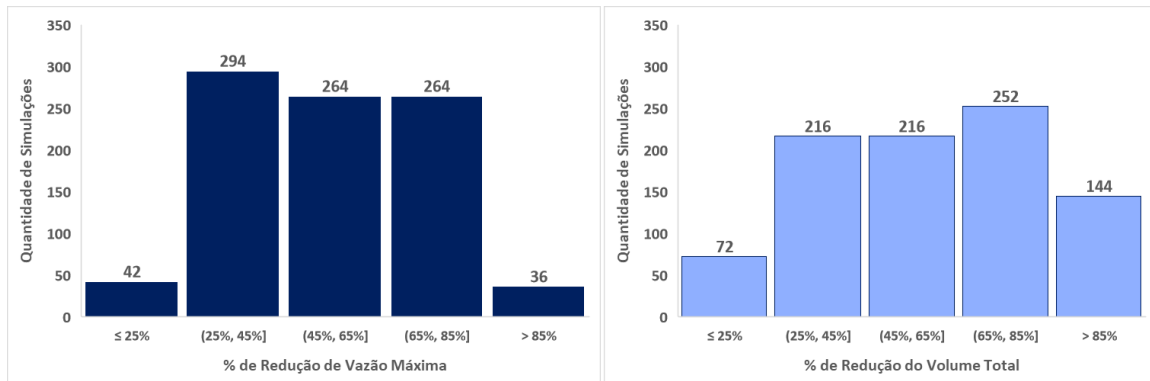


Fonte: Elaboração própria, 2018.

Nas faixas escolhidas, percebe-se que ocorreu um maior número de resultados que reduzem entre 65-85% da vazão máxima com 270 simulações correspondentes; e com o mesmo intervalo, a redução de volume total obteve um valor de 252 simulações, para a primeira chuva de projeto, indicando uma alta eficiência dos dispositivos.

Na Figura 20, observa-se os mesmos histogramas apresentados anteriormente, porém estes se referem à outra chuva de projeto analisada com tempo de retorno de 25 anos. Nessa hipótese houve uma redução de 23,6% na vazão máxima, considerando a situação mais desfavorável de implantação de LIDs, com 150 mm de altura da camada de armazenamento do PP, 75 mm de espessura do TV e 20% de ambas as áreas ocupadas por LIDs. Na situação mais favorável, a porcentagem de redução da vazão máxima alcançou até 88,2%, considerando a implantação de dispositivos LIDs em toda a área de estudo e alturas de 650 mm e 200 mm para camada de armazenamento do PP e espessura do TV, respectivamente. Esses resultados indicam que a eficiência dos dispositivos se mantêm semelhante apesar da chuva de projeto em questão apresentar uma intensidade maior.

Figura 20 – Histogramas de Vazão Máxima e Volume Total para TR = 25 anos



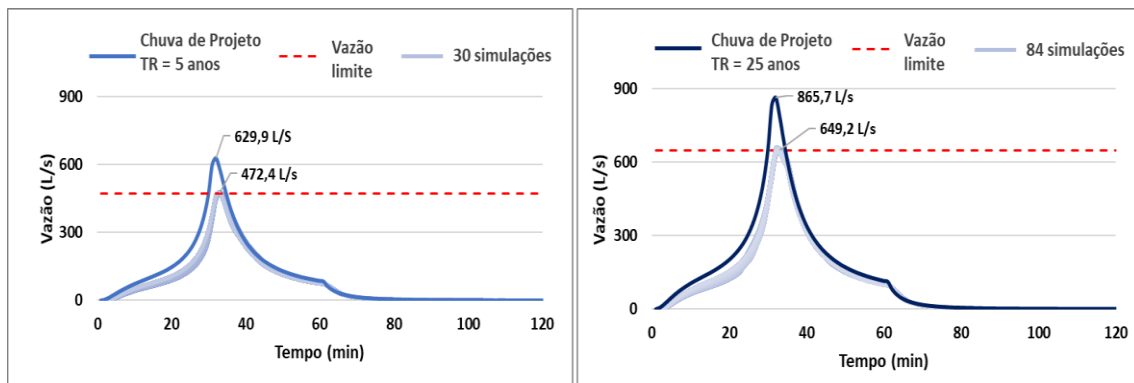
Fonte: Elaboração própria, 2018.

Embora a eficiência hidrológica da máxima redução de vazão seja parecida em ambas as chuvas (90,23% para TR = 5 anos e 88,2% para TR = 25 anos), observou-se que na chuva de projeto com TR = 5 anos, o maior número de simulações ocorreu no intervalo de 65-85% de redução, com 270 alternativas, enquanto que a na chuva mais intensa com 25 anos de tempo de retorno, a faixa de redução entre 25-45% obteve o maior número de simulações com 294 alternativas correspondentes.

Com relação a redução do volume total, os dispositivos apresentaram um comportamento idêntico na quantidade de simulações nas duas chuvas de projeto analisadas.

Para as seguintes situações de redução da vazão máxima de saída em 25, 50 e 75%, com as duas chuvas de projetos escolhidas, foi possível obter uma percepção de quantas alternativas foram necessárias para atingir o objetivo proposto. A fim de englobar mais alternativas possíveis, selecionou-se as simulações que apresentaram uma margem de 1% para mais e para menos do limite escolhido. Desse modo, a Figura 21 apresenta os hidrogramas para redução de 25% da vazão máxima original, resultando também em uma redução do volume total de 24 – 36% na primeira chuva de projeto e de 19 – 36% para a segunda.

Figura 21 – Hidrogramas de saída com dispositivos LIDs reduzindo 25% da vazão máxima

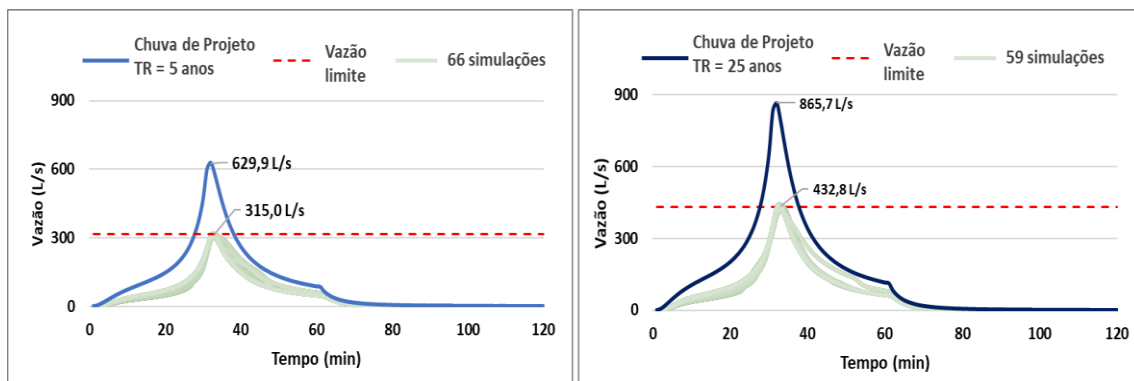


Fonte: Elaboração própria, 2018.

A Figura 22 exibe os hidrogramas de saída com redução de 50% da vazão máxima, que apresentaram uma redução no volume total variando de 50 - 63% na primeira chuva de projeto com TR = 5 anos e de 50 - 67% na segunda chuva com TR = 25 anos, diferenciando apenas de acordo com as combinações das simulações.

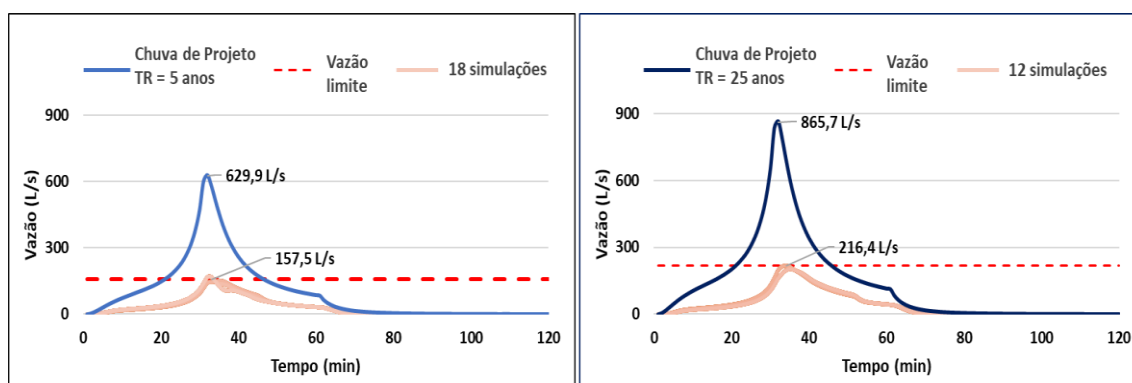
Para os hidrogramas de saída com redução de 75% da vazão original, a Figura 23 mostra que menos alternativas se encaixaram nas duas chuvas analisadas, como mostram as linhas de coloração mais clara no gráfico. Houve uma redução de volume de 74 - 78% para chuva de projeto com tempo de retorno de 5 anos, com 18 alternativas encontradas; e de 78 - 82% para a com tempo de retorno de 25 anos, com apenas 12 simulações adequadas a esse critério. É importante citar que para os parâmetros adotados, a redução de volume foi mais eficiente para a segunda chuva adotada com TR de 25 anos. As simulações citadas estão presentes no Apêndice.

Figura 22 – Hidrogramas de saída com dispositivos LIDs reduzindo 50% da vazão máxima



Fonte: Elaboração própria, 2018.

Figura 23 – Hidrogramas de saída com dispositivos LIDs reduzindo 75% da vazão máxima



Fonte: Elaboração própria, 2018.

Nota-se que enquanto as simulações da primeira chuva de projeto com o tempo de retorno de 5 anos, demonstraram uma maior quantidade de alternativas na redução de vazão de saída em torno de 50%, os maiores números em simulações na segunda chuva com 25 anos de tempo de retorno, ocorreram na primeira proposta de diminuição de 25% da vazão de saída, sugerindo que ainda com o aumento significativo da intensidade e conseqüentemente do volume total da chuva de projeto, os dispositivos apresentaram uma eficiência relevante até para uma chuva com tempo de retorno maior.

