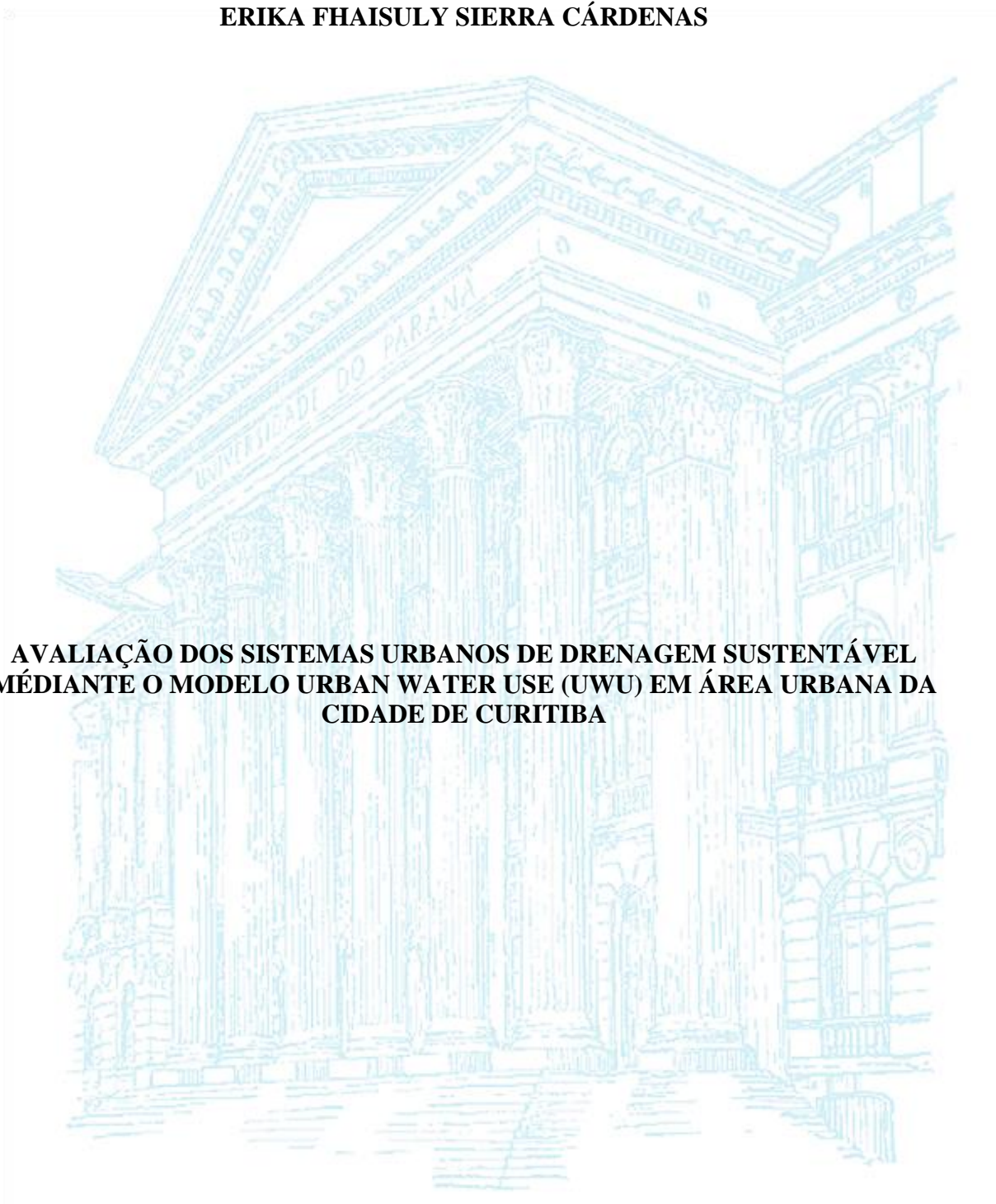


UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

ERIKA FHAISULY SIERRA CÁRDENAS



**AVALIAÇÃO DOS SISTEMAS URBANOS DE DRENAGEM SUSTENTÁVEL
MÉDIANTE O MODELO URBAN WATER USE (UWU) EM ÁREA URBANA DA
CIDADE DE CURITIBA**

**CURITIBA
2017**

ERIKA FHAISULY SIERRA CÁRDENAS

**AVALIAÇÃO DOS SISTEMAS URBANOS DE DRENAGEM SUSTENTÁVEL
MÉDIANTE O MODELO URBAN WATER USE (UWU) EM ÁREA URBANA DA
CIDADE DE CURITIBA**

Dissertação apresentada no Curso de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental da Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre.

Orientador: Daniel Costa dos Santos, Ph. D.
Co-Orientador: Cesar Augusto M. Destro, Dr.

**CURITIBA
2017**

SI572a

Sierra Cárdenas , Erika

Avaliação dos sistemas urbanos de drenagem sustentável mediante o Modelo Urban Water Use (UWU) em uma área urbana da cidade de Curitiba / Erika Sierra Cárdenas . – Curitiba, 2017.

112 f. : il. color. ; 30 cm.

Dissertação - Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciência e Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental, 2017.

Orientador: Daniel Costa dos Santos – Co-orientador: Cesar Augusto M. Destro.

Bibliografia: p. 86-91.

1. Engenharia ambiental. 2. Recursos hídricos. 3. Drenagem sustentável. I. Universidade Federal do Paraná. II. Santos, Daniel Costa dos. III. Destro, Cesar Augusto M. IV. Título.

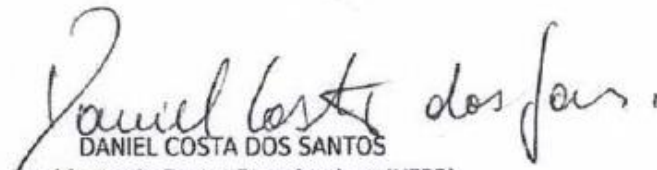
CDD: 628.1



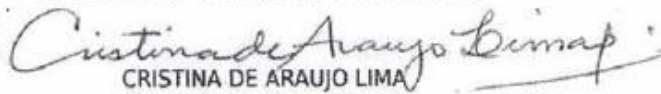
TERMO DE APROVAÇÃO

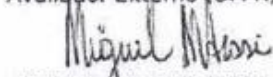
Os membros da Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em ENGENHARIA DE RECURSOS HÍDRICOS E AMBIENTAL da Universidade Federal do Paraná foram convocados para realizar a arguição da Dissertação de Mestrado de **ERIKA FHAISULY SIERRA CÁRDENAS**, intitulada: **""AVALIAÇÃO DOS SISTEMAS URBANOS DE DRENAGEM SUSTENTÁVEL MEDIANTE O MODELO URBAN WATER USE (UWU) EM ÁREA URBANA DA CIDADE DE CURITIBA""**, após terem inquirido a aluna e realizado a avaliação do trabalho, são de parecer pela sua APROVAÇÃO.

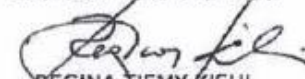
Curitiba, 31 de Março de 2017.


DANIEL COSTA DOS SANTOS
Presidente da Banca Examinadora (UFPR)


CESAR AUGUSTO MEDEIROS DESTRO
Coorientador - Avaliador Externo (UTFPR)


CRISTINA DE ARAUJO LIMA
Avaliador Externo (UFPR)


MIGUEL MANSUR AISSE
Avaliador Interno (UFPR)


REGINA TIEMY KISHI
Avaliador Interno (UFPR)

*"Cada um que passa em nossa vida,
passa sozinho, pois cada pessoa é única e nenhuma substitui outra.
Cada um que passa em nossa vida,
passa sozinho, mas não vai só nem nos deixa sós.
Leva um pouco de nós mesmos, deixa um pouco de si mesmo.
Há os que levam muito, mas há os que não levam nada.
Essa é a maior responsabilidade de nossa vida,
e a prova de que duas almas não se encontram ao acaso. "*

*- Antoine de Saint-Exupéry –
Escritor francês - 1900/1944*

AGRADECIMENTOS

Momentos alegres, momentos de inspiração, momentos únicos. Alguns difíceis, mas sempre construtivos e que sem dúvida merecem ser lembrados. E lembranças, de tempos passados, de vitórias, de perdas, de motivação, de sonhos ainda a serem realizados. Em primeiro lugar, AGRADEÇO A DEUS, PELA OPORTUNIDADE DE VIVER.

Mãe, pai, obrigada por ter decidido que a vida vale a pena, que amar vale a pena, amar o companheiro, a companheira, os filhos, a família. Obrigada pelo exemplo de dedicação e pelos ótimos professores de vida que vocês são. Desculpa pelos momentos de ausência, de preguiça, de birra. Obrigada pelo carinho, e desculpa pelas vezes que fui além dos meus limites. Sei o quanto acreditaram e ainda acreditam em mim. Graças infinitas!

Julis e Nico, amigos, irmãos... Que sem importar os milhares de quilômetros de distância física e o tempo sempre estiveram em disposição de me ajudar, lembrar-me quanto se pode chegar longe quando trabalha-se com amor. Obrigada por tudo irmãozinhos.

Agradeço aos professores Daniel Costa e Cesar Destro que sempre me atenderam com atenção e me passaram seus conhecimentos da melhor forma. Obrigada pela dedicação, disponibilidade e paciência durante todos esses meses.

Na realização deste sonho, muitos amigos fizeram parte. Todos, de uma forma ou de outra, tornaram meus dias mais alegres, mais objetivos, mais ambiciosos. Ajudaram-me cada um da sua maneira. E me confortaram, em cada um que abracei, da saudade da minha família. Aos bons amigos que fiz, os quais resisto em citar os nomes por receio de cometer alguma injustiça. Ainda assim, não posso deixar de dedicar especial agradecimento a Deisy, que dividiu os melhores e os piores momentos vividos no curso, muito corajosa me demonstrava sempre o quanto era possível. Livia amiga obrigada pela paciência, compreensão, amizade, a ela, Iverson e Giovani por me ajudar em ocultar meu perfeito portunhol. Bruna, amiga e companheira indispensável, ela sempre engraçada. Robinson Ploszai e Daniel Detzel pelos aportes técnicos. Obrigada por tudo!.

Aos professores Miguel Aisse e Regina Kishi, por aceitar fazer parte da minha comissão de acompanhamento na qualificação. Incluo também à professora Cristina de Araújo, por aceitar fazer parte de minha banca de avaliação.

Ao PPGERHA, em nome dos coordenadores Tobias Bernward Bleninger e Cristóvão Scapulatempo Vicente Fernandes, por ter aberto as portas do curso para que eu pudesse realizar esse trabalho mesmo sem dedicação exclusiva. A Celmar de Mattos, pelo auxílio com as questões administrativas. Agradeço também aos professores que muito contribuíram para minha formação acadêmica.

SUMÁRIO

RESUMO	14
ABSTRACT	15
CAPÍTULO 1- INTRODUÇÃO	16
1.1. ASPECTOS GERAIS	16
1.2. ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO.....	18
CAPITULO 2- OBJETIVOS	19
2.1. OBJETIVO GERAL.....	19
2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	19
CAPÍTULO 3- REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	20
3.1. IMPACTOS DA URBANIZAÇÃO	20
3.2. ASPECTOS SOCIOAMBIENTAIS DO MEIO URBANO NA AMÉRICA LATINA	21
3.2.1. Cidade do México, México	21
3.2.2. Caracas, Venezuela	21
3.2.3. Bogotá, Colômbia	22
3.2.4. Buenos Aires, Argentina	22
3.2.5. Visão geral. Brasil	22
3.3. SERVIÇOS DE SANEAMENTO AMBIENTAL.....	23
3.4. DRENAGEM URBANA SUSTENTÁVEL.....	25
3.4.1. Função	25
3.4.2. Filosofias	27
3.4.3. Tipologia	28
3.5. SISTEMAS ALTERNATIVOS DE DRENAGEM.....	29
3.5.1. Microreservatório (M1-MR)	29
3.5.2. Telhado Verde (M2- TV)	30
3.5.3. Trincheira de Infiltração (M3- TI)	31
3.5.4. Pavimento Permeável (M4-PP).....	34
3.5.5. Bacia de detenção (M5- BD)	37
3.5.6. Biorretenção (M6- BR)	38
3.5.7. Wetlands Construídos (M7- WC)	41
3.6. MODELOS DE CONCEPÇÃO DE SISTEMAS DE DRENAGEM SUSTENTÁVEL	42
3.7. MODELO UWU	44
3.8. INDICADORES DE SUSTENTABILIDADE DO UWU	47
3.8.1. Vazão de escoamento crítico.....	47
3.8.2. Cargas de contaminantes.....	49
3.8.3. Cobertura no sistema de abastecimento de água.....	52
CAPÍTULO 4- MATERIAIS E MÉTODOS	54
4.1. ESTUDO DE CASO.....	54
4.1.1. Aspectos sociais	55
4.1.2. Aspectos geológicos.....	57
4.1.3. Aspectos climáticos.....	57
4.1.4. Aspectos técnicos	59
4.2. APLICAÇÃO DO MODELO	60
4.2.1. Dados iniciais	61
4.2.2. Elaboração da Vision	61
4.2.3. Elaboração dos Cenários	62

4.2.4.	Medidas SuDS e locação.....	63
4.2.5.	Grupos de medidas.....	66
4.2.6.	Simulação.....	66
CAPÍTULO 5- RESULTADOS E DISCUSSÃO		72
5.1.1.	Capacidade da rede de drenagem.....	72
5.1.2.	Locação e pré-dimensionamento das medidas SuDS	72
5.1.3.	Simulações	75
5.1.4.	Análises da sensibilidade	79
CAPÍTULO 6- CONCLUSÕES		83
CAPÍTULO 7- RECOMENDAÇÕES		86
CAPÍTULO 8- REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS		87
APÊNDICES		93
APÊNDICE A- LOCAÇÃO DAS MEDIDAS SUDS		93
APÊNDICE B- INFORMAÇÃO DOS SuDS		99
B.1.	Microreservatório.....	99
B.2.	Telhado verde.....	103
B.3.	Trincheira de infiltração.....	104
B.4.	Pavimento permeável.....	106
B.5.	Bacia de detenção	107
B.6.	Biorretenção.....	108
B.7.	Wetlands construídos.....	109
APÊNDICE C- MODELAÇÃO DO INTERCEPTOR COM A FERRAMENTA STORMCAD.....		110
APÊNDICE D- QUESTIONARIO PARA DETERMINAR OS PESOS DOS INDICADORES		111
D.1.	Entrevistados	111
D.2.	Questionário para a concepção dos pesos.....	113
D.3.	Resultados dos pesos dos indicadores	113

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1- Pré e pós-desenvolvimento das áreas urbanas e o ciclo hidrológico.....	20
FIGURA 2- Representação do sistema de esgotamento unitário.....	24
FIGURA 3- Representação do sistema de esgotamento separador absoluto.....	24
FIGURA 4- Classificação dos sistemas urbanos de drenagem sustentável.....	26
FIGURA 5- Telhado verde	31
FIGURA 6- Perfil da trincheira de infiltração.....	32
FIGURA 7- Relação da permeabilidade e impermeabilidade em calçadas.....	32
FIGURA 8- Permeabilidade com áreas verdes em calçadas	33
FIGURA 9- Perfil da estrutura do pavimento permeável.....	35
FIGURA 10- Seção transversal da estrutura do pavimento permeável.....	35
FIGURA 11- Bacia de retenção	37
FIGURA 12- Vista planta do sistema de biorretenção	39
FIGURA 13- Perfil do sistema de biorretenção	39
FIGURA 14- Seção transversal do sistema de biorretenção	40
FIGURA 15- <i>Wetlands</i> construídos.....	41
FIGURA 16- Estrutura do UWU.....	44
FIGURA 17- Formulação dos cenários no UWU para a avaliação das medidas de drenagem sustentável	45
FIGURA 18- Avaliação do índice de efetividade	46
FIGURA 19- Relação entre área impermeável e densidade populacional urbana baseada em dados de São Paulo, Curitiba e Porto Alegre.....	48
FIGURA 20- Projeção regional do clima nos biomas brasileiros, no século XXI.....	51
FIGURA 21- Localização de Curitiba e a bacia do rio Belém.....	54
FIGURA 22- Localização da área de estudo	55
FIGURA 23- Variações das precipitações médias mensais para a cidade de Curitiba	58
FIGURA 24- Estrutura do UWU	60
FIGURA 25- Construção dos cenários.....	62
FIGURA 26- Classificação das áreas permeáveis.....	64
FIGURA 27- Localização do bosque Alemão e praças	65
FIGURA 28- Estimativa da vazão crítica na rede de drenagem com a formulação dos SuDS.....	67
FIGURA 29- Índice de efetividade no GM5 com a variação dos fatores externos.....	81
FIGURA 30- Localização das medidas SuDS do GM 1	93
FIGURA 31- Localização das medidas SuDS do GM 2.....	94
FIGURA 32- Localização das medidas SuDS do GM 3.....	95
FIGURA 33- Localização das medidas SuDS do GM 4.....	96
FIGURA 34- Localização das medidas SuDS do GM 5.....	97
FIGURA 35- Localização das medidas SuDS do GM 6.....	98
FIGURA 36- Capacidade da rede com $C_0= 0,22$ E $P_0 = 3959$ hab	110
FIGURA 37- Capacidade da rede com $C_{2046}= 0,25$ E $P_{2046} = 4737$ hab	110
FIGURA 38- Capacidade da rede com $C_{2046}= 0,27$ E $P_{2046} = 4737$ hab	110

LISTA DE TABELAS

TABELA 1- Coeficientes de escoamento das superfícies permeáveis.....	36
TABELA 2- Elaboração dos cenários	45
TABELA 3- Fatores externos e cenários.....	45
TABELA 4- Hierarquia do índice de efetividade (IE)	47
TABELA 5- Aspectos de qualidade do escoamento urbano superficial	50
TABELA 6- Percentagem da eficiências de remoção das medidas SuDS	50
TABELA 7- Historico de população de Curitiba	55
TABELA 8- Taxa de crescimento de Paraná e Brasil	56
TABELA 9- Histórico da inflação no Brasil	56
TABELA 10- Projeção das intensidades de chuvas médias anuais para a cidade de Curitiba.	57
TABELA 11- Aspectos técnicos da área de estudo.....	59
TABELA 12- Informação base para a modelação no software StormCad.....	60
TABELA 13- Dados de entrada ao UWU	61
TABELA 14- Formulação da <i>vision</i> e pesos	61
TABELA 15- Fatores externos segundo cada pesquisa do UWU.....	62
TABELA 16- Formulação dos fatores externos	62
TABELA 17- Elaboração dos fatores externos e cenários adotados.....	63
TABELA 18- Informação das medidas de drenagem preliminar para as simulações.....	66
TABELA 19- Vazão transbordada em cada um dos Grupos de Medidas	68
TABELA 20- Simulações da vazão de escoamento crítico.....	68
TABELA 21- Simulação das cargas de contaminantes.....	69
TABELA 22- Grupos de medidas com aproveitamento	70
TABELA 23- Simulação da cobertura de abastecimento de água	71
TABELA 24- Mudança dos fatores externos	71
TABELA 25- Resultados do pré-dimensionamento das medidas.....	74
TABELA 26- Resultados dos grupos de medidas	74
TABELA 27- Análises de resultados nos GM e cenários	75
TABELA 28- Resultados da simulação do UWU com formulação de dados dos fatores externos mais semelhantes à projeção	76
TABELA 29- Influencia do aumento da área com microreservatórios no IE.....	78
TABELA 30- Resultados mudando a tendência máxima na taxa de crescimento populacional	79
TABELA 31- Resultados mudando a tendência máxima na taxa de inflação.....	80
TABELA 32- Resultados mudando a tendência máxima no aumento da temperatura média .	80
TABELA 33- Resultados mudando a tendência máxima no aumento da Intensidade.....	81
TABELA 34- Estimativas para o microreservatório	99
TABELA 35- Transbordamento nos Microreservatórios.....	100
TABELA 36- Estimativas para o telhado verde.....	103
TABELA 37- Estimativas para a trincheira de infiltração	104
TABELA 38- Transbordamentos nas trincheiras de infiltração.....	105
TABELA 39- Estimativas para o pavimento permeável	106
TABELA 40- Transbordamento no Pavimento Permeável.....	106
TABELA 41- Estimativas para bacias de detenção.....	107
TABELA 42- Transbordamento nas bacias de detenção.....	107
TABELA 43- Estimativas para o biorretenção.....	108
TABELA 44- Transbordamento na biorretenção	108
TABELA 45- Estimativas dos <i>wetlands</i> construídos.	109

TABELA 46- Transbordamento nos wetlands construídos.....	109
TABELA 47- Avaliação dos pesos dos indicadores	113
TABELA 48- Pesos dos indicadores	113

LISTA DE SIGLAS

SÍGLA	
ADSS	<i>Day Water Adaptive Decision Support System</i>
ATs	<i>Alternative Techniques</i>
APP	Área de Proteção Permanente
BD	Bacia de detenção
BMPs	Melhores praticas de gestão (<i>Best Management Practices</i>)
BR	Biorretenção
CTs	<i>Compensatory Techniques</i>
EPA	<i>Enviromental Protection Agency</i>
ETAs	Estações de Tratamento de Água
GI	<i>Green Infrastructure</i>
IAP	Instituto Ambiental do Paraná
IUWM	<i>Integrated Urban Water Management</i>
LID	Desenvolvimento urbano de baixo impacto (<i>Low Impact Development</i>)
MCC	Comparador Multi-Critério
NTK	Nitrogênio Kjeldahl Total
P_{iWSM}	Pontuação da Soma Ponderada
PP	Pavimento Permeável
PT	Fósforo Total
SST	Sólidos Suspensos Totais
SuDS	Sistemas de Drenagem Sustentável
SWITCH	<i>Sustainable Water Improves Tomorrow's Cities' Health</i>
TI	Trincheira de infiltração
TV	Telhado Verde
UWU	<i>Urban Water Use</i>
WC	Wetlands Construídos
wj	Peso de Cada Critério
WSM	<i>Weighted Sum Model</i>
WSUD	<i>Water Sensitive Urban Design</i>

LISTA DE SÍMBOLOS

SÍMBOLO	
λ_p	Taxa de crescimento populacional (%/ano)
λ_i	Taxa de inflação (%/ano)
η	Porosidade do material estruturante da camada reservatório
ΔT_n	Variação da temperatura média anual no cenário n (°C)
$[c]_y$	Concentração do poluente y (mg/L)
AI	Área impermeável
A_{Mx}	Área tributária da medida “Mx” (m ²)
At	Área tributária (m ²)
B	Comprimento (m)
Cv	Coefficiente de escoamento médio ponderado
C	Cenário
$Csaa_n$	Cobertura de abastecimento de água de área no cenário n (%)
DH	Densidade Populacional (hab/ha)
E_y	Eficiência de remoção do poluente y (%)
H	Espessura da camada porosa (cm)
I_{med}_n	Intensidade média anual de precipitação no cenário n (mm/hr)
$I_{máx}_n$	Máxima intensidade da precipitação no cenário n (mm/h)
Ksat	Condutividade hidráulica saturada (mm/h)
L	Comprimento do curso d’água principal da bacia (km)
Oc	Porcentagem de ocupação (%)
P	População (hab)
Q_{max}	Vazão máxima (m ³ /s)
Q_{Mx}	Capacidade de vazão da medida (m ³ /s)
$Qsaa_0$	Consumo atual de água da área (L/s)
qe_n	Consumo de água per capita no cenário n (L/hab. d)
qe_0	Consumo atual de água per capita (L/hab. d)
qs	Vazão de saída (mm/h)
RPd_n	Renda per capita deflacionada no cenário n (R\$/hab. mês)
T	Tempo de retorno (anos)
tc	Tempo de concentração (min)
t_d	Duração da precipitação (min)
V	Volume a filtrar (m ³)
$WE_{j,l}$	Taxas específicas de cargas de poluentes (kg/km ²)

RESUMO

O processo de urbanização e de expansão das cidades tem sido constante nos últimos anos. O Brasil não é uma exceção deste fenômeno. Estas mudanças têm alterado o ciclo hidrológico natural, produzindo um aumento do escoamento superficial e diminuição da infiltração. Por conseguinte, foram concebidos os Sistemas Urbanos de Drenagem Sustentável (SuDS) para gerir os riscos ambientais advindos do escoamento superficial das águas urbanas. Desta maneira, o desenvolvimento urbano, quando devidamente planejado, representa avanços tecnológicos e proporcionam benefícios na infraestrutura de um determinado local, assim, esta pesquisa teve como objetivo principal a avaliação do modelo Urban Water Use (UWU) num caso de estudo na bacia do rio Belém cuja área é de 148 hectares, localizada na cidade de Curitiba, com projeção de 30 anos. A fim de propor medidas que promovam melhorias à mesma, o estudo foi conduzido em 4 etapas. Inicialmente foi realizada a caracterização da área de estudo com informação de caráter social, geológico, climático e técnico. Logo após, foram locadas e predimensionadas as medidas de SuDS. As seguintes medidas foram utilizadas: microreservatório; telhado verde; trincheiras de infiltração; pavimentos permeáveis; bacias de retenção; bioretenção e *wetlands* construídos. Posteriormente, foi aplicado o modelo UWU para a hierarquização e seleção do melhor grupo de medidas. No intuito de testa-lo, foram diagnosticadas as possíveis mudanças socioeconômicas e ambientais na área de estudo. Os indicadores estudados foram a vazão de escoamento crítico superficial, a qualidade de escoamento superficial em cargas de contaminantes como são o Nitrogênio Kjendahl Total (NTK), Fosforo Total (PT), Sólidos Suspensos Totais (SST) e cobertura de abastecimento de água. Esta última foi usada para demonstrar a integração entre os sistemas de bacias urbanas. A formulação levou à elaboração de quatro cenários futuros em função de fatores externos como são o crescimento populacional, taxa de inflação e o efeito das mudanças climáticas na temperatura e intensidades da precipitação, além da formulação de seis grupos de medidas (GM). O GM5 influencia toda a área de estudo e foi considerado o melhor, tendo alcançado 3.34, valor considerado “bom” de acordo com a escala Índice de Efetividade (IE). O segundo melhor grupo foi o GM6 localizado sobre a Área de Proteção Permanente (APP). Futuros estudos de implementação poderiam ser feitos por etapas das medidas de drenagem, sendo o GM6 a área mínima de implementação, projetando até o GM5 permitindo á vez um maior envolvimento da comunidade na área. Demonstrou-se que o UWU fornece um ambiente de planejamento estratégico para a tomada de decisões que contribuem na sustentabilidade de áreas urbanas. Nos fatores externos, o aumento do crescimento populacional e da intensidade são os quais tiveram maior impacto sobre os indicadores de sustentabilidade. Por outro lado, a taxa de inflação e a mudança da temperatura são os indicadores de menor impacto. Como recomendação para futuros trabalhos, sugere-se o desenvolvimento de outros indicadores com outras variáveis que permitam ter uma maior sensibilidade dos fatores externos. Nesta etapa, a abordagem integrada entre as partes interessadas e envolvimento da comunidade pode ser usada para determinar as prioridades. Além disso, foi evidenciada a necessidade de um planejamento correto sobre o uso do solo e da ocupação urbana, com a finalidade de se obter a minimização dos impactos em decorrência das novas urbanizações e conseqüentemente a diminuição dos gastos da cidade de Curitiba com obras de correção e ampliação dos sistemas de drenagem urbana.

Palavras-chave: modelo UWU, medidas SuDS, abordagem integrada, planejamento estratégico, tomada de decisão.

ABSTRACT

The process of urbanization and city's expansion has been constant in the last years. Brazil isn't an exception to this phenomenon. These changes have altered the natural hydrological cycle, producing an increase in surface runoff and decreased infiltration. Therefore, were designed the Sustainable Urban Drainage Systems (SuDS) to manage the environmental risks arising from the surface runoff of urban waters. In this way, the urban development, when properly planned, represents technological advances and provides benefits in the infrastructure of a local determined, so, this research have as main objective the evaluation of the Urban Water Use (UWU) Model in a case study in the Belém river basin, whose study area equals to 148 acres, located in the Curitiba city, with a projection horizon for 30 years. In order to propose measures to improve improvements to it, the study was conducted in 4 stages. The study area was initially characterized with social, geological, climatic and technical information. After that, the measures of SuDS were localized and predimensioned. The following measures were used: microreservatory; green roof; infiltration trenches, permeable pavement, stormwater detention basin, biorretention and constructed wetland. Posteriorly, the UWU model was applied to the hierarchy and selection of the best group of measures. In order to test it, were diagnosed the possible socioeconomic and environmental changes in the study area. The indicators studied where the flow of superficial critical flow, the quality of runoff surface in contaminant loads as they are the Kjendahl Total Nitrogen (NTK), Total Phosphorus (PT), Total Suspended Solids (TSS) and water supply system coverage. The latter was used to demonstrate the integration between urban basin systems. The formulation led to the elaboration of four future scenarios based on external factors such as population growth, the rate of inflation and the effect of climate change on temperature and precipitation intensities, besides the formulaion of six measures groups. The GM5 influence the entire study area and was considered the best group, having reached 3.34, value is rated as "good" according to the Effectiveness Index (EI) value. The second best group was the GM6 located over the Permanent Protection Area (PPA). Future implementation studies could be made by stages of the drainage measures being GM6 the minimum area of implementation, projecting up to GM5 while allowing greater community involvement in the area. It was demonstrated that UWU model provides a strategic environment planning to decisions-make that contribute to the sustainability of urban areas. In external factors, the increase in population growth and intensity of rainfall have had the greatest impact on sustainability indicators. On the other hand, the infiltration rate and change in temperature are the indicators of lower impact. As a recommendation for future work, it is suggested the development of other indicators with other variables that allow a greater sensitivity of external factors. At this stage, the integrated approach between stakeholders and community involvement can be used to determine priorities. Furthermore, it was evidenced the necessity of a strategic planning on the use of the ground and of the urban occupation, with the purpose of minimizing the impacts as a result of the new urbanizations and consequently the cost reduction of Curitiba city with correction works and expansion of urban drainage systems.

Key-words: UWU Model; sustainable drainage system; integrated approach; strategic planning; decision-making.

CAPÍTULO 1- INTRODUÇÃO

“In the end, we are what we do to change what we are”

Eduardo Galeano

1.1. ASPECTOS GERAIS

Nas últimas décadas, o crescimento populacional instigou a ocorrência de diversos impactos ambientais. No que se refere ao ciclo hidrológico, a impermeabilização do solo é um fator de desequilíbrio no meio urbanizado (TUCCI, 2005). Um exemplo é a pavimentação de áreas originalmente permeáveis com a aplicação de materiais como asfalto e concreto.

Estas mudanças têm alterado o ciclo hidrológico natural, produzindo um aumento do escoamento e conseqüente diminuição da infiltração, impedindo assim a recarga natural dos aquíferos. Uma forma de diminuir a acumulação de água nestas superfícies impermeáveis é a construção de estruturas de drenagem convencional, as quais proporcionam o aumento da velocidade de escoamento. Ao drenar as zonas urbanas, essas estruturas redirecionam a água à jusante, causando inundações e erosão dos canais naturais. Para sanar os problemas gerados, são realizadas onerosas obras de encalhamento e proteção contra enchentes nas zonas urbanas situadas à jusante (SILVEIRA; JOEL; FRENDRICH, 1998). Esses procedimentos dão continuidade à cadeia de degradação do habitat natural, de modo que poderão tornar-se obsoletas se o processo de urbanização seguir o padrão atual.

Segundo Rummukainen (2013), a construção de grandes cidades e outras atividades associadas ao uso da terra, como o desmatamento, a agricultura, podem mudar o clima regional e global tendo impactos ambientais intensos. Assim, os climas mais quentes provocados pelo aquecimento global podem aumentar a incidência de doenças tropicais, como a malária, a dengue e a desintéria. Seja por causa da piora nas condições de saúde, devido à disseminação destas enfermidades, ou por causa da diminuição do suprimento de água. Os países da África sub-saariana, da Ásia e da América do Sul são os mais vulneráveis às conseqüências do aquecimento da Terra segundo o relatado pelo PBMC (2012).