#### 4.2.1. Avaliação do efeito do Pavimento Permeável

Como as lâminas totais de precipitação nas duas chuvas consideradas foram de 62,9 e 84,7 mm, respectivamente, ocorreu que a altura mínima do reservatório de pedras de 150 mm foi suficiente para armazenar a água pluvial, dessa forma não houve variação nos hidrogramas de saída apenas com o aumento da profundidade do armazenamento. Entretanto, ocorreram diferenças expressivas no hidrograma de saída com a variação da porcentagem da área de ocupação do dispositivo. Esse resultado era esperado já que a área do estacionamento propícia para a implantação do pavimento permeável ocupa a maior parte da área de estudo, em torno de 65%.

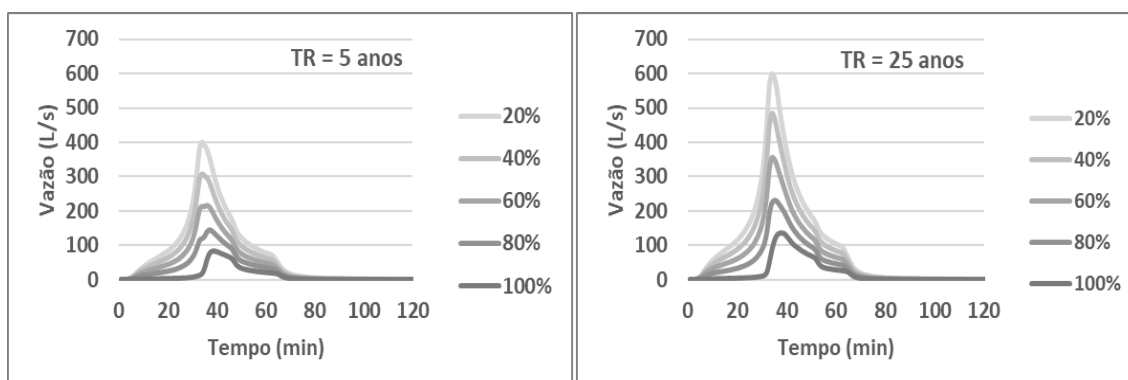
Para a Figura 24 foram consideradas simulações com tempo de retorno de 5 e 25 anos, de acordo com as informações na Tabela 12. A Tabela 13 contém os resultados de redução da vazão máxima e volume total para essas situações.

Tabela 12 – Informações das simulações variando a área de cobertura do PP

Altura da camada de armazenamento do PP	Espessura do substrato do TV	% de ocupação do PP	% de ocupação do TV
150 mm	150 mm	Variável	100%

Fonte: Elaboração própria, 2018.

Figura 24 – Avaliação do Efeito do Pavimento Permeável com a variação da porcentagem de cobertura da área



Fonte: Elaboração própria, 2018

Tabela 13 – Resultados da variação da área ocupada por pavimentos permeáveis

Ocupação da área disponível para implantação de PP	Redução da vazão máxima (TR = 5 anos)	Redução do vazão máxima (TR = 25 anos)	Redução do volume total
20%	36,4%	30,9%	36%
40%	51,0%	44,1%	51%
60%	65,4%	59,0%	67%
80%	77,2%	73,3%	82%
100%	86,6%	84,4%	98%

Fonte: Elaboração própria, 2018.

De acordo com os dados na Tabela 13, observou-se que, a princípio as simulações iniciais de 20% à 80% da área de estacionamento ocupada pelo PP demonstraram uma maior eficiência na redução da vazão de pico na primeira chuva de projeto com TR = 5 anos, do que em relação a segunda com TR = 25 anos. No entanto, quando a porcentagem de área coberta pelo dispositivo ultrapassa 80% da área total, essa discrepância diminui (de 6,9% à 2,2%), exibindo um resultado final de eficiência próxima a primeira precipitação (62,9 mm) apesar do aumento da intensidade da segunda precipitação (84,7 mm). Quanto a redução do volume total, a porcentagem foi igual nas duas chuvas, porém variou apenas de acordo com a taxa de ocupação.

#### 4.2.2. Avaliação do efeito do Telhado Verde

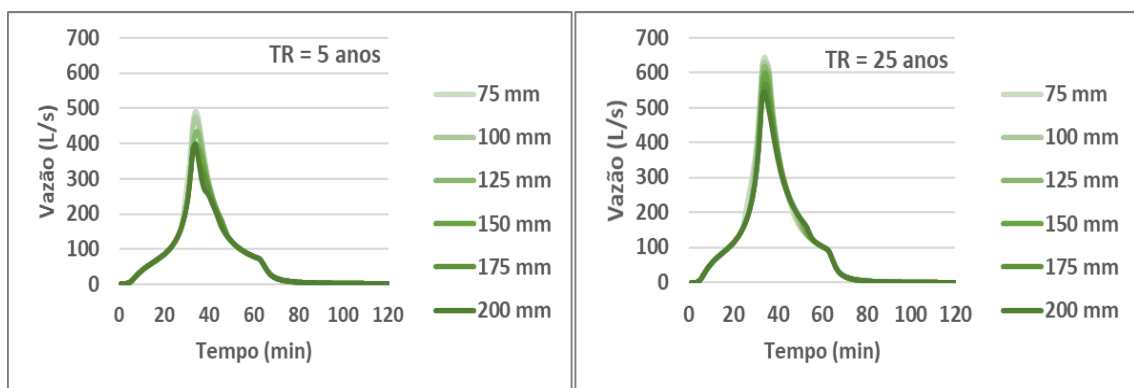
Para a avaliação do efeito do TV, foi considerada apenas a variação da espessura da camada do substrato para verificar a sua eficiência. As condições adotadas para as simulações selecionadas estão dispostas na Tabela 14, enquanto a Figura 25 apresenta os hidrogramas de saída para as duas chuvas de projeto.

Tabela 14 – Informações das simulações variando a espessura do TV

Altura da camada de armazenamento do PP	Espessura do substrato do TV	% de ocupação do PP	% de ocupação do TV
150 mm	Variável	20%	100%

Fonte: Elaboração própria, 2018.

Figura 25 – Hidrogramas de saída variando a espessura do TV



Fonte: Elaboração própria, 2018.

Os valores exatos da porcentagem de redução da vazão máxima estão descritos na Tabela 15, onde para todas as espessuras, a porcentagem de redução do volume total foi igual a 36%, independentemente da chuva estudada.

Tabela 15 – Porcentagens de redução da vazão variando a espessura do TV

Espessura do substrato do TV	Redução da vazão máxima (TR = 5 anos)	Redução da vazão máxima (TR = 25 anos)
75 mm	22,1%	25,7%
100 mm	24,4%	27,1%
125 mm	31,2%	28,7%
150 mm	36,9%	30,9%
175 mm	37,1%	34,4%
200 mm	37,1%	36,8%

Fonte: Elaboração própria, 2018.

Ao comparar a redução de vazão de pico das duas chuvas, observa-se que até 100 mm a estrutura LID apresenta uma maior eficiência na precipitação de projeto mais intensa de TR = 25 anos, enquanto que a partir de 125 mm até a espessura máxima analisada de 200 mm a primeira chuva de TR = 5 anos destaca-se melhor no resultado.

Paralelamente, percebe-se que a variação de espessura de 175 mm e 200 mm resultaram no mesmo efeito hidrológico de diminuição da vazão de pico equivalente a 37,1% de redução para a primeira chuva de projeto (com volume total de 62,9 mm). Nesse caso, a utilização da espessura de 150 mm pode ser escolhida para implantação, dado que apresenta uma redução da vazão máxima de 36,9% e portanto, a diferença da eficiência hidrológica entre as alternativas é de 0,2%, auxiliando na economia de custos com o substrato.

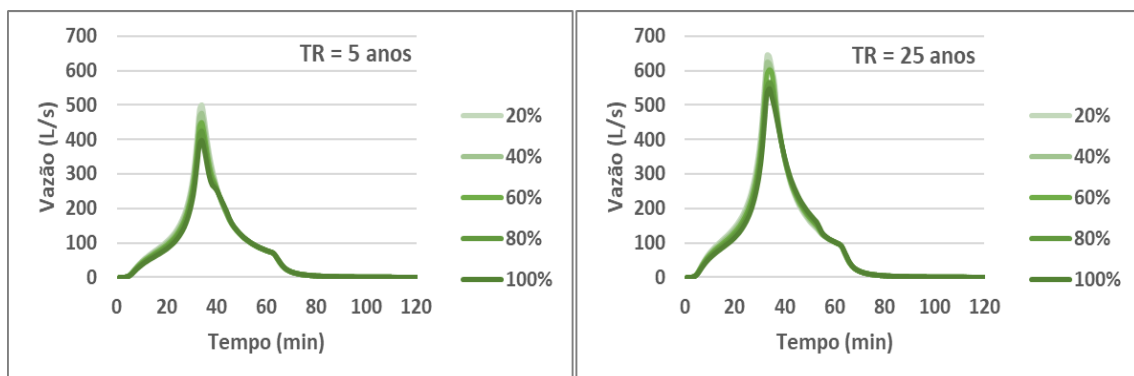
Para analisar a variação da área de cobertura da estrutura LID, foram consideradas primeiramente as simulações com as informações contidas na Tabela 16, com área mínima de ocupação do PP. Como resultado, obteve-se a Figura 26 com os hidrogramas de saída.

Tabela 16 – Informações das simulações variando a área de ocupação do TV

Altura da camada de armazenamento do PP	Espessura do substrato do TV	% de ocupação do PP	% de ocupação do TV
150 mm	200 mm	20%	Variável

Fonte: Elaboração própria, 2018.

Figura 26 – Hidrogramas de saída para variação da área de cobertura do TV com área mínima de ocupação do PP



Fonte: Elaboração própria, 2018.

Assim, a Tabela 17 apresenta os resultados para variação da área de cobertura do TV. Nota-se que na redução da vazão máxima, a segunda chuva apresentou maior eficiência em todos os cenários, com exceção do último com 100% de ocupação da LID. Na redução do

volume total ocorreu pouca variação com a mudança da precipitação, porém a porcentagem aumentou com a ampliação da ocupação.