O IPCC (2001) expõe que também existem evidências de eventos extremos, como secas, enchentes, ondas de calor e de frio, furacões e tempestades que tem afetado diferentes partes do planeta produzido enormes perdas econômicas e de vidas. Os impactos mais fortes no Brasil foram o furacão Catarina em março 2004, a recente seca da Amazônia em 2005 e as secas já observadas no Sul do Brasil entre os anos 2004 e 2006. Há ainda impactos relacionados, como alterações na biodiversidade, aumento no nível do mar e impactos na saúde, na agricultura e na geração de energia hidrelétrica. Marengo et al. (2009) relataram que o aquecimento também deve exacerbar o problema das ilhas de calor em todas as grandes cidades, uma vez que prédios e asfalto retêm muito mais radiação térmica do que as áreas não urbanas.

Assim, para amenizar o problema das mudanças climáticas e socioeconômicas, em centros urbanos e em metrópoles é necessário desenvolver um planejamento estratégico com uma abordagem integrada entre poder público, iniciativa privada e população. Esta prática visa a melhoria na qualidade de vida, preservação e conservação do meio ambiente, além de garantir saúde, sustentabilidade e o desenvolvimento às gerações futuras (VAN DER STEEN et al., 2010).

Neste sentido, no Brasil as esferas federal e estadual auxiliam a fiscalização e manejo das águas pluviais. Conhecida como a Lei Federal nº 10.257, de 10 de julho de 2001 (ESTATUTO DA CIDADE, 2001) que se mostrando como uma importante ferramenta de gestão urbana. O Estatuto apresenta instrumentos de política urbana a serem utilizados como meio de controle dos impactos da urbanização sobre o ciclo hidrológico e os recursos hídricos. Além disso, esta lei aponta uma profunda preocupação com as questões urbanísticas e com o direito à cidade sustentável, cabendo um destaque a seu caráter social. Posteriormente ao Estatuto das Cidades, foi publicada a Lei Federal nº 11.445 em 5 de janeiro de 2007 (BRASIL, 2007), a qual estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico.

Logo, a demanda por um desenvolvimento verdadeiramente sustentável e respeitoso com o ambiente tem estimulado em diferentes países o emprego de filosofias como a *Sustainable Drainage System* (SuDS), a *Best Management Practices* (BMPs), a *Water Sensitive Urban Design* (WSUD), a *Green Infrastructure* (GI), a *Low Impact Development* (LID) a *Systems, Compensatory Techniques* (CTs) e *Alternative Techniques* (ATs) (FLETCHER et al., 2014). A finalidade dos SuDS é mitigar os problemas de quantidade e qualidade dos escoamentos urbanos, minimizando o impacto do desenvolvimento e maximizando a integração paisagística e os valores sociais e ambientais. (WOODS-BALLARD et al., 2007).

Neste sentido, na presente pesquisa vai se aplicar a versão adaptada por Destro (2016) do *Urban Water Use* (UWU) para propor uma sequência de procedimentos e assim conceber medidas de drenagem sustentável. O UWU, foi inicialmente desenvolvido por Santos e Van Der Steen (2011) como uma ferramenta de seleção de medidas para a infraestrutura sanitária urbana e edificações, sob abordagem integrada e o planejamento estratégico. Este modelo é composto por um sistema de medidas propostas, que podem ser utilizadas em sua auto-hierarquização. O mesmo, enquadra-se no projeto *Sustainable Water Improves Tomorrow's Cities' Health*¹ (SWITCH) e tem por alvo o desenvolvimento eficaz e sustentável da gestão da água nas zonas urbanas. Trinta e três instituições de quinze países participaram do projeto SWITCH.

¹ Disponível em <http://switchurbanwater.lboro.ac.uk>

1.2. ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

Para atingir o objetivo de propor melhorias na drenagem pluvial, tema principal da presente pesquisa, foi adotada a integração entre os conceitos teóricos dos SuDS e o UWU para uma área localizada na cidade de Curitiba.

A motivação para aplicar tal abordagem numa sub-bacia do Rio Belém se mostrou absolutamente necessária para a articulação do UWU. Neste processo, as ferramentas de estudo foram fundamentadas na coleta de dados de caráter social, geológico, climático e técnico. Além da locação e pré-dimensionamento das medidas SuDS para posteriormente selecionar o melhor grupo de medidas. Além disso, se mostrou absolutamente necessário testar o UWU avaliando as influências das mudanças ambientais e socioeconômicas sobre a área de estudo.

Para o entendimento do projeto, a revisão bibliográfica exposta no **Capítulo 3** apresenta o contexto social, ambiental, qualidade da drenagem, hidrologia e geologia da sub-bacia. Neste capítulo também são abordados os principais aspectos para o pré-dimensionamento das medidas de drenagem e é apresentado o UWU.

No **Capítulo 4** é apresentada a área de estudo e suas principais características sociais, geológicas, climatológicas e técnicas junto com a metodologia para a locação e pré-dimensionamento das medidas SuDS, a modelagem da rede de drenagem e os principais critérios para a simulações do UWU, metodologia que foi adotada no desenvolvimento desta pesquisa. A consolidação da informação obtida e analisada é discutida no **Capítulo 5**.

No **Capítulo 6** são apresentadas as conclusões e implicações do ponto de vista técnico-social e ambiental e no **Capítulo 7** são apresentadas as recomendações para futuros estudos. E, sintetizando o material utilizado para o desenvolvimento da pesquisa, no **Capítulo 8** são apresentadas as referências bibliográficas.

CAPITULO 2- OBJETIVOS

“Enseñar, es enseñar a dudar”
Eduardo Galeano

2.1. OBJETIVO GERAL

O objetivo principal desta dissertação foi avaliar o modelo UWU em uma área urbana da cidade de Curitiba, a fim de propor medidas que promovam melhorias à mesma.

2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Caracterizar a área de estudo com informação de caráter social, geológico, climático e técnico como informação inicial do UWU.
- Conceber dados de vazão de controle e áreas de influência das medidas SuDS através da locação e pré-dimensionamento.
- Aplicar o UWU para a hierarquização e seleção do melhor grupo de medidas.
- Testar o UWU avaliando as influências das mudanças ambientais e socioeconômicas sobre a área de estudo.

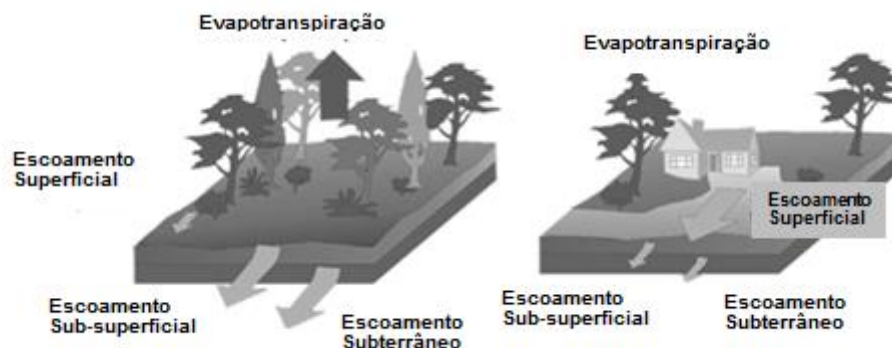
CAPÍTULO 3- REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

“The love for all living creatures is the most noble attribute of man”
Darwin

3.1. IMPACTOS DA URBANIZAÇÃO

O crescimento das cidades e o desenvolvimento urbano, quando devidamente planejados, representam avanços tecnológicos e proporcionam benefícios na infraestrutura de determinado local (GÖBEL; DIERKES; COLDEWEY, 2007). Porém, a ausência ou o mau planejamento das cidades pode causar impactos negativos, especialmente no caso ao destino das águas pluviais ao reduzir a permeabilidade dos solos.

Isto acontece ao substituir a superfície permeável por telhados à prova d'água, estradas e áreas pavimentadas com drenagem por canais ou redes de micro drenagem, dentre outros (ver FIGURA 1). Tais medidas alteram o ciclo da água em termos de quantidade e qualidade, aumentando a necessidade de grandes estruturas de controle de fluxo (WOODS-BALLARD et al., 2007).



FONTE: Adaptado de Woods-Ballard et al (2007)

FIGURA 1- Pré e pós-desenvolvimento das áreas urbanas e o ciclo hidrológico

Considerando os problemas advindos da urbanização, faz-se necessária a busca da sustentabilidade para o desenvolvimento urbano. (ENVIRONMENT AGENCY, 2007). Neste contexto, é fundamental viabilizar o acesso aos sistemas de abastecimento de água, esgotamento sanitário, drenagem urbana e coleta, tratamento e disposição final dos resíduos sólidos. A não observância dos mesmos tem propiciando a proliferação de doenças e expõe a população a graves endemias como, por exemplo, a dengue. (WOODS-BALLARD et al., 2007).

3.2.ASPECTOS SOCIOAMBIENTAIS DO MEIO URBANO NA AMÉRICA LATINA

Nos últimos anos, diversas cidades da América Latina têm sido afetadas por grandes alagamentos, devido à grande quantidade de água pluvial procedentes de zonas urbanas impermeáveis. Os processos de urbanização têm outros possíveis impactos sendo eles: o recalque do solo, a diminuição da capacidade das tubulações devido as obstruções, a improvisação em moradias conectadas à rede de drenagem pluvial e as baixas declividades das áreas urbanizadas, aumentando assim as vazões pico como é apresentado na presente seção.

3.2.1. Cidade do México, México

Na Cidade do México o 70% da água pluvial é desperdiçada na drenagem devido à falta de ações que permitam sua captação e aproveitamento. Anualmente, a cidade recebe 1489 milhões de metros cúbicos de água em forma de precipitação, dos quais 67% ocorrem nos meses de junho a setembro. Do total anual de precipitações, 50% se evaporam, 20% é drenado principalmente nas zonas urbanas, 21% escoam por rios e 5% se infiltra de maneira natural para recarregar os aquíferos, segundo estimativas da Comissão Nacional de água (Conagua). Assim, aproximadamente 70% da chuva no México dirigem-se às redes de drenagem.

O recalque do solo tornou-se um dos principais problemas da Cidade do México, onde segundo alguns cálculos a cidade afunda 10 cm por ano. No ano 1954 se planejou a solução ao sistema de drenagem com base em túneis ou interceptores aprofundados, os quais não foram afetados pelos recalques. Para a operação da rede de drenagem profunda é necessário construir mais estações de bombeamento, lagoas de regulação, coletores semiprofundos, rede primária, infraestrutura complementar e sistemas de controle para evitar o crescimento da mancha urbana nas zonas de alta permeabilidade segundo a Secretaria do Meio Ambiente (CASTILLEROS, 2014).

3.2.2. Caracas, Venezuela

Com uma população de aproximadamente seis milhões de habitantes, Caracas é a capital e a cidade com mais população da Venezuela. Tem uma elevação média de 900 metros com chuvas na faixa dos 900 e 1300 mm anuais, e encontra-se na zona tropical.

A avaliação feita pelo Departamento de engenharia Hidráulica da *Universidad Central de Venezuela* determinou que 90% das redes de drenagens da cidade têm falhas por falta de manutenção e em alguns casos por má localização. Em consequência o sistema só opera com o 10% de sua capacidade, assim em alguns casos as tubulações foram obstruídas devido ao assoreamento causado pelos resíduos. Em outros casos, as ligações clandestinas das moradias improvisadas que tem se construído longe das principais estradas, despejam o esgoto na rede de galerias pluviais. Neste contexto, a prefeitura de Caracas propôs através do plano Caracas 2020, melhorar o planejamento, o desenho, a construção e a manutenção das redes de esgoto e drenagem, buscando assim uma solução ante a grave problemática, segundo revelou o jornal *El Universal* (CAÑIZALES, 2014).

3.2.3. Bogotá, Colômbia

Bogotá está localizada na zona de confluência intertropical, a qual cruza a cidade duas vezes ao ano, situação que influencia o comportamento das chuvas produzindo duas épocas que popularmente são denominadas como inverno. A primeira se apresenta nos meses de março, abril e maio, e a segunda nos meses de setembro, outubro e novembro. A precipitação mensal se caracteriza por valores médios na faixa de 69 mm e 142 mm.

A chuva produzida nas duas épocas se acumula no espaço público devido ao rápido desenvolvimento urbano que tem diminuindo as coberturas vegetais gerando proporcionalmente a impermeabilização da cidade.

Assim, é frequente ver alagamentos devido aos grandes volumes de água pluvial que são provenientes das zonas urbanas impermeáveis, superando em muitas situações as capacidades dos coletores. Isto gera o que nos últimos 30 anos tornou-se repetitivo em cada temporada invernal: inundações nas ruas e estradas públicas, além das grandes inundações produzidas pelo transbordamento dos rios que afetaram a normalidade cotidiana dos habitantes e que produziram grandes perdas econômicas (BOGOTA, 2011).

3.2.4. Buenos Aires, Argentina

Buenos Aires recebe em média 1.050 mm de chuva por ano, com uma distribuição na faixa dos 80 e 120 mm por mês, com dois picos, sendo um no outono e o outro na primavera. Geograficamente a cidade e a área metropolitana localizam-se em uma zona bastante plana, o que dificulta a drenagem. Conforme os dados do Banco Mundial, Buenos Aires sofre alagamentos significativos pelo menos duas vezes por ano, afetando a mais de 350.000 habitantes.

Os problemas de alagamentos são associados aos fenômenos meteorológicos como as fortes tormentas de verão e as “*sudestadas*”, estas um tipo de vento muito forte característico das zonas do *Río de la Plata* e que justamente impulsiona o mesmo desde o lado sudeste até o litoral da cidade de Buenos Aires. Geralmente, a *sudestadas* e manifesta com chuvas intensas. O máximo histórico em precipitações foi registrado o 31 de maio de 1985 com 306 mm de chuva em um dia, o qual provocou 15 mortes e 120.000 evacuados (SÁNCHEZ, 2010).

3.2.5. Visão geral. Brasil

Segundo o IBGE (2013a), no Brasil dos 5.265 municípios que possuem algum tipo de controle sobre as águas das chuvas desde sarjetas até galerias subterrâneas, dos quais, o 51,3%, declararam ter sofrido alagamentos ou inundações. Os três Estados que apresentaram as maiores proporções de municípios com áreas de risco que demandam infraestrutura especial de drenagem urbana foram Espírito Santo (81,6% dos municípios), Rio de Janeiro (70,3%) e Acre (59,1%). No outro extremo, com os menores percentuais, estão em Goiás (21,1%), Piauí (19,7%) e Tocantins (10,2%). O principal fator que influenciou os alagamentos foram a obstrução de bueiros (percebida em 45,1% dos municípios), ocupação intensa e desordenada do solo (43,1%), obras e projetos inadequados (31,7% e 30,7%, respectivamente), lançamento inadequado de lixo (30,7%), interferência física no sistema de drenagem (18,6%), lençol freático alto (15,8%), entre outros.

De acordo com a pesquisa, um dos fatores que pode ter influência nos alagamentos foi a falta de manutenção: o 47,8% dos municípios não realizaram serviços de limpeza e desobstrução de galerias em suas redes de drenagem, percentual que sobe para 65,8% na região Sudeste e cai para 34,5% na região Norte. (IBGE, 2013a). Além das inundações e enchentes, 27,3% dos municípios tem algum tipo de erosão por conta da influência das ações da chuva. As regiões Sudeste e Sul foram as mais atingidas por deslizamentos e desmoronamentos, em razão do relevo, formado por serras e escarpas. O agravante nas duas regiões é a ocupação humana nas áreas de encostas, suscetíveis à ação das chuvas, sobretudo nas áreas urbanas.

3.3. SERVIÇOS DE SANEAMENTO AMBIENTAL

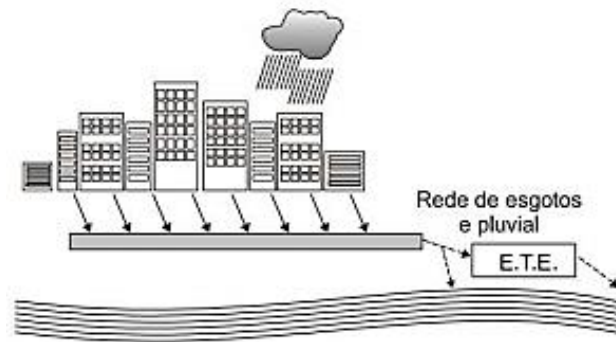
O conceito do saneamento ambiental é um conjunto de ações que se executam no âmbito do ecossistema humano para a melhoria dos serviços de coleta de esgoto, controle dos resíduos sólidos, a higiene domiciliar e o uso industrial da água. O anterior, associando a visão do ciclo hidrológico ao ciclo da água no meio urbano em um contexto político, legal e institucional nas quais participam diversos autores do âmbito nacional, regional e local (ENVIRONMENT AGENCY, 2007).

Nesse sentido, no Brasil alguns esforços têm sido feitos nas abordagens sustentável e integrada na infraestrutura de saneamento. A Lei número 11.445 estabelece as diretrizes nacionais para o saneamento, onde considera o abastecimento de água, esgoto e sistemas de drenagem urbana e serviços de limpeza pública como parte de um programa de saneamento integrado (BRASIL, 2007). Desta maneira, na presente seção são apresentados os principais sistemas como são o sistema de abastecimento de água, sistema de esgotamento sanitário e controle de resíduos sólidos.

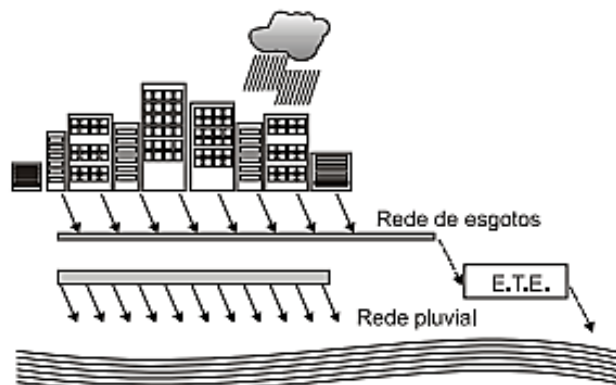
O Sistema de Abastecimento de Água é composto por um conjunto de estruturas, equipamentos e serviços destinados ao abastecimento de água potável para consumo doméstico e industrial. Esse sistema é composto por cinco etapas:

- *Captação*: a água bruta é captada em mananciais superficiais (barragens, lagos, etc.) ou subterrâneos (poços);
- *Adução*: a água conduzida da captação até a Estação de Tratamento de Água (ETA);
- *Tratamento*: a água bruta torna-se potável por meio de processos químicos e físicos, para então ser distribuída à população;
- *Reservatório*: depois de tratada, a água é aduzida até reservatórios para alimentar as redes de distribuição;
- *Rede de Distribuição*: é efetivada a entrega da água pronta para o consumo ao usuário.

Por outro lado, o Sistema de Esgotamento Sanitário é o conjunto de obras e instalações destinadas a propiciar o transporte, o tratamento e a disposição final das águas residuais, de forma adequada sob o ponto de vista sanitário (ENVIRONMENT AGENCY, 2007). O sistema tem duas classificações que podem ser unitário ou separador absoluto (TSUTIYA; BUENO, 2004). O sistema unitário (FIGURA 2) também chamado sistema misto, é aquele em que o esgoto sanitário, as águas de infiltração e as pluviais são transportados pela mesma rede de canalizações. Ao contrário, no sistema separador absoluto (FIGURA 3), as águas residuais (domésticas e industriais) e as águas de infiltração escoam em um sistema próprio de esgoto sanitário enquanto as águas pluviais são coletadas e transportadas em um sistema de drenagem pluvial totalmente independente.



FONTE: Adaptado de [Alem Sobrinho & Tsutiya \(1999\)](#).
 FIGURA 2– Representação do sistema de esgotamento unitário



FONTE: Adaptado de [Alem Sobrinho & Tsutiya \(1999\)](#).
 FIGURA 3- Representação do sistema de esgotamento separador absoluto

O Brasil utiliza o sistema separador absoluto, por orientação do engenheiro Saturnino de Brito ([ALEM SOBRINHO; TSUTIYA, 1999](#)). As principais vantagens do sistema separador absoluto são:

- Mais flexibilidade para a execução por etapas, de acordo com a demanda (priorizando à rede sanitária);
- Redução de custo e maior eficiência na depuração dos esgotos
- Redução do custo indireto do afastamento das águas pluviais, por permitir seu lançamento no curso de água mais próximo, sem a necessidade de tratamento;
- Redução da extensão das canalizações de grande diâmetro, pelo fato de não exigir a construção de galerias em todas as ruas;

Segundo [Silveira \(2002\)](#), a maioria das obras de drenagem existentes no Brasil ainda segue o conceito sanitário-higienista e, além disso, infelizmente, são em geral mal aplicadas. E isso ocorre por motivos que vão desde falhas no dimensionamento das obras à falta de manutenção.

Deste modo, algumas cidades brasileiras tomaram a frente e elaboraram planos diretores de drenagem urbana com princípios ecológicos. Entre essas cidades, podemos citar as seguintes: Caxias do Sul e Porto Alegre, no Rio Grande do Sul; Santo André, no Estado de São Paulo; Belo Horizonte, em Minas Gerais; Curitiba, no Paraná; e Rio de Janeiro, mais especificamente na Bacia Iguaçu-Sarapuí.

Por outro lado, dentro do conjunto de ações no ecossistema humano para a melhoria dos serviços encontra-se também o serviço público de limpeza urbana e manejo de resíduos sólidos que compreende a coleta, remoção e o transporte dos resíduos sólidos domiciliares; a varrição e limpeza de vias e logradouros públicos; a remoção e transporte de resíduos das atividades de limpeza; a remoção de resíduos volumosos e de entulhos lançados em vias e logradouros públicos; a prestação de serviços de operação e manutenção dos sistemas de transferência de resíduos sólidos urbanos e das unidades de triagem e compostagem, incluindo a transferência dos rejeitos gerados nessas unidades para destino final disposto de forma correta, utilizando aterros sanitários em conformidade com a legislação ambiental (ENVIRONMENT AGENCY, 2007).

3.4. DRENAGEM URBANA SUSTENTÁVEL

No princípio dos anos 90 começou-se ter uma preocupação maior com o destino das águas no meio urbano, onde a partir dessas discussões surgiu o conceito da drenagem sustentável (TUCCI, 2005), pelo que se comparamos com a maioria dos conceitos de drenagem é considerado um conceito relativamente novo.

O principal enfoque desse tipo de drenagem sustentável é evitar os processos erosivos do solo, atenuar, e se possível, evitar as enchentes e o processo de perda das capacidades dos mananciais (TUCCI; BERTONI, 2003).

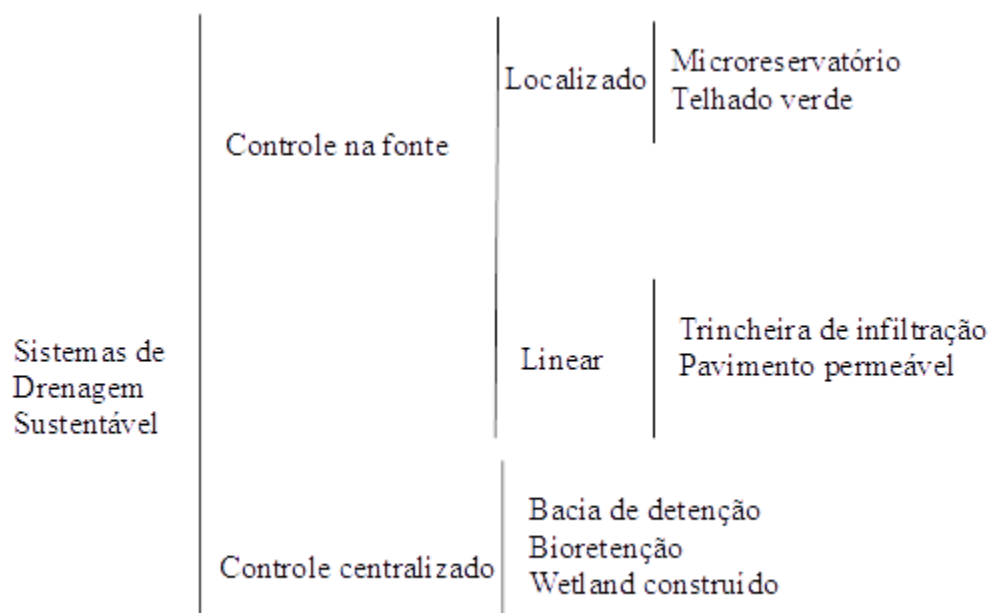
Para consolidar o termo de sustentabilidade na drenagem urbana, é necessário desenvolver um planejamento estratégico que também é entendido como abordagem integrada entre poder público, iniciativa privada e população, principalmente através da educação e conscientização dos habitantes, e ainda pela conjugação de medidas em diversas escalas, completando uma a outra, como meio de dar qualidade de vida, preservar e conservar o meio ambiente, e prever e conjecturar o desenvolvimento para as gerações futuras, garantindo saúde e sustentabilidade (RIGHETTO, 2009). Assim, para conseguir o planejamento estratégico nos sistemas urbanos de drenagem sustentável é preciso pensar no futuro e planejar medidas para lidar com os problemas identificados na área urbana. Os setores público e privado devem seguir e atingir as metas ou a *Vision* estabelecida. É importante que tenha uma aceitação de todas as partes interessadas em conjunto tornando-se uma ferramenta poderosa para dar orientações aos planos municipais (VAN DER STEEN et al., 2010).

Em 1994, foi iniciado na cidade de Curitiba, no Estado do Paraná, um programa para controle de enchente para toda a sua região metropolitana. Esse plano está sendo desenvolvido em três etapas. A primeira fase foi emergencial e constou da limpeza de canais e reforma de pontes. A segunda fase foi de controle das áreas ribeirinhas do rio Iguaçu. A terceira fase foi a elaboração do Plano Diretor da Região Metropolitana de Curitiba, concluído no ano 2002. A filosofia básica para a parte final do plano foi de se reservar, nas áreas de desenvolvimento, áreas de inundação e amortecimento para o cenário futuro (parques, quadras, etc) (WATER ENGINEERING DEVELOPMENT CENTRE, 2003).

3.4.1. Função

Os Sistemas de Drenagem Sustentável cuja classificação é apresentada na FIGURA 4, foram concebidos para gerir os riscos ambientais advindos do escoamento superficial das águas urbanas, em virtude da redução do escoamento e controle da poluição difusa pela

integração de controle de águas pluviais na área de estudo (D'ARCY; FROST, 2001b). Nesse contexto, aplicam-se as seguintes medidas:



FONTE: Adaptado de Righetto (2009).

FIGURA 4- Classificação dos sistemas urbanos de drenagem sustentável

A anterior figura, caracteriza os SuDS em dois grupos de controle, sendo eles:

- *Controle na fonte*: controle do escoamento na fonte ou próximo da mesma.
- *Controle centralizado*: gestão da água numa área ou a gestão de escoamento de um ou vários lugares.

Além disso, estas medidas permitem a prevenção com o uso de um bom projeto local de medidas para impedir o escoamento e a poluição (ex.: barreiras para remover os sólidos e detritos de parques de estacionamento), e o reuso/coleta de água da chuva. Isto em conjunto com a implementação de políticas de prevenção no plano de gestão local (RIGHETTO, 2009).

É importante ressaltar que a prevenção e o controle levam a benefícios, tais como: (WOODS-BALLARD et al., 2007):

- *Diminuição do volume de drenagem nas redes de esgoto combinadas*: Redução e adiamento de investimentos em obras de tratamento de esgotos. Estratégia de adaptação para diminuição dos riscos de inundações pluviais.
- *Gestão da poluição difusa*: gestão e tratamento da poluição difusa urbana, na fonte ou em suas proximidades, com a redução dos riscos de poluição à jusante.
- *Fonte de água*: fonte alternativa de água não potável em ambientes domésticos, industriais e comerciais.
- *Alternativa para a recarga de aquíferos*: economia de investimentos em recursos hídricos.
- *Redução da vazão nas obras de tratamento de esgoto e redução dos custos de energia*: A diminuição do esgoto diluído pode resultar em um tratamento mais eficiente das águas residuais, diminuindo a necessidade de proporcionar uma capacidade adicional.
- *Aumento da biodiversidade*: Os SuDS podem se assemelhar ao ambiente natural.

- *Redução do efeito de ilha de calor*: Por exemplo, a adição dos 10% de cobertura verde mantém as temperaturas máximas abaixo da média, em superfícies de alta densidade como centros de cidades.

3.4.2. Filosofias

Nas últimas décadas, novas filosofias mais próximas à sustentabilidade têm sido estudadas, sob diferentes denominações. Estas procurando aproximar ao máximo o comportamento das águas pluviais às condições naturais prévias à ocupação do homem destruindo assim o princípio de rápido escoamento como é apresentado nesta seção.

- *Best Management Practices* (BMPs): As BMPs cuja tradução é melhores práticas de gestão têm por objetivo o planejamento de controle de águas pluviais visando compensar os efeitos da urbanização para evitar a transferência dos problemas de drenagem para a jusante. Em outras palavras, corresponde ao controle do escoamento na bacia, ou próximo de sua fonte, e não no curso d'água. Este conceito foi desenvolvido nos Estados Unidos da América (EUA), pela *Environmental Protection Agency* (EPA) na década de 1980, embora alguns dispositivos similares fossem adotados desde a década de 1970.

Os EUA reconheceram a poluição difusa como um aspecto importante na gestão da água há muitos anos, o que motivou o desenvolvimento inicial das BMPs. O conceito é uma resposta prática *on-the-ground*, como forma de reconhecimento da poluição em todas as fontes (D'ARCY; FROST, 2001a).

- *Técnicas compensatorias* (CTs) ou *Técnicas Alternativas* (ATs): O termo teve origem na cidade de Bordeaux (França), na década de 1980 (FLETCHER et al., 2014), e disseminou-se em outros países, como o Brasil (BAPTISTA; NASCIMENTO; BARRAUD, 2005). Conhecidas como técnicas compensatórias, destinam-se a controlar o efeito da expansão urbana, ao otimizar o uso da terra e limitar os custos de investimento. Como foco nos benefícios sociais, as CTs visam à redução do volume de escoamento e da vulnerabilidade a inundações. O objetivo secundário das CTs é a proteção do ambiente receptor. Um dos principais objetivos das técnicas compensatórias é a manutenção das taxas de fluxo naturais (FLETCHER et al., 2014).

- *Green Infrastructure* (GI): O GI surgiu nos EUA na década de 1990 (WALMSLEY, 1995), cujo conceito vai muito além de águas pluviais. O GI iniciou-se na arquitetura paisagística, sendo utilizado na forma de rede de espaços verdes (BENEDICT; MCMAHON, 2012). Já para a ecologia da paisagem (BENEDICT; MCMAHON, 2012; FORMAN, 1999) o GI é um processo de planejamento urbano que incentiva a inclusão de áreas verdes e corredores, para maximizar os benefícios já mencionados (GALLET, 2011; MITCHELL; DIAPER, 2006). O uso potencial do GI na gestão de águas pluviais foi lançado nos EUA (EPA, OW, 2012), sendo um sinônimo alternativo para BMPs e LID (STRUCK et al., 2009).

- *Low Impact Development* (LID): O LID também denominado “Desenvolvimento urbano de baixo impacto” é bastante utilizado na América do Norte e Nova Zelândia, e foi cunhado em um relatório sobre o ordenamento do território em Vermont, EUA (FLETCHER et al., 2014). Esse conceito visa minimizar o custo da gestão de águas pluviais.

A disseminação do termo levou a diferenças sutis em seu significado. A definição desse termo evoluiu em paralelo às tendências de adensamento populacional em áreas

urbanas. Na Nova Zelândia, o LID adota o desenho para evitar a poluição, ao do regime do fluxo (COUNCIL, 2003).

O termo LID não contém a palavra "água", o que pode ter colaborado a sua inserção em diversas áreas do conhecimento, tais como arquitetura, ecologia, planejamento, economia e ciências sociais (POELMANS; VAN ROMPAEY, 2009).

- *Sistemas de Drenagem Sustentável* (SuDS): A partir da década de 1980, surgiu uma nova abordagem na gestão de águas pluviais do Reino Unido segundo (CIRIA, 2001). O CIRIA publicou orientações sobre uma gama de técnicas de controle. Durante a década de 1990, a aceitação da gestão de águas pluviais foi maior na Escócia que na Inglaterra e no País de Gales, em virtude do incentivo da Agência de Proteção Ambiental Escocesa (*Scottish Environmental Protection Agency*). O conceito da drenagem sustentável passou a abranger a relação entre quantidade, qualidade e habitat (FLETCHER et al., 2014).

Atualmente, o Manual SuDS do (WOODS-BALLARD et al., 2007) é o mais confiável para a implantação dessa tecnologia no Reino Unido. São considerados como um conjunto de tecnologias voltadas ao escoamento das águas pluviais mais sustentáveis que as soluções convencionais, o que é questionável. Os SuDS buscam aproximar-se o máximo possível do ciclo hidrológico natural voltando assim ao pré-desenvolvimento da área de estudo (CIRIA, 2001).

- *Water Sensitive Urban Design* (WSUD): O WSUD começou a ser adotado na Austrália, na década de 1990 (EPA, OW, 2012). Segundo um relatório do Governo da Austrália Ocidental, o objetivo do WSUD é a gestão do balanço hídrico, conservação, manutenção e melhoria da qualidade da água. O WSUD busca minimizar a demanda por água potável, substituindo-a pela captação de águas pluviais e reciclagem de águas residuais, e simultaneamente ofertar espaços naturais de recreação e interação com a água. (FLETCHER et al., 2014).

3.4.3. Tipologia

Como técnicas de atenuação do escoamento superficial utilizam-se principalmente a infiltração, retenção, retenção e o transporte (WOODS-BALLARD et al., 2007), as quais são definidas como:

- *Infiltração*: Corresponde à água que atinge o subsolo, esta só pode ser utilizada onde não há risco de contaminação, o processo pode ser usado para recarregar fontes de água subterrâneas subjacentes e alimentar as vazões base dos cursos de água locais. Esta é a solução mais desejável para a gestão de escoamento, pois renova os processos hidrológicos naturais. No entanto as taxas de infiltração variam de acordo com: o tipo de solo e condição do meio filtrante; condições antecedentes; e com o tempo.
- *Retenção*: O escoamento de um dado evento de cheia é armazenado e não é descarregada no sistema de drenagem a jusante durante o evento. A água armazenada pode ser utilizada para irrigação, manutenção de vazão mínima ou para ser evaporada ou infiltrada no solo.
- *Detenção*: Ao contrario da retenção, o armazenamento é de curto prazo. Estes atenuação o pico de vazão de saída a um valor inferior ao de entrada, o volume de água descarregada é igual ao afluente, apenas distribuído em um tempo maior, usualmente esvaziam em menos de um dia. A área é seca e pode ser utilizada para fins recreativos.

- *Transporte:* É a transferência de escoamento superficial de um lugar para outro. Refere-se à utilização de uma variedade de sistemas, incluindo os canais abertos, tubos e valas, ressaltando que o transporte a um ponto de descarga para o meio ambiente não é mais considerada sustentável.

3.5. SISTEMAS ALTERNATIVOS DE DRENAGEM

A prática de projeto de obras pluviais de pequeno porte exige métodos simples e confiáveis de dimensionamento para não tornar complexo um estudo de alternativas que, muitas vezes, pode envolver um arranjo com diversos dispositivos ou medidas SuDS. Uma importante componente destes métodos é o pré-dimensionamento hidrológico, entendido aqui como a etapa que associa uma chuva de projeto a um balanço hídrico simplificado, com vistas ao cálculo de volumes de armazenamento necessários e, em consequência, das dimensões mínimas das medidas. Ao pré-dimensionamento hidrológico devem superpor-se outras exigências, como as requeridas, por exemplo, pelo dimensionamento estrutural. Assim as soluções obtidas não devem ser utilizadas para dimensionamentos definitivos sem um julgamento adequado por parte do projetista.

Neste sentido, o Plano de drenagem Urbana de Curitiba (SUDERHSA, 2002a) apresentadas as medidas SuDS e os procedimentos básicos gerais para o pré-dimensionamento hidráulico, baseado no método da “curva envelope” ou “método das chuvas” cujos procedimentos são apresentados nesta seção. Por esse método, a curva de massa, no tempo, dos volumes afluentes ao dispositivo é comparada com a curva de massa dos volumes dos efluentes.

Por outro lado, no que concerne aos dispositivos de infiltração, é importante ressaltar que um fator a considerar é a colmatação, que segundo Virgiliis (2009), em zonas urbanas é função de fatores locais, como o tráfego intenso, visto que onde existe, há uma sucção provocada pela passagem de veículos, que tende a descolmatar os vazios. Diante do exposto, ao pensar em calçadas, pode-se entender que elas sejam mais vulneráveis à colmatação, uma vez que, o tráfego é predominantemente de pedestres e segundo Marchioni e Silva (2011), deve-se aplicar uma redução de permeabilidade como fator de segurança (α) devido à futura colmatação do sistema ao longo da sua vida útil.

3.5.1. Microreservatório (M1-MR)

O sistema em estudo utiliza telhados como superfícies de captação da água da chuva, a qual é conduzida através de calhas para a atenuação de vazões pico e posterior aproveitamento com fins não potáveis.

De acordo com a ABNT (2007), o uso da água captada deve ser feito somente para fins não potáveis e de acordo com o tratamento, esses usos podem ser: descargas em bacias sanitárias, irrigação de gramados e plantas ornamentais, lavagem de veículos, limpeza de calçadas e ruas, limpeza de pátios, espelhos de água e usos industriais. Deste modo, é importante ressaltar que a somatória dos usos não potáveis de água para rega de jardins, lavagem de carros e descargas em bacias sanitárias podem chegar em torno do 50% da demanda total de água em uma residência (TOMAZ, 2003). Assim, o impacto de esta medida no aproveitamento de águas pluviais vai influenciar a cobertura futura de abastecimento de água como é apresentado na seção 3.8.3.

Neste sentido, a viabilidade técnica e econômica depende da pluviosidade da área de captação e seu aproveitamento. Os tempos de detenção hidráulicos estão na faixa de entre 12 e 24 horas após o fim das chuvas retendo assim parte do volume do escoamento superficial, reduzindo a vazão pico de escoamento superficial.

Os microrreservatórios geralmente são de alvenaria ou fibrocimento que armazenam água para seu posterior aproveitamento com fins não potáveis ou que esgotam para a rede pluvial. Para seu pré-dimensionamento, tem-se em conta critérios como o período de retorno, T (anos); tempo de duração da chuva, td (min); área do lote, A (m^2); porcentagem de ocupação, Oc (%); profundidade, H (m) segundo o seguinte equacionamento:

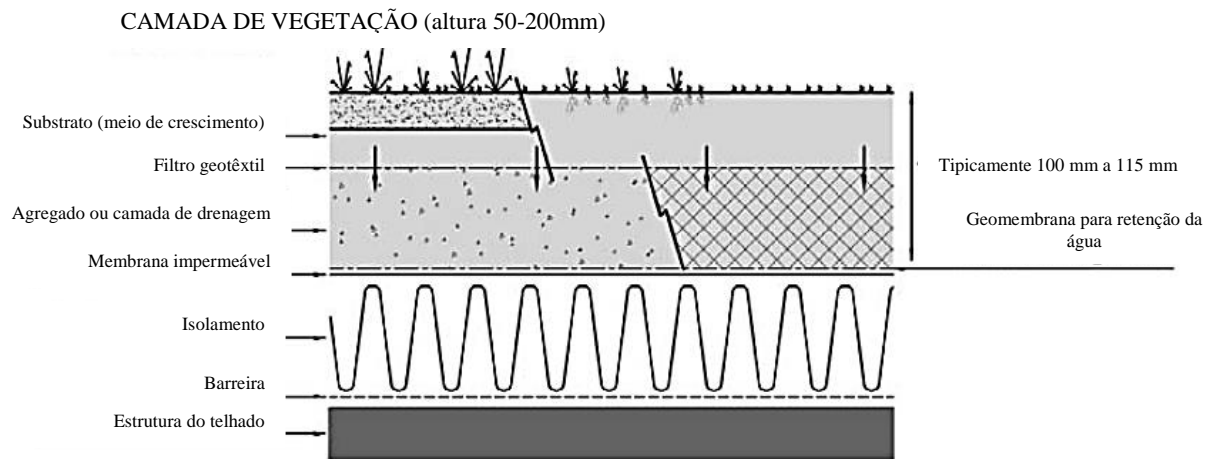
$$\begin{array}{l} \text{Volume (m}^3\text{)} \\ V = 0,02456 * T^{0,332} * A * Oc \end{array} \quad (1)$$

$$\begin{array}{l} \text{Área superficial requerida (m}^2\text{)} \\ A_s = \frac{V}{H} \end{array} \quad (2)$$

$$\begin{array}{l} \text{Capacidade de tratamento (m}^3\text{/s)} \\ Q_{M1} = \frac{V}{td} \end{array} \quad (3)$$

3.5.2. Telhado Verde (M2- TV)

Parcial ou totalmente coberto de vegetação plantada sobre uma membrana de impermeabilização (FIGURA 5). A primeira preocupação referente à implantação de um telhado reservatório é a capacidade da edificação suportar um peso adicional decorrente do volume máximo armazenado de projeto. Isto deixa de ser uma preocupação se o telhado reservatório é dimensionado por ocasião do projeto da edificação. Os telhados reservatórios mais eficientes são aqueles praticamente planos e com saída controlada por orifícios: telhados reservatórios vazios e telhados reservatório com brita (para controle térmico) ou ajardinados.



FONTE: Adaptado de Woods-Ballard et al. (2007).

FIGURA 5- Telhado verde

Para seu pré-dimensionamento, tem-se em conta critérios como o período de retorno, T (anos); tempo de duração da chuva, t_d (min); área do lote, A (m^2); porcentagem de ocupação, O_c (%); profundidade, H (m) segundo o seguinte equacionamento:

Volume (m^3)

$$V = 0,02456 * T^{0,332} * A * O_c \quad (4)$$

Área superficial requerida (m^2) depende da porosidade, η (-) do substrato de suporte como é apresentado no seguinte equacionamento

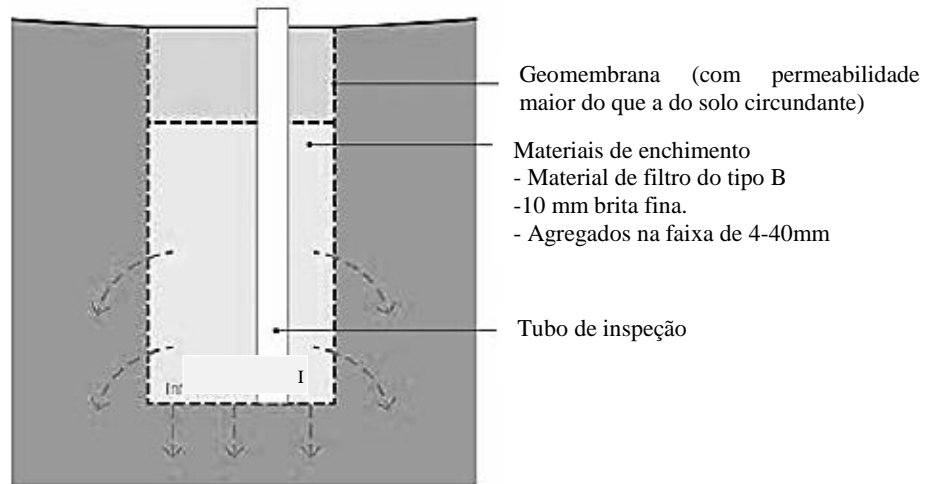
$$A_s = \frac{V}{\eta * H} \quad (5)$$

Capacidade de tratamento (m^3/s)

$$Q_{TV_{M2}} = \frac{V}{t_d} \quad (6)$$

3.5.3. Trincheira de Infiltração (M3- TI)

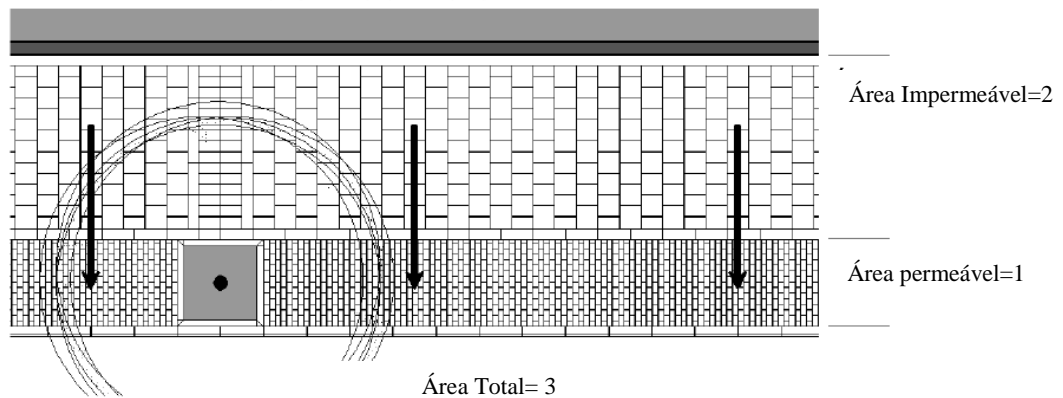
São escavações com profundidade na faixa de 1-2 m preenchido com agregado de pedra que retém a vazão controlada temporariamente como é apresentado na FIGURA 6. Esta permite a infiltração nos solos circundantes. Para o estudo de viabilidade, a principal questão a ser abordada é definir se o solo suporte pode absorver por infiltração a água da chuva armazenada na trincheira. Caso contrário, é preciso esgotar a água para um exutório bem determinado que pode ser, por exemplo, um conduto de uma rede pluvial convencional (SUDERHSA, 2002b).



FONTE: Adaptado de Woods Ballard et al. (2015).

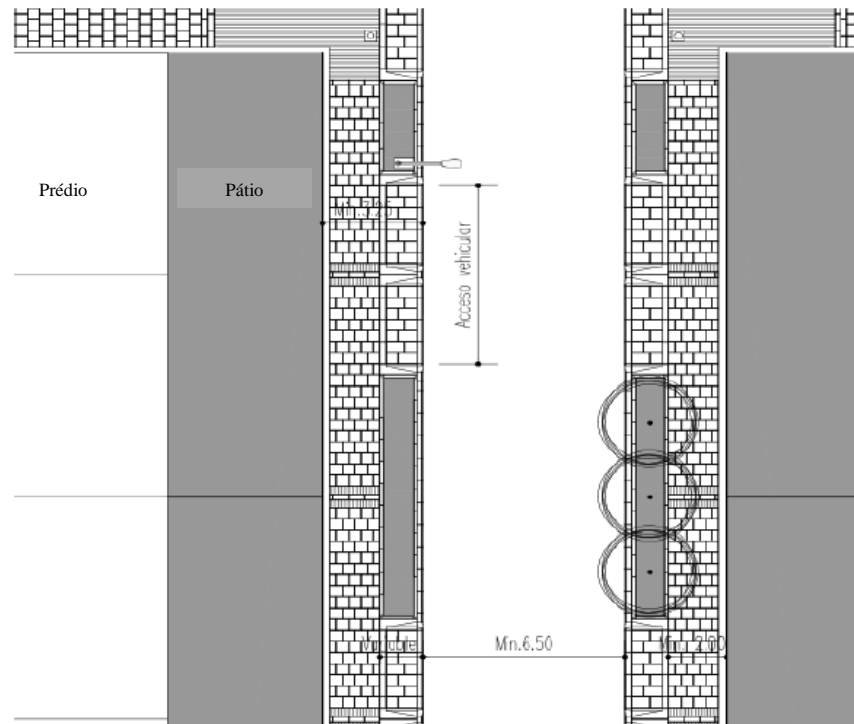
FIGURA 6- Perfil da trincheira de infiltração

As trincheiras de infiltração que sejam construídas nas calçadas devem atender as relações de permeabilidade e impermeabilidade conforme a FIGURA 7 além disso devem ser atendidas as medidas mínimas de urbanismo para garantir mobilidade na área (BOGOTA, 2011) como é apresentado na FIGURA 8.



FONTE: Adaptado de Bogota (2011)

FIGURA 7- Relação da permeabilidade e impermeabilidade em calçadas



FONTE: Adaptado de Bogota (2011).

FIGURA 8- Permeabilidade com áreas verdes em calçadas

Com base na equação IDF de Fendrich (1997) uma expressão aproximada do volume de acumulação na trincheira é dada por:

$$V = (7,11\sqrt{\beta}T^{0,129} - 0,64\sqrt{\gamma}\sqrt{H}\sqrt{q_s})^2 \quad (7)$$

Onde:

V= volume de acumulação, em mm sobre a área em planta do dispositivo.

β = coeficiente adimensional dado pelo coeficiente de escoamento multiplicado pela razão entre área contribuinte e área do dispositivo

T = período de retorno (anos)

H = profundidade média da camada de armazenamento do dispositivo (mm)

γ = razão entre a área de percolação e a área do dispositivo em planta, dividida por H em (mm^{-1})

q_s = vazão de saída constante do dispositivo, em (mmh^{-1})

O que se procura é o cálculo da profundidade da trincheira, ou seja, o valor de H. Mas admite-se que já estão definidos o comprimento L e a largura B da trincheira. Portanto, a área de captação do dispositivo é BL. Assim é possível calcular β , adimensional, como:

$$\beta = \frac{C.A}{BL} \quad (8)$$

Onde:

A = área contribuinte à trincheira, pavimento (m^2)

C = coeficiente de escoamento da área contribuinte

B = largura da trincheira (m)

L = comprimento da trincheira (m)

A área de percolação, ou seja, de passagem da água da trincheira para o solo, corresponde à área das paredes laterais (a área de fundo não é considerada, pois se admite colmatação rápida). Desta forma tem-se:

$$\gamma = \frac{2}{B} \quad (9)$$

Sendo B em (mm). Com B e γ definidos, calcula-se V pela expressão dada na equação 23.

No caso de uma trincheira de infiltração no solo, a capacidade de infiltração deste é o elemento básico de projeto. Como vazão de saída q_s , a que percola pelas paredes da trincheira, tem-se o produto da condutividade hidráulica saturada K_{sat} do solo por um coeficiente redutor α devido à colmatação.

$$q_s = \alpha K_{sat} \quad (10)$$

A condutividade hidráulica saturada K_{sat} deve ser determinada através de ensaios de infiltração. Para trincheiras, os valores recomendados de α situam-se entre 0,1 e 0,5. Assim, o solo que recebe a trincheira deve ser natural (não compactado ou aterrado) e ter K_{sat} da ordem de 15 a 60 mmh^{-1} .

A expressão para a profundidade H da trincheira, em cm, é:

$$H_m^{TI} = \frac{1}{10} \left[\frac{k_1(k_2 - \sqrt{\eta})}{\eta - k_2^2} \right]^2 \quad (11)$$

Onde:

η = porosidade do material de enchimento do poço

$$k_1 = 7,11\beta^{1/2}T^{0,129} \quad (12)$$

$$k_1 = 0,64\gamma^{1/2}q_s^{1/2} \quad (13)$$

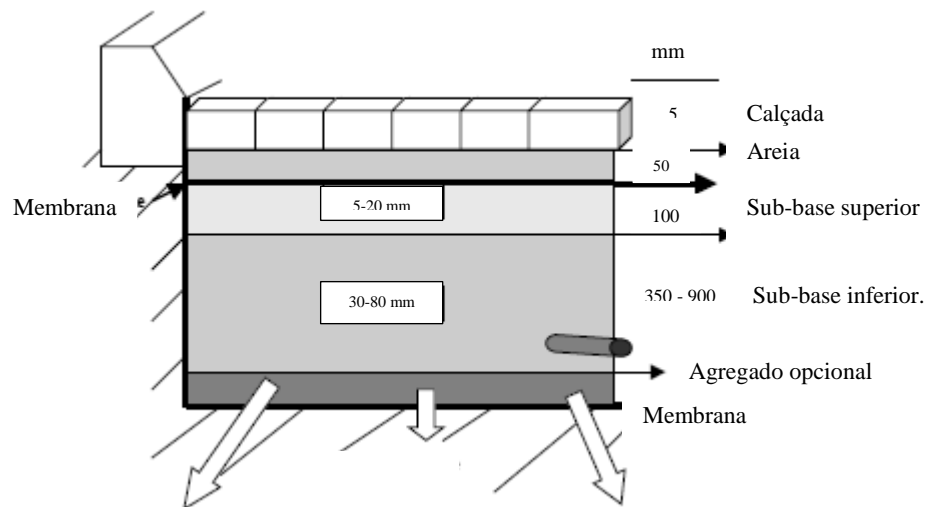
Um valor referencial para H é da ordem de entre 100 cm a 200cm, sem que isto constitua um limite. A profundidade total da trincheira é a profundidade H somada às das camadas de fundo (filtro de areia, se houver) e de superfície (recobrimento se houver).

No caso de trincheiras de retenção que direcionam sua saída para uma rede pluvial, o valor depende da cidade, por tratar-se de Curitiba, este valor é de 27 l/(s.ha). O dispositivo regulador de saída pode ser uma estrutura tipo orifício e deve ser calculada segundo os manuais de hidráulica.

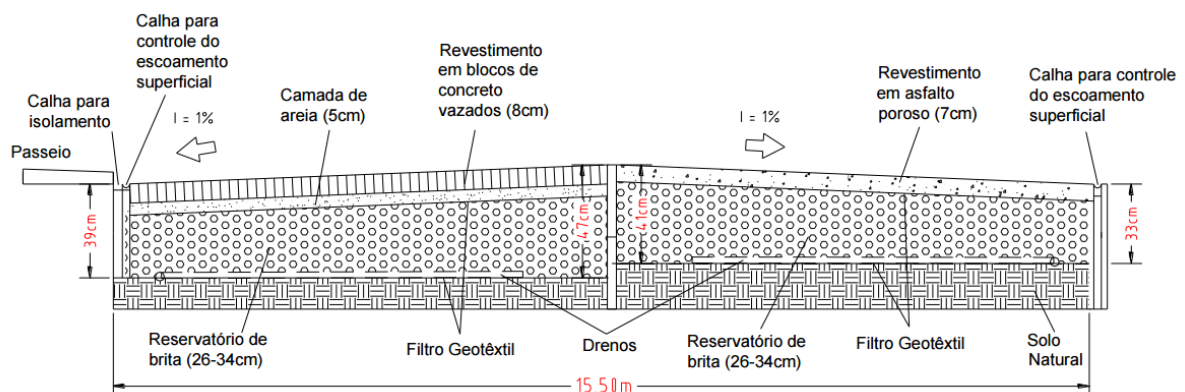
3.5.4. Pavimento Permeável (M4-PP)

Por se tratar uma superfície porosa, o pavimento permeável tem a capacidade de reduzir o escoamento superficial permitindo a infiltração da água através dele, para a penetração no solo ou captação e retenção para sua posterior reutilização ou esvaziamento podendo ser contínuos ou modulares (FIGURA 9 e FIGURA 10). Cabe afirmar que o pavimento poroso tem menor resistência mecânica que o pavimento impermeável convencional, por isso é

recomendável ser utilizados em passeios, estacionamentos, quadras esportivas e ruas com pouco tráfego. (WOODS-BALLARD et al., 2007).



FONTE: Adaptado de Scholes; Ellis; Revitt (2004)
FIGURA 9- Perfil da estrutura do pavimento permeável



Fonte: Minikowski & Maia (2009)
FIGURA 10- Seção transversal da estrutura do pavimento permeável

Para sua implementação, se deve conferir que a taxa de infiltração do solo seja da ordem ou maior do que a chuva do projeto, além disso, deve contar com um volume de armazenamento temporário no subsolo para atender às exigências na infiltração e/ou na descarga controlada devido a que os pavimentos permeáveis somente são viáveis para taxa de infiltração superior a 7 mm/h. Por outro lado, o nível do lençol freático no período chuvoso deve estar pelo menos 1,2 m abaixo do pavimento (ARAÚJO; TUCCI, 2000).

Neste contexto, Araújo, et al.(2000) os quais utilizaram um simulador de chuvas para comparar os valores de escoamento superficial gerado em seis diferentes superfícies utilizadas na pavimentação. Foram elas: solo compactado; concreto convencional; pavimento de paralelepípedo e juntas de areia; pavimento com blocos de concreto e juntas de areia; blocos de concreto vazados, preenchidos com areia; concreto poroso. Foi utilizado um simulador de chuva em módulos de 1m² de cada uma das superfícies, chegando-se a valores de coeficientes de escoamento superficial apresentados na TABELA 1, onde é demonstrado que o melhor material da superfície é o concreto poroso, seguido pelo bloco vazado. Os autores

recomendaram o uso de superfícies semi-permeáveis permeáveis e permeáveis em estacionamentos para veículos leves por questão de resistência e manutenção da estrutura.

TABELA 1- Coeficientes de escoamento das superfícies permeáveis

Superfície	Coefficiente de escoamento superficial
<i>Solo compactado</i>	0,66
<i>Concreto</i>	0,95
<i>Blocos de concreto</i>	0,78
<i>Paralelepípedo</i>	0,60
<i>Concreto poroso</i>	0,005
<i>Blocos vazados</i>	0,03

FONTE: Adaptado de Araújo *et al.*(2000)

Com base na equação IDF de Fendrich (1997) uma expressão aproximada do volume de acumulação na camada porosa é dada por:

$$V = (7,11\sqrt{\beta T^{0,129}} - 0,64\sqrt{q_s})^2 \quad (14)$$

Onde:

V=volume de acumulação, em mm sobre a área em planta dos dispositivos.

β = coeficiente adimensional dado pelo coeficiente de escoamento multiplicado pela razão entre área contribuinte e área do dispositivo

T = período de retorno em anos

q_s = vazão de saída constante do dispositivo, em mmh⁻¹

Para o pavimento poroso o que se procura é o cálculo da espessura da camada reservatório do pavimento. A área de captação da água é a área do próprio pavimento mais a área de contribuição exógena, portanto:

$$\beta = \frac{A_{pav} + C.A}{A_{pav}} \quad (15)$$

Onde:

A_{pav} = área do pavimento (m²)

A= área de contribuição ao pavimento (m²)

C= coeficiente de escoamento da área de contribuição.

Para a superfície do pavimento considerou-se um coeficiente de escoamento igual a 1, pois toda chuva aí precipitada penetra no dispositivo (note-se que, se A = 0, então $\beta = 1$). A vazão de saída q_s (em mm/h) corresponde à condutividade hidráulica saturada K_{sat} do solo (em mm/h), afetada de um coeficiente redutor α devido à colmatação.

$$q_s = 27 + \alpha K_{sat} \quad (16)$$

A condutividade hidráulica saturada K_{sat} deve ser determinada através de ensaios de infiltração. A literatura técnica recomenda valores de α entre 0,1 e 0,5.

No caso de pavimentos porosos que não infiltram e direciona a uma rede pluvial, o valor de q_s é fixado pela administração municipal. Este valor é de 27 l/(s.ha).

O passo seguinte é calcular H pela expressão dada e fazer:

$$H = \frac{V}{10.\eta} \quad (17)$$

Onde:

V = volume em mm

H = espessura da camada porosa do pavimento em cm

η = porosidade do material estruturante da camada reservatório

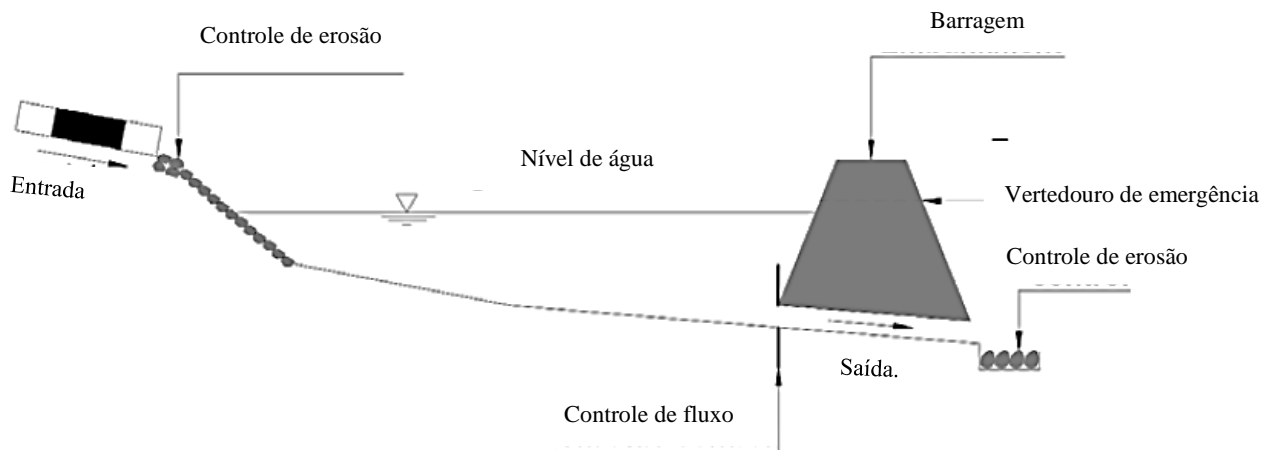
Valores referenciais de H, da experiência internacional, com brita, englobando dimensionamento hidráulico e mecânico, situam-se entre 50 a 80 cm, mas estes valores não devem ser vistos como valores limites.

3.5.5. Bacia de detenção (M5- BD)

No estado do Paraná, na primeira metade da década de 70, existiram duas experiências, de escritotio e de campo. Culminou com a implementação na pequena cidade de Rondon de um sistema alternativo de drenagem urbana. Além da bacia de amortecimento de Chaias-BAMORT, projetada pelo ISAM/ PUC-PR para a cidade de Planaltina do Paraná, que contou com um monitoramento assistido de sua operação (AISSE, 1997).

Além, na cidade de Curitiba, Fendrich (2002) propõe para o controle das enchentes urbanas a detenção distribuída das águas pluviais pelos sistemas de coleta, armazenamento, aproveitamento e infiltração, assim como pelos reservatórios de detenção em todos os logradouros públicos da cidade, afim de que os níveis máximos das enchentes urbanas comecem a diminuir.

A principal função das bacias de detenção (FIGURA 11) é controlar ou atenuar o escoamento de águas pluviais além de facilitarem a sedimentação de partículas poluentes. As relações entre comprimento mínimo e a largura é de 2:1.



FONTE: Adaptado de Woods-Ballard *et al.* (2007).