Tabela 17 – Resultados da variação da área ocupada por telhado verde

Ocupação da área por TV	Redução da vazão máxima (TR = 5 anos)	Redução do volume total (TR = 5 anos)	Redução da vazão máxima (TR = 25 anos)	Redução do volume total (TR = 25 anos)
20%	20,34%	20%	25,5%	19%
40%	24,42%	24%	27,9%	24%
60%	28,55%	28%	30,3%	28%
80%	32,77%	32%	34,6%	32%
100%	37,12%	36%	36,8%	36%

Fonte: Elaboração própria, 2018.

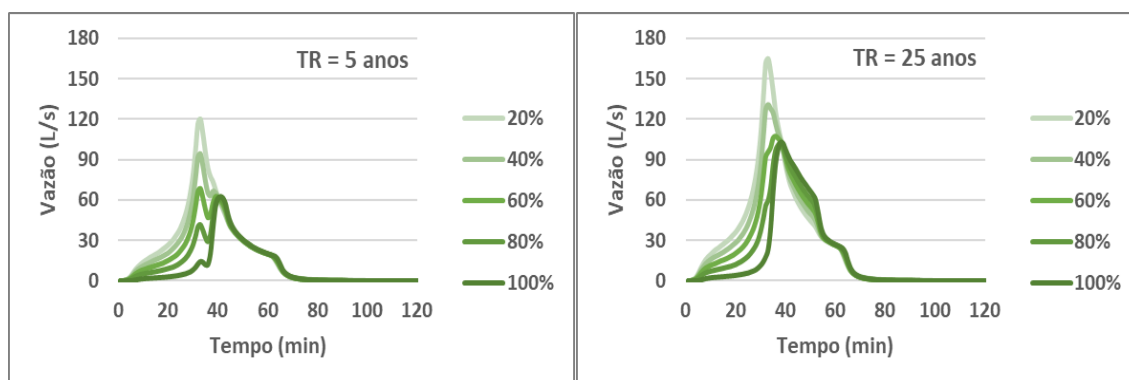
Logo após, foram analisadas as simulações com a área máxima de cobertura do PP, como mostra na Tabela 18, a fim de verificar a influência da área do pavimento na diferença de ocupação do telhado verde. Assim, observou-se que os hidrogramas de saída apresentaram um comportamento distinto dos exibidos anteriormente, como mostra a Figura 27.

Tabela 18 – Informações das simulações comparativas, variando a área de ocupação do TV

Altura da camada de armazenamento do PP	Espessura do substrato do TV	% de ocupação do PP	% de ocupação do TV
150 mm	200 mm	100%	Variável

Fonte: Elaboração própria, 2018.

Figura 27 – Hidrogramas de saída para variação da área de cobertura do TV e com área máxima de ocupação do PP



Fonte: Elaboração própria, 2018.

Com 100% de área de cobertura ocupada pelo PP, notou-se que quanto maior a área preenchida pelo dispositivo, mais se evidencia o segundo pico gerado provavelmente pelo efeito

retardatário da vazão de pico do telhado verde. Por isso, o estudo do uso integrado de dispositivos LIDs é de fundamental importância para a eficácia e eficiência da estrutura tendo em vista que em algumas combinações pode ocorrer a superposição de hidrogramas, onde a vazão de pico liberada por um dispositivo pode incorporar a vazão da outra estrutura resultando na soma das vazões, que por sua vez pode ocasionar o agravamento do problema de alagamentos. Por fim, a Tabela 19 apresenta os resultados para essas variações.

Tabela 19 – Resultados da variação da área ocupada por telhado verde e área máxima de ocupação de pavimento permeável

<b>Ocupação da área por TV</b>	<b>Redução da vazão máxima (TR = 5 anos)</b>	<b>Redução do volume total (TR = 5 anos)</b>	<b>Redução da vazão máxima (TR = 25 anos)</b>	<b>Redução do volume total (TR = 25 anos)</b>
20%	80,93%	81%	80,9%	81%
40%	85,01%	85%	84,9%	85%
60%	89,14%	90%	87,6%	89%
80%	90,23%	94%	88,2%	93,6%
100%	90,04%	98%	88,1%	97,7%

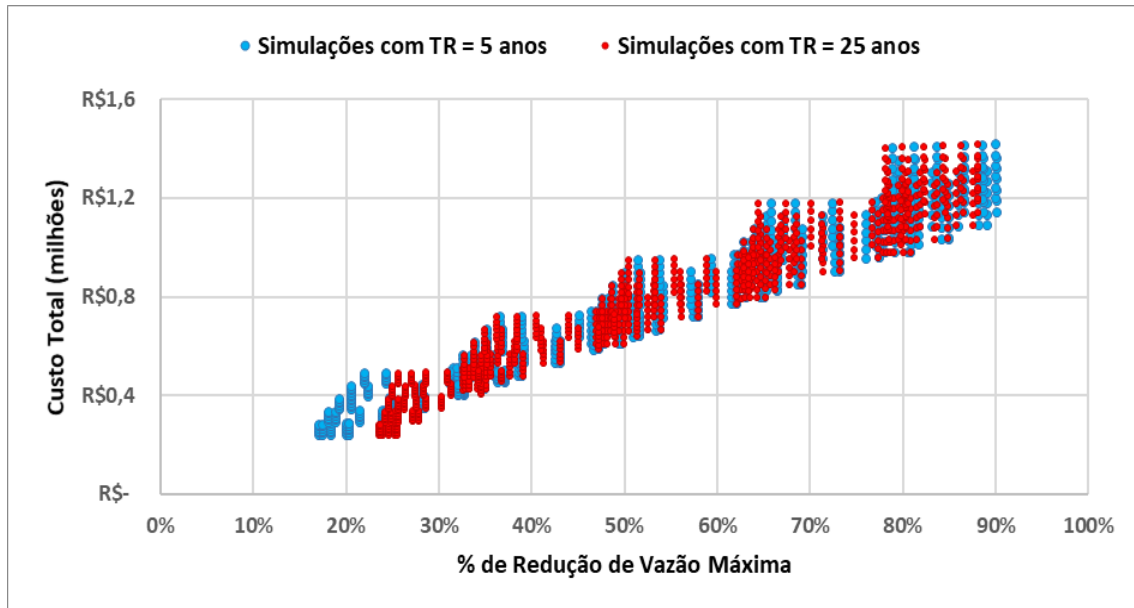
Fonte: Elaboração própria, 2018.

#### 4.3. Orçamento

De acordo com a Equação 12, foi calculado o custo das 1800 alternativas, que ao todo variaram de R\$ 236 mil à R\$ 1,36 milhões, e considerando as duas chuvas de projeto, foi elaborado o gráfico geral contido na Figura 28.

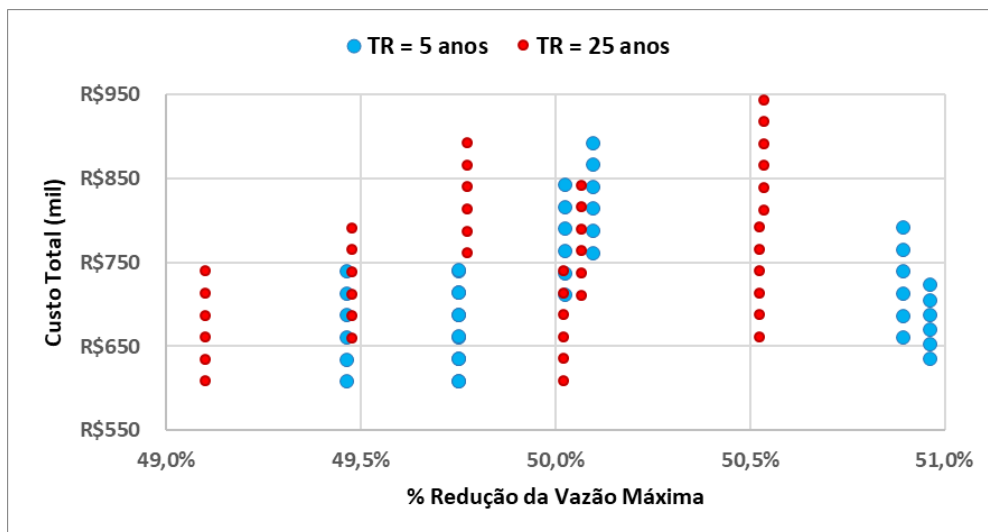
A Figura 29 apresenta uma parte dos dados da Figura 28 com uma aproximação das simulações que apresentaram uma redução da vazão máxima em torno de 50% da vazão original. Nele é possível perceber que existem muitas alternativas com a mesma eficiência hidrológica e apenas com mudanças do custo total, que neste caso variou de R\$ 600 mil até R\$950 mil, propiciando uma ampla variedade escolha de acordo com o interesse do projetista.

Figura 28 – Relação da porcentagem de vazão máxima reduzida e o custo total da implantação



Fonte: Elaboração própria, 2018.

Figura 29 – Variação do custo total para uma redução da vazão máxima em torno de 50%



Fonte: Elaboração própria, 2018.

Dentro do custo total, observou-se que em 94% das alternativas (843 simulações) o custo total de implantação do pavimento permeável teve um resultado mais elevado do que o do telhado verde, contudo, isso se justifica pela extensão da área propícia para implantação do pavimento que é 3,74 vezes maior do que a área dos telhados. A partir dos materiais e parâmetros adotados, chegou-se a um custo por metro quadrado de R\$431,47 / m<sup>2</sup> para o pavimento permeável e de R\$673,33 / m<sup>2</sup> para o telhado verde.

Nas propostas anteriores de redução de vazão de 25, 50 e 75%, os preços variam de acordo com a Tabela 20. As especificações de quais simulações e o preço exato de cada uma estão descritas no Apêndice.

Tabela 20 – Custos para as soluções de redução de vazão máxima de 25, 50 e 75%

<b>Limite de Vazão</b>	<b>Variação do Custo Total (TR = 5 anos)</b>	<b>Variação do Custo Total (TR = 25 anos)</b>
25%	291,1 mil – 489,2 mil	237,5 mil – 486,7 mil
50%	608 mil – 944,2 mil	608,5 mil – 944,2 mil
75%	900 mil – 1,12 milhões	954,2 mil - 1,18 milhões

Fonte: Elaboração própria, 2018.