FIGURA 11- Bacia de detenção

Para seu pré-dimensionamento, tem-se em conta critérios como são o período de retorno, T (anos); condutividade hidráulica saturada, K_{sat} (mm/h); tempo de duração da chuva, td (min); área do lote, A (m^2); coeficiente de escoamento, C (-)

Vazão de saída (L/s.ha)

$$q_s = 27 + 2,78\alpha K_{sat} \quad (18)$$

Volume máximo de acumulação (m^3)

$$V = (22,48\sqrt{CT}^{0,129} - 1,21\sqrt{q_s})^2 * A \quad (19)$$

Área superficial requerida (m^2)

$$A_s = \frac{V}{H} \quad (20)$$

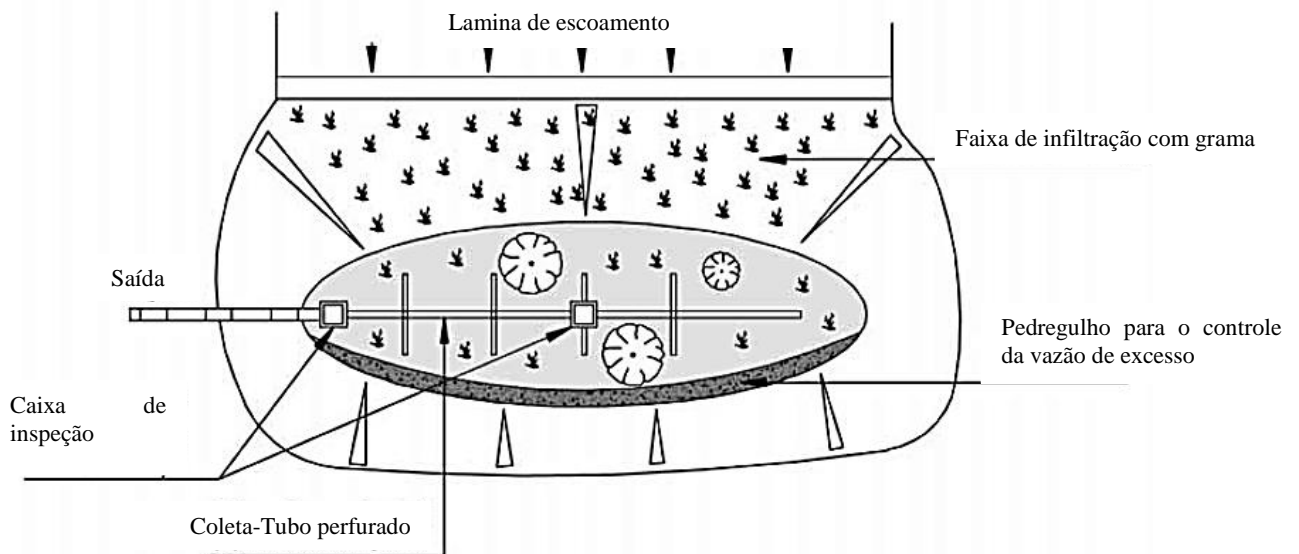
Capacidade de tratamento (m^3/s)

$$Q_{TV_{M2}} = \frac{V}{td} \quad (21)$$

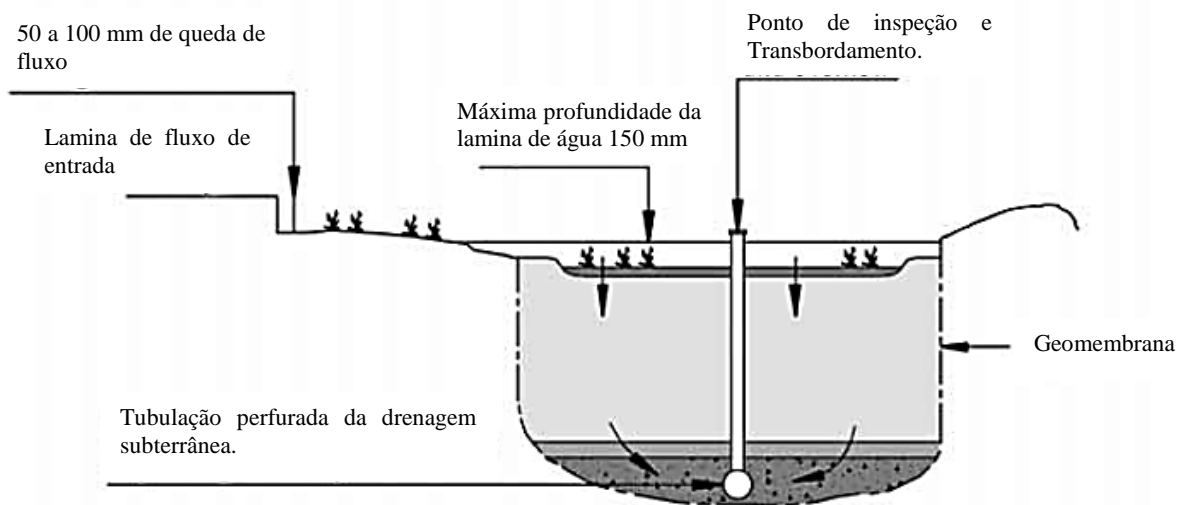
3.5.6. Biorretenção (M6- BR)

Os sistemas de biorretenção funcionam como um reservatório para o amortecimento da água da chuva, armazenando-a por um determinado período de tempo de modo que possa posteriormente infiltrar ou ser absorvida naturalmente pelo solo. Suas vantagens são que permitem remover contaminantes pela filtração além de reduzir o escoamento à jusante. Deve ter uma área suficiente para armazenar o volume de controle com profundidade <0,15 m. A profundidade mínima em águas do lençol freático deve ser de 1 m, caso contrário, precisa-se de revestimento. São necessárias estruturas de transbordo ou by-pass para o controle de eventos extremos como é apresentado da FIGURA 12 a FIGURA 14.

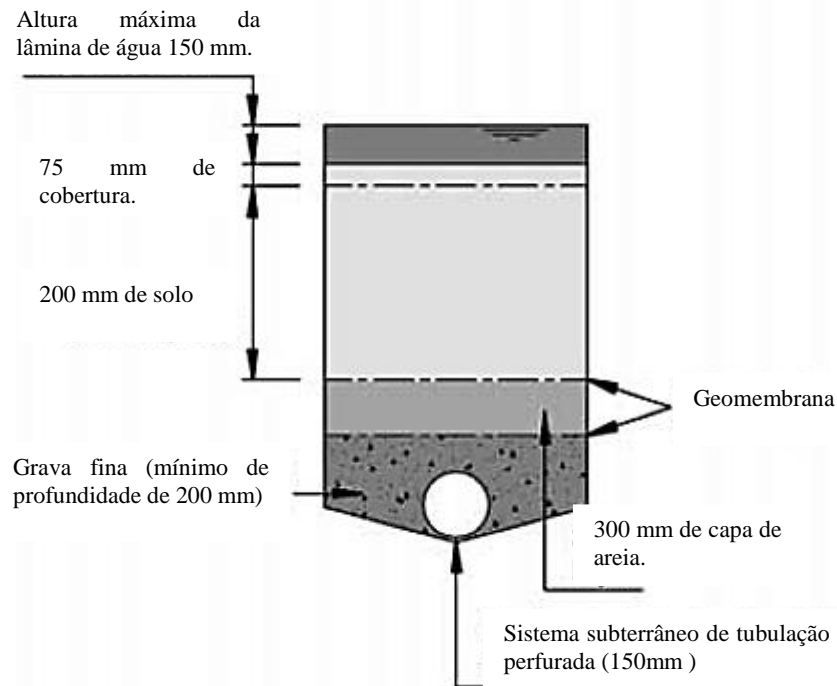
As áreas de biorretenção estão compostas por três capas de material. A primeira consiste em uma capa orgânica para infiltração e que permite o estabelecimento de um ambiente propício para o aumento de microrganismos que permitam a degradação de hidrocarbonatos e matéria orgânica, e com uma permeabilidade que não permita o fluxo da água ao lençol freático. A segunda consiste em uma capa vegetal que permita a adsorção de hidrocarbonetos degradados, metais pesados e nutrientes. A última capa e a mais profunda consistem em uma faixa de areia que proporciona um meio aeróbico. Esta capa de areia será pelo menos 0,30 m e possui um tamanho do grão entre 0,5 e 1 mm. A rede de drenagem deverá estar dentro de uma capa de grava de tamanho do grão entre 5 e 20 mm (WOODS-BALLARD et al., 2007).



FONTE: Adaptado de Woods-Ballard *et al.* (2007)
 FIGURA 12- Vista planta do sistema de biorretenção



FONTE: Adaptado de Woods-Ballard *et al.* (2007)
 FIGURA 13- Perfil do sistema de biorretenção



FONTE: Adaptado de Woods-Ballard et al. (2007)
 FIGURA 14- Seção transversal do sistema de biorretenção

Com base na equação IDF de Fendrich (1997) uma expressão aproximada do volume de acumulação na trincheira é dada por:

$$V = (7,11\sqrt{\beta T^{0,129}} - 0,64\sqrt{\gamma}\sqrt{H}\sqrt{q_s})^2 \quad (22)$$

Onde:

V= volume de acumulação, em mm sobre a área em planta do dispositivo.

β = coeficiente adimensional dado pelo coeficiente de escoamento multiplicado pela razão entre área contribuinte e área do dispositivo

T = período de retorno

H = profundidade média, adaptada de dados de literatura para biorretenção

γ = razão entre a área de percolação e a área do dispositivo em planta, dividida por H

q_s = vazão de saída constante do dispositivo

O que se procura é o cálculo da profundidade da trincheira, ou seja, o valor de H. Mas admite-se que já estão definidos o comprimento L e a largura B da trincheira. Portanto, a área de captação do dispositivo é BL. Assim é possível calcular β , adimensional, como:

$$\beta = \frac{C.A}{A_{bio}} \quad (23)$$

Onde:

A = área contribuinte à trincheira, pavimento em m²

C = coeficiente de escoamento da área contribuinte

A_{bio} = Área de biorretenção

A área de percolação, ou seja, de passagem da água da trincheira para o solo, corresponde à área das paredes laterais (a área de fundo não é considerada, pois se admite colmatagem rápida). Desta forma tem-se:

$$\gamma = \frac{4}{D} \quad (24)$$

Sendo D o diâmetro do dispositivo de biorretenção

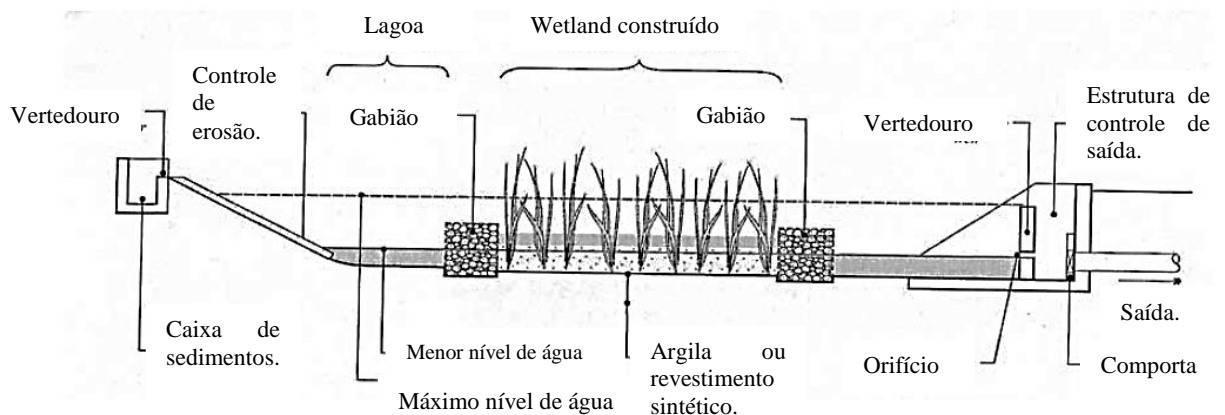
No caso de uma trincheira de infiltração no solo, a capacidade de infiltração deste é o elemento básico de projeto. Como vazão de saída q_s , a que percola pelas paredes da trincheira, tem-se o produto da condutividade hidráulica saturada K_{sat} do solo por um coeficiente redutor α devido à colmatagem.

$$q_s = \alpha K_{sat} \quad (25)$$

A condutividade hidráulica saturada K_{sat} deve ser determinada através de ensaios de infiltração. Para trincheiras, os valores recomendados de α situam-se entre 0,1 e 0,5. Assim, o solo que recebe a trincheira deve ser natural (não compactado ou aterrado) e ter K_{sat} da ordem de 15 a 60 mmh^{-1} .

3.5.7. Wetlands Construídos (M7- WC)

Compreendem áreas alagáveis, cobertas quase inteiramente em vegetação aquática, (ver FIGURA 15). Os *wetlands* detêm os fluxos por um período prolongado para remover contaminantes, além de facilitarem a adesão dos nutrientes à vegetação e sua depuração. A declividade está entre 0,5 - 1%, a relação comprimento de 4 por cada 1 de largura e a condutividade hidráulica do substrato varia entre 10^{-3} m/s a 10^{-2} m/s.



FONTE: Adaptado de Woods-Ballard et al. (2007)

FIGURA 15- Wetlands construídos

O volume de controle (m^3)

$$V = \frac{Qc}{THR} \quad (26)$$

Onde:

$$Qc = \text{Vazão de controle (m}^3/\text{s)}$$

$$THR = \text{Tempo hidráulico de retenção (s)}$$

As profundidades estão na faixa de 0,6 e 2 m e é calculada assim:

$$H = \frac{V}{\eta * As} \quad (27)$$

Onde:

$$As = \text{Área superficial disponível para a construção do WC}$$

$$\eta = \text{Porosidade do meio}$$

3.6. MODELOS DE CONCEPÇÃO DE SISTEMAS DE DRENAGEM SUSTENTÁVEL

Os modelos são usados com o intuito de simular situações reais e seu uso facilita o entendimento humano sobre determinados tópicos de estudo, oferecendo a hipótese de teste sobre vários cenários, o que permite obter explicações e tomar decisões sobre os resultados obtidos. Um bom modelo deve ser o mais simples e coerente possível, deve possibilitar a previsão de vários cenários e a informação deve surgir de uma forma clara e intuitiva, para permitir uma fácil leitura e interpretação dos dados obtidos (TUCCI, 1997). Pelo conseguinte, neste capítulo são apresentados alguns modelos para a gestão de águas pluviais.

- *Rede de Decisão para a gestão da água Urbana:* Veldkamp et al. (1997) propuseram um método para selecionar as técnicas de gestão de água da chuva em áreas residenciais. O método, chamado rede de decisão é composto por quatro etapas: definição do problema, combinação de processo de seleção de tecnologias, ranking de sustentabilidade e de custo. A rede de decisão deve ser aplicada de forma iterativa por uma equipe especializada para aperfeiçoar a decisão final.

A equipe de especialistas deve considerar técnicas de infiltração, retenção e detenção de águas pluviais. Em seguida, descartam-se técnicas, dependendo das limitantes do contexto da área de estudo, e as que são viáveis ajustam-se para formar cenários. De acordo com o método, a técnica mais sustentável é aquela que trata a água da chuva mais perto da fonte e de uma forma visível para a comunidade. Deste ponto de vista, a utilização da infiltração de água da chuva é mais sustentável do que os sistemas separador absoluto e galeria pluvial segundo Veldkamp et al. (1997).

- *Modelo Experto DELTANOE:* Barraud et al. (1999) desenvolveram o programa de computador DELTANOE, para orientar os responsáveis pela gestão de águas pluviais na seleção de BMPs. Com a entrada de alguns dados específicos do local, o programa pode gerar uma lista de possíveis soluções, ou quando é alimentado com uma solução, pode gerar informações sobre as viabilidades técnicas e possíveis cenários de falha. Como benefício adicional, DELTANOE também fornece orientações sobre projeto como a construção e manutenção de cada solução proposta.

- *Comparador Multi-Critério (MCC) of Day Water Adaptive Decision Support System (ADSS)* (SCHOLES; ELLIS; REVITT, 2004): o projeto DAYWATER do 5º Programa da União Europeia desenvolveu o MCC. O objetivo do MCC é ajudar no processo de tomada de decisão para identificar BMPs, (também conhecidos como SuDS) adequados para a gestão das águas pluviais em um determinado contexto.

O MCC foi desenvolvido a partir da experiência com BMPs aplicadas em diferentes países da Europa, dando-lhe um carácter europeu para a decisão final. O MCC avalia 15 BMPs com 16 indicadores baseado em seis critérios: técnico; ambiente; O & M (Operação e Manutenção); benefícios sociais e comunitários; econômicos; e planejamento jurídico e urbano. Esta ferramenta permite que o usuário pondere os indicadores e critérios, de acordo com as circunstâncias particulares do caso. A tomada de decisão é feita em duas etapas. Primeiro, uma lista com base no nível das águas subterrâneas, a taxa de infiltração e área tributária para BMP; e, segundo, o método da Soma Ponderada (*Weighted Sum Model-WSM*) para a decisão final.

- *Metodologia para a seleção de sistemas de drenagem alternativos* (BRITO, 2006): metodologia para a seleção de alternativas de águas pluviais em áreas urbanas. A metodologia utiliza seis critérios (físicos, hidrológicos, hidráulicos, econômicos, ambientais e sociais), dez indicadores e o método multicritério para identificar a melhor alternativa de acordo com o caso. Uma característica importante desse método é que as alternativas são constituídas pelos SuDS, sistemas de esgotamentos, ou uma combinação de SuDS com tubulações ou redes pluviais.

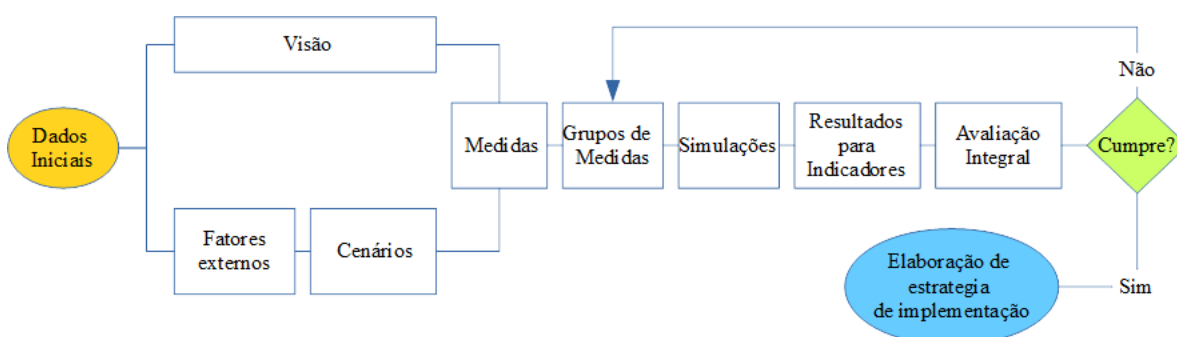
- *Seleção de tecnologia para coleta e transporte de águas pluviais e de esgoto sanitário em Áreas Urbanas* (MONTAÑA, 2011): ferramenta que ajuda na tomada de decisões, o modelo conceitual de seleção de tecnologias para coleta e transporte de águas pluviais e de esgoto em ambientes urbanos, com ênfase nos aspectos tecnológicos desenvolvidos. O modelo considera as alternativas dentro da seleção de cinco opções de sistemas sustentáveis de drenagem urbana (SuDS), drenagem superficial, redes de águas pluviais, redes de esgoto combinado e redes convencionais. Para facilitar o processo de tomada de decisão, esta pesquisa objetivou a identificação dos fatores e critérios que influencia a seleção de tecnologias para águas pluviais e esgoto com aplicação potencial em áreas urbanas da Colômbia, para em seguida, liga-los em um modelo de seleção conceitual com ênfase em aspetos tecnológicos para permitir alternativas sustentáveis de acordo com o contexto.

- *Urban Water Use Model (UWU)* (SANTOS; VAN DER STEEN, 2011): foi inicialmente desenvolvido como uma ferramenta educacional para criar soluções de gestão da água em áreas urbanas. Foi desenvolvido na linguagem de programação VBA (*Visual Basic for Applications*) de excel, sendo esta uma ferramenta de apoio para a tomada de decisão por meio do planejamento estratégico que também é entendida como uma abordagem integrada entre poder público, iniciativa privada e população, principalmente através da educação dos habitantes, e ainda pela conjugação de medidas em diversas escalas, completando uma a outra, como meio de dar qualidade de vida, preservar e conservar o meio ambiente, e prever e conjecturar o desenvolvimento para as gerações futuras, garantindo saúde e sustentabilidade. Este modelo também foi desenvolvido no âmbito do SWITCH (SANTOS; BENETTI, 2014). O UWU se desenvolve mediante o planejamento, a implementação da estratégia e um sistema de avaliação, cuja finalidade é atender todos os agentes do Sistema da água urbana. A contribuição mais recente ao modelo UWU foi sugerida por Destro (2016).

3.7. MODELO UWU

O modelo UWU é composto principalmente por três fases, que são a visão, desenvolvimento dos cenários e desenvolvimento da estratégia (FIGURA 16). A implementação de estratégias e o sistema de avaliação, são tratadas em um processo iterativo, onde os indicadores e índices de efetividade têm um papel decisivo (SANTOS; VAN DER STEEN, 2011).

Cabe ressaltar que a contribuição mais recente ao UWU foi a de Destro (2016) quem propôs uma sequência de fatores e procedimentos para conceber medidas de drenagem sustentável numa área de estudo situada na cidade de Curitiba/PR

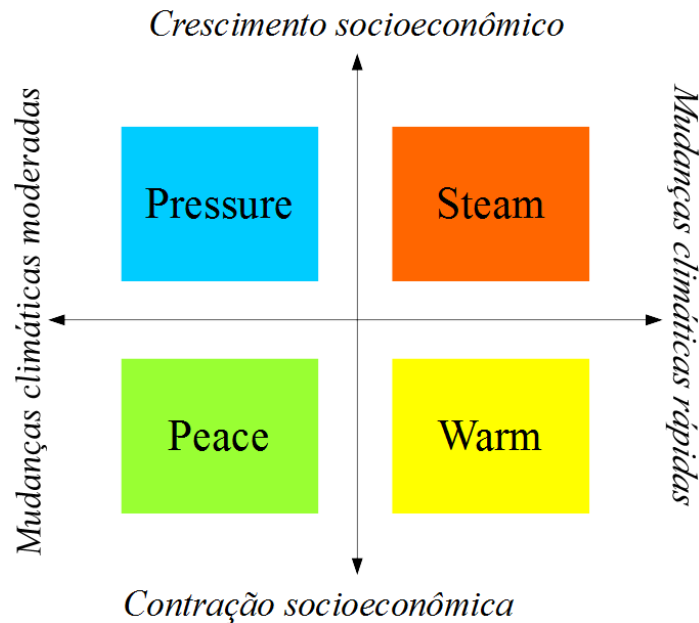


FONTE: Adaptado de Santos; Benetti (2014)
FIGURA 16- Estrutura do UWU

Seguindo a estrutura descrita na FIGURA 16, as faces são apresentadas a continuação:

- *Dados preliminares:* Estão compostos por parâmetros que são considerados necessários a fim de caracterizar a área de estudo em função da drenagem urbana tais como a população atual, as capacidades dos sistemas de drenagem na área de estudo, abastecimento de água, esgotamento, entre outros. É importante ressaltar que há uma série de tarefas independentes para se fazer antes de executar o UWU. Essas tarefas exigem a coleta de dados, pesquisa de campo, digitalização da informação e socialização do projeto com as partes interessadas, para assim alimentar o modelo com a informação inicial.
- *Visão:* No processo de construção da visão, é importante escolher os indicadores que podem refletir uma realidade desejada para a área de estudo. Uma vez que os indicadores são selecionados, os pesos podem ser definidos considerando estimativas atuais e do futuro desejado para a área de estudo. Nesta etapa será considerada a discussão das partes interessadas e o envolvimento da comunidade.
- *Cenários:* No presente projeto foi considerado o aporte feito por Destro (2016) quem utilizou a metodologia para a concepção dos cenários denominada *Adaptive Delta Management* (ADM) cunhado pelo Programa Delta em países Baixos. Esta é uma ferramenta flexível para adaptar estratégia a desafios e oportunidades inesperados no futuro. São quatro cenários do Delta conforme o apresentado na FIGURA 17. Baseiam-se em dois fatores de impacto significativo e altamente incertos na gestão dos recursos hídricos, como são as

mudanças climáticas e o desenvolvimento socioeconômico (BRUGGEMAN; DAMMERS, 2013).



FONTE: Adaptado de Bruggeman & Dammers (2013).

FIGURA 17- Formulação dos cenários no UWU para a avaliação das medidas de drenagem sustentável

No UWU a elaboração de cenários leva em conta os fatores externos considerando o atual e as projeções futuras mínimas e máximas (DESTRO, 2016) conforme o apresentado na seguinte tabela

TABELA 2- Elaboração dos cenários

Fatores externos	Estados		
	Atual	Mínimo	Máximo
Taxa de crescimento populacional (%/ano)	P_0	P_1	P_2
Temperatura anual ($^{\circ}\text{C}$)	T_0	T_1	T_2
Renda per capita (R\$/hab*ano)	RP_0	RP_1	RP_2
Intensidade máxima de precipitação (mm/h)	$Imáx_0$	$Imáx_1$	$Imáx_2$

FONTE: Adaptado de Destro (2016)

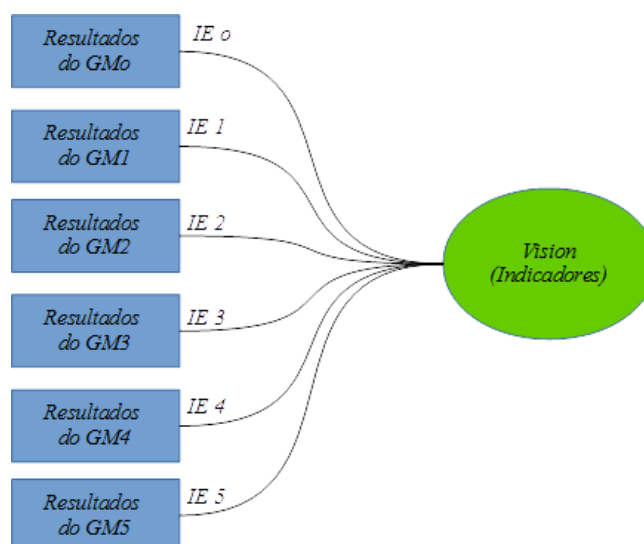
O resultado da conjugação da TABELA 2 é apresentada na TABELA 3 como foi feito no projeto desenvolvido por Destro (2016).

TABELA 3- Fatores externos e cenários

Fatores externos	Cenários				
	Atual	C1	C2	C3	C4
Taxa de crescimento populacional (%/ano)	P_0	P_1	P_2	P_1	P_2
Temperatura anual ($^{\circ}\text{C}$)	T_0	T_1	T_1	T_2	T_2
Renda per capita (R\$/hab*ano)	RP_0	RP_1	RP_2	RP_1	RP_2
Intensidade máxima de precipitação (mm/h)	$Imáx_0$	$Imáx_1$	$Imáx_1$	$Imáx_2$	$Imáx_2$

FONTE: Adaptado de Destro (2016)

- **Grupos de medidas:** O objetivo é o de compor grupos com diferentes tipos de medidas a fim de melhorar os indicadores com vista à realização da visão nos cenários. As medidas da primeira versão do UWU foram a demanda de água, esgotamento descentralizado, saneamento ecológico, abordagens dos SuDS (SANTOS; VAN DER STEEN, 2011). Na segunda versão, Destro (2016) propõe medidas SuDS como são: as trincheiras de infiltração, pavimento permeável, microreservatórios, bacias de detenção e biorretenção. Após ter formulado os grupos de medidas, estes são analisados pelo impacto sobre os valores dos indicadores. Isso é feito por meio de uma série de equações que ligam os cenários, grupos de medidas e indicadores.
- **Resultados:** Para cada cenário, os resultados dos grupos de medidas são submetidos a uma avaliação integrada, comparando os mesmos com os indicadores da Vision para saber em quais cenários estes foram atendidos conforme o apresentado na FIGURA 18.



Fonte: Adaptado de Santos and van der Steen (2011)

FIGURA 18- Avaliação do índice de efetividade

Para este processo, foi utilizado o método multi-critério de tomada de decisão (TRIANTAPHYLLOU, 2000) que seleciona a melhor alternativa entre várias opções com base numa pontuação que representa o desempenho geral da alternativa. Esta pontuação é chamada de soma ponderada (WSM) e é calculado conforme o equacionamento (28)

$$IE_{WSM} = \sum_j^n a_{nj}w_j \quad (28)$$

Onde IE_{WSM} é a pontuação da soma ponderada, também denominado como Índice de Efetividade, a_{ij} é o rendimento do indicador e w_j é o peso indicador j . O peso de cada indicador (w_j) representa a importância relativa dentro da tomada de decisão e o rendimento da alternativa (a_{nj}) corresponde a uma pontuação de classificação atribuída. Quando o cenário n é avaliado em relação ao indicador j . Ao finalizar os cálculos, seleciona-se a alternativa com a maior pontuação IE_{WSM} como a melhor opção. O uso do WSM justifica-se por três razões. Primeiro, a seleção da melhor alternativa considerando simultaneamente múltiplos critérios que representam diferentes dimensões. Segundo, o ranking das alternativas é direto e simples. Terceiro, os critérios podem ser ponderados para refletir a sua importância relativa dentro de um contexto particular.

Este processo é desenvolvido para todos os grupos de medidas com todos os indicadores. De forma a estimar o Índice de Efetividade (IE) o qual é estimado na TABELA 4 para quatro cenários.

TABELA 4- Hierarquia do índice de efetividade (IE)

IE	Classificação
3,7-4,0	Excelente
2,9 -3,6	Bom
2,1-2,8	Razoável
1,3 - 2,0	Insuficiente
0,0 - 1,2	Ruim

FONTE: Adaptado de Destro (2016).

- *Avaliação integrada*: considerando a visão e os cenários formulados, o melhor grupo de medidas é aquele em que a visão foi alcançada no maior número de cenários, tendo em conta, ao mesmo tempo, o peso conjunto para cada indicador. Após a avaliação, uma pergunta surge: "A visão original foi alcançada?" Se a resposta for "Não", a próxima etapa é a revisão do grupo de medidas para reiniciar o processo. Caso contrário, se a resposta é "Sim", o grupo de medidas servirá para definir a estratégia global e iniciar o Plano de implementação ao lado de uma contínua avaliação.

3.8. INDICADORES DE SUSTENTABILIDADE DO UWU

Conforme as contribuições de Destro (2016), os indicadores para a avaliação das medidas SuDS no UWU são a vazão de escoamento crítico, cargas de contaminantes e cobertura no sistema de abastecimento de água. Estas devido a que permitem dar um panorama à prevenção e controle de: enchentes e contaminação difusa. Além disso, dão uma visão ao potencial de aproveitamento de águas pluviais para fins não potáveis.

3.8.1. Vazão de escoamento crítico

Foi utilizado o método racional para bacias pequenas, ou seja, menores que 5 km². Os princípios básicos dessa metodologia são:

- Duração da precipitação máxima de projeto é igual ao tempo de concentração da bacia. Admite-se que a bacia é pequena para que essa condição aconteça, pois a duração é inversamente proporcional à intensidade.
- Adota-se um coeficiente médio de escoamento superficial, depende de vários fatores como solo, cobertura vegetal, grau de saturação do solo e declividade geral da bacia.
- Não avalia o volume da cheia e a distribuição temporal das vazões.

A cálculo do escoamento superficial é avaliado em cada um dos cenários (n), cuja equação é definida por:

$$Q_{max} = 0,278 \cdot C_{v,n} \cdot Imáx_n \cdot At \quad (29)$$

Onde:

$$Q_{max} = \text{vazão máxima (m}^3/\text{s)}$$

$C_{v,n}$ = coeficiente de escoamento médio superficial ponderado no cenário n
 $Imáx_n$ = máxima intensidade da precipitação no cenário n (mm/h)
 At = área tributária (km²)

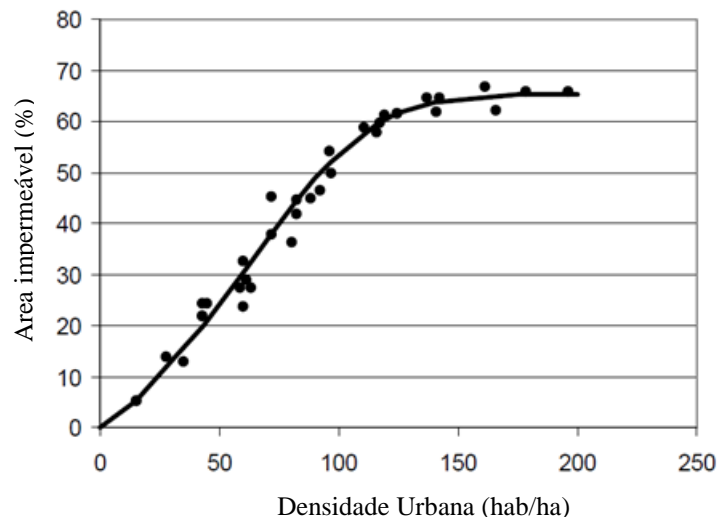
- *Coeficiente de escoamento*: O coeficiente de escoamento utilizado no método racional depende das características de: solo, cobertura, tipo de ocupação, tempo de retorno e intensidade da precipitação. A relação local para a estimativa do coeficiente de escoamento para Curitiba é baseado em uma regressão linear (ver equação 30) baseada na área impermeável no cenário n (AI_n) e em dados locais como é apresentado na FIGURA 19 (CAMPANA; TUCCI, 1994)

$$C_{v,n} = 0,15 + 0,80 AI_n \quad (30)$$

$$0 < AI_n < 1$$

Onde:

AI_n = Área impermeável no cenário n (%)



FONTE: Adaptado de Campana; Tucci (1994).

FIGURA 19- Relação entre área impermeável e densidade populacional urbana baseada em dados de São Paulo, Curitiba e Porto Alegre

- *Área Impermeável (AI)*: a estimativa foi baseada em dados de Porto Alegre, São Paulo e Curitiba (MENEZES; TUCCI, 2012), conforme apresentado na Equação 31.

$$AI = 13 + 0,57 * DH \quad (31)$$

Onde:

$$DH < 100 \text{ hab/ha}$$

- *Densidade Populacional (DH)*, em hab/ha:

$$DH = \frac{P}{A \times 100} \quad (32)$$

A área de estudo tem 148 hectares (1,48 km²) que compreende os bairros de Bom Retiro, Vista Alegre e Pilarzinho e cuja densidade população atual estimada foi de 3959 habitantes (IBGE, 2013b).

- *Intensidade máxima da precipitação:* ($I_{máx}$): obtida a partir das curvas IDF (curvas de Intensidade-Duração-Frequência) da cidade de Curitiba (FENDRICH, 2003), conforme apresentado na equação 33

$$I_{máx} = \frac{5726,64 * T^{0,149}}{(t_d + 41)^{1,041}} \quad (33)$$

Onde:

$I_{máx}$ = intensidade máxima da precipitação (mm/h)
 T = tempo de retorno (anos)
 t_d = duração da precipitação (min) (ver equação 35)

- *Tempo de Retorno:* é o intervalo médio do tempo em que pode ocorrer ou ser superado um dado evento. O tempo T utilizado na microdrenagem varia de dois a dez anos. De uma forma geral, para a microdrenagem, recomenda-se a adoção de período de retorno de 2 anos (exceto no caso de aeroportos, quando o valor recomendado é de 5 anos) (SUDERHSA, 2002b).
- *Tempo de duração da Chuva (t_d):* em pequenas bacias, quando se obtiverem valores menores que 10 min, deve-se adotar $t_d = 10$ min. (SUDERHSA, 2002a).

No trabalho de Destro (2016), foi adotado o equacionamento 34 que representa o tempo de concentração cujas constantes se obtiveram usando dados de 28 bacias urbanas do Brasil (GERMANO; TUCCI; SILVEIRA, 1998)

$$t_d = 18,628 \frac{L^{0,882}}{AI^{0,272}} \quad (34)$$

Onde:

t_c = tempo de concentração (min)
 L = comprimento do curso d'água (km)
 AI = Área impermeável da bacia (km²)

3.8.2. Cargas de contaminantes

A qualidade da água da rede pluvial depende de vários fatores como a frequência e limpeza urbana, a intensidade da precipitação e sua distribuição temporal e espacial, a época do ano e o uso de solo da área urbana (BROMBACH; WEISS; FUCHS, 2005).

A massa poluente depositada sobre a superfície da bacia no período de estiagem é transportada para o corpo de água durante o escoamento superficial, esta considerada como a massa poluente de contribuição da drenagem pluvial urbana. A variabilidade da taxa de massa poluente transportada durante eventos de precipitação na rede de drenagem pode ser descrita por duas curvas: hidrograma e polutograma para cada poluente considerado (HALLOCK, 2007). Em uma bacia hidrográfica estas curvas podem variar de evento para evento, dependendo da intensidade de precipitação, período de tempo seco antecedente ao evento e o total precipitado, condições da rede de drenagem, quantidade de deposição, acúmulo de massa

poluente, características da bacia e da rede de drenagem. Portanto, é importante implementar medidas de controle de poluição do escoamento superficial, onde a carga de contaminantes removidas pelas medidas SuDS é explicada na seção 5.1.3.

Segundo as literaturas consultadas, as concentrações médias dos poluentes de estudo na rede de drenagem são apresentadas na TABELA 5, onde as concentrações da literatura (3) foram especificadas para áreas impermeáveis <40%.

TABELA 5- Aspectos de qualidade do escoamento urbano superficial

Variável	1	2	3	4	5
SST (mg/L)	190	184	-	100	101
NTK(mg/L)	3,2	2,62	2,67	2,2	2,64
PT (mg/L)	0,34	0,58	0,28	0,4	0,38

FONTE: Adaptado de ¹Ellis et al., (2006); ²Brezonik e Stadelmann (2002); ³VIRGINIA DEPARTMENT OF CONSERVATION & RECREATION (2007); ⁴THE STORMWATER MANAGER'S RESOURCE CENTER ; ⁵Burton et al. (2001)

Em Curitiba, há preocupações quanto à qualidade da água em bacias hidrográficas importantes dentro da área urbana. Na bacia do rio Belém, por exemplo, o Instituto Ambiental do Paraná (IAP) classificou o rio Belém como poluído de acordo com seus critérios (IAP, 2009). Conforme relatado por Mansor et al. (2007), a concentração mínima de PT relatada foi de 1,80 mg/L e a concentração mínima de NTK foi de 8,2 mg/L. Kramer et al. (2015) relataram a presença de carbono orgânico, que combinado com a baixa concentração de oxigênio dissolvido e altos níveis de nitrogênio amoniacal e fósforo total, são sinal da presença de esgoto doméstico no rio Belém.

- *Eficiências de remoção de Poluentes das medidas SuDS:* Com relação à melhoria da qualidade da água, há medidas SuDS que funcionam de modo a reduzir a concentração de poluentes na drenagem urbana, tais como as citadas na TABELA 6.

TABELA 6- Percentagem da eficiências de remoção das medidas SuDS

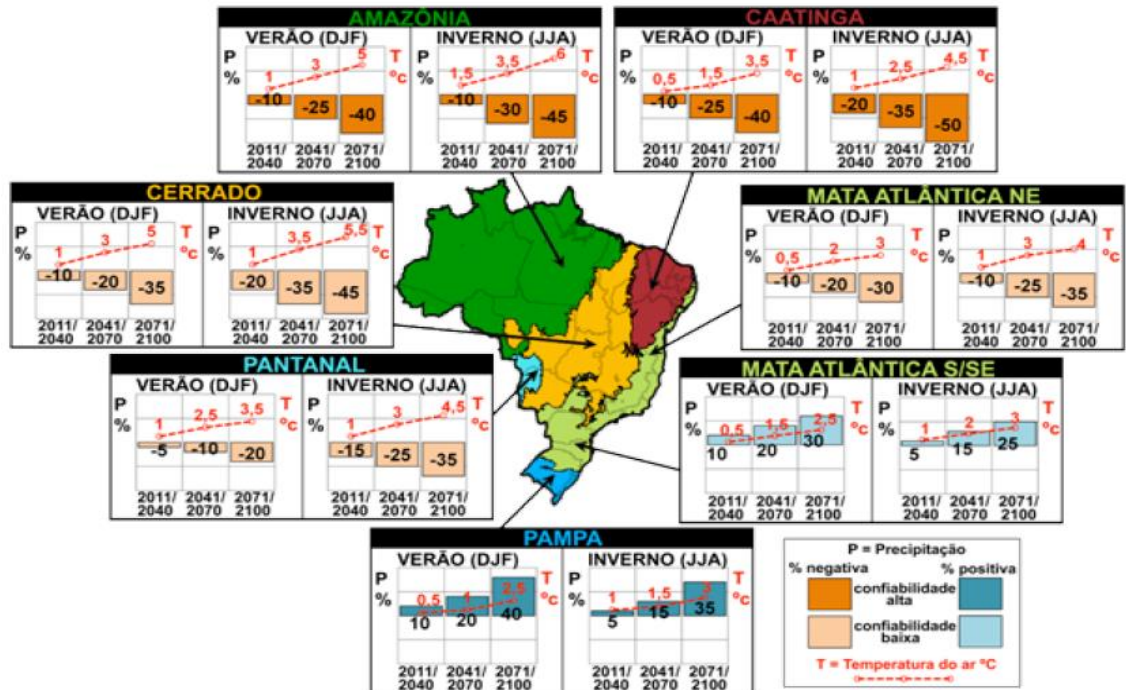
Medidas de drenagem	1			2		3		
	PT	NTK	SST	PT	NTK	PT	NTK	SST
Microreservatório	-	-	25	-	-	-	-	-
Telhado Verde	26	-	69	-	-	-	-	-
Wetlands Construídos	98	37	72	75	55	-	-	-
Trincheira de Infiltração	60	-	85	65	50	0 a 40	0 a 30	20 a 60
Pavimento Permeável	60	66	71	-	-	65	75 a 85	80 a 95
Biorretenção	85	60	85	45	55	-	-	-
Bacia de Detenção	48	18	56	50	30	0 a 79	0 a 80	70 a 91

FONTE: Adaptado de ¹Battiata et al. (2010); ²Virginia Department of Conservation & Recreation (2007); ³Denver Colorado Urban Drainage (1999)

- *Intensidade média anual (Imed):* Em referência às regiões Sul e Sudeste, o Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas (PBMC) projetou até o ano de 2040 uma intensificação nos padrões de chuva média anual de 5% a 10%. Em meados do século (2041-2070), continuam as tendências de aumento gradual nas chuvas de 15% a 20% (PBMC, 2012).

Esta informação foi baseada utilizando três modelos regionais (HadRM3P, Eta-CCS e RegCM3), cujas simulações foram realizadas gerando cenários do clima atual e projeções de

clima futuro sobre a América do Sul. Estas últimas, entretanto, direcionaram apenas ao final deste século (2071-2100) segundo o relatado por [Marengo et al. \(2009\)](#). Experimentos mais recentes por [Marengo et al. \(2012\)](#) foram desenvolvidos utilizando uma versão melhorada do modelo regional ETA, desenvolvida no Brasil, com as condições de contorno provenientes do modelo global HadCM3 para o período 2010-2100, como é apresentado na seguinte figura:



FONTE: [PBMC \(2012\)](#)

FIGURA 20- Projeção regional do clima nos biomas brasileiros, no século XXI.

[Barros et al. \(2000\)](#) afirmam que, no Brasil, ocorrem chuvas mais abundantes no verão na maior parte do território brasileiro. Mas em [Azevedo \(1974\)](#), é proposta uma observação regional das chuvas, constatando que o sul tem ocorrência, em termos médios de precipitações anuais mais intensas que no sudeste. Para o estado do Paraná, junho, julho e agosto são os meses mais secos e que o período de dezembro a fevereiro consiste nos meses mais chuvosos. Nos períodos em que ocorre o evento *El-Niño/Southern-Oscillation* (ENSO), os invernos no estado do Paraná são mais chuvosos e ocorrem cheias catastróficas.

Sendo assim, a variabilidade da precipitação mensal e anual foi estudada na bacia do rio Iguaçu, Paraná ([AZEVEDO; NERY; ANDRADE, 2006](#)). Concluíram que a variação pluvial está associada fortemente ao fenômeno ENSO, no entanto existe variabilidade também em anos em que não ocorre o ENSO, porém menos significativa. Constata-se então que nem sempre a variabilidade climática está associada a fenômenos como o ENSO.

Para a cidade de Curitiba, [Ploszai \(2014\)](#) analisou as tendências no regime de chuvas com informação da estação código ANA 02549006, escolhida por ser representativa ou estação chave da região sul do Brasil, por sua localização e longo período de observações, portanto ideal para se trabalhar com mudanças climáticas. As análises realizadas tanto no período histórico, quanto no período futuro com os modelos ETA, PROMES e RCA1, permitiram concluir que os cenários gerados pelo modelo ETA apresentam resultados melhores para a região de Curitiba. Dita informação foi chave para estimar os valores dos

cenários concernentes à intensidade média anual projetada a 30 anos como é apresentado na seção 4.2.3.

3.8.3. Cobertura no sistema de abastecimento de água.

A captação direta de águas pluviais nas edificações pode ser considerada ainda como uma fonte alternativa para a redução da demanda do sistema público de abastecimento de água. O aproveitamento de águas pluviais mostra-se eficaz, inclusive na economia de energia neste sistema (COHIM; ALMEIDA; KIPERSTOK, 2007). Por conseguinte, para ter em conta as medidas de drenagem que podem contribuir à diminuição do consumo de água nas moradias, Destro (2016) propôs unir os módulos de drenagem com o módulo do sistema de abastecimento de água no UWU .

Para o cálculo da cobertura do sistema de abastecimento de água, primeiramente é necessário o cálculo do consumo per capita atual bruto (q_{t0}), sendo q_{e0} o consumo per capita neto e Id o índice de perdas na rede de abastecimento, conforme o seguinte equacionamento:

$$q_{t0} = \frac{q_{e0}}{(1-Id)} \quad (35)$$

O consumo atual de água da área ($Qsaa_0$) é estimado por:

$$Qsaa_0 = \frac{q_{t0} * P_0}{86400} \quad (36)$$

Por outro lado, os consumos de água futuros são afetados pela renda per capita (Equação 38) segundo Dias; Martinez e Libâno (2010) e pelas diferenças de temperatura causadas pelas mudanças climáticas (Equação 39) segundo o afirmado por Staats (2014).

Dias; Martinez e Libâno (2010) estimaram dez equacionamentos por meio dos quais é possível estimar o consumo da água baseado na Renda per-capita deflacionada (RPd). Tendo em conta os equacionamentos apresentados pelos autores, o seguinte é usado no UWU :

$$q_{e_n} = 0,118.RPd_n + 82,643 \quad (37)$$

Onde:

q_{e_n} = Consumo de água per capita no cenário n ($L/hab. d$).

RPd_n = A renda per capita deflacionada produto da taxa de inflação na área de estudo no cenário n ($R\$/hab. mês$)

O consumo de água também é influenciado pelas mudanças de temperatura, pelo que se teve em conta dados generalizados (Staats, 2014 apud Destro, 2016). Portanto, o futuro de água per capita consumida, é estimada conforme a Equação 38:

$$q_{en} = (0,118.RPd_n + 82,643) + 5,6\Delta T_n \quad (38)$$

Onde:

ΔT_n = mudança da temperatura na média anual no cenário n ($^{\circ}C$)

Este é o equacionamento padrão pela qual o UWU estima o consumo per capita de água futuro influenciada pela renda per capita e mudanças da temperatura.

Depois de ter calculado o consumo de água per capita, pode ser estimado o consumo total de água potável per capita conforme o seguinte equacionamento:

$$q_{tn} = \frac{q_{en}}{(1-Id)} \quad (39)$$

O cálculo do consumo de água nos cenários de população atual e futuro, por sua vez, são calculados com o seguinte equacionamento:

$$Qsaa_n = \frac{q_{tn} * P_n}{86400} \quad (40)$$

Como foi explicado na seção 3.7, o UWU simula uma serie de grupos de medidas que além de reduzir a vazão de escoamento crítico, reduzir as cargas de contaminantes, também reduz o consumo per capita de água devido ao aproveitamento das águas pluviais para fins não potáveis, influenciando assim a cobertura futura no sistema de abastecimento de água. Assim, é importante ressaltar que os usos não potáveis de água para rega de jardins, lavagem de carros e descargas em bacias sanitárias soma em torno de 50% da demanda total de água em uma residência, percentual representativo e que pode ser suprido por um sistema de aproveitamento de água pluvial (TOMAZ, 2003).

CAPÍTULO 4- MATERIAIS E MÉTODOS

“Education is what remains after one has forgotten what one has learned in school”

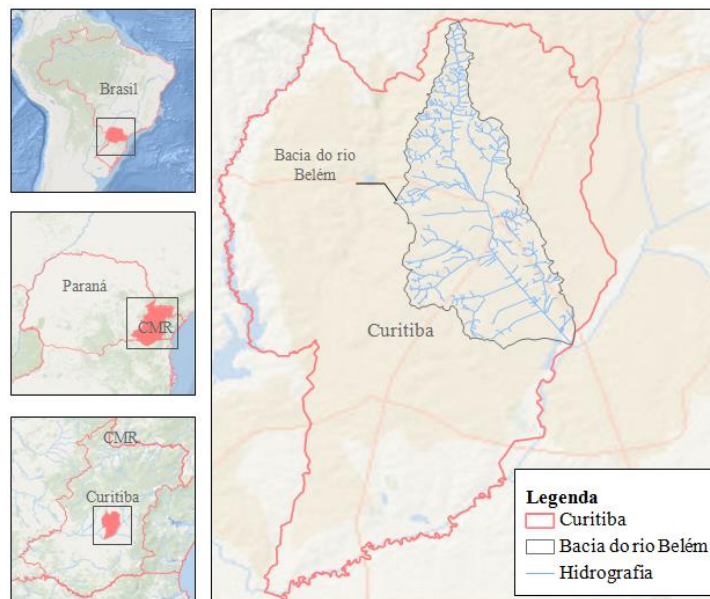
Albert Einstein

O presente trabalho propõe uma metodologia para a avaliação de sistemas de drenagem urbana pelo UWU, de modo a possibilitar a hierarquização de grupos de medidas como é apresentado neste capítulo.

4.1. ESTUDO DE CASO

Curitiba localiza-se na região sul do Brasil, a 25° 25'48" S e 49° 16'15" W. É a capital do estado do Paraná e configura a nona aglomeração urbana mais populosa do Brasil, com uma população estimada de 1.751.907 habitantes em uma área de 437,42 km² (IBGE, 2013b).

A cidade de Curitiba está localizada na bacia do Alto Iguaçu, a qual por sua vez é composta por cinco sub-bacias: Atuba, Barigui, Belém, Passaúna e Ribeirão dos Padilhas conforme o apresentado na FIGURA 21. A sub-bacia do rio Belém é uma das bacias mais críticas de Curitiba, em virtude da crescente taxa de urbanização das últimas décadas, da elevada densidade populacional e dos recorrentes problemas de poluição. Todas as cabeceiras e nascentes da sub-bacia do rio Belém situam-se dentro da cidade de Curitiba, denominada assim uma bacia urbana.

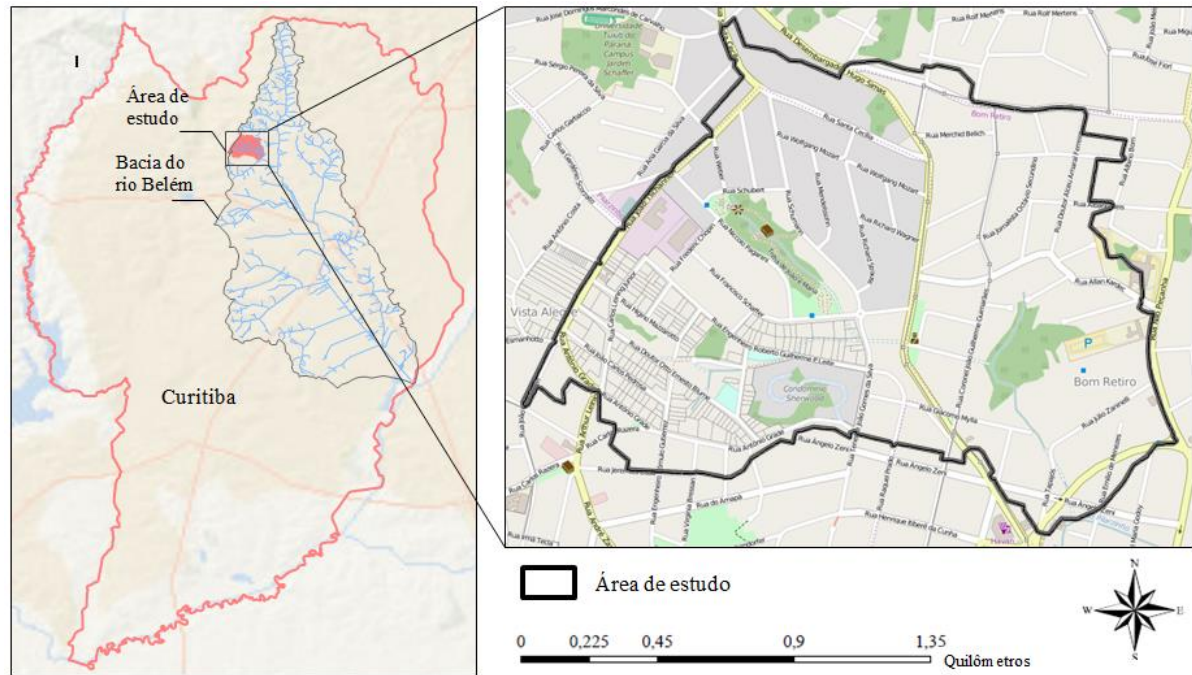


Fonte: Adaptado de IPPUC e OpenStreetMaps® apud Destro, 2016

FIGURA 21- Localização de Curitiba e a bacia do rio Belém

A área de estudo escolhida está inserida na sub-bacia do rio Belém. Para delimitar o recorte de estudo, foram considerados dois critérios: a facilidade de isolar a área a partir dos divisores de águas e a disponibilidade de informação estrutural de saneamento. Também foi considerado o interesse do Instituto de Pesquisa e Planejamento Urbano de Curitiba (IPPUC) para testar o modelo desenvolvido por Destro (2016) na área escolhida, a qual é apresentada na FIGURA 22.

A sub-bacia do rio Belém tem 87,85 km² e seus principais afluentes são os rios Ivo, Juvevê e Água Verde. Esta área apresenta um elevado índice de crescimento populacional, além de problemas de contaminação hídrica. Na última classificação disponibilizada pelo IAP (2009), o rio Belém foi considerado "poluído". Em complemento à caracterização da área de estudo, os aspectos sociais, geológicos, climáticos, técnicos e qualidade da drenagem são apresentados a seguir.



Fonte: Adaptado de IPPUC e OpenStreetMaps® apud Destro, 2016

FIGURA 22- Localização da área de estudo

A área de estudo corresponde a 148 ha da área residencial, situada na divisa entre os bairros Bom Retiro, Vista Alegre e Pilarzinho. O recorte é delimitado pelas ruas Cláudio Manoel da Costa ao Norte, rua Ângelo Zeni ao Sul, rua Nilo Peçanha a Leste e rua João Tschannerl a Oeste, abrangendo um trecho da Avenida Desembargador Hugo Simas.

4.1.1. Aspectos sociais

A importância da contextualização social se deve ao impacto do pós-desenvolvimento sobre a impermeabilização da área de estudo. A população correspondente à área de estudo é de 3959 habitantes, com uma densidade de 27 hab/ha. Para calcular o crescimento populacional atual de Curitiba (λ_0), os dados históricos e dados projetados da TABELA 7 foram aplicados na Equação 41. Assim, a taxa de crescimento populacional atual foi estimada em 0,99 % por ano.

$$\lambda_0 = \left[\left(\sqrt[10]{\frac{P_{2010}}{P_{2000}}} \right) - 1 \right] \times 100 \quad (41)$$

TABELA 7- Historico de população de Curitiba

Ano	1991	1996	2000	2010	2015
População (hab)	1315035	1465504	1587315	1751907	1879355

FONTE. Adaptado de IBGE (2013).

Com base na TABELA 8 e considerando que a taxa de crescimento populacional de Curitiba diminuirá na mesma taxa linear do Estado do Paraná, o valor mínimo do crescimento populacional em Curitiba foi fixado em 0,50 % por ano. Este valor equivale à taxa média de crescimento populacional entre os anos 2015 e 2030 em Curitiba. Por outro lado, o valor máximo do crescimento populacional em Curitiba foi estabelecido em 1,0 % por ano. Este valor, por sua vez, corresponde a um pequeno aumento no crescimento populacional, o qual foi considerado para a formulação do cenário crítico apresentado na TABELA 16.

TABELA 8- Taxa de crescimento de Paraná e Brasil

Região	Ano									
	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
Brasil	1,4	1,36	1,31	1,27	1,22	1,18	1,14	1,09	1,05	1,01
Paraná	1,25	1,2	1,15	1,11	1,06	1,02	0,98	0,94	0,91	0,87

Região	Ano									
	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Brasil	0,97	0,93	0,9	0,86	0,83	0,8	0,77	0,73	0,7	0,67
Paraná	0,85	0,83	0,8	0,77	0,73	0,71	0,7	0,67	0,64	0,61

Região	Ano									
	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
Brasil	0,64	0,61	0,58	0,55	0,52	0,49	0,46	0,44	0,41	0,38
Paraná	0,57	0,53	0,51	0,48	0,45	0,42	0,38	0,35	0,32	0,3

FONTE. Adaptado de [IBGE \(2013\)](#).

Outro aspecto importante na caracterização da cidade de Curitiba é sua renda média per capita, que é de 1.587,61 R\$/hab.mês. Este valor é superior à renda per capita do estado do Paraná (1.210,00 R\$/hab.mês) e do Brasil (919,82 R\$/hab.mês) ([IBGE, 2013](#)).

Há grandes diferenças entre a renda per capita em diferentes bairros na cidade de Curitiba. A renda per capita atual foi estimada como a média aritmética da renda per capita na área de estudo. Assim, a renda média per capita atual nesta área específica, adaptada em 35.000,00 R\$/ hab.ano ([IBGE, 2013 apud Destro, 2016](#)).

Para formular o cenário crítico na presente pesquisa, a renda per capita foi deflacionada com uma projeção de 30 anos. Os cálculos tomaram por base o histórico da inflação da TABELA 9.

TABELA 9- Histórico da inflação no Brasil

	Ano					
	2000	2006	2008	2009	2010	2016
Taxa de Inflação (%)	5,97	3,14	5,9	4,31	5,91	7,3

FONTE. Adaptado de [IBGE, 2016](#).

De acordo com o histórico das taxas de inflação no Brasil, foi estimada uma média de 6%, a qual foi assumida como a taxa máxima de inflação. Em contrapartida, foi adotada a taxa mínima de inflação dos últimos dez anos, que corresponde a 4,31 %.

4.1.2. Aspectos geológicos

Um fator importante a considerar nas medidas de infiltração é a colmatção do solo em zonas urbanas que é função da intensidade do tráfego, visto que onde existe, há uma compactação provocada pela passagem de veículos (VIRGUILIIS, 2009). Diante do exposto, ao pensar em calçadas, pode-se entender que elas sejam mais vulneráveis à colmatção, uma vez que, o tráfego de pedestres é altamente influente. Desta maneira, segundo Marchioni e Silva (2011), deve-se aplicar uma redução de permeabilidade como fator de segurança (α) devido à futura colmatção e/ou impermeabilização do sistema ao longo da sua vida útil.

Neste sentido, a taxa de infiltração do solo é um parâmetro crítico para a concepção de medidas de infiltração SuDS. O valor limitante de permeabilidade de ditas estruturas é de, no máximo, 5 mm/h (10^{-6} cm/s), presente geralmente em limos e argila, no qual a utilização dos dispositivos de infiltração SuDS não são recomendados (Ellis *et al.*, 2006). A área de estudo corresponde à formação geológica do complexo cristalino, composto por sedimentos de tipo alterados ou fraturados com coeficiente de permeabilidade (K) de 10^{-3} a 10^{-5} m/s. Assim, este solo é considerado apto para a implementação de medidas de infiltração (Giusti, 1989).

4.1.3. Aspectos climáticos

Em referência às temperaturas médias mensais, nas regiões Sul e Sudeste, o Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas (PBMC) projetou até o ano de 2040 um aumento relativamente baixo na faixa de 0,5 a 1°C. Em meados do século (2041-2070), continuam as tendências de aumento gradual na temperatura de 1,5 a 2°C (PBMC, 2012) como é apresentado na FIGURA 20. Para a projeção da temperatura, foram analisados os dados obtidos no *World Meteorological Organization*. Assim, os efeitos das mudanças climáticas (MC) nas temperaturas médias mensais de Curitiba foram ajustados segundo a informação obtida do PBMC (2012).

No que se refere à intensidade de chuva média mensal, na presente pesquisa foi adotada a informação da precipitação gerada pelo modelo ETA ao longo dos próximos 30 anos desenvolvido por Ploszai (2014), quem utilizou a estação código ANA 02549006 para a cidade de Curitiba, escolhida por ser representativa ou estação chave da região sul do Brasil, por sua localização e longo período de observações, portanto ideal para se trabalhar com mudanças climáticas. A projeção das intensidades médias anuais, adjuntas na TABELA 10 foram utilizadas na formulação dos cenários críticos no UWU

TABELA 10- Projeção das intensidades de chuvas médias anuais para a cidade de Curitiba

Mês	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Jan	164,60	154,26	158,80	157,97	5,96	167,39	148,55	5,17	166,13	149,80
Fev	144,40	123,51	133,15	133,20	5,26	140,21	126,19	10,44	147,11	119,29
Mar	126,95	117,31	123,03	140,27	5,08	147,41	133,14	4,82	147,03	133,51
Abr	79,10	83,76	92,50	100,44	4,10	104,56	96,32	2,33	102,77	98,10
Mai	70,60	71,01	92,17	94,35	6,73	100,71	88,00	0,21	94,55	94,16
Jun	84,60	65,27	79,71	80,02	5,65	84,54	75,50	9,66	87,76	72,29
Jul	91,20	80,74	85,37	73,78	6,06	78,25	69,30	5,23	77,64	69,92
Ago	62,90	65,17	95,75	91,49	8,20	98,99	83,99	1,13	92,52	90,45
Set	115,80	127,59	139,63	146,91	8,34	159,16	134,66	5,90	155,58	138,25
Out	134,05	174,53	197,79	211,30	9,54	231,46	191,14	20,24	254,07	168,53
Nov	106,50	155,78	169,08	175,57	6,60	187,16	163,99	24,64	218,83	132,32
Dec	149,10	158,97	166,18	179,11	6,92	191,50	166,71	4,93	187,94	170,27
Soma (mm/ano)	1329,80	1377,90		1584,41		1691,33	1477,48		1731,93	1436,89

FONTE. Adaptado de Ploszai (2014)

As colunas da TABELA 10, referem-se a:

1. A média do histórico de chuvas no período de 1961 até 2012.
2. A média das chuvas projetadas pelo modelo ETA no período de 1961 até 2012.
3. A média das chuvas projetadas pelo modelo ETA no período de 1961 até 2046.
4. A média das chuvas projetadas pelo modelo ETA no período de 2016 até 2046.
5. O erro padrão das chuvas do modelo ETA no período 1961 até 2046.
6. Ajuste máximo da média das chuvas projetadas pelo modelo ETA no período de 2016 até 2046 com o erro padrão das chuvas do modelo ETA no período 1961 até 2046
7. Ajuste mínimo da média das chuvas projetadas pelo modelo ETA no período de 2016 até 2046 com o erro padrão das chuvas do modelo ETA no período 1961 até 2046.
8. O erro padrão da média do modelo ETA e a média do histórico de chuvas no período 1961 até 2046.
9. Ajuste máximo da média das chuvas projetadas pelo modelo ETA no período de 2016 até 2046 e o erro padrão da média do modelo ETA e a média do histórico de chuvas no período 1961 até 2046.
10. Ajuste mínimo da média das chuvas projetadas pelo modelo ETA no período de 2016 até 2046 e o erro padrão da média do modelo ETA e a média do histórico de chuvas no período 1961 até 2046.

Como é evidente, nas colunas 5 e 8 são apresentados os erros padrão. Por se tratar de um modelo, os valores dos erro são mais uniformizados na coluna 5 do que na coluna 8 que é baseada em dados históricos.

Além disso, as porcentagens de erro mais elevadas são nos meses de outubro e novembro (ver FIGURA 23). Neste contexto, [Tozzi \(2014\)](#) realizou uma análise da estacionariedade das séries hidrológicas de chuva e vazão das regiões Sul e Sudeste do Brasil, onde concluiu que apenas as séries hidrológicas do Sul poderiam ser caracterizadas como não estacionárias com significância relevante. As séries hidrológicas podem apresentar um comportamento não estacionário devido a vários fatores, entre os quais pode-se destacar a possível alteração climática ou alterações nas características da bacia hidrográfica segundo explica [Ploszai \(2014\)](#). Em Curitiba o comportamento não estacionário apresenta maior relevância principalmente nos meses de outubro e novembro conforme o apresentado na seguinte figura:

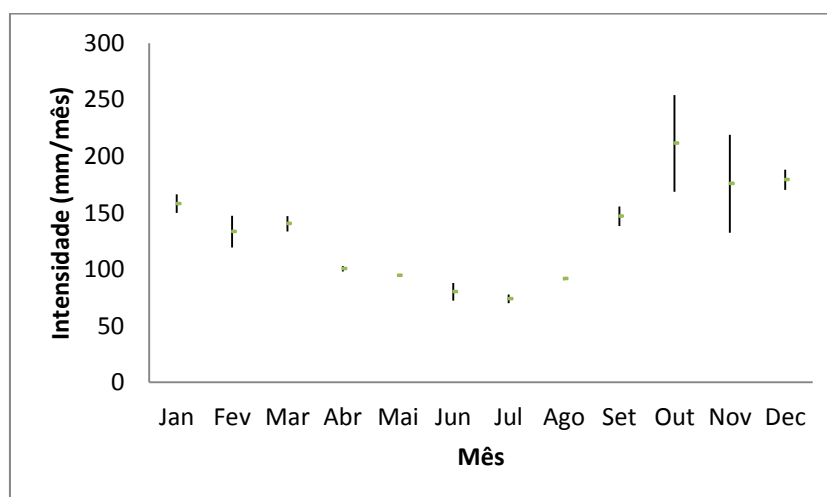


FIGURA 23- Variações das precipitações médias mensais para a cidade de Curitiba

FONTE. Adaptado de [Ploszai \(2014\)](#)

Contudo, na presente pesquisa foi adotada a intensidade média anual mínima e máxima das colunas 9 e 10 da TABELA 10, ou seja, de 1436,89 mm e 1731,93 mm respectivamente e cujas faixas das variações mensais são apresentados na FIGURA 23. O anterior, por se tratar de uma informação baseada num erro padrão entre os dados históricos e projetados pelo modelo ETA. Além, é possível observar uma maior faixa entre a intensidade média anual mínima e máxima (se comparamos com a coluna 6 e 7), dando assim, maior probabilidade de advenho ao ano 2046.