## 5. CONCLUSÃO

Nos últimos anos as questões voltadas para a sustentabilidade têm crescido consideravelmente com cada vez mais debates e discussões sobre a temática em diversas áreas. Especificamente no meio urbano, problemas como alagamentos, movimentação de massa, doenças de veiculação hídrica, entre outros, evidenciam a ineficiência dos sistemas de drenagem tradicionais, sendo indicado estudos mais profundos nos métodos alternativos.

Com essa pesquisa, foi possível identificar várias alternativas com eficiência hidrológica semelhantes e com variações no custo de implantação de até R\$ 350 mil, onde a escolha pode ser definida pelo menor custo ou viabilidade de aplicação em determinados locais. Além disso, foi estimado valores do custo por metro quadrado, onde obteve-se R\$431,47 / m<sup>2</sup> para o pavimento permeável e de R\$673,33 / m<sup>2</sup> para o telhado verde. Por isso, é fundamental mais pesquisas como esta sobre dispositivos que promovem uma drenagem urbana de baixo impacto e que colaboram para o aprofundamento no conhecimento do tema.

A importância de estudos assim auxiliam na avaliação de qual a melhor alternativa com o mesmo efeito hidrológico e o menor custo, proporcionando uma economia de recursos, assim como considerando o viés sustentável. Além disso, as pesquisas são necessárias para que a utilização de um conjunto de alternativas atuando integradas não agravem a situação por meio da sobreposição de hidrogramas de saída.

Por fim, recomenda-se que futuros estudos sejam realizados aumentando o tempo de duração da chuva de projeto a fim de analisar a resposta hidrológica do pavimento permeável em condições extremas. Assim, seria relevante analisar nesse caso, quais combinações seriam mais viáveis ou até testar outros dispositivos com o intuito de buscar uma alternativa eficiente e de baixo custo que incentivem o uso de técnicas sustentáveis como ferramenta de gestão.

## 6. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

ARAÚJO, P. R.; TUCCI, C. E. M.; GOLDENFUM, J. A. **Avaliação da Eficiência dos Pavimentos Permeáveis na Redução de Escoamento Superficial**. Instituto de Pesquisas Hidráulicas da UFRGS. Porto Alegre. 1999.

ASCE. The Integration of Low Impact Development and Conservation Design: The New Castle County, Delaware, Experience. In: **ASCE Low Impact Development - New and Continuing Applications**. Wilmington, North Carolina: [s.n.], 2007. p. 403.

BAEK, S.; CHOI, D.; JUNG, J.; LEE, H. J.; LEE, H. Optimizing Low Impact Development (LID) for Stormwater Runoff Treatment in Urban Area, Korea - Experimental and Modeling Approach. **Water Research**, Ulsan - Korea, v. 86, p. 122-131, December 2015.

BAHIENSE, J. M. **Avaliação de Técnicas Compensatórias em Drenagem Urbana Baseadas no Conceito de Desenvolvimento de Baixo Impacto, com Apoio de Modelagem Matemática**. Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, p. 144. 2013.

BALDESSAR, S. M. N. **Telhado Verde e sua Contribuição na Redução da Vazão da Água Pluvial Escoda**. Universidade Federal do Paraná. Curitiba, p. 125. 2012.

BOLDRIN, A. J. **Avaliação do Desempenho Hidráulico de um Sistema de Drenagem de Águas Pluviais Urbanas**. Universidade Estadual de Campinas. Campinas, p. 171. 2014.

BRASIL. Lei nº 9.433, de 8 de jan. de 1997. **Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989**, jan 1997. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/LEIS/L9433.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/L9433.htm)>. Acesso em: 20 jul. 2018.

BRASIL. Lei nº 11.445, de 5 de Janeiro de 2007. **Estabelece as diretrizes nacionais para o saneamento básico, cria o Comitê Interministerial de Saneamento Básico, altera a Lei nº 6.766, de 19 de dezembro de 1979, a Lei nº 8.036, de 11 de maio de 1990, a Lei nº 8.666, de 21 de junho de 1993, e a Lei nº 8.987, de 13 de fevereiro de 1995, e revoga a Lei nº 6.528, de 11 de maio de 1978. (Redação dada pela Medida Provisória nº 844, de 2018)**,

jan 2007. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2007-2010/2007/lei/l11445.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2007/lei/l11445.htm)>. Acesso em: 20 jul. 2018.

**BRASIL. Manual para Apresentação de Propostas para Sistemas de Drenagem Urbana Sustentável e de Manejo de Águas Pluviais.** [S.l.]: Ministério das Cidades, 2012. 26 p.

CANHOLI, A. P. **Drenagem Urbana e Controle de Enchentes.** São Paulo: Oficina de Textos, 2005. 384 p.

CANHOLI, J. F. **Medidas de controle "in situ" do Escoamento Superficial em Áreas Urbanas: Análise de Aspectos Técnicos e Legais.** São Paulo, p. 34. 2013.

CHUI, T. F. M.; LIU, X.; ZHAN, W. Assessing cost-effectiveness of specific LID practice designs in response to large storm events. **Journal of Hydrology**, p. 353–364, 2016.

COBRAPE. **Plano Diretor de Drenagem Urbana de Curitiba, Volume II - Volume Técnico.** Curitiba: [s.n.], v. II, 2012.

COSTA, J.; COSTA, A.; POLETO, C. Telhado Verde: Redução e Retardo do Escoamento Superficial. **REA - Revista de Estudos Ambientais (Online)**, Toledo, v. 14, p. 50-56, 2012.

DAVIS, M. L.; MASTEN, S. J. **Princípios de Engenharia Ambiental.** 3<sup>a</sup>. ed. Porto Alegre: AMGH, 2016. 854 p.

DRUMOND, P. D. P. **Estudo da influência da reservação de águas pluviais em lotes de Belo Horizonte, MG: Avaliação hidráulica e hidrológica.** Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, p. 28-32. 2012.

FORGIARINI, F. R. **Incentivos Econômicos à Sustentabilidade da Drenagem Urbana: O Caso de Porto Alegre - RS.** Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, p. 244. 2010.

FURRIER, M. **Caracterização Geomorfológica e do Meio Físico da Folha João Pessoa - 1:100.000.** Universidade de São Paulo. São Paulo, p. 213. 2007.

GUAN, M.; SILLANPÄÄ, N.; KOIVUSALO, H. Assessment of LID practices for restoring pre-development runoff regime in an urbanized catchment in southern Finland. **Water Science & Technology**, p. 1485-1491, 2015.

IPH. **Plano Diretor de Drenagem Urbana de Porto Alegre - Manual de Drenagem Urbana**. Porto Alegre: Instituto de Pesquisas Hidráulicas (IPH) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), v. VI, 2005. 32 p.

JOÃO PESSOA. Código de Urbanismo. **Secretaria de Planejamento**, jul 2001. Disponível em: <[http://www.joaopessoa.pb.gov.br/portal/wp-content/uploads/2012/03/codi\\_urba.pdf](http://www.joaopessoa.pb.gov.br/portal/wp-content/uploads/2012/03/codi_urba.pdf)>. Acesso em: 20 jul. 2018.

JOKSIMOVIC, D.; ALAM, Z. **Cost Efficiency of Low Impact Development (LID) Stormwater Management Practices**. 16th Conference on Water Distribution System Analysis, WDSA 2014. [S.l.]: [s.n.]. 2014. p. 734-741.

KREBS, G.; KOKKONEN, T.; VALTANEN, M.; SETÄLÄ, H.; KOIVUSALO, H. Spatial resolution considerations for urban hydrological modelling. **Journal of Hydrology**, Espoo, Finland, n. 512, p. 482-497, March 2014.

LI, C.; LIU, M.; HU, Y.; GONG, J.; XU, Y. Modeling the Quality and Quantity of Runoff in a Highly Urbanized Catchment Using Storm Water Management Model. **Polish Journal of Environmental Studies**, Shenyang, China, v. 25, n. 4, p. 1573-1581, November 2015.

LI, C.; LIU, M.; HU, Y.; HAN, R.; SHI, T.; QU, X. Evaluating the Hydrologic Performance of Low Impact Development Scenarios in a Micro Urban Catchment. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, 2018. 14.

LOPES, M. D. **Avaliação do Efeito de Diferentes Alternativas de Drenagem Sustentável no Controle do Escoamento Superficial**. Universidade Federal da Paraíba. João Pessoa, p. 31. 2017.

MARTÍNEZ, L. L. G. **Distribuição de Poluição Difusa por Sedimentos Urbanos em Áreas Impermeáveis em Porto Alegre**. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, p. 90. 2010.

MCCUEN, R. H. Uncertainty Analyses of Watershed Time Parameters. **Journal of Hydrologic Engineering**, v. 14, n. 5, p. 490-498, 2009.

NASCIMENTO, N. O.; BAPTISTA, M. B. & KAUARKLEITE, L. A. **Typical storm water management problems in a tropical city – the Belo Horizonte case study**. In: Ellis, B. Impacts of Urban Growth on Surface Water and Groundwater. Proceedings of the IAHS at IUGC XXII General Assembly of the International Quality, Birmingham: IAHS, p. 299-306. 1999.

PALLA, A.; GNECCO, I. Hydrologic modeling of Low Impact Development systems at the urban catchment scale. **Journal of Hydrology**, p. 361-368, 2015.

PETRUCCI, G.; DEROUBAIX, F.; TASSIN, B. **Stormwater source control regulation: a hydrological comparison of alternative policies**. 12th International Conference on Urban Drainage. Porto Alegre, 11-16 September 2011: [s.n.]. 2011.

POMPEO, C. A. Drenagem Urbana Sustentável. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Florianópolis, v. 5, n. 1, p. 15-24, Janeiro 2000.

ROSENZWEIG, C.; GAFFI, S.; L. PARSHALL. **Green Roofs in the New York Metropolitan Region: Research Report**. Columbia University Center for Climate Systems Research and NASA Goddard Institute for Space Studies. New York. p. 59. 2006.

ROSSMAN, L. A. **SWMM 5.0: Manual do Usuário**. João Pessoa. 2012.

ROSSMAN, L. A.; HUBER, C. W. **Storm Water Management Model Reference Manual, Volume I - Hydrology (Revised)**. Cincinnati - OH, USA: United States Environment Protection Agency - EPA, 2016.

SARTORI, A.; NETO, F. L.; GENOVEZ, A. M. Classificação Hidrológica de Solos Brasileiros para a Estimativa de Chuva Excedente com o Método do Serviço de Conservação do Solo dos Estados Unidos Parte 1: Classificação. **RBRH - Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 10 n. 4, p. 05-18, 2005.

SILVA, C. B.; OLIVEIRA, L. F. C. Relação Intensidade-Duração-Frequência de Chuvas Extremas na Região Nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 20, p. 267-283, Jan/Jul 2017.

SILVEIRA, A. L. L. Desempenho de Fórmulas de Tempo de Concentração em Bacias Urbanas e Rurais. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 10, n. 1, p. 5-23, 2005.

SNSA. **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 - Brasília: Ministério das Cidades, 2005. 270 p.

SOUZA, C. F.; CRUZ, M. A. S.; TUCCI, C. E. M. Desenvolvimento Urbano de Baixo Impacto: Planejamento e Tecnologias Verdes para a Sustentabilidade das Águas Urbanas. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, 2012. Acesso em: 20 Maio 2018.

SUDERHSA, **Plano Diretor de Drenagem para a Bacia do Rio Iguaçu na Região Metropolitana de Curitiba**. Superintendência de Desenvolvimento de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental. Curitiba - PR. 150 p. 2002.

TASSI, R. **Efeito dos Microrreservatórios de Lote Sobre a Macrodrenagem Urbana**. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, p. 156. 2002.

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, 14, n. 1, 2014. 139-154.

TOMAZ, P. **Curso de Manejo de Águas Pluviais**. Disponível em: <[http://www.pliniotomaz.com.br/downloads/Novos\\_livros/livro\\_calculoshidrolicos/capitulo04.pdf](http://www.pliniotomaz.com.br/downloads/Novos_livros/livro_calculoshidrolicos/capitulo04.pdf)>. Acesso em: 01 nov. 2018

TUCCI, C. E. M. Gerenciamento da Drenagem Urbana. **RBRH - Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, v. VII, n. 1, p. 5-27, Jan/Mar 2002.

TUCCI, C. E. M. **Gestão da drenagem urbana**. Brasília, DF: CEPAL. Escritório no Brasil/IPEA, v. (Textos para Discussão CEPAL-IPEA, 48), p. 54. 2012.

## APÊNDICE

% de Redução Vazão Máxima	% Redução Volume Total	Simulação	Altura do armazenamento do PP	Espessura do substrato do TV	% de Área ocupada pelo PP	% de Área coberta pelo TV	Custo PP	Custo TV	Custo Total
24,0%	23,7%	77	150	150	20%	40%	R\$ 184.975,64	R\$ 106.164,30	R\$ 291.139,94
24,0%	23,7%	227	250	150	20%	40%	R\$ 193.730,64	R\$ 106.164,30	R\$ 299.894,94
24,0%	23,7%	377	350	150	20%	40%	R\$ 202.485,64	R\$ 106.164,30	R\$ 308.649,94
24,0%	23,7%	527	450	150	20%	40%	R\$ 211.240,64	R\$ 106.164,30	R\$ 317.404,94
24,0%	23,7%	677	550	150	20%	40%	R\$ 219.995,64	R\$ 106.164,30	R\$ 326.159,94
24,0%	23,7%	827	650	150	20%	40%	R\$ 228.750,64	R\$ 106.164,30	R\$ 334.914,94
24,4%	23,7%	102	150	175	20%	40%	R\$ 184.975,64	R\$ 107.156,59	R\$ 292.132,23
24,4%	23,7%	127	150	200	20%	40%	R\$ 184.975,64	R\$ 108.148,88	R\$ 293.124,52
24,4%	23,7%	252	250	175	20%	40%	R\$ 193.730,64	R\$ 107.156,59	R\$ 300.887,23
24,4%	23,7%	277	250	200	20%	40%	R\$ 193.730,64	R\$ 108.148,88	R\$ 301.879,52
24,4%	23,7%	402	350	175	20%	40%	R\$ 202.485,64	R\$ 107.156,59	R\$ 309.642,23
24,4%	23,7%	427	350	200	20%	40%	R\$ 202.485,64	R\$ 108.148,88	R\$ 310.634,52
24,4%	23,7%	552	450	175	20%	40%	R\$ 211.240,64	R\$ 107.156,59	R\$ 318.397,23
24,4%	23,7%	577	450	200	20%	40%	R\$ 211.240,64	R\$ 108.148,88	R\$ 319.389,52
24,4%	23,7%	702	550	175	20%	40%	R\$ 219.995,64	R\$ 107.156,59	R\$ 327.152,23
24,4%	23,7%	727	550	200	20%	40%	R\$ 219.995,64	R\$ 108.148,88	R\$ 328.144,52
24,4%	23,7%	852	650	175	20%	40%	R\$ 228.750,64	R\$ 107.156,59	R\$ 335.907,23
24,4%	23,7%	877	650	200	20%	40%	R\$ 228.750,64	R\$ 108.148,88	R\$ 336.899,52
24,4%	36,0%	30	150	100	20%	100%	R\$ 184.975,64	R\$ 260.449,30	R\$ 445.424,94
24,4%	36,0%	180	250	100	20%	100%	R\$ 193.730,64	R\$ 260.449,30	R\$ 454.179,94
24,4%	36,0%	330	350	100	20%	100%	R\$ 202.485,64	R\$ 260.449,30	R\$ 462.934,94
24,4%	36,0%	480	450	100	20%	100%	R\$ 211.240,64	R\$ 260.449,30	R\$ 471.689,94
24,4%	36,0%	630	550	100	20%	100%	R\$ 219.995,64	R\$ 260.449,30	R\$ 480.444,94
24,4%	36,0%	780	650	100	20%	100%	R\$ 228.750,64	R\$ 260.449,30	R\$ 489.199,94
24,8%	27,8%	53	150	125	20%	60%	R\$ 184.975,64	R\$ 157.758,02	R\$ 342.733,66
24,8%	27,8%	203	250	125	20%	60%	R\$ 193.730,64	R\$ 157.758,02	R\$ 351.488,66
24,8%	27,8%	353	350	125	20%	60%	R\$ 202.485,64	R\$ 157.758,02	R\$ 360.243,66
24,8%	27,8%	503	450	125	20%	60%	R\$ 211.240,64	R\$ 157.758,02	R\$ 368.998,66
24,8%	27,8%	653	550	125	20%	60%	R\$ 219.995,64	R\$ 157.758,02	R\$ 377.753,66
24,8%	27,8%	803	650	125	20%	60%	R\$ 228.750,64	R\$ 157.758,02	R\$ 386.508,66
49,5%	50,4%	86	150	150	60%	20%	R\$ 554.926,92	R\$ 53.082,15	R\$ 608.009,07
49,5%	50,4%	236	250	150	60%	20%	R\$ 581.191,92	R\$ 53.082,15	R\$ 634.274,07
49,5%	50,4%	386	350	150	60%	20%	R\$ 607.456,92	R\$ 53.082,15	R\$ 660.539,07

% de Redução Vazão Máxima	% Redução Volume Total	Simulação	Altura do armazenamento do PP	Espessura do substrato do TV	% de Área ocupada pelo PP	% de Área coberta pelo TV	Custo PP	Custo TV	Custo Total
49,5%	50,4%	536	450	150	60%	20%	R\$ 633.721,92	R\$ 53.082,15	R\$ 686.804,07
49,5%	50,4%	686	550	150	60%	20%	R\$ 659.986,92	R\$ 53.082,15	R\$ 713.069,07
49,5%	50,4%	836	650	150	60%	20%	R\$ 686.251,92	R\$ 53.082,15	R\$ 739.334,07
49,8%	50,4%	111	150	175	60%	20%	R\$ 554.926,92	R\$ 53.578,30	R\$ 608.505,22
49,8%	50,4%	136	150	200	60%	20%	R\$ 554.926,92	R\$ 54.074,44	R\$ 609.001,36
49,8%	50,4%	261	250	175	60%	20%	R\$ 581.191,92	R\$ 53.578,30	R\$ 634.770,22
49,8%	50,4%	286	250	200	60%	20%	R\$ 581.191,92	R\$ 54.074,44	R\$ 635.266,36
49,8%	50,4%	411	350	175	60%	20%	R\$ 607.456,92	R\$ 53.578,30	R\$ 661.035,22
49,8%	50,4%	436	350	200	60%	20%	R\$ 607.456,92	R\$ 54.074,44	R\$ 661.531,36
49,8%	50,4%	561	450	175	60%	20%	R\$ 633.721,92	R\$ 53.578,30	R\$ 687.300,22
49,8%	50,4%	586	450	200	60%	20%	R\$ 633.721,92	R\$ 54.074,44	R\$ 687.796,36
49,8%	50,4%	711	550	175	60%	20%	R\$ 659.986,92	R\$ 53.578,30	R\$ 713.565,22
49,8%	50,4%	736	550	200	60%	20%	R\$ 659.986,92	R\$ 54.074,44	R\$ 714.061,36
49,8%	50,4%	861	650	175	60%	20%	R\$ 686.251,92	R\$ 53.578,30	R\$ 739.830,22
49,8%	50,4%	886	650	200	60%	20%	R\$ 686.251,92	R\$ 54.074,44	R\$ 740.326,36
50,0%	58,6%	38	150	100	60%	60%	R\$ 554.926,92	R\$ 156.269,58	R\$ 711.196,50
50,0%	58,6%	188	250	100	60%	60%	R\$ 581.191,92	R\$ 156.269,58	R\$ 737.461,50
50,0%	58,6%	338	350	100	60%	60%	R\$ 607.456,92	R\$ 156.269,58	R\$ 763.726,50
50,0%	58,6%	488	450	100	60%	60%	R\$ 633.721,92	R\$ 156.269,58	R\$ 789.991,50
50,0%	58,6%	638	550	100	60%	60%	R\$ 659.986,92	R\$ 156.269,58	R\$ 816.256,50
50,0%	58,6%	788	650	100	60%	60%	R\$ 686.251,92	R\$ 156.269,58	R\$ 842.521,50
50,1%	62,8%	14	150	75	60%	80%	R\$ 554.926,92	R\$ 206.374,86	R\$ 761.301,78
50,1%	62,8%	164	250	75	60%	80%	R\$ 581.191,92	R\$ 206.374,86	R\$ 787.566,78
50,1%	62,8%	314	350	75	60%	80%	R\$ 607.456,92	R\$ 206.374,86	R\$ 813.831,78
50,1%	62,8%	464	450	75	60%	80%	R\$ 633.721,92	R\$ 206.374,86	R\$ 840.096,78
50,1%	62,8%	614	550	75	60%	80%	R\$ 659.986,92	R\$ 206.374,86	R\$ 866.361,78
50,1%	62,8%	764	650	75	60%	80%	R\$ 686.251,92	R\$ 206.374,86	R\$ 892.626,78
50,9%	54,5%	62	150	125	60%	40%	R\$ 554.926,92	R\$ 105.172,01	R\$ 660.098,93
50,9%	54,5%	212	250	125	60%	40%	R\$ 581.191,92	R\$ 105.172,01	R\$ 686.363,93
50,9%	54,5%	362	350	125	60%	40%	R\$ 607.456,92	R\$ 105.172,01	R\$ 712.628,93
50,9%	54,5%	512	450	125	60%	40%	R\$ 633.721,92	R\$ 105.172,01	R\$ 738.893,93
50,9%	54,5%	662	550	125	60%	40%	R\$ 659.986,92	R\$ 105.172,01	R\$ 765.158,93
50,9%	54,5%	812	650	125	60%	40%	R\$ 686.251,92	R\$ 105.172,01	R\$ 791.423,93
51,0%	51,5%	85	150	150	40%	100%	R\$ 369.951,28	R\$ 265.410,75	R\$ 635.362,03