No que concerne a Intensidade máxima da chuva horária, [Rummukainen \(2013\)](#) afirma que uma maneira de abordar a análise e planejamento das intensidades máximas frente às mudanças climáticas é considerar o conceito de períodos de retorno. Por exemplo, um evento de 100 anos sob o clima atual poderia, ao longo do tempo, se tornar um evento de 20 anos. Da mesma forma, a gravidade de um evento futuro de 100 anos pode ser diferente do evento de 100 anos de hoje. Assim, dito conceito foi utilizado para a projeção das Intensidades Máximas Horárias nos cenários como será apresentado na seção 4.2.3.

Por conta disso, e devido à falta de informação histórica dos dados de intensidade máxima horária, foram avaliadas as mesmas com base em informações históricas de precipitações máximas diárias da estação código ANA 02549006, do ano 1889 até o 2015 da cidade de Curitiba e o equacionamento 33 de [Fendrich \(2003\)](#).

4.1.4. Aspectos técnicos

A coleta da informação técnica foi feita em duas etapas, a primeira foi bibliográfica e a segunda utilizando a ferramenta StormCad.

- *Consulta bibliográfica:* Em relação à infraestrutura urbana de água, Curitiba tem uma cobertura sanitária satisfatória em relação à realidade brasileira. Dados oficiais da SANEPAR mostram que em 2014, a cobertura da rede de esgoto na cidade de Curitiba foi igual a 65%. e o índice de tratamento de esgoto foi igual a 99,5%. Já a cobertura do sistema de abastecimento de água foi igual a 100%, segundo dados oficiais ([ITB, 2013](#) e [SNIS, 2013](#)). A partir destes dados, os aspectos técnicos de entrada no UWU, mais importantes para o projeto das medidas de drenagem, são apresentados na TABELA 11.

TABELA 11- Aspectos técnicos da área de estudo

Parâmetro	Dado
¹ *Perdas de água na distribuição	30%
¹ Cobertura de abastecimento de água	100%
² Aproveitamento de água para fins não potáveis	50%
¹ Coefficiente de escoamento	
Telhados	0.80
Pavimentos	0.85

*Estimados, pois não há dados específicos para a área.

FONTE: Adaptado de ¹[Destro \(2016\)](#) e ²[Tomaz \(2003\)](#)

No que concerne à qualidade da água na rede de drenagem, na área não existem estudos. Pelo anterior, foram considerados os dados mais altos das literaturas consultadas e apresentadas na seção 3.8.2, onde segundo [Ellis et al.\(2006\)](#) a concentração de poluentes na vazão de escoamento é de: 190 mg/L de Sólidos Suspensos Totais (SST); 3,2 mg/L de Nitrogênio Kjeldahl Total (NTK) e 0,34 mg/L de Fósforo Total (PT), informação que será utilizada como dados de entrada no modelo.

- *Modelagem com StormCad*: Esta ferramenta foi utilizada para determinar a capacidade máxima do interceptor existente e foi baseada em informação suministrada pela prefeitura de Curitiba. Para a modelagem foi necessária a digitalização CAD do interceptor, o traçado das áreas de drenagem e informação adicional como o diâmetro da rede, curvas IDF e o coeficiente de escoamento que varia em função do crescimento populacional (equação 41) conforme o apresentado na TABELA 12.

TABELA 12- Informação base para a modelação no software StormCad

Variável	Informação
Equacionamento hidraulico	Maningng
Diametro	40in e 50in
Cota inicial	966,5 m
Cota final	916 m
Material	Concreto
Manning's n	0,013
Curvas IDF	Equação 33
Periodo de retorno	5 anos
Coeficiente de escoamento medio	Equação 30
Coeficiente de escoamento atual	0,37
Coeficiente de escoamento cenário mínimo ao ano 2046	0,4
Coeficiente de escoamento cenário máximo ao ano 2046	0,42

Gerando por último três simulações para cada um dos coeficientes de escoamento. Desta maneira foi possível calcular a capacidade máxima da rede pluvial, ou seja, a *vision*, além em os cenários mínimo e máximo foi possível determinar a existência de extravasamento conforme o apresentado no APÊNDICE C.

4.2. APLICAÇÃO DO MODELO

A estrutura do modelo UWU está apresentada na FIGURA 24 onde as contribuições desta pesquisa foram assinalados em amarelo e serão apresentadas nesta seção.

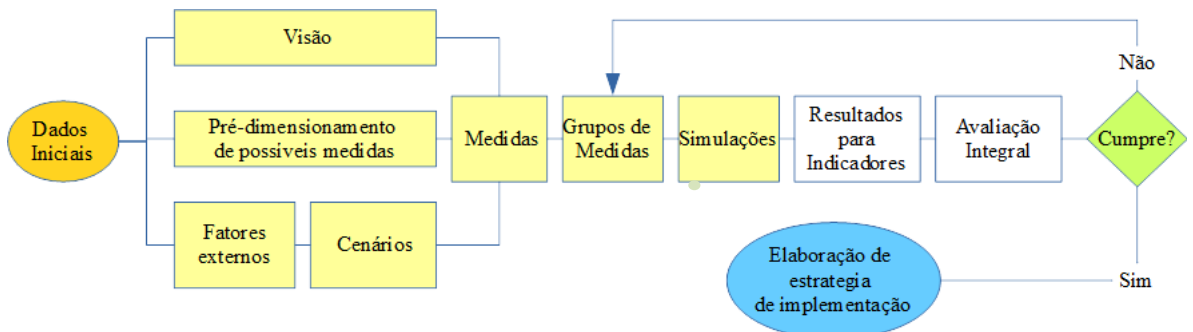


FIGURA 24- Estrutura do UWU .

4.2.1. Dados iniciais

Com base na informação apresentada na seção 4.1, os dados de entrada ao UWU são apresentados na seguinte Tabela.

TABELA 13- Dados de entrada ao UWU

Parâmetro	Dado	Unidade
¹ Tempo de Projeção	30	anos
Área de estudo	148	ha
² População atual	3959	hab
² Taxa de crescimento populacional	0,99	-
² Cobertura da rede de água	100	%
¹ Perdas de água na distribuição	30	%
³ Aproveitamento para fins não potáveis	50	%
*Tempo de concentração da bacia	34	min
**Intensidade máxima	82,89	mm/h
² Intensidade média anual	1329,8	mm/ano
² Temperatura mínima média anual	12,65	°C
² Temperatura média anual	17,55	°C
² Temperatura máxima média anual	22,45	°C
⁵ Nitrogênio Kjeldahl Total	3,2	mg/l
⁵ Fósforo Total	0,34	mg/l
⁵ Sólidos Suspensos Totais	190	mg/l

*Calculado com o Equacionamento 35; **Calculado com o Equacionamento 33.

FONTE: Adaptado de ¹Destro (2016); ²IBGE (2014); ³Tomaz (2003); ⁴World Meteorological Organization (2017) e ⁵Ellis et al. (2006)

4.2.2. Elaboração da Vision

A digitalização da rede de drenagem pluvial permitiu determinar a vazão máxima de drenagem, ou seja, a vazão a partir da qual inicia a inundação considerando assim esta como a *Vision*.

Por outro lado, para a cobertura de abastecimento, foi considerada 80%, devido que além do aproveitamento para fins não potáveis, outros esforços no sistema convencional devem ser feitos para assim garantir a cobertura de abastecimento do 100% na área de estudo. No que concerne às cargas de contaminantes, estas foram calculadas projetando a influência do inevitável crescimento da população sobre a impermeabilização. Por ultimo, cumpre esclarecer que foram realizadas consultas (APÊNDICE D) a especialistas da engenharia para a obtenção dos pesos dos indicadores consolidados na TABELA 14.

TABELA 14- Formulação da *vision* e pesos

Indicadores		Vision	Peso
Vazão de escoamento crítico	m^3/s	8,03	0,33
Carga de Nitrogêniokjeldahl total	tonNTK/ano	1700,44	0,17
Carga de Fósforo total	tonPT/ano	180,67	0,12
Carga de Solidos Suspensos Totais	tonSST/ano	100963,74	0,17
Cobertura do sistema de água	%	80	0,22
		Σ	1

4.2.3. Elaboração dos Cenários

A elaboração de cenários leva em conta os seguintes fatores externos: taxa de crescimento populacional (λ_p), aumento da temperatura média anual (ΔT), taxa de inflação (λ_i), intensidade da chuva máxima horária ($I_{m\acute{a}x}$) e intensidade da chuva média anual (I_{med}). Na TABELA 15 são apresentados os fatores externos conforme cada pesquisa baseada no UWU.

TABELA 15- Fatores externos segundo cada pesquisa do UWU

Fator externo	Santos; Van Der Steen (2011)	Destro, (2016)	Presente pesquisa
Taxa de crescimento Populacional	x	X	x
Renda per capita	x	X	
Taxa de inflação			x
Temperatura média anual	x	X	x
Intensidade da chuva máxima horária		X	x
Intensidade da chuva média anual			x

Os estados atual, mínimo e máximo adotados são apresentados na TABELA 16 e a conjugação conforme os cenários é apresentada na TABELA 17.

TABELA 16- Formulação dos fatores externos

Fatores externos		Atual	Mínimo	Máximo
Taxa de crescimento populacional	λ_p (%/ano)	0,99	0,50	1
Taxa de inflação	λ_i (ano^{-1})	0,07	0,04	0,06
Mudança da temperatura média anual	ΔT ($^{\circ}\text{C}$)	0	0,50	1,5
Intensidade de precipitação máxima	I_{max} (mm/h)	82,89	93,25	101,70
Intensidade de precipitação média	I_{med} (mm/ano)	1329,80	1436,89	1731,93

Assim, foram propostos os cenários influenciados pelos fatores externos produto das mudanças climáticas e socioeconômicas, conforme o apresentado na FIGURA 25.

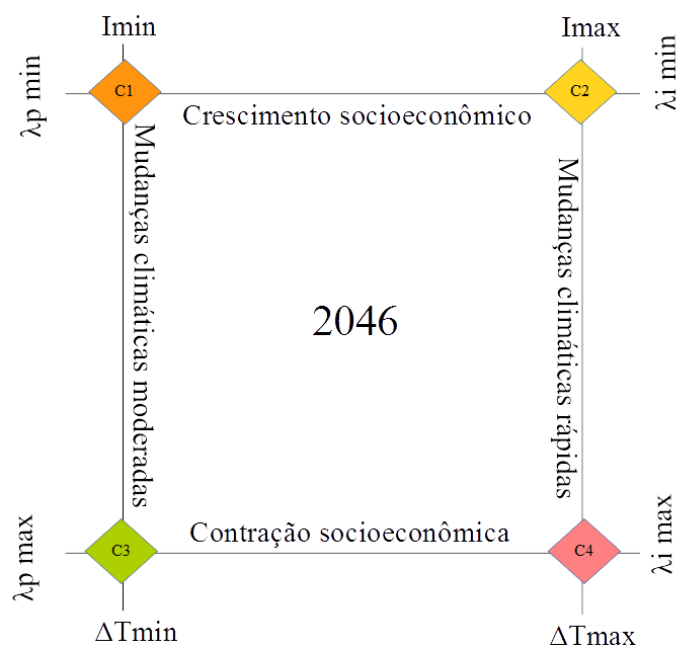


FIGURA 25- Construção dos cenários

A anterior figura permite evidenciar a conjugação dos cenários e fatores externos seguindo a metodologia do ADM conforme o apresentado na TABELA 17.

Desta maneira, quanto mais rápidas sejam as mudanças climáticas, maior é o aumento da temperatura média e a intensidade de precipitação.

Por outro lado, no que concerne a variável socioeconômica, a mesma influenciada pela taxa de inflação e crescimento socioeconômico. Assim, quando a taxa de inflação aumenta, o consumo diminui pela desvalorização da moeda. Este fenômeno força ao caimento dos preços e aumenta os níveis do desemprego. Portanto, na presente pesquisa foi adotado que quanto maior o desemprego, maior é o nível de pobreza aumentando assim a taxa de natalidade. Contudo, é preciso esclarecer que pobreza e natalidade são variáveis que possuem dinâmicas relativamente autônomas e nem sempre seguem uma mesma tendência.

Nesta Tabela, é possível evidenciar que cada fator externo nos cenários tem um subíndice, podendo ser “1” ou “2”, estes representam os aumentos mínimo e máximo respectivamente.

TABELA 17- Elaboração dos fatores externos e cenários adotados

Fatores externos			Atual	C1	C2	C3	C4
<i>Taxa de crescimento populacional</i>	λp	(%/ano)	λp_0	λp_1	λp_1	λp_2	λp_2
<i>Taxa de inflação</i>	λi	(ano ⁻¹)	λi_0	λi_1	λi_1	λi_2	λi_2
<i>Mudança da temperatura média anual</i>	ΔT	(°C)	ΔT_0	ΔT_1	ΔT_2	ΔT_1	ΔT_2
<i>Intensidade de precipitação máxima</i>	I_{max}	(mm/h)	I_{max_0}	I_{max_1}	I_{max_2}	I_{max_1}	I_{max_2}
<i>Intensidade de precipitação média</i>	I_{med}	(mm/ano)	I_{med_0}	I_{med_1}	I_{med_2}	I_{med_1}	I_{med_2}

4.2.4. Medidas SuDS e locação

Como estratégia para alcançar o proposto no segundo objetivo específico, foram locadas das medidas de drenagem urbana sustentável, adotando as ferramentas de Sistema de Informação Geográfica (SIG), disponíveis em ArcGis e Google Earth Pro de Julho do 2016, que possibilitam a manipulação de dados espaciais de maneira rápida e eficiente, aumentando a eficácia na análise e tomada de decisões (WOODS-BALLARD et al., 2007). Mediante estas ferramentas digitais, foram identificadas as áreas permeáveis, por serem a parte do terreno que permite que a água da chuva seja absorvida pelo solo, definidas também como o potencial de impermeabilização das propriedades públicas e privadas.

Para definir a localização das medidas de drenagem, foi adotado o traçado da Área de Preservação Permanente (APP) com uma faixa de influência de 30 m ao longo do corpo hídrico como estabelece o Código Florestal para zonas urbanas (Lei Federal nº 12.651/2012) (BRASIL, 2012).

Nesse contexto, foram locadas medidas SuDS sustentáveis sobre a APP, como pilar da sustentação do direito fundamental ao ambiente ecologicamente equilibrado e garantia das presentes e futuras gerações. Neste sentido, as medidas SuDS construídos em áreas privadas com fins residenciais não são uma exceção devido que além de atenuar o escoamento pico na rede de drenagem, busca o aproveitamento das águas chuva para fins não potáveis além da indiscutível prevalência do direito fundamental à propriedade.

Contudo, outros aspectos para a locação dos SuDS foram tidos em conta como: a geometria, a área disponível, a densidade vegetativa e o tipo de área, ou seja, se é uma área privada ou pública, conforme apresentado na FIGURA 26.

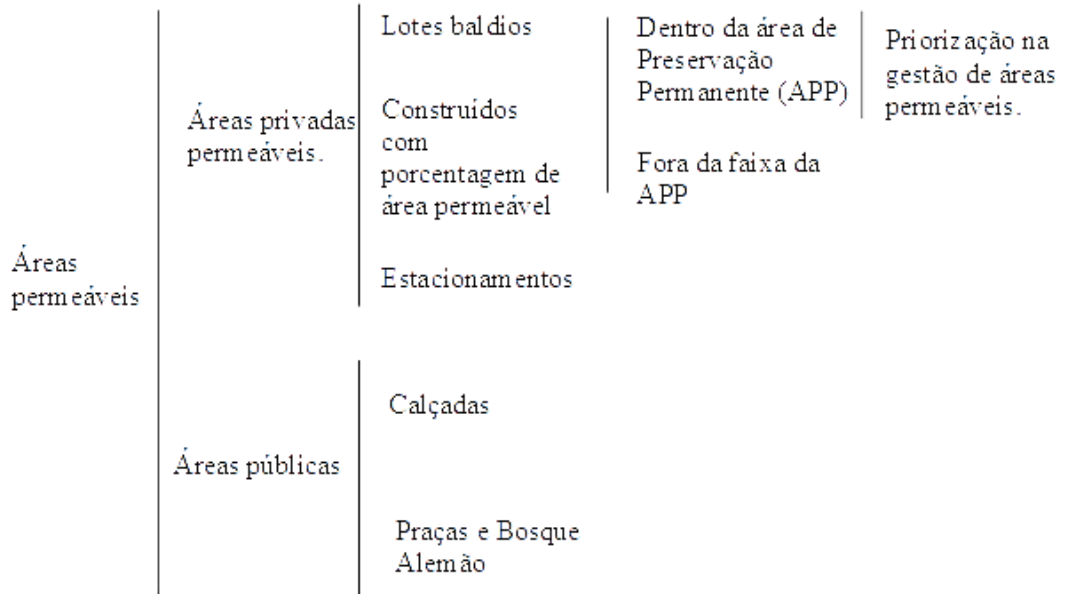


FIGURA 26- Classificação das áreas permeáveis

É importante ressaltar que em algumas áreas não foi possível a formulação dos SuDS, devido à impermeabilização e à inviabilidade econômica das possíveis mudanças estruturais.

Dentro das áreas públicas, a área de estudo, conta com três praças e o Bosque Alemão conforme o apresentado na FIGURA 27. No caso das calçadas, foram considerados aspectos urbanísticos, como apresentado na FIGURA 7 e na FIGURA 8 (BOGOTA, 2011).

Também são fatores importantes as áreas tributárias e o coeficiente de escoamento superficial, para decidir quais medidas são admitidas. Bacias de detenção e *wetlands* construídos, por exemplo, requerem uma área tributária significativa (normalmente superior a oito hectares) (ELLIS et al., 2006) para garantir um funcionamento eficaz dentro de um desenvolvimento urbano típico e para combater as secas causadas em períodos de verão.



FIGURA 27- Localização do bosque Alemão e praças

Após ter locado as medidas SuDS, o passo seguinte foi o pré-dimensionamento hidrológico, entendido aqui como a etapa que associa uma chuva de projeto a um balanço hídrico simplificado, com vistas ao cálculo de volumes de armazenamento necessários e, em consequência, das dimensões mínimas das medidas, assim, na seção 3.5 foram apresentados os equacionamentos de pré-dimensionamento das medidas SuDS seguindo a metodologia do Manual de drenagem urbana da [SUDERHSA \(2002a\)](#).

Ao pré-dimensionamento hidrológico devem superpor-se outras exigências, como as requeridas, por exemplo, pelo dimensionamento estrutural. Assim as soluções obtidas não devem ser utilizadas para dimensionamentos definitivos sem um julgamento adequado por parte do projetista,

4.2.5. Grupos de medidas

Foram criados grupos de medidas estrategicamente adotando a classificação apresentadas na FIGURA 4. Nesse sentido, foram estudados cinco grupos de medidas (GM_n), organizados da seguinte maneira:

GM	Medidas SuDS (M)							Critério
GM0	-							Sem intervenções
GM1	M1- MR	M2- TV						Avaliações com controle na fonte localizada
GM2	M3- TI	M4- PP						Avaliações com controle na fonte linear
GM3	M1- MR	M2- TV	M3- TI	M4- PP				Avaliações com controle na fonte localizada e linear
GM4	M5- BD	M6- BR	M7- WC					Avaliações com controle centralizado
GM5	M1- MR	M2- TV	M3- TI	M4- PP	M5- BD	M6- BR	M7- WC	Todas as medidas simultâneas
GM6	M1- MR	M2- TV	M3- TI	M4- PP	M5- BD	M6- BR	M7- WC	Todas as medidas simultâneas sobre a área de Proteção Permanente.

OBS:

Microreservatório (M1-MR); Telhado Verde (M2-TV; Trincheira de Infiltração (M3- TI); Pavimento Permeável (M4- PP); Bacia de Detenção (M5- BD); Biorretenção (M6-BR); Wetlands Construídos (M7-WC).

4.2.6. Simulação

A informação vinda da locação e pré-dimensionamentos constituem dados preliminares para as simulações e são apresentadas conforme a TABELA 18

TABELA 18- Informação das medidas de drenagem preliminar para as simulações

Medidas SuDS	Ap	A_M	Q_M
Microreservatório (M1-MR)	✓	A_{M_1}	Q_{M_1}
Telhado Verde (M2-TV)		A_{M_2}	Q_{M_2}
Trincheira de Infiltração (M3- TI)		A_{M_3}	Q_{M_3}
Pavimento Permeável (M4 - PP)		A_{M_4}	Q_{M_4}

Medidas SuDS	Ap	A_M	Q_M
Bacia de Detenção (M5- BD)		A_{M_5}	Q_{M_5}
Biorretenção (M6-BR)		A_{M_6}	Q_{M_6}
Wetlands Construídos (M7-WC)		A_{M_7}	Q_{M_7}

OBS:

Aproveitamento (Ap); - Área da medida (A_M); -área da medida x (A_{M_x}); Vazão de controle (Q_M); Vazão de controle da medida x (Q_{M_x})

Os anteriores são os dados de saída dos pré-dimensionamentos de cada uma das medidas e no caso, é a informação de entrada às simulações para o posterior cálculo da vazão de escoamento crítica, carga de contaminantes e cobertura do sistema de abastecimento de água como é apresentado na presente seção.

Após as simulações, os resultados foram avaliados utilizando o Índice de Efetividade (IE) conforme a FIGURA 18. Esta avaliação consta da comparação dos indicadores da visão com os resultados para cada GM simulado em cada cenário. Depois disso, é possível estabelecer uma hierarquia entre os grupos de medidas.

- *Simulação da vazão crítica de escoamento*

Uma vez estimada a vazão de controle (Q_{M_x}) para cada uma das medidas, se procede ao cálculo da vazão transbordada ($Q_{t,n}$) conforme o ilustrado na FIGURA 28

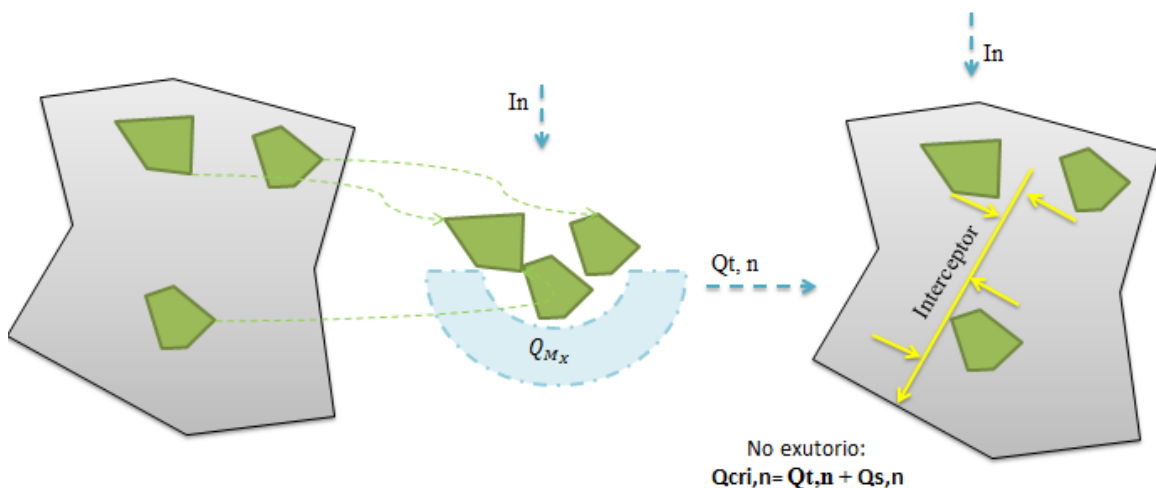


FIGURA 28- Estimativa da vazão crítica na rede de drenagem com a formulação dos SuDS

Onde:

- A_s = Área sem medidas
- A_{M_x} = Área da medida x
- I_n = Intensidade de precipitação no cenário n
- $Q_{t,n}$ = Vazão que transborda no cenário n
- $Q_{s,n}$ = Vazão crítica da área sem medidas no cenário n
- $Q_{cri,n}$ = Vazão crítica de escoamento no cenário n
- Q_{M_x} = Vazão de controle da medida x

Da FIGURA 28, é importante ressaltar que as variações da vazão de escoamento crítico, são produto das mudanças na intensidade de precipitação e o crescimento populacional para cada um dos cenários apresentados também na seção 4.2.3. Além disso, a vazão crítica no exutório é a somatória entre as vazões transbordadas e as vazões críticas da área sem medidas

Neste contexto, a simbologia da vazão total transbordada no GM_X é apresentada conforme a TABELA 19

TABELA 19- Vazão transbordada em cada um dos Grupos de Medidas

GM	Medidas SuDS							Q_{t,GM_x}
GM1	M1- MR	M2- TV						$\sum Q_{t,GM_1}$
GM2	M3- TI	M4- PP						$\sum Q_{t,GM_2}$
GM3	M1- MR	M2- TV	M3- TI	M4- PP				$\sum Q_{t,GM_3}$
GM4	M5- BD	M6- BR	M7- WC					$\sum Q_{t,GM_4}$
GM5	M1- MR	M2- TV	M3- TI	M4- PP	M5- BD	M6- BR	M7- WC	$\sum Q_{t,GM_5}$
GM6	M1- MR	M2- TV	M3- TI	M4- PP	M5- BD	M6- BR	M7- WC	$\sum Q_{t,GM_6}$

OBS:

$$Q_{t,GM_x} = \text{Vazão transbordada do grupo de medidas } x \text{ (m}^3/\text{s)}$$

Assim, a junção da informação é apresentada na TABELA 20 para o cálculo do indicador de sustentabilidade denominado vazão de escoamento superficial.

TABELA 20- Simulações da vazão de escoamento crítico

Indicadores	Cenários			
	C1	C2	C3	C4
Densidade Populacional (hab/ha)	$DH_1 = P_1 \div A$	$DH_2 = P_2 \div A$	$DH_3 = P_3 \div A$	$DH_4 = P_4 \div A$
Área Impermeável (%)	$AI_1 = 13 + 0,57DH_1$	$AI_2 = 13 + 0,57DH_2$	$AI_3 = 13 + 0,57DH_3$	$AI_4 = 13 + 0,57DH_4$
Coefficiente de escoamento	$Cv_{v,1} = 0,15 + 0,8 \cdot AI_1$	$Cv_{v,2} = 0,15 + 0,8 \cdot AI_2$	$Cv_{v,3} = 0,15 + 0,8 \cdot AI_3$	$Cv_{v,4} = 0,15 + 0,8 \cdot AI_4$
Vazão de escoamento crítico (m ³ /s)	$Q_{crit_1} = [Cv_{v,1} \times Imáx_1 \times (A - A_{GM_x})] + Q_{t,GM_x}$	$Q_{crit_2} = [Cv_{v,2} \times Imáx_2 \times (A - A_{GM_x})] + Q_{t,GM_x}$	$Q_{crit_3} = [Cv_{v,3} \times Imáx_3 \times (A - A_{GM_x})] + Q_{t,GM_x}$	$Q_{crit_4} = [Cv_{v,4} \times Imáx_4 \times (A - A_{GM_x})] + Q_{t,GM_x}$

OBS:

A = área da bacia

A_{GM_x} = área total de influencia do Grupo de Medidas

P_n = População no cenário n

- *Simulação da carga de contaminantes*

Para esta simulação foi considerado que cada medida tem uma eficiência de remoção cuja literatura foi apresentada na seção 3.8.2. Além disso, no pré-dimensionamento, foram estimadas as áreas tributárias de drenagem para cada uma das estruturas. Desta maneira, foi calculada a remoção das cargas de contaminantes “y” removidas ($L_{y,n}$) no cenário “n” conforme a equação 42

$$L_{y,n} = \sum_{M=1}^n [E_y \times [c]_y \times C_{v,M_X} \times Imed_n \times A_{M_X}] \quad (42)$$

Onde:

C_{v,M_X} = Coeficiente de escoamento médio na área tributária para a medida “M_x”

E_y = Eficiência de remoção do poluente y (ver TABELA 6)

$[c]_y$ = Concentração do poluente y

$Imed_n$ = intensidade média anual de precipitação no cenário n

A_{M_X} = Área tributária da medida “M_x”

A equação 43 é a estimativa de cada uma das medidas, mas estas medidas foram agrupadas no UWU, deste modo, a remoção total de contaminantes é estimada no seguinte equacionamento:

$$L_{GM_{y,n}} = \sum_{M=1}^n L_{y,n} = [c]_y \times Imed_n \times [(E_{y_{M_x}} \times C_{v,M_X} \times A_{M_X}) + (E_{y_{M_x}} \times C_{v,M_X} \times A_{M_X}) + \dots + (E_{y_{M_k}} \times C_{v,M_k} \times A_{M_k})] \quad (43)$$

Deste modo, a equação 44 representa o impacto dos grupos de medidas na remoção de contaminantes cujo resultado é introduzido na TABELA 21.

TABELA 21- Simulação das cargas de contaminantes

Indicadores	Cenários			
	C1	C2	C3	C4
Vazão de escoamento anual (m ³ /ano)	$Qmed_1$ = $[C_{v,1} \times Imed_1 \times A]$	$Qmed_2$ = $[C_{v,2} \times Imed_2 \times A]$	$Qmed_3$ = $[C_{v,3} \times Imed_3 \times A]$	$Qmed_4$ = $[C_{v,4} \times Imed_4 \times A]$
Carga de Nitrogênio Kjeldahl total (tonNTK/ano)	$L_{T,NTK,1}$ = $([c]_{NTK} \times Qmed_1)$	$L_{T,NTK,2}$ = $([c]_{NTK} \times Qmed_2)$	$L_{T,NTK,3}$ = $([c]_{NTK} \times Qmed_3)$	$L_{T,NTK,4}$ = $([c]_{NTK} \times Qmed_4)$
Carga de Nitrogênio Kjeldahl removidos (tonNTK/ano)	$L_{GM_{NTK,1}}$	$L_{GM_{NTK,2}}$	$L_{GM_{NTK,3}}$	$L_{GM_{NTK,4}}$
Carga de Nitrogênio Kjeldahl remanescente (tonNTK/ano)	$L_{RE,NTK,1}$ = $L_{T,NTK,1}$ - $L_{GM_{NTK,1}}$	$L_{RE,NTK,2}$ = $L_{T,NTK,2}$ - $L_{GM_{NTK,2}}$	$L_{RE,NTK,3}$ = $L_{T,NTK,3}$ - $L_{GM_{NTK,3}}$	$L_{RE,NTK,4}$ = $L_{T,NTK,4}$ - $L_{GM_{NTK,4}}$
Carga de Fósforo total (tonPT/ano)	$L_{PT,1}$ = $[c]_{PT} \times Qmed_1$	$L_{PT,2}$ = $[c]_{PT} \times Qmed_2$	$L_{PT,3}$ = $[c]_{PT} \times Qmed_3$	$L_{PT,4}$ = $[c]_{PT} \times Qmed_4$
Carga de Fósforo Total removido (tonPT/ano)	$L_{GM_{PT,1}}$	$L_{GM_{PT,2}}$	$L_{GM_{PT,3}}$	$L_{GM_{PT,4}}$
Carga de Fósforo Total remanescente (tonPT/ano)	$L_{RE,PT,1}$ = $L_{PT,1}$ - $L_{GM_{PT,1}}$	$L_{RE,PT,2}$ = $L_{PT,2}$ - $L_{GM_{PT,2}}$	$L_{RE,PT,3}$ = $L_{PT,3}$ - $L_{GM_{PT,3}}$	$L_{RE,PT,4}$ = $L_{PT,4}$ - $L_{GM_{PT,4}}$
Carga de Sólidos Suspensos Totais (tonSST/ano)	$L_{SST,1}$ = $[c]_{SST} \times Qmed_1$	$L_{SST,2}$ = $[c]_{SST} \times Qmed_2$	$L_{SST,3}$ = $[c]_{SST} \times Qmed_3$	$L_{SST,4}$ = $[c]_{SST} \times Qmed_4$
Carga de Sólidos Suspensos Totais removidos (tonPT/ano)	$L_{GM_{SST,1}}$	$L_{GM_{SST,2}}$	$L_{GM_{SST,3}}$	$L_{GM_{SST,4}}$
Carga de Sólidos Suspensos Totais remanescentes (tonNTK/ano)	$L_{RE,SST,1}$ = $L_{SST,1}$ - $L_{GM_{SST,1}}$	$L_{RE,SST,2}$ = $L_{SST,2}$ - $L_{GM_{SST,2}}$	$L_{RE,SST,3}$ = $L_{SST,3}$ - $L_{GM_{SST,3}}$	$L_{RE,SST,4}$ = $L_{SST,4}$ - $L_{GM_{SST,4}}$

$[c]_y$ =Concentração do poluente y

- *Simulação da cobertura de abastecimento de água*

Na presente pesquisa, foi assumida uma porcentagem de aproveitamento (ap) em todas as áreas com microreservatório (A_{M_1}), também conhecidas como áreas potenciais para o desenvolvimento por se tratar de áreas residenciais não construídas.

No APÊNDICE A são apresentadas as locações sobre a área de estudo. A interpretação de estas medidas dentro de cada um dos grupos de medidas é apresentada conforme a TABELA 22.

TABELA 22- Grupos de medidas com aproveitamento

GM	Medidas SuDS							Aproveitamento
GM1	M1- MR	M2- TV						✓
GM2	M3- TI	M4- PP						
GM3	M1- MR	M2- TV	M3- TI	M4- PP				✓
GM4	M5- BD	M6- BR	M7- WC					
GM5	M1- MR	M2- TV	M3- TI	M4- PP	M5- BD	M6- BR	M7- WC	✓
GM6	M1- MR	M2- TV	M3- TI	M4- PP	M5- BD	M6- BR	M7- WC	✓

De tal modo, o consumo de água na área para o ano 2046 é representado pelos habitantes sem e com microreservatórios, ou seja, com aproveitamento. É importante ressaltar que os usos não potáveis de água para rega de jardins, lavagem de carros e descargas em bacias sanitárias soma em torno de 50% da demanda total de água em uma residência, percentual representativo e que pode ser suprido por um sistema de aproveitamento de água pluvial (TOMAZ, 2003).

Desta maneira, é possível concluir o impacto do aproveitamento no consumo de água para cada um dos cenários conforme o a equação 45.

$$Qsaa_n = \frac{q_{e,n}DH_n.A_{SM_1} + .ap.q_{e,n}DH_nA_{M_1}}{(1-I_d)} \quad (45)$$

Onde:

$q_{e,n}$ = Consumo de água per capita (L/hab*d)

DH_n = Densidade habitacional (hab/ha)

A_{SM_1} = Área sem M_1 (ha)

A_{M_1} = Área com M_1 (ha)

ap = índice de aproveitamento (-)

I_d = Índice de perdas (-)

Assim, se no grupo de medidas não há aproveitamento $A_{M_1} = 0$ então, o consumo de água será expressado pelo Equacionamento 46.

$$Qsaa_n = \frac{q_{en} * P_n}{(1-I_d)} \quad (46)$$

Onde:

P_n = População no cenário n (hab)

Assim, a simulação da informação do indicador de cobertura de abastecimento de água, é apresentada conforme a seguinte Tabela:

TABELA 23- Simulação da cobertura de abastecimento de água

Indicadores	Cenários			
	C1	C2	C3	C4
Densidade Populacional (hab/ha)	$DH_1 = P_1 \div A$	$DH_2 = P_2 \div A$	$DH_3 = P_3 \div A$	$DH_4 = P_4 \div A$
Consumo de água per capita (L/hab.d)	$q_{e1} = (0,118.RPd_1 + 82,643) + 5,6\Delta T_1$	$q_{e1} = (0,118.RPd_2 + 82,643) + 5,6\Delta T_2$	$q_{e3} = (0,118.RPd_3 + 82,643) + 5,6\Delta T_3$	$q_{e4} = (0,118.RPd_4 + 82,643) + 5,6\Delta T_4$
Consumo total de água (L/s)	$Qsaa_1$	$Qsaa_2$	$Qsaa_3$	$Qsaa_4$
Cobertura de abastecimento de água (%)	$Csaa_1 = \frac{Csaa_0 * Qsaa_0}{Qsaa_1}$	$Csaa_2 = \frac{Csaa_0 * Qsaa_0}{Qsaa_2}$	$Csaa_3 = \frac{Csaa_0 * Qsaa_0}{Qsaa_3}$	$Csaa_4 = \frac{Csaa_0 * Qsaa_0}{Qsaa_4}$

Onde

Rdn = Renda per capita deflacionada (R\$/hab.mês)

ΔT = Mudança na temperatura (°C)

A = área da bacia (ha)

- *Análises de sensibilidade*

Uma importante fase de um trabalho que envolve uma análise multicritério é a análise de sensibilidade, que tem a finalidade de verificar o quão sensitiva é a alternativa preferida quanto às mudanças nos juízos emitidos pelo decisor. De acordo com [Von Sperling \(2007\)](#), das diferentes técnicas para a análise de sensibilidade destacam-se: análise informal, análise de erros de primeira ordem e simulação de Monte Carlo. A análise informal consiste em rodar o modelo com diferentes valores de dados de entrada e interpretar se os resultados do modelo são sensíveis a esta variação. Este tipo de análise depende do conhecimento, experiência e bom senso do analista. Já a análise de erros de primeira ordem trabalha com coeficientes normalizados de sensibilidade, os quais representam a porcentagem de variação nos dados de saída do modelo em função de uma perturbação em cada variável de entrada.

Neste sentido, a análises da sensibilidade, foi feita com a análise informal onde foi rodado o UWU modificado em cada um dos dados críticos dos fatores externos por vez (dados apresentado em vermelho na TABELA 24) e mantendo estáveis as tendências mínimas, desta maneira gerando simulações adicionais conforme será apresentado na seção 5.1.3. Cabe ressaltar que a simulação 1 é a simulação padrão por ser os dados que mais se ajustam a futura realidade.

TABELA 24- Mudança dos fatores externos

Fator externo	Atual	Min	Max								
			Sim1	Sim2	Sim3	Sim4	Sim5	Sim6	Sim7	Sim8	Sim9
λ_p (%/ano)	0,99	0,5	1	0,7	1,5	1	1	1	1	1	1
λ_i (ano ⁻¹)	0,07	0,04	0,06	0,06	0,06	0,05	0,13	0,06	0,06	0,06	0,06
ΔT (°C)	0	0,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1	2	1,5	1,5
Imax (mm/h)	82,89	93,25	101,7	101,7	101,7	101,7	101,7	101,7	101,7	97,4	106
Imed (mm/ano)	1329,8	1436,89	1731,93	1731,93	1731,93	1731,93	1731,93	1731,93	1731,93	1584,41	1879,45

CAPÍTULO 5- RESULTADOS E DISCUSSÃO

“Satisfaction lies in the effort, not in the attainment, full effort is full victory”
Mahatma Gandhi

5.1.1. Capacidade da rede de drenagem

Com a modelagem no software *StormCad*, conforme apresentado no APÊNDICE C, determinou-se que a máxima capacidade da rede é de $8,03 \text{ m}^3/\text{s}$, valor determinante na estimativa da *vision*, ou seja, é a máxima vazão que pode atingir a rede de drenagem. Atualmente, com coeficiente de escoamento (C_o) e população (P_o) de 0,37 e 3959 hab respectivamente, a rede está a $0,47 \text{ m}^3/\text{s}$ de exceder a capacidade do sistema.

Além disso, também foi implementado o modelo para os cenários mínimo e máximo de crescimento populacional. Assim, no cenário mínimo, com parâmetros de C_{2046} de 0,40 e P_{2046} de 4737 hab (para o ano de 2046), a capacidade da rede será excedida em $0,57 \text{ m}^3/\text{s}$. Por outro lado, no cenário máximo, ou seja, de C_{2046} de 0,42 e P_{2046} de 5336 hab, a capacidade será excedida em $1,25 \text{ m}^3/\text{s}$. Estes fatos podem ser utilizados como justificativa para se implementar um planejamento estratégico no desenvolvimento da área de estudo, a fim de prevenir enchentes e outro problemas decorrentes de tal desenvolvimento.

5.1.2. Localização e pré-dimensionamento das medidas SuDS

Com tal localização, conseguiu-se determinar que a área potencial de desenvolvimento sustentável no local de estudo é de 17 hectares. Neste sentido, é preciso ressaltar que estes espaços distribuídos em toda a área recebem o escoamento de uma área tributária. A somatória entre estas e a área de projeção dos SuDS foi denominada como área de influência, cuja somatória total é de 37,5 hectares.

Os microreservatórios apresentam o maior número de medidas projetadas devido ao potencial de urbanização, ou seja, de lotes baldios privados com fins residenciais. É importante ressaltar que esta medida foi maior do que a observada nos telhados verdes devido aos maiores custos estruturais que demanda o mesmo.

A menor vazão de controle foi a dos telhados verdes devido a seu baixo volume útil. Este fato é produto da porosidade do meio filtrante e das baixas profundidades. Considerando também que esta medida a diferencia dos microreservatórios, proporciona um valor agregado no paisagismo.

A segunda medida com maior número de unidades foi a trincheira de infiltração concentradas sobre a área de proteção permanente. Esta medida tornou-se viável devido as geometrias das áreas disponíveis, sendo possível utilizar as mesmas nas calçadas das ruas.

Logo após de localizadas as medidas, foi realizado o pré-dimensionamento conforme apresentado na TABELA 25, onde é possível afirmar que o sistema com maior vazão de controle corresponde às trincheiras de infiltração de $1,40 \text{ m}^3/\text{s}$. Esta medida faz parte dos GM1, GM3, GM5 e GM6 (TABELA 26).

Como pode ser evidenciado na TABELA 25, a locação das medidas foi feita em duas etapas, sendo uma delas a locação distribuída sobre toda a área de estudo, correspondendo aos GM1 ao GM5, e a outra, a locação pontual na área de proteção permanente correspondente ao GM6. Neste sentido, a somatória das vazões de controle de toda a área é de $3,9 \text{ m}^3/\text{s}$ com uma área de influência de 37,6 hectares. E a somatória das vazões de controle na área de proteção permanente (de 24 hectares) é de $2,49 \text{ m}^3/\text{s}$, considerando os 148 hectares da área de estudo.

Logo após ter sido calculadas as capacidades de controle para cada uma das medidas, forem calculados os transbordamentos. Os volumes transbordados podem ser entendidos como possíveis contribuições futuras à rede de drenagem, produto dos fenômenos de crescimento populacional no desenvolvimento da área e do aumento da intensidade máxima horária em consequência das mudanças climáticas.

TABELA 25- Resultados do pré-dimensionamento das medidas

Medidas SuDS	Toda a área						Área de proteção Permanente					
	Área total de influencia (m ²)	Vazão de controle (m ³ /s)	Transbordamento (m ³ /s)				Área total de influencia (m ²)	Vazão de controle (m ³ /s)	Transbordamento (m ³ /s)			
			C1	C2	C3	C4			C1	C2	C3	C4
Microreservatório (M1-MR)	96819,2	1,31	0,0394	0,0626	0,0394	0,0626	11657	0,16	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
Telhado Verde (M2-TV)	7580	0,08	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	7580	0,08	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
Trincheira de Infiltração (M3- TI)	69039	1,40	0,0000	0,0215	0,0000	0,0215	69039	1,40	0,0000	0,0215	0,0000	0,0215
Pavimento Permeável (M4 - PP)	11919	0,10	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	4752	0,05	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
Bacia de Detenção (M5- BD)	58540	0,29	0,0064	0,0305	0,0064	0,0305	49685	0,23	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
Biorretenção (M6-BR)	102599	0,58	0,0790	0,1386	0,1395	0,2046	78293	0,45	0,0543	0,0998	0,1005	0,1501
Wetlands Construídos (M7-WC)	28617	0,14	0,0161	0,0300	0,0302	0,0454	26528	0,13	0,0158	0,0287	0,0289	0,0430
Σ	375113,2	3,90					247534	2,49	0,0702	0,1500	0,1294	0,2146

TABELA 26- Resultados dos grupos de medidas

GM	Medidas SuDS				Vazão de controle (m ³ /s)	Transbordamento (m ³ /s)				Área de influencia (ha)	Área sem GM (ha)
						C1	C2	C3	C4		
GM1	M1-MR	M2-TV			1,39	0,039	0,063	0,039	0,063	10,44	137,56
GM2	M3-TI	M4-PP			1,50	0,000	0,021	0,000	0,021	8,10	139,90
GM3	M1-MR	M2-TV	M3-TI	M4-PP	2,90	0,039	0,084	0,039	0,084	18,54	129,46
GM4	M5-BD	M6-BR	M7-WC		1,01	0,102	0,199	0,176	0,280	18,98	129,02
GM5	M1-MR	M2-TV	M3-TI	M4-PP	M5-BD	M6-BR	M7-WC			37,51	110,49
GM6 APP	M1-MR	M2-TV	M3-TI	M4-PP	M5-BD	M6-BR	M7-WC			24,75	123,25

5.1.3. Simulações

A simulação 1, foi feita no estudo de caso que se desenvolveu a partir da dinâmica da possível realidade futura de uso e ocupação do solo de uma área urbana da bacia do rio Belém na cidade de Curitiba, conforme o exibido na TABELA 14.

Com esta informação foi possível estimar as características do controle na fonte (GM3) e do controle centralizado (GM4) sobre o desenvolvimento da área. Portanto, é possível afirmar que o GM3 foi melhor ou mais aceitável do que o GM4, cujos valores dentro da escala do IE foram de 2,065, considerado como “bom” e 1,57 considerado como “insuficiente” respectivamente. Isto pode ser devido à fatores como as eficiências na remoção de poluentes e as áreas tributárias, além da possibilidade de aproveitamento da água que favorece a medida dos microreservatórios sobre cada um dos grupos.

Como era esperado, o grupo de medidas com maior IE é o GM5, que corresponde a todas as medidas juntas distribuídas sobre toda a área. Pelo contrário, o GM0, ou seja, sem nenhuma intervenção, demonstrou ser a pior alternativa, ou a menos recomendada. Os comparativos são apresentadas na TABELA 27.

Após ter calculado as estimativas de cargas de contaminantes, as capacidade da rede de drenagem e a cobertura de abastecimento de água, foram comparadas a situação atual com os grupos GM0 e GM5 nos cenários C1 e C4. Lembrando que na projeção para 30 anos, o C1 representa as tendências mínimas dos fatores externos e o cenário C4 representa as tendências máximas dos fatores externos. Com base no exposto foi analisada a simulação para identificar as fragilidades e as potencialidades em termos de sustentabilidade de desenvolvimento urbano, conforme apresentado na TABELA 27.

TABELA 27- Análises de resultados nos GM e cenários

<i>Grupo de Medidas</i>	<i>Indicadores</i>	<i>Atual (2016)</i>	<i>Cenários (2046)</i>	
			<i>C1</i>	<i>C4</i>
Atual	<i>Qcrit (m³/s)</i>	7,76		
	<i>L_{RE,NTK} (tonNTK/ano)</i>	1432,65		
	<i>L_{RE,PT} (tonPT/ano)</i>	152,22		
	<i>L_{RE,SST} (tonPT/ano)</i>	85063,82		
	<i>Csaa (%)</i>	100%		
GM0	<i>Qcrit (m³/s)</i>		9,48	11,28
	<i>L_{RE,NTK} (tonNTK/ano)</i>		1682,00	2213,92
	<i>L_{RE,PT} (tonPT/ano)</i>		178,71	235,23
	<i>L_{RE,SST} (tonPT/ano)</i>		99868,75	131451,59
	<i>Csaa (%)</i>		80,21	83,55
GM5	<i>Qcrit (m³/s)</i>		7,21	8,79
	<i>L_{RE,NTK} (tonNTK/ano)</i>		1494,14	1975,59
	<i>L_{RE,PT} (tonPT/ano)</i>		139,91	186,73
	<i>L_{RE,SST} (tonPT/ano)</i>		77268,68	103178,77
	<i>Csaa (%)</i>		82,92	86,37

Segundo o apresentado na TABELA 28, os dois melhores grupos são o GM5 e GM6 cuja principal diferença é a capacidade de controle. Os dois GM tem aproveitamento mas as áreas de influência são relativamente pequenas, com 9,7 ha e 1,1 ha respectivamente, do total de 148 ha da área de estudo. Lembrando que o GM6 corresponde as medidas SuDS localadas na APP.

TABELA 28- Resultados da simulação do UWU com formulação de dados dos fatores externos mais semelhantes à projeção

Grupo de Medidas	Indicadores	Cenários				Número de cenários alcançados	IE
		C1	C2	C3	C4		
GM0	<i>Qcrit</i> (m ³ /s)	9,48	10,33	10,35	11,28	0	1,11
	<i>L_{RE,NTK}</i> (tonNTK/ano)	1682,00	2027,37	1836,77	2213,92	1	
	<i>L_{RE,PT}</i> (tonPT/ano)	178,71	215,41	195,16	235,23	1	
	<i>L_{RE,SST}</i> (tonPT/ano)	99868,75	120375,30	109058,13	131451,59	1	
	<i>Csaa</i> (%)	80,21	77,82	86,77	83,55	3	
GM1	<i>Qcrit</i> (m ³ /s)	8,85	9,67	9,66	10,55	0	1,495
	<i>L_{RE,NTK}</i> (tonNTK/ano)	1682,00	2027,37	1836,77	2213,92	1	
	<i>L_{RE,PT}</i> (tonPT/ano)	178,17	214,76	194,62	234,58	1	
	<i>L_{RE,SST}</i> (tonPT/ano)	95897,23	115588,30	105086,62	126664,58	2	
	<i>Csaa</i> (%)	82,92	80,45	89,70	86,37	4	
GM2	<i>Qcrit</i> (m ³ /s)	8,96	9,79	9,78	10,69	0	1,68
	<i>L_{RE,NTK}</i> (tonNTK/ano)	1601,32	1930,12	1756,09	2116,67	2	
	<i>L_{RE,PT}</i> (tonPT/ano)	155,50	187,44	171,90	207,20	3	
	<i>L_{RE,SST}</i> (tonPT/ano)	90149,07	108659,84	99301,88	119692,04	2	
	<i>Csaa</i> (%)	80,21	77,82	86,77	83,55	3	
GM3	<i>Qcrit</i> (m ³ /s)	8,33	9,12	9,09	9,96	0	2,065
	<i>L_{RE,NTK}</i> (tonNTK/ano)	1601,32	1930,12	1756,09	2116,67	2	
	<i>L_{RE,PT}</i> (tonPT/ano)	154,97	186,79	171,36	206,55	3	
	<i>L_{RE,SST}</i> (tonPT/ano)	86177,52	103872,79	95330,32	114904,99	3	

<i>Grupo de Medidas</i>	<i>Indicadores</i>	<i>Cenários</i>				<i>Número de cenários alcançados</i>	<i>IE</i>
		<i>C1</i>	<i>C2</i>	<i>C3</i>	<i>C4</i>		
GM4	<i>Csaa (%)</i>	82,92	80,45	89,70	86,37	4	1,56
	<i>Qcrit (m³/s)</i>	8,36	9,21	9,20	10,12	0	
	<i>L_{RE,NTK} (tonNTK/ano)</i>	1574,82	1898,18	1719,72	2072,84	2	
	<i>L_{RE,PT} (tonPT/ano)</i>	163,66	197,26	178,71	215,41	2	
	<i>L_{RE,SST} (tonPT/ano)</i>	90959,87	109637,12	99329,50	119725,33	2	
	<i>Csaa (%)</i>	80,21	77,82	86,77	83,55	3	
GM5	<i>Qcrit (m³/s)</i>	7,21	8,00	7,94	8,79	3	3,34
	<i>L_{RE,NTK} (tonNTK/ano)</i>	1494,14	1800,93	1639,04	1975,59	2	
	<i>L_{RE,PT} (tonPT/ano)</i>	139,91	168,64	154,92	186,73	4	
	<i>L_{RE,SST} (tonPT/ano)</i>	77268,68	93134,64	85601,73	103178,77	4	
	<i>Csaa (%)</i>	82,92	80,45	89,70	86,37	4	
	<i>Qcrit (m³/s)</i>	7,96	8,76	8,75	9,61	1	
GM6	<i>L_{RE,NTK} (tonNTK/ano)</i>	1494,14	1800,93	1639,04	1975,59	2	2,68
	<i>L_{RE,PT} (tonPT/ano)</i>	139,91	168,64	154,92	186,73	4	
	<i>L_{RE,SST} (tonPT/ano)</i>	77268,68	93134,64	85601,73	103178,77	4	
	<i>Csaa (%)</i>	80,53	80,45	89,70	86,37	4	

Com base na informação contida na TABELA 27, determinou-se que a comparação entre as condições atuais e as condições sem nenhuma medida (GM0), representadas no C4, demonstrou que a vazão de escoamento crítico tende a aumentar 3,52 m³/s. Se comparamos estes dados com a capacidade máxima do interceptor, a vazão estaria excedendo a capacidade em 3,25 m³/s. Cabe esclarecer que no GM0, em qualquer um dos dois cenários, a capacidade da rede será excedida segundo as modelagem do modelo *StormCad* apresentadas no APÊNDICE C.

Como consequência, se não for implementada nenhuma medida, as cargas de contaminantes tendem a condições deploratórias no decorrer dos anos. Além disso, a cobertura de abastecimento de água tenderia a diminuir em até 19,79%.

Se forem implementadas todas as medidas, ou seja, o GM5 conforme a TABELA 28, a máxima vazão excedida na rede de drenagem será de 0,76 m³/s, apresentando evidente diminuição nas cargas de poluentes alcançando reduções futuras em até 11%, 21% e 22% para o NTK, PT e SST respectivamente. Isto considerando apenas 25% da área total da bacia para emprego das medidas SuDS.

Por último, o máximo aumento futuro da cobertura de abastecimento de água é de 2,82%, que representam 350 habitantes, esclarecendo que o aproveitamento só seria feito em 6,47% da área total conforme a TABELA 28, garantindo assim o abastecimento futuro para 4269 hab dos 5336 hab do C4. Este aumento na cobertura foi o resultado do aproveitamento em 9,68 ha dos 148 ha da área de estudo.

Na TABELA 28, foi demonstrado que em todos os casos a demanda não foi completamente suprida pela água de chuva armazenada, ou seja, não se teve uma cobertura de 100%. Porém, estes resultados não são suficientes para considerar o sistema inadequado para o atendimento da demanda, já que o abastecimento de água de chuva seria um sistema complementar ao abastecimento público convencional, motivo pelo qual foi estimada uma *vision* de 80% neste indicador. Portanto nos dias em que a água de chuva armazenada for insuficiente para atender a demanda, deve-se utilizar o sistema já existente na área que utiliza água proveniente do abastecimento convencional. É importante ressaltar que o sistema de abastecimento, no decorrer dos anos, deve sofrer intervenções para atender às novas demandas.

Neste sentido, se o aproveitamento for em 74 dos 148 hectares, ou seja, do 50% da área total, os aumentos da cobertura do sistema seriam superiores do 100% no GM5, como é apresentado na TABELA 29. Cabe esclarecer que os dados nos cenários só representam o indicador de cobertura de abastecimento de água, sendo que o IE demonstrado na tabela é o resultado da conjugação de todos os indicadores de sustentabilidade.

TABELA 29- Influencia do aumento da área com microreservatórios no IE

Grupo de Medidas	Cenários				IE com aproveitamento em 74 hectares
	C1	C2	C3	C4	
GM0	80,20909	77,82105	86,76512	83,54661	1,11
GM5	106,9454	103,7614	115,6868	111,3955	3,34

5.1.4. Análises da sensibilidade

Primeiramente foi realizada a simulação 1 (TABELA 28), com informações iniciais apresentadas na TABELA 16, que apresentam a dinâmica da possível realidade futura de uso e ocupação do solo numa área urbana da bacia do rio Belém, na cidade de Curitiba, cuja informação foi apresentada na seção 5.1.3. Em seguida, começou-se avaliar a análise de sensibilidade mantendo o aumento “mínimo” estável e variando somente os aumentos “máximos” de cada um dos fatores externos assinalados em vermelho da TABELA 30 à TABELA 33, obtendo assim, os resultados apresentados na presente seção.

- Mudança na taxa de crescimento populacional

Na seguinte tabela pode-se evidenciar que quanto maior a taxa de crescimento populacional, menor vai ser o IE em cada um dos GM, de forma que, com uma taxa de crescimento populacional de 1,5% ao ano, o GM5 atinge um IE considerado como “razoável”, embora que em nenhuma das três simulações o aumento supere a classificação do IE considerada como “bom”, como é apresentado na seguinte tabela.

TABELA 30- Resultados mudando a tendência máxima na taxa de crescimento populacional

Fatores externos			Mín	Sim2	Sim1	Sim3
Taxa de crescimento populacional	λ_p	%/ano	0,5	0,7	1	1,5
Taxa de inflação	λ_i	ano ⁻¹	0,04	0,06	0,06	0,06
Mudança da temperatura média anual	ΔT	°C	0,5	1,5	1,5	1,5
Intensidade de precipitação máxima	Imax	mm/h	93,25	101,7	101,7	101,7
Intensidade de precipitação média	Imed	mm/ano	1436,89	1731,93	1731,93	1731,93
Grupos de Medidas				IE		
GM0				1,56	1,11	0,67
GM1				1,78	1,495	0,89
GM2				1,68	1,68	0,91
GM3				2,065	2,065	1,46
GM4				1,56	1,56	0,67
GM5				3,34	3,34	2,12
GM6				2,68	2,68	1,79

- Mudança na taxa de inflação

O aumento da taxa de inflação é o único fator externo considerado bom e ruim ao mesmo tempo. Isto pode ser comprovado na equação 39 que demonstra o cálculo do consumo de água per capta. Baseado nele, quanto maior a taxa de inflação, menores são as tendências no consumo de água. Mas ao mesmo tempo, este aumento indica problemas socioeconômicos e políticos na área de estudo.

De tal modo, no GM0, GM2 e GM4 quanto maior a taxa de inflação, melhor é o IE, ao contrários dos GM1, GM3, GM5 e GM6 cuja tendência leva ao aproveitamento das águas pluviais para fins não potáveis conforme apresentado na TABELA 31. Desta forma pode ser destacada aqui a importância do aproveitamento, que além de ser uma variável sustentável, indica uma maneira de atenuar os fenômenos sociopolíticos. A taxa de inflação de 13% foi baseada no ano 2002 no Brasil.

TABELA 31- Resultados mudando a tendência máxima na taxa de inflação

Fatores externos			Mín	Sim4	Sim1	Sim5
Taxa de crescimento populacional	λ_p	%/ano	0,5	1	1	1
Taxa de inflação	λ_i	ano ⁻¹	0,04	0,05	0,06	0,13
Mudança da temperatura média anual	ΔT	°C	0,5	1,5	1,5	1,5
Intensidade de precipitação máxima	Imax	mm/h	93,25	101,7	101,7	101,7
Intensidade de precipitação média	Imed	mm/ano	1436,89	1731,93	1731,93	1731,93
Grupos de medidas			IE			
GM0				0,67	1,11	1,145
GM1				1,055	1,495	1,315
GM2				1,24	1,68	1,75
GM3				1,625	2,065	1,92
GM4				1,12	1,56	1,615
GM5				2,9	3,34	3,23
GM6				2,24	2,68	2,225

- Mudança na Temperatura média anual

Segundo apresentado na equação 40, a mudança na temperatura, ao contrário do que ocorre com a taxa de inflação, aumenta o consumo de água por óbvias razões de conforto térmico e resposta as necessidades fisiológicas. Portanto, na TABELA 32 são apresentados os índices de efetividade conforme as mudanças no aumento da temperatura, onde o GM0, GM2 e GM4 se mantiveram iguais devido ao não aproveitamento das águas pluviais para fins não potáveis.

Por outro lado, se observou que não há variação do IE dos presentes indicadores se a temperatura aumentar entre 1 e 1,5 °C, embora que este aumento signifique altos prejuízos ambientais sobre a biodiversidade e estilo de vida.

Por outro lado, adotou-se por simular um aumento na temperatura média anual em 2°C. Este aumento é baseado nas temperaturas registradas nas outras regiões do Brasil, o que demonstra a possibilidade de ocorrência desta mudança térmica na projeção de 30 anos, conforme o apresentado na FIGURA 20.

TABELA 32- Resultados mudando a tendência máxima no aumento da temperatura média

Fatores externos			Mín	Sim6	Sim1	Sim7
Taxa de crescimento populacional	λ_p	%/ano	0,5	1	1	1
Taxa de inflação	λ_i	ano ⁻¹	0,04	0,06	0,06	0,06
Mudança da temperatura média anual	ΔT	°C	0,5	1	1,5	2
Intensidade de precipitação máxima	Imax	mm/h	93,25	101,7	101,7	101,7
Intensidade de precipitação média	Imed	mm/ano	1436,89	1731,93	1731,93	1731,93
Grupos de Medidas			IE			
GM0				1,11	1,11	1,11
GM1				1,495	1,495	1,275
GM2				1,68	1,68	1,68
GM3				2,065	2,065	1,845
GM4				1,56	1,56	1,56
GM5				3,34	3,34	3,12
GM6				2,68	2,68	2,46

- Mudanças nas intensidades de precipitação

Conforme apresentado na TABELA 33, as tendências no aumento das intensidades leva a diminuição do IE devido ao aumento na probabilidade de enchentes, fenômeno típico das mudanças climáticas.

TABELA 33- Resultados mudando a tendência máxima no aumento da Intensidade

Fatores externos			Mín	Sim8	Sim1	Sim9
Taxa de crescimento populacional	λ_p	%/ano	0,5	1	1	1
Taxa de inflação	λ_i	ano ⁻¹	0,04	0,06	0,06	0,06
Mudança da temperatura média anual	ΔT	°C	0,5	1,5	1,5	1,5
Intensidade de precipitação máxima	Imax	mm/h	93,25	97,4	101,7	106
Intensidade de precipitação média	Imed	mm/ano	1436,89	1584,41	1731,93	1879,45
Grupos de Medidas				IE		
GM0				1,11	1,11	1,11
GM1				1,66	1,495	1,495
GM2				2,13	1,68	1,56
GM3				2,515	2,065	1,78
GM4				2,01	1,56	1,56
GM5				3,505	3,34	2,605
GM6				2,845	2,68	2,275

Por último, foi selecionado o GM5 por se tratar do grupo com maior quantidade de medidas SuDS. As variações mínimo (simulações 2, 4, 6 e 8) e máximas (simulações 3, 5, 7 e 9) como é apresentado na FIGURA 29 foram comparadas em função do IE sobre os valores médios, que representam a simulação 1 conforme o apresentado da TABELA 30 à TABELA 33.

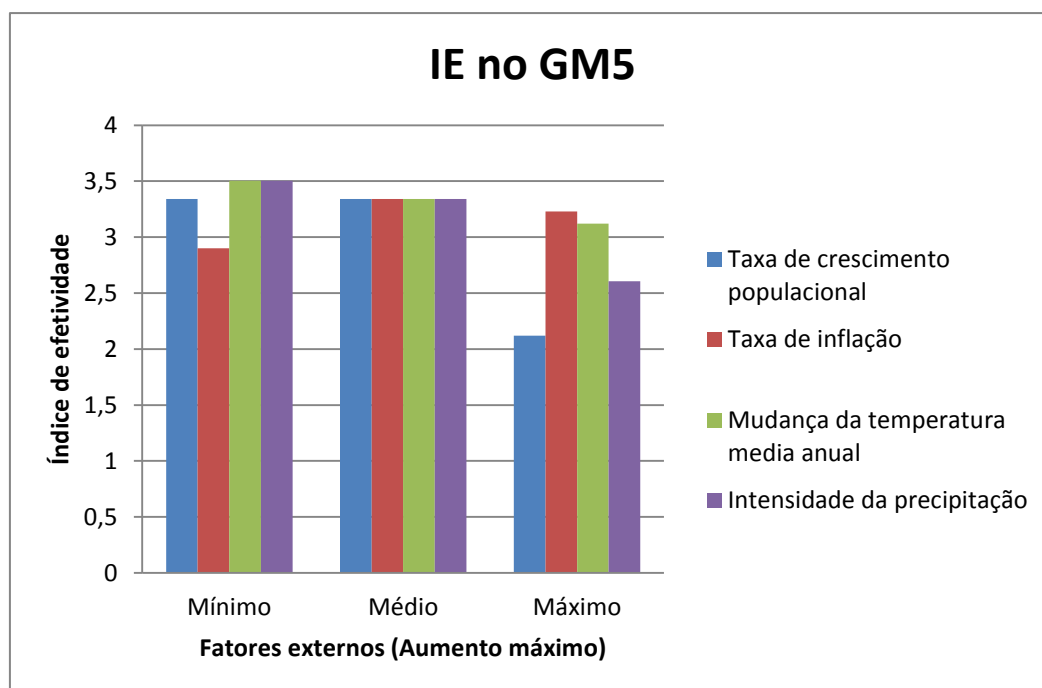


FIGURA 29- Índice de efetividade no GM5 com a variação dos fatores externos

Da figura anterior, pode-se deduzir que o fator externo que mais varia com referência à média no índice de efetividade é o aumento na taxa de crescimento populacional mais

desfavorável, sendo 1,5 % por ano. O segundo aumento do fator externo que mais vai trazer impacto é a intensidade de precipitação. Por último, cabe ressaltar que evidentemente os dois fatores que menos variam são a taxa de inflação e a mudança da temperatura. Isto ocorre porque estes dois fatores só tem influência no indicador da cobertura de abastecimento de água.