% de Redução Vazão Máxima	% Redução Volume Total	Simulação	Altura do armazenamento do PP	Espessura do substrato do TV	% de Área ocupada pelo PP	% de Área coberta pelo TV	Custo PP	Custo TV	Custo Total
51,0%	51,5%	235	250	150	40%	100%	R\$ 387.461,28	R\$ 265.410,75	R\$ 652.872,03
51,0%	51,5%	385	350	150	40%	100%	R\$ 404.971,28	R\$ 265.410,75	R\$ 670.382,03
51,0%	51,5%	535	450	150	40%	100%	R\$ 422.481,28	R\$ 265.410,75	R\$ 687.892,03
51,0%	51,5%	685	550	150	40%	100%	R\$ 439.991,28	R\$ 265.410,75	R\$ 705.402,03
51,0%	51,5%	835	650	150	40%	100%	R\$ 457.501,28	R\$ 265.410,75	R\$ 722.912,03
51,5%	66,9%	15	150	75	60%	100%	R\$ 554.926,92	R\$ 257.968,58	R\$ 812.895,50
51,5%	66,9%	165	250	75	60%	100%	R\$ 581.191,92	R\$ 257.968,58	R\$ 839.160,50
51,5%	66,9%	315	350	75	60%	100%	R\$ 607.456,92	R\$ 257.968,58	R\$ 865.425,50
51,5%	66,9%	465	450	75	60%	100%	R\$ 633.721,92	R\$ 257.968,58	R\$ 891.690,50
51,5%	66,9%	615	550	75	60%	100%	R\$ 659.986,92	R\$ 257.968,58	R\$ 917.955,50
51,5%	66,9%	765	650	75	60%	100%	R\$ 686.251,92	R\$ 257.968,58	R\$ 944.220,50
51,7%	51,5%	110	150	175	40%	100%	R\$ 369.951,28	R\$ 267.891,48	R\$ 637.842,76
51,7%	51,5%	135	150	200	40%	100%	R\$ 369.951,28	R\$ 270.372,20	R\$ 640.323,48
51,7%	51,5%	260	250	175	40%	100%	R\$ 387.461,28	R\$ 267.891,48	R\$ 655.352,76
51,7%	51,5%	285	250	200	40%	100%	R\$ 387.461,28	R\$ 270.372,20	R\$ 657.833,48
51,7%	51,5%	410	350	175	40%	100%	R\$ 404.971,28	R\$ 267.891,48	R\$ 672.862,76
51,7%	51,5%	435	350	200	40%	100%	R\$ 404.971,28	R\$ 270.372,20	R\$ 675.343,48
51,7%	51,5%	560	450	175	40%	100%	R\$ 422.481,28	R\$ 267.891,48	R\$ 690.372,76
51,7%	51,5%	585	450	200	40%	100%	R\$ 422.481,28	R\$ 270.372,20	R\$ 692.853,48
51,7%	51,5%	710	550	175	40%	100%	R\$ 439.991,28	R\$ 267.891,48	R\$ 707.882,76
51,7%	51,5%	735	550	200	40%	100%	R\$ 439.991,28	R\$ 270.372,20	R\$ 710.363,48
51,7%	51,5%	860	650	175	40%	100%	R\$ 457.501,28	R\$ 267.891,48	R\$ 725.392,76
51,7%	51,5%	885	650	200	40%	100%	R\$ 457.501,28	R\$ 270.372,20	R\$ 727.873,48
51,8%	62,8%	39	150	100	60%	80%	R\$ 554.926,92	R\$ 208.359,44	R\$ 763.286,36
51,8%	62,8%	189	250	100	60%	80%	R\$ 581.191,92	R\$ 208.359,44	R\$ 789.551,36
51,8%	62,8%	339	350	100	60%	80%	R\$ 607.456,92	R\$ 208.359,44	R\$ 815.816,36
51,8%	62,8%	489	450	100	60%	80%	R\$ 633.721,92	R\$ 208.359,44	R\$ 842.081,36
51,8%	62,8%	639	550	100	60%	80%	R\$ 659.986,92	R\$ 208.359,44	R\$ 868.346,36
51,8%	62,8%	789	650	100	60%	80%	R\$ 686.251,92	R\$ 208.359,44	R\$ 894.611,36
73,2%	74,1%	118	150	175	80%	60%	R\$ 739.902,56	R\$ 160.734,89	R\$ 900.637,45
73,2%	74,1%	143	150	200	80%	60%	R\$ 739.902,56	R\$ 162.223,32	R\$ 902.125,88
73,2%	74,1%	268	250	175	80%	60%	R\$ 774.922,56	R\$ 160.734,89	R\$ 935.657,45
73,2%	74,1%	293	250	200	80%	60%	R\$ 774.922,56	R\$ 162.223,32	R\$ 937.145,88
73,2%	74,1%	418	350	175	80%	60%	R\$ 809.942,56	R\$ 160.734,89	R\$ 970.677,45

% de Redução Vazão Máxima	% Redução Volume Total	Simulação	Altura do armazenamento do PP	Espessura do substrato do TV	% de Área ocupada pelo PP	% de Área coberta pelo TV	Custo PP	Custo TV	Custo Total
73,2%	74,1%	443	350	200	80%	60%	R\$ 809.942,56	R\$ 162.223,32	R\$ 972.165,88
73,2%	74,1%	568	450	175	80%	60%	R\$ 844.962,56	R\$ 160.734,89	R\$ 1.005.697,45
73,2%	74,1%	593	450	200	80%	60%	R\$ 844.962,56	R\$ 162.223,32	R\$ 1.007.185,88
73,2%	74,1%	718	550	175	80%	60%	R\$ 879.982,56	R\$ 160.734,89	R\$ 1.040.717,45
73,2%	74,1%	743	550	200	80%	60%	R\$ 879.982,56	R\$ 162.223,32	R\$ 1.042.205,88
73,2%	74,1%	868	650	175	80%	60%	R\$ 915.002,56	R\$ 160.734,89	R\$ 1.075.737,45
73,2%	74,1%	893	650	200	80%	60%	R\$ 915.002,56	R\$ 162.223,32	R\$ 1.077.225,88
76,2%	78,2%	94	150	150	80%	80%	R\$ 739.902,56	R\$ 212.328,60	R\$ 952.231,16
76,2%	78,2%	244	250	150	80%	80%	R\$ 774.922,56	R\$ 212.328,60	R\$ 987.251,16
76,2%	78,2%	394	350	150	80%	80%	R\$ 809.942,56	R\$ 212.328,60	R\$ 1.022.271,16
76,2%	78,2%	544	450	150	80%	80%	R\$ 844.962,56	R\$ 212.328,60	R\$ 1.057.291,16
76,2%	78,2%	694	550	150	80%	80%	R\$ 879.982,56	R\$ 212.328,60	R\$ 1.092.311,16
76,2%	78,2%	844	650	150	80%	80%	R\$ 915.002,56	R\$ 212.328,60	R\$ 1.127.331,16

% de Redução Vazão Máxima	% Redução Volume Total	Simulação	Altura do armazenamento do PP	Espessura do substrato do TV	% de Área ocupada pelo PP	% de Área coberta pelo TV	Custo PP	Custo TV	Custo Total
24,0%	19,5%	51	150	125	20%	20%	R\$ 184.975,64	R\$ 52.586,01	R\$ 237.561,65
24,0%	19,5%	201	250	125	20%	20%	R\$ 193.730,64	R\$ 52.586,01	R\$ 246.316,65
24,0%	19,5%	351	350	125	20%	20%	R\$ 202.485,64	R\$ 52.586,01	R\$ 255.071,65
24,0%	19,5%	501	450	125	20%	20%	R\$ 211.240,64	R\$ 52.586,01	R\$ 263.826,65
24,0%	19,5%	651	550	125	20%	20%	R\$ 219.995,64	R\$ 52.586,01	R\$ 272.581,65
24,0%	19,5%	801	650	125	20%	20%	R\$ 228.750,64	R\$ 52.586,01	R\$ 281.336,65
24,2%	23,6%	2	150	75	20%	40%	R\$ 184.975,64	R\$ 103.187,43	R\$ 288.163,07
24,2%	23,6%	152	250	75	20%	40%	R\$ 193.730,64	R\$ 103.187,43	R\$ 296.918,07
24,2%	23,6%	302	350	75	20%	40%	R\$ 202.485,64	R\$ 103.187,43	R\$ 305.673,07
24,2%	23,6%	452	450	75	20%	40%	R\$ 211.240,64	R\$ 103.187,43	R\$ 314.428,07
24,2%	23,6%	602	550	75	20%	40%	R\$ 219.995,64	R\$ 103.187,43	R\$ 323.183,07
24,2%	23,6%	752	650	75	20%	40%	R\$ 228.750,64	R\$ 103.187,43	R\$ 331.938,07
24,6%	27,7%	3	150	75	20%	60%	R\$ 184.975,64	R\$ 154.781,15	R\$ 339.756,79
24,6%	27,7%	153	250	75	20%	60%	R\$ 193.730,64	R\$ 154.781,15	R\$ 348.511,79
24,6%	27,7%	303	350	75	20%	60%	R\$ 202.485,64	R\$ 154.781,15	R\$ 357.266,79
24,6%	27,7%	453	450	75	20%	60%	R\$ 211.240,64	R\$ 154.781,15	R\$ 366.021,79
24,6%	27,7%	603	550	75	20%	60%	R\$ 219.995,64	R\$ 154.781,15	R\$ 374.776,79
24,6%	27,7%	753	650	75	20%	60%	R\$ 228.750,64	R\$ 154.781,15	R\$ 383.531,79
24,6%	19,5%	76	150	150	20%	20%	R\$ 184.975,64	R\$ 53.082,15	R\$ 238.057,79
24,6%	19,5%	226	250	150	20%	20%	R\$ 193.730,64	R\$ 53.082,15	R\$ 246.812,79
24,6%	19,5%	376	350	150	20%	20%	R\$ 202.485,64	R\$ 53.082,15	R\$ 255.567,79
24,6%	19,5%	526	450	150	20%	20%	R\$ 211.240,64	R\$ 53.082,15	R\$ 264.322,79
24,6%	19,5%	676	550	150	20%	20%	R\$ 219.995,64	R\$ 53.082,15	R\$ 273.077,79
24,6%	19,5%	826	650	150	20%	20%	R\$ 228.750,64	R\$ 53.082,15	R\$ 281.832,79
24,9%	23,6%	27	150	100	20%	40%	R\$ 184.975,64	R\$ 104.179,72	R\$ 289.155,36
24,9%	23,6%	177	250	100	20%	40%	R\$ 193.730,64	R\$ 104.179,72	R\$ 297.910,36
24,9%	23,6%	327	350	100	20%	40%	R\$ 202.485,64	R\$ 104.179,72	R\$ 306.665,36
24,9%	23,6%	477	450	100	20%	40%	R\$ 211.240,64	R\$ 104.179,72	R\$ 315.420,36
24,9%	23,6%	627	550	100	20%	40%	R\$ 219.995,64	R\$ 104.179,72	R\$ 324.175,36
24,9%	23,6%	777	650	100	20%	40%	R\$ 228.750,64	R\$ 104.179,72	R\$ 332.930,36
25,1%	31,9%	4	150	75	20%	80%	R\$ 184.975,64	R\$ 206.374,86	R\$ 391.350,50
25,1%	31,9%	154	250	75	20%	80%	R\$ 193.730,64	R\$ 206.374,86	R\$ 400.105,50
25,1%	31,9%	304	350	75	20%	80%	R\$ 202.485,64	R\$ 206.374,86	R\$ 408.860,50

% de Redução Vazão Máxima	% Redução Volume Total	Simulação	Altura do armazenamento do PP	Espessura do substrato do TV	% de Área ocupada pelo PP	% de Área coberta pelo TV	Custo PP	Custo TV	Custo Total
25,1%	31,9%	454	450	75	20%	80%	R\$ 211.240,64	R\$ 206.374,86	R\$ 417.615,50
25,1%	31,9%	604	550	75	20%	80%	R\$ 219.995,64	R\$ 206.374,86	R\$ 426.370,50
25,1%	31,9%	754	650	75	20%	80%	R\$ 228.750,64	R\$ 206.374,86	R\$ 435.125,50
25,2%	19,5%	101	150	175	20%	20%	R\$ 184.975,64	R\$ 53.578,30	R\$ 238.553,94
25,2%	19,5%	251	250	175	20%	20%	R\$ 193.730,64	R\$ 53.578,30	R\$ 247.308,94
25,2%	19,5%	401	350	175	20%	20%	R\$ 202.485,64	R\$ 53.578,30	R\$ 256.063,94
25,2%	19,5%	551	450	175	20%	20%	R\$ 211.240,64	R\$ 53.578,30	R\$ 264.818,94
25,2%	19,5%	701	550	175	20%	20%	R\$ 219.995,64	R\$ 53.578,30	R\$ 273.573,94
25,2%	19,5%	851	650	175	20%	20%	R\$ 228.750,64	R\$ 53.578,30	R\$ 282.328,94
25,5%	23,6%	52	150	125	20%	40%	R\$ 184.975,64	R\$ 105.172,01	R\$ 290.147,65
25,5%	23,6%	202	250	125	20%	40%	R\$ 193.730,64	R\$ 105.172,01	R\$ 298.902,65
25,5%	23,6%	352	350	125	20%	40%	R\$ 202.485,64	R\$ 105.172,01	R\$ 307.657,65
25,5%	23,6%	502	450	125	20%	40%	R\$ 211.240,64	R\$ 105.172,01	R\$ 316.412,65
25,5%	23,6%	652	550	125	20%	40%	R\$ 219.995,64	R\$ 105.172,01	R\$ 325.167,65
25,5%	23,6%	802	650	125	20%	40%	R\$ 228.750,64	R\$ 105.172,01	R\$ 333.922,65
25,5%	19,5%	126	150	200	20%	20%	R\$ 184.975,64	R\$ 54.074,44	R\$ 239.050,08
25,5%	19,5%	276	250	200	20%	20%	R\$ 193.730,64	R\$ 54.074,44	R\$ 247.805,08
25,5%	19,5%	426	350	200	20%	20%	R\$ 202.485,64	R\$ 54.074,44	R\$ 256.560,08
25,5%	19,5%	576	450	200	20%	20%	R\$ 211.240,64	R\$ 54.074,44	R\$ 265.315,08
25,5%	19,5%	726	550	200	20%	20%	R\$ 219.995,64	R\$ 54.074,44	R\$ 274.070,08
25,5%	19,5%	876	650	200	20%	20%	R\$ 228.750,64	R\$ 54.074,44	R\$ 282.825,08
25,6%	27,7%	28	150	100	20%	60%	R\$ 184.975,64	R\$ 156.269,58	R\$ 341.245,22
25,6%	27,7%	178	250	100	20%	60%	R\$ 193.730,64	R\$ 156.269,58	R\$ 350.000,22
25,6%	27,7%	328	350	100	20%	60%	R\$ 202.485,64	R\$ 156.269,58	R\$ 358.755,22
25,6%	27,7%	478	450	100	20%	60%	R\$ 211.240,64	R\$ 156.269,58	R\$ 367.510,22
25,6%	27,7%	628	550	100	20%	60%	R\$ 219.995,64	R\$ 156.269,58	R\$ 376.265,22
25,6%	27,7%	778	650	100	20%	60%	R\$ 228.750,64	R\$ 156.269,58	R\$ 385.020,22
25,6%	23,6%	77	150	150	20%	40%	R\$ 184.975,64	R\$ 106.164,30	R\$ 291.139,94
25,6%	23,6%	227	250	150	20%	40%	R\$ 193.730,64	R\$ 106.164,30	R\$ 299.894,94
25,6%	23,6%	377	350	150	20%	40%	R\$ 202.485,64	R\$ 106.164,30	R\$ 308.649,94
25,6%	23,6%	527	450	150	20%	40%	R\$ 211.240,64	R\$ 106.164,30	R\$ 317.404,94
25,6%	23,6%	677	550	150	20%	40%	R\$ 219.995,64	R\$ 106.164,30	R\$ 326.159,94
25,6%	23,6%	827	650	150	20%	40%	R\$ 228.750,64	R\$ 106.164,30	R\$ 334.914,94
25,7%	36,0%	5	150	75	20%	100%	R\$ 184.975,64	R\$ 257.968,58	R\$ 442.944,22

% de Redução Vazão Máxima	% Redução Volume Total	Simulação	Altura do armazenamento do PP	Espessura do substrato do TV	% de Área ocupada pelo PP	% de Área coberta pelo TV	Custo PP	Custo TV	Custo Total
25,7%	36,0%	155	250	75	20%	100%	R\$ 193.730,64	R\$ 257.968,58	R\$ 451.699,22
25,7%	36,0%	305	350	75	20%	100%	R\$ 202.485,64	R\$ 257.968,58	R\$ 460.454,22
25,7%	36,0%	455	450	75	20%	100%	R\$ 211.240,64	R\$ 257.968,58	R\$ 469.209,22
25,7%	36,0%	605	550	75	20%	100%	R\$ 219.995,64	R\$ 257.968,58	R\$ 477.964,22
25,7%	36,0%	755	650	75	20%	100%	R\$ 228.750,64	R\$ 257.968,58	R\$ 486.719,22
26,3%	27,7%	53	150	125	20%	60%	R\$ 184.975,64	R\$ 157.758,02	R\$ 342.733,66
26,3%	27,7%	203	250	125	20%	60%	R\$ 193.730,64	R\$ 157.758,02	R\$ 351.488,66
26,3%	27,7%	353	350	125	20%	60%	R\$ 202.485,64	R\$ 157.758,02	R\$ 360.243,66
26,3%	27,7%	503	450	125	20%	60%	R\$ 211.240,64	R\$ 157.758,02	R\$ 368.998,66
26,3%	27,7%	653	550	125	20%	60%	R\$ 219.995,64	R\$ 157.758,02	R\$ 377.753,66
26,3%	27,7%	803	650	125	20%	60%	R\$ 228.750,64	R\$ 157.758,02	R\$ 386.508,66
26,4%	31,9%	29	150	100	20%	80%	R\$ 184.975,64	R\$ 208.359,44	R\$ 393.335,08
26,4%	31,9%	179	250	100	20%	80%	R\$ 193.730,64	R\$ 208.359,44	R\$ 402.090,08
26,4%	31,9%	329	350	100	20%	80%	R\$ 202.485,64	R\$ 208.359,44	R\$ 410.845,08
26,4%	31,9%	479	450	100	20%	80%	R\$ 211.240,64	R\$ 208.359,44	R\$ 419.600,08
26,4%	31,9%	629	550	100	20%	80%	R\$ 219.995,64	R\$ 208.359,44	R\$ 428.355,08
26,4%	31,9%	779	650	100	20%	80%	R\$ 228.750,64	R\$ 208.359,44	R\$ 437.110,08
49,1%	50,3%	111	150	175	60%	20%	R\$ 554.926,92	R\$ 53.578,30	R\$ 608.505,22
49,1%	50,3%	261	250	175	60%	20%	R\$ 581.191,92	R\$ 53.578,30	R\$ 634.770,22
49,1%	50,3%	411	350	175	60%	20%	R\$ 607.456,92	R\$ 53.578,30	R\$ 661.035,22
49,1%	50,3%	561	450	175	60%	20%	R\$ 633.721,92	R\$ 53.578,30	R\$ 687.300,22
49,1%	50,3%	711	550	175	60%	20%	R\$ 659.986,92	R\$ 53.578,30	R\$ 713.565,22
49,5%	54,4%	62	150	125	60%	40%	R\$ 554.926,92	R\$ 105.172,01	R\$ 660.098,93
49,5%	54,4%	212	250	125	60%	40%	R\$ 581.191,92	R\$ 105.172,01	R\$ 686.363,93
49,5%	54,4%	362	350	125	60%	40%	R\$ 607.456,92	R\$ 105.172,01	R\$ 712.628,93
49,5%	54,4%	512	450	125	60%	40%	R\$ 633.721,92	R\$ 105.172,01	R\$ 738.893,93
49,5%	54,4%	662	550	125	60%	40%	R\$ 659.986,92	R\$ 105.172,01	R\$ 765.158,93
49,5%	54,4%	812	650	125	60%	40%	R\$ 686.251,92	R\$ 105.172,01	R\$ 791.423,93
49,8%	62,7%	14	150	75	60%	80%	R\$ 554.926,92	R\$ 206.374,86	R\$ 761.301,78
49,8%	62,7%	164	250	75	60%	80%	R\$ 581.191,92	R\$ 206.374,86	R\$ 787.566,78
49,8%	62,7%	314	350	75	60%	80%	R\$ 607.456,92	R\$ 206.374,86	R\$ 813.831,78
49,8%	62,7%	464	450	75	60%	80%	R\$ 633.721,92	R\$ 206.374,86	R\$ 840.096,78
49,8%	62,7%	614	550	75	60%	80%	R\$ 659.986,92	R\$ 206.374,86	R\$ 866.361,78
49,8%	62,7%	764	650	75	60%	80%	R\$ 686.251,92	R\$ 206.374,86	R\$ 892.626,78

% de Redução Vazão Máxima	% Redução Volume Total	Simulação	Altura do armazenamento do PP	Espessura do substrato do TV	% de Área ocupada pelo PP	% de Área coberta pelo TV	Custo PP	Custo TV	Custo Total
50,0%	50,3%	136	150	200	60%	20%	R\$ 554.926,92	R\$ 54.074,44	R\$ 609.001,36
50,0%	50,3%	286	250	200	60%	20%	R\$ 581.191,92	R\$ 54.074,44	R\$ 635.266,36
50,0%	50,3%	436	350	200	60%	20%	R\$ 607.456,92	R\$ 54.074,44	R\$ 661.531,36
50,0%	50,3%	586	450	200	60%	20%	R\$ 633.721,92	R\$ 54.074,44	R\$ 687.796,36
50,0%	50,3%	736	550	200	60%	20%	R\$ 659.986,92	R\$ 54.074,44	R\$ 714.061,36
50,0%	50,3%	886	650	200	60%	20%	R\$ 686.251,92	R\$ 54.074,44	R\$ 740.326,36
50,1%	58,6%	38	150	100	60%	60%	R\$ 554.926,92	R\$ 156.269,58	R\$ 711.196,50
50,1%	58,6%	188	250	100	60%	60%	R\$ 581.191,92	R\$ 156.269,58	R\$ 737.461,50
50,1%	58,6%	338	350	100	60%	60%	R\$ 607.456,92	R\$ 156.269,58	R\$ 763.726,50
50,1%	58,6%	488	450	100	60%	60%	R\$ 633.721,92	R\$ 156.269,58	R\$ 789.991,50
50,1%	58,6%	638	550	100	60%	60%	R\$ 659.986,92	R\$ 156.269,58	R\$ 816.256,50
50,1%	58,6%	788	650	100	60%	60%	R\$ 686.251,92	R\$ 156.269,58	R\$ 842.521,50
50,5%	54,4%	87	150	150	60%	40%	R\$ 554.926,92	R\$ 106.164,30	R\$ 661.091,22
50,5%	54,4%	237	250	150	60%	40%	R\$ 581.191,92	R\$ 106.164,30	R\$ 687.356,22
50,5%	54,4%	387	350	150	60%	40%	R\$ 607.456,92	R\$ 106.164,30	R\$ 713.621,22
50,5%	54,4%	537	450	150	60%	40%	R\$ 633.721,92	R\$ 106.164,30	R\$ 739.886,22
50,5%	54,4%	687	550	150	60%	40%	R\$ 659.986,92	R\$ 106.164,30	R\$ 766.151,22
50,5%	54,4%	837	650	150	60%	40%	R\$ 686.251,92	R\$ 106.164,30	R\$ 792.416,22
50,5%	66,8%	15	150	75	60%	100%	R\$ 554.926,92	R\$ 257.968,58	R\$ 812.895,50
50,5%	66,8%	165	250	75	60%	100%	R\$ 581.191,92	R\$ 257.968,58	R\$ 839.160,50
50,5%	66,8%	315	350	75	60%	100%	R\$ 607.456,92	R\$ 257.968,58	R\$ 865.425,50
50,5%	66,8%	465	450	75	60%	100%	R\$ 633.721,92	R\$ 257.968,58	R\$ 891.690,50
50,5%	66,8%	615	550	75	60%	100%	R\$ 659.986,92	R\$ 257.968,58	R\$ 917.955,50
50,5%	66,8%	765	650	75	60%	100%	R\$ 686.251,92	R\$ 257.968,58	R\$ 944.220,50
51,3%	58,6%	63	150	125	60%	60%	R\$ 554.926,92	R\$ 157.758,02	R\$ 712.684,94
51,3%	58,6%	213	250	125	60%	60%	R\$ 581.191,92	R\$ 157.758,02	R\$ 738.949,94
51,3%	58,6%	363	350	125	60%	60%	R\$ 607.456,92	R\$ 157.758,02	R\$ 765.214,94
51,3%	58,6%	513	450	125	60%	60%	R\$ 633.721,92	R\$ 157.758,02	R\$ 791.479,94
51,3%	58,6%	663	550	125	60%	60%	R\$ 659.986,92	R\$ 157.758,02	R\$ 817.744,94
51,3%	58,6%	813	650	125	60%	60%	R\$ 686.251,92	R\$ 157.758,02	R\$ 844.009,94
51,4%	51,4%	135	150	200	40%	100%	R\$ 369.951,28	R\$ 270.372,20	R\$ 640.323,48
51,4%	51,4%	285	250	200	40%	100%	R\$ 387.461,28	R\$ 270.372,20	R\$ 657.833,48
51,4%	51,4%	435	350	200	40%	100%	R\$ 404.971,28	R\$ 270.372,20	R\$ 675.343,48
51,4%	51,4%	585	450	200	40%	100%	R\$ 422.481,28	R\$ 270.372,20	R\$ 692.853,48

% de Redução Vazão Máxima	% Redução Volume Total	Simulação	Altura do armazenamento do PP	Espessura do substrato do TV	% de Área ocupada pelo PP	% de Área coberta pelo TV	Custo PP	Custo TV	Custo Total
51,4%	51,4%	735	550	200	40%	100%	R\$ 439.991,28	R\$ 270.372,20	R\$ 710.363,48
51,4%	51,4%	885	650	200	40%	100%	R\$ 457.501,28	R\$ 270.372,20	R\$ 727.873,48
51,6%	62,7%	39	150	100	60%	80%	R\$ 554.926,92	R\$ 208.359,44	R\$ 763.286,36
51,6%	62,7%	189	250	100	60%	80%	R\$ 581.191,92	R\$ 208.359,44	R\$ 789.551,36
51,6%	62,7%	339	350	100	60%	80%	R\$ 607.456,92	R\$ 208.359,44	R\$ 815.816,36
51,6%	62,7%	489	450	100	60%	80%	R\$ 633.721,92	R\$ 208.359,44	R\$ 842.081,36
51,6%	62,7%	639	550	100	60%	80%	R\$ 659.986,92	R\$ 208.359,44	R\$ 868.346,36
51,6%	62,7%	789	650	100	60%	80%	R\$ 686.251,92	R\$ 208.359,44	R\$ 894.611,36
74,8%	78,1%	119	150	175	80%	80%	R\$ 739.902,56	R\$ 214.313,18	R\$ 954.215,74
74,8%	78,1%	269	250	175	80%	80%	R\$ 774.922,56	R\$ 214.313,18	R\$ 989.235,74
74,8%	78,1%	419	350	175	80%	80%	R\$ 809.942,56	R\$ 214.313,18	R\$ 1.024.255,74
74,8%	78,1%	569	450	175	80%	80%	R\$ 844.962,56	R\$ 214.313,18	R\$ 1.059.275,74
74,8%	78,1%	719	550	175	80%	80%	R\$ 879.982,56	R\$ 214.313,18	R\$ 1.094.295,74
74,8%	78,1%	869	650	175	80%	80%	R\$ 915.002,56	R\$ 214.313,18	R\$ 1.129.315,74
76,7%	82,2%	120	150	175	80%	100%	R\$ 739.902,56	R\$ 267.891,48	R\$ 1.007.794,04
76,7%	82,2%	270	250	175	80%	100%	R\$ 774.922,56	R\$ 267.891,48	R\$ 1.042.814,04
76,7%	82,2%	420	350	175	80%	100%	R\$ 809.942,56	R\$ 267.891,48	R\$ 1.077.834,04
76,7%	82,2%	570	450	175	80%	100%	R\$ 844.962,56	R\$ 267.891,48	R\$ 1.112.854,04
76,7%	82,2%	720	550	175	80%	100%	R\$ 879.982,56	R\$ 267.891,48	R\$ 1.147.874,04
76,7%	82,2%	870	650	175	80%	100%	R\$ 915.002,56	R\$ 267.891,48	R\$ 1.182.894,04