CAPÍTULO 6- CONCLUSÕES

“If you find a path with no obstacles, it probably doesn't lead anywhere”
Frank A. Clark

A pesquisa bibliográfica, que subsidiou este trabalho, permitiu a determinação dos principais critérios a serem considerados, quando da implementação de um projeto de drenagem integrada com abastecimento de água. Além disso, também viabilizou a definição das principais variáveis para a elaboração de indicadores, de forma a exprimir esses critérios em valores numéricos.

Esta pesquisa destacou aspectos conceituais que são relevantes nas questões relacionadas à gestão dos recursos hídricos como são os fatores das mudanças ambientais e socioeconômicas em função do controle de possíveis enchentes, poluição difusa e cobertura de abastecimento de água.

Médiante a caracterização foi possível diagnosticar a área de estudo frente às mudanças socioeconômicas e ambientais típicas de áreas urbanas. Além disso, foi evidenciada a necessidade de um correto planejamento do uso do solo e da ocupação urbana, com a finalidade de se obter a minimização dos impactos em decorrência das novas urbanizações e conseqüentemente a diminuição dos gastos da cidade de Curitiba, com obras de correção e ampliação dos sistemas de drenagem urbana.

Médiante a ferramenta *StormCad* foi possível determinar a capacidade da rede, além disso, foi possível determinar a ocorrência do extravasamento para a mínima e máxima projeção de crescimento populacional na área ao ano 2046. Estes fatos são a justificativa para implementar um planejamento estratégico, podendo este ser dividido em etapas, para a implementação das medidas SuDS no desenvolvimento da área de estudo, a fim de prevenir enchentes e outros problemas decorrentes de tal desenvolvimento.

Os maiores números de medidas SuDS foram os microreservatórios seguidos pelas trincheiras de infiltração devido às características da área. Este último, segundo os pré-dimensionamentos é a medida com maior vazão de controle, contribuindo assim, com o controle da vazão pico do escoamento superficial, controle de poluentes e a recarga de aquíferos por se tratar de uma medida cuja tipologia é a infiltração.

Por outro lado, a menor vazão de controle foi dos telhados verdes devido a seu baixo volume útil produzido pelos custos nos requerimentos estruturais. Por tanto, é recomendado para futuras pesquisas a implementação do critério econômico, geralmente avaliado pela variável custo, que tem estreita relação com o critério social por razões óbvias. Esse critério, porém não se limita apenas a essa variável. Podendo ser avaliado também pelo benefício, mas especificamente pelo benefício social proporcionado, ou mesmo por prejuízos evitados.

Logo após ter sido calculada as capacidades de controle para cada uma das medidas, foram calculados os transbordamentos. Estes podem ser interpretados como as possíveis contribuições futuras no exatário produzido pelos fenômenos de crescimento populacional no desenvolvimento da área e do aumento da intensidade máxima horária em consequência das mudanças climáticas.

É importante destacar que ao pré-dimensionamento hidrológico devem superpor-se outras exigências, como as requeridas, por exemplo, pelo dimensionamento estrutural. Assim as soluções obtidas não devem ser utilizadas para dimensionamentos definitivos sem um julgamento adequado por parte do projetista.

Ao usar a estrutura fornecida pelo UWU , foi possível avaliar grupos de medidas SuDS continuando com as contribuições mais recentes feitos por Destro (2016). Assim, seguindo as adaptações deste último, foi adicionado nos fatores externos, a Intensidade média anual e a taxa de inflação. Desta maneira, a formulação levou à elaboração de quatro cenários futuros sendo influenciados pelas mudanças socioeconômicas e ambientais. A combinação dos cenários depende de dois estados sendo o mínimo e o máximo para cada fator externo, ao mesmo tempo, um cenário atual (pré-desenvolvimento) permite a comparação e mostra o agravamento dos indicadores ao longo dos anos (pós-desenvolvimento).

Após locado e pre-dimensionado as medidas SuDS, foram formulados os grupos de medidas, onde foi concluído que do GM1 ao GM5 abrangiam toda a área de estudo e o GM6 só a área de proteção permanente. Este último GM permitira a apropriação por parte da comunidade, área que abrange um maior número de problemáticas urbano-ambientais, a fim de cobrir mais amplamente as possíveis soluções para o conflito entre meio natural e cidade.

Deste modo, cabe ressaltar que o GM6 foi o segundo grupo com melhor IE, pelo que para futuros estudos poderiam ser feitos estudos de implementação por etapas das medidas de drenagem, sendo o GM6 a área mínima de implementação, projetando até o GM5 permitindo á vez um maior envolvimento da comunidade na área.

O UWU fornece um ambiente de planejamento estratégico para escolher o melhor grupo de medidas que contribuam para a sustentabilidade de áreas urbanas, dito grupo de medidas foi o GM5 que inclui todas as medidas SuDS e cujo valor dentro da escala do IE foi considerado como “bom” sendo assim uma estratégia de adaptação para diminuição dos riscos de inundações pluviais e aumento da biodiversidade se assemelhando ao ambiente de pre-desenvolvimento.

Na avaliação das influencias ambientais e socioeconômicas, foram testados os aumentos críticos de cada um dos fatores externos, desta maneira foi possível determinar que o aumento do crescimento populacional e da intensidade são os fatores que maior impacto tem sobre os indicadores de sustentabilidade. Por outro lado, a taxa de inflação e a mudança da temperatura são os indicadores de menor impacto, isto ocorre porque estes dois fatores só tem influência no indicador da cobertura de abastecimento de água.

Por outro lado, nas simulações a cobertura de abastecimento foi visionada ao 80%, sendo assim o abastecimento de água da chuva é um sistema complementar ao abastecimento público convencional. Portanto, nos dias em que a água da chuva armazenada for insuficiente para atender a demanda, deve-se utilizar o sistema abastecimento convencional. Contudo, se forem implementados os microreservatórios nos 50% da área de estudo, os índices da cobertura de abastecimento de água aumentariam superando o 100% requerendo ao mesmo tempo investimentos estruturais das edificações já existentes.

Outra observação é cabível quanto ao estudo de potencial de aproveitamento em função da projeção na intensidade da chuva ao ano 2046, ajudando assim a dar um melhor panorama dos custos de investimento e benefícios.

O saneamento urbano ambiental é, em essência, um sistema complexo. Os sistemas de abastecimento, assimilação de fatores externos e avaliação dos indicadores através dos anos, uma vez reproduzidos no UWU, refletem uma condição simplificada da realidade. Ainda, são passíveis de imprecisões devido as mudanças ambientais, socioeconômicas e políticas.

A viabilidade de implantação das medidas está diretamente relacionada com o planejamento de programas na área como: o Planejamento Urbano Ecológico da área, Projeto Paisagístico e o Projeto de Drenagem Urbana para assim obter uma efetiva permeabilização e reconhecimento da APP por parte da população.

CAPÍTULO 7- RECOMENDAÇÕES

*“Discipline is the soul of an army.
It makes small numbers formidable;
procures success to the weak, and esteem to all.”*
George Washington

No que concerne as medidas de infiltração, esta pesquisa foi baseada em dados de literatura, pelo que é considerado importante fazer ensaios de campo para determinar o coeficiente de infiltração devido que pelos efeitos da urbanização o solo tende à compactação. Além disso, são importantes estudos do comportamento do lençol freático e a profundidade da camada impermeável do solo na área de estudo.

Para testar o UWU, existem indicadores a serem selecionados e pesos a ser estabelecidos para a formulação do futuro desejado, nesta etapa, a discussão das partes interessadas e envolvimento da comunidade podem ser usados para determinar as prioridades, uma vez que são diretamente afetados pela aplicação das medidas SuDS.

Como recomendação para futuros trabalhos, sugere-se o desenvolvimento de outros indicadores com outras variáveis que permitam ter uma maior sensibilidade dos fatores externos principalmente no que concernem as mudanças da temperatura e a taxa de inflação podendo ser indicadores do tipo: econômicos, biológicos, recreativos, paisagísticos, entre outros.

Dentro do critério social não foi avaliada a acolhida da comunidade frente às medidas SuDS. Desta maneira, nota-se a flagrante necessidade da implementação de uma ferramenta que permita a consulta da aceitabilidade e preferencia das mesmas.

Com relação aos indicadores de carga de contaminantes, no que tange ao impacto na qualidade da água, notou-se a carência de produção científica na área de estudo no sentido de avaliar os efeitos dos sistemas de drenagem na qualidade das águas pluviais. Trata-se, portanto, de uma proposta diante da escassa produção científica justificando-se a dificuldade de encontrar parâmetros de qualidade da água para a avaliação do impacto da urbanização.

CAPÍTULO 8- REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

*“Más vale adquirir sabiduría que oro;
más vale adquirir inteligencia que plata”*
Proverbios 16:16

ABNT. **NBR: 15527: água de chuva aproveitamento de coberturas em áreas urbanas para fins não potáveis: requisitos.**São Paulo, 2007.

AISSE, M. Sistemas alternativos para microdrenagem pluvial urbana: ênfase na retenção do escoamento superficial. **Revista Acadêmica: Saneamento Ambiental**, v. 2, n. 1, p. 35–45, 1997.

ALEM SOBRINHO, P.; TSUTIYA, M. T. **Coleta e transporte de esgoto sanitário** (Universidade de São Paulo, Ed.)São Paulo, 1999.

ARAÚJO, P. R. DE; TUCCI, C. E. M. Avaliação da eficiência dos pavimentos permeáveis na redução de escoamento superficial. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 5, n. 3, p. 21–29, 2000.

AZEVEDO, D. C. **Chuvas no Brasil: regime, variabilidade e probabilidades de alturas mensais e anuais.** Universidade Federal do Rio Grande do Sul., 1974.

AZEVEDO, L. C. DE; NERY, J. T.; ANDRADE, A. R. DE. **Análise da precipitação pluviométrica na bacia do rio Iguaçu.**, 2006.

BAPTISTA, M. B.; NASCIMENTO, N. DE O.; BARRAUD, S. **Técnicas compensatorias em drenagem urbana. (Compensatory techniques for urban drainage).**ABRH, 2005.

BARRAUD, S. et al. Selection aid of alternative techniques in urban storm drainage - proposition of an expert system. **Water Science and Technology**, v. 39, n. 4, 1999.

BARROS, V. et al. Influence of the South Atlantic convergence zone and South Atlantic Sea surface temperature on interannual summer rainfall variability in Southeastern South America. **Theoretical and Applied Climatology**, v. 67, p. 123–133, 2000.

BATTIATA, J. et al. The Runoff Reduction Method. **Journal of Contemporary Water Research & Education**, v. 146, n. 1, p. 11–21, 2010.

BENEDICT, M. A.; MCMAHON, E. **Green infrastructure : linking landscapes and communities.** [s.l.] Island Press, 2012.

BOGOTA. Sistema Urbanos de Drenaje Sostenible. **Secretaría Distrital de Bogotá**, p. 86, 2011.

BRASIL. **LEI Nº 11.445, DE 5 DE JANEIRO DE 2007.**

BRASIL. **Lei n 12.651, 25 de maio de 2012. Código Florestal.** 2012.

BREZONIK, P. L.; STADELMANN, T. H. Analysis and predictive models of stormwater runoff volumes, loads, and pollutant concentrations from watersheds in the Twin Cities metropolitan area, Minnesota, USA. **Water Research**, v. 36, n. 7, p. 1743–1757, 2002.

BRITO, D. S. **Metodologia para seleção de alternativas de sistemas de drenagem**. Universidade de Brasília, 2006.

BROMBACH, H.; WEISS, G.; FUCHS, S. A new database on urban runoff pollution: comparison of separate and combined sewer systems. **Water Science and Technology**, v. 51, n. 2, p. 119–128, 2005.

BRUGGEMAN, W.; DAMMERS, E. Deltascenario's voor 2050 en 2100. n. april, p. 65, 2013.

BURTON JR, G. A.; PITT, R. **Stormwater effects handbook: A toolbox for watershed managers, scientists, and engineers**. CRC Press, 2001.

CAMPANA, N.; TUCCI, C. E. Estimativa da área impermeável de macro-bacias urbanas. **Revista Brasileira de Engenharia**, v. 12, n. 2, p. 79–94, 1994.

CAÑIZÁLES, M. El 90% del sistema de drenajes de la ciudad presenta fallas. **El Universal**, 2014.

CASTILLEROS, J. **El 70% de la lluvia en México termina en el drenaje**. Disponível em: <<http://www.publimetro.com.mx/noticias/el-70-de-la-lluvia-en-mexico-termina-en-el-drenaje/mngp!sp3jJAGmTWubg/>>. Acesso em: 30 maio. 2016.

CIRIA. **Sustainable urban drainage systems - best practice manual for England, Scotland, Wales and Northern Ireland**. Report No. ed. London, United Kingdom: [s.n.].

COHIM, E.; ALMEIDA, A. P. A. DE; KIPERSTOK, A. Captação direta de água de chuva no meio urbano para usos não potáveis. **CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL**, v. 24, p. 2–7, 2007.

COUNCIL, A. R. Design guideline manual: stormwater treatment devices. **ARC Technical Publication**, v. 10, 2003.

D'ARCY, B.; FROST, A. The role of best management practices in alleviating water quality problems associated with diffuse pollution. **Science of the Total Environment**, 2001a.

D'ARCY, B.; FROST, A. The role of best management practices in alleviating water quality problems associated with diffuse pollution. **The Science of the total environment**, v. 265, n. 1–3, p. 359–367, 2001b.

DENVER COLORADO URBAN DRAINAGE. Flood Control District (UDFCD). **Urban Drainage Criteria Manual**, v. 3, 1999.

DESTRO, C. A. M. **The Urban Water Use Model as a tool to support the evaluation of sustainable drainage measures in Brazilian cities**, p.160, Tesis de

doutorado. Universidade Federal do Paraná, 2016.

DIAS, D. M.; MARTINEZ, C. B.; LIBÂNO, M. Avaliação do impacto da variação da renda no consumo domiciliar de água. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, v. 15, n. 2, p. 155–166, 2010.

ELLIS, J. B. et al. The DayWater decision support approach to the selection of sustainable drainage systems. **Water practice and technology**, v. 1, n. 1, p. 28–31, 2006.

ENVIRONMENT AGENCY. **Cost-benefit of SUDS Retrofit in Urban Areas** Science Report – SC060024, 2007. Disponível em: <<http://publications.environment-agency.gov.uk/PDF/SCHO0408BNXZ-E-E.pdf>>

EPA, OW, O. Green Infrastructure Design and Implementation. 2012.

ESTATUTO DA CIDADE. **Lei n. 10.257, de 10 de julho de 2001**. Brasília: 2001.

FENDRICH, R. et al. **Drenagem e controle da erosão urbana**. 4. ed. Curitiba: [s.n.].

FENDRICH, R. **Coleta , Armazenamento , Utilização e Infiltração das águas pluviais na drenagem urbana**. Universidade Federal do Paraná, 2002.

FENDRICH, R. **Chuvas intensas para obras de drenagem no estado do Paraná**. 2ed. ed, p 101, Curitiba: 2003.

FLETCHER, T. D. et al. SUDS, LID, BMPs, WSUD and more – The evolution and application of terminology surrounding urban drainage. **Urban Water Journal**, v. 9006, n. September, p. 1–18, 2014.

FORMAN, R. T. T. Horizontal Processes, Roads, Suburbs, Societal Objectives, and Landscape Ecology. In: **Landscape Ecological Analysis**. New York, NY: Springer New York, 1999. p. 35–53.

GALLET, D. The Value of Green Infrastructure: A Guide to Recognizing Its Economic, Environmental and Social Benefits. **Proceedings of the Water Environment Federation**, v. 2011, n. 17, p. 924–928, 1 jan. 2011.

GERMANO, A.; TUCCI, C. E. M.; SILVEIRA, L. L. Estimativa dos parâmetros do modelo IPH II para algumas bacias urbanas brasileiras. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 3, n. 4, p. 103–120, 1998.

GIUSTI, D. A. **Contribuição à geologia ambiental no município de Curitiba-PR**. São Paulo: Biblioteca Digital de Teses e Dissertações da Universidade de São Paulo, 1 jun. 1989.

GÖBEL, P.; DIERKES, C.; COLDEWEY, W. G. Storm water runoff concentration matrix for urban areas. **Journal of Contaminant Hydrology**, v. 91, n. 1–2, p. 26–42, 2007.

HALLOCK, D. **Efficiency of Urban Stormwater Best Management Practices : A Literature Review**. Washington: Environmental Assessment Program, 2007.

IAP. **Monitoramento da qualidade das águas dos rios da Bacia do Alto Iguaçu, na Região Metropolitana de Curitiba, no período de 2005 a 2009.** Curitiba: [s.n.].

IBGE. **Perfil dos Municípios Brasileiros 2013.**

IBGE. **Censo Demográfico 2010.** Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/censo2010/>>.

IPCC. **Climate Change 2001: Impacts, Adaptation and Vulnerability- Contribution of Working Group 2 to the IPCC Third Assessment Report.** [s.l.: s.n.].

KRAMER, R. D. et al. Determinação de anti-inflamatórios na água e sedimento e suas relações com a qualidade da água na bacia do Alto Iguaçu, Curitiba-PR. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 20, n. 3, p. 657–667, 2015.

MANSOR, M. T.; TEIXEIRA FILHO, J.; ROSTON, D. M. Avaliação temporal da carga orgânica transportada no Rio Belém, estação Prado Velho, Curitiba/PR, em eventos de chuvas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 10, n. 3, p. 715–723., 2007.

MARCHIONI, M.; SILVA, C. O. Pavimento Intertravado Permeável - Melhores Práticas. **Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP)**, 2011.

MARENGO, J. A. et al. Future change of temperature and precipitation extremes in South America as derived from the PRECIS regional climate modeling system. **International Journal of Climatology**, v. 29, n. 15, p. 2241–2255, 2009.

MARENGO, J. A. et al. Development of regional future climate change scenarios in South America using the Eta CPTEC/HadCM3 climate change projections: climatology and regional analyses for the Amazon, São Francisco and the Paraná River basins. **Climate Dynamics**, v. 38, n. 9, p. 1829–1848, 2012.

MENEZES, F. C. M.; TUCCI, C. E. Alteração na relação entre densidade habitacional e área impermeável: Porto Alegre-RS. **Revista de Gestão de Água da América Latina**, v. 9, n. 1, p. 49–55, 2012.

MINIKOWSKI, M.; MAIA, A. G. Sistemas de aproveitamento de água de chuva no município de Irati (PR). **Revista Acadêmica: Ciência Animal**, v. 7, n. 2, p. 181–188, 2009.

MITCHELL, V. G.; DIAPER, C. Simulating the urban water and contaminant cycle. **Environmental Modelling and Software**, v. 21, n. 1, p. 129–134, 2006.

MONTAÑA, F. Selección de Tecnología para la Recolección y Transporte de Aguas Lluvias y Aguas Residuales en Áreas Urbanas. 2011.

PBMC. 2012: Sumário Executivo do Volume 1 - Base Científica das Mudanças Climáticas. v. 1, p. 34, 2012.

PLOSZAI, R. **Análise de tendências no regime de chuvas em Curitiba usando cenários de modelos climáticos regionais.** Dissertação do mestrado, Universidade Federal

do Paraná, 2014.

POELMANS, L.; VAN ROMPAEY, A. Detecting and modelling spatial patterns of urban sprawl in highly fragmented areas: A case study in the Flanders–Brussels region. **Landscape and Urban Planning**, v. 93, n. 1, p. 10–19, 2009.

RIGHETTO, A. M. **Manejo de águas pluviais urbanas**. ABES. v. 4, n.1, p. 21-72, 2009

RUMMUKAINEN, M. Climate change: Changing means and changing extremes. **Climatic Change**, v. 121, n. 1, p. 3–13, 2013.

SÁNCHEZ, C. **Gestión Sostenible del Agua en el Desarrollo Urbano**. **Fodeco**, v. 1a ed., p. 1–29, 2010.

SANTOS, D. C.; BENETTI, A. Application of the urban water use model for urban water use management purposes. **Water Science and Technology**, v. 70, n. 3, p. 407–413, 2014.

SANTOS, D. C.; VAN DER STEEN, P. Understanding the IUWM principles: An Activity Based on Role Play Approach (for facilitator and specialists). n. September 2010, p. 66, 2011.

SCHOLES, L.; ELLIS, J. B.; REVITT, D. M. The Development of Multi-criteria Analysis for the Evaluation of Urban Surface Drainage Options . p. 1–6, 2004.

SILVEIRA, L. L.; JOEL, A.; FRENDRICH, R. Urban drainage control measures. p. 129–158, 1998.

STAATS, M. **Water availability and climate change: Chapman Creek Water System, Sunshine Coast, BC**. [s.l.] University of British Columbia, 2014.

STRUCK, S. D. et al. Green Infrastructure for CSO Control in Kansas City, Missouri. **Proceedings of the Water Environment Federation**, v. 2009, n. 13, p. 3631–3640, 1 jan. 2009.

SUDERHSA. Plano Diretor de Drenagem para a Bacia do Rio Iguaçu na Região Metropolitana de Curitiba. v. 4, p. 313, 2002a.

SUDERHSA. Manual de Drenagem Urbana: Região Metropolitana de Curitiba/PR. p. 1–150, 2002b.

THE STORMWATER MANAGER'S RESOURCE CENTER. **Pollutant**. Disponível em: <<http://www.stormwatercenter.net/>>. Acesso em: 20 jan. 2017.

TOMAZ, P. **Aproveitamento de água de chuva: para áreas urbanas e fins não potáveis**. Navegar, 2003.

TOZZI, B. K. M. Verificação da estacionariedade de séries hidrológicas de vazões na Bacia do Rio Iguaçu. **Dissertação de Mestrado**. Universidade Federal do Paraná, 2014.

TRIANTAPHYLLOU, E. Multi-Criteria Decision Making Methods. In: Springer US, 2000. p. 5–21.

TSUTIYA, M. T.; BUENO, R. C. Contribuição de águas pluviais em sistemas de esgoto sanitário no Brasil. **Água Latinoamérica**, v. 4, n. 4, p. 20–25, 2004.

TUCCI, C. E. Plano diretor de drenagem urbana: princípios e concepção. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 2, n. i, p. 5–12, 1997.

TUCCI, C. E. **Gestão de Águas Pluviais Urbanas**. Ministério das Cidades: 2005.

TUCCI, C. E.; BERTONI, J. C. **Inundações urbanas na América Do Sul**. Porto Alegre: 2003.

VAN DER STEEN, P. et al. Approach to Strategic planning for Integrated Urban Water Management (IUWM). n. August, p. 39, 2010.

VELDKAMP, R. G. et al. A decision network for urban water management. **Water Science and Technology**, v. 36, n. 8–9, 1997.

VIRGINIA DEPARTMENT OF CONSERVATION & RECREATION. **Virginia Stormwater Management: Nutrients Design System**. Virginia: Center for Watershed Protection, 2007.

VIRGILIIS, L. A. C. **Procedimentos de Projeto e execução de pavimentos permeáveis visando Retenção e Amortecimento de Picos de Cheias**. Universidade de São Paulo, 2009.

VON SPERLING, M. **Estudos e Modelagem da Qualidade da Água de Rios**. Minas Gerais: DESA/UFMG, 2007.

WALMSLEY, A. Greenways and the making of urban form. **Landscape and Urban Planning**, v. 33, n. 1, p. 81–127, 1995.

WATER ENGINEERING DEVELOPMENT CENTRE. **Drenagem Urbana Sustentável no Brasil Relatório do Workshop em Goiânia**. 2003

WOODS-BALLARD, B. et al. **The SUDS manual**. London, United Kingdom: 2007

WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION. **Weather Forecast. Curitiba**. Disponível em: <<http://worldweather.wmo.int/en/city.html?cityId=1066#top>>.

APÊNDICES

APÊNDICE A- LOCAÇÃO DAS MEDIDAS SUDS



- Microreservatório (M1-MR)
- Telhado Verde (M2-TV)
- Área de Proteção Permanente



Exemplo de Microreservatório



Exemplo do telhado verde no museu Horniman, Londres.

FIGURA 30- Locação das medidas SuDS do GM 1

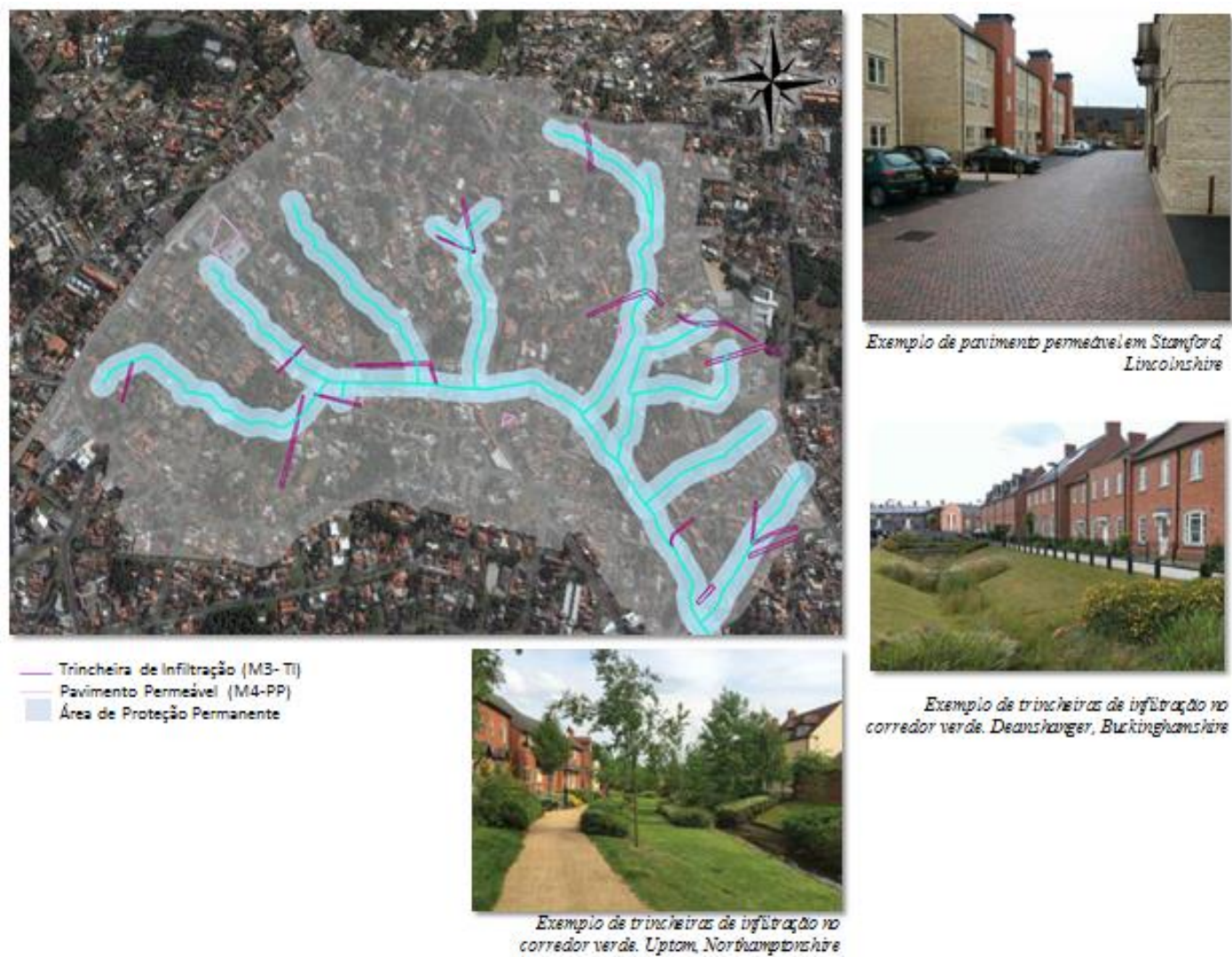


FIGURA 31- Localização das medidas SuDS do GM 2

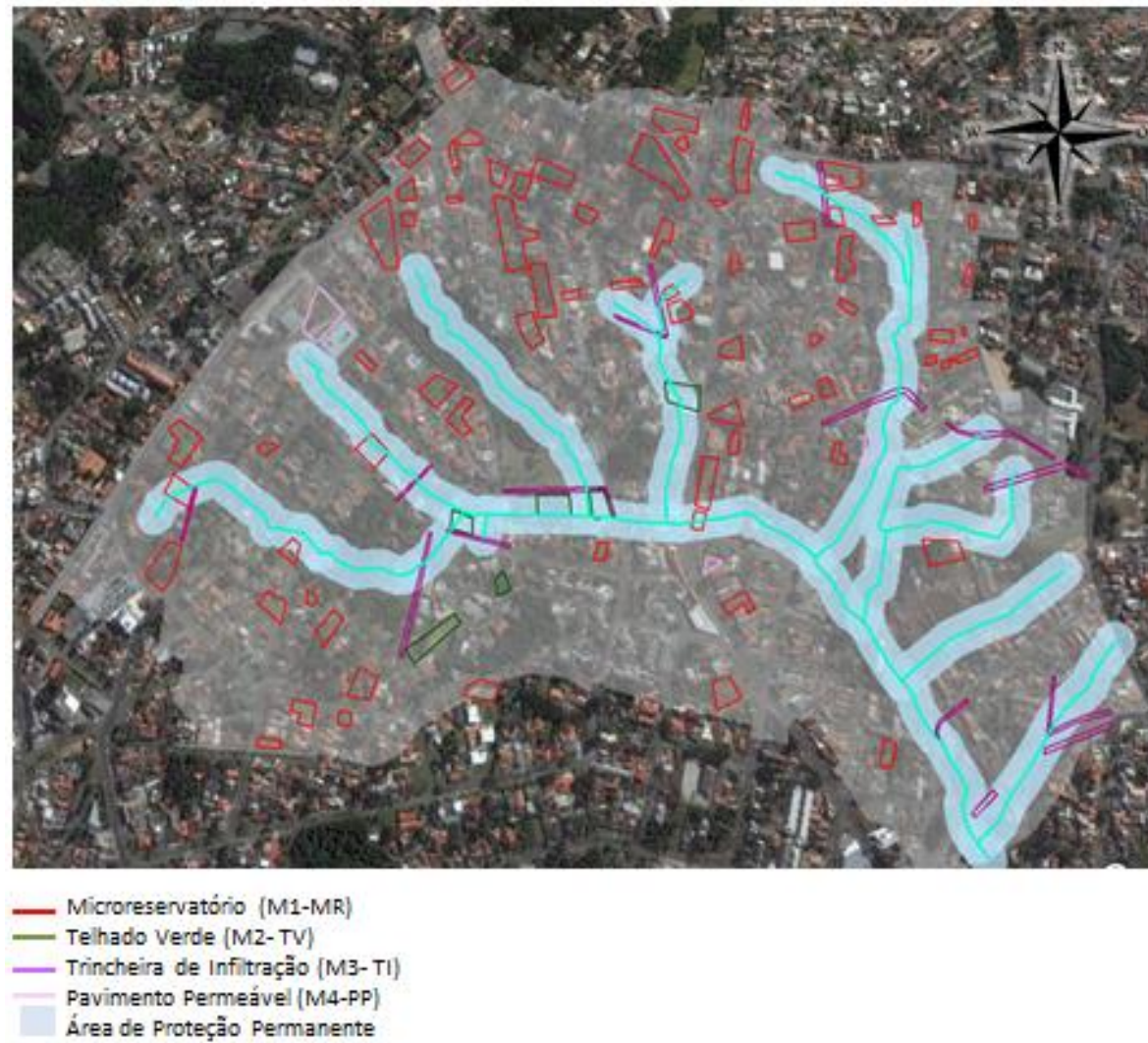


FIGURA 32- Localização das medidas SuDS do GM 3



FIGURA 33- Localização das medidas SuDS do GM 4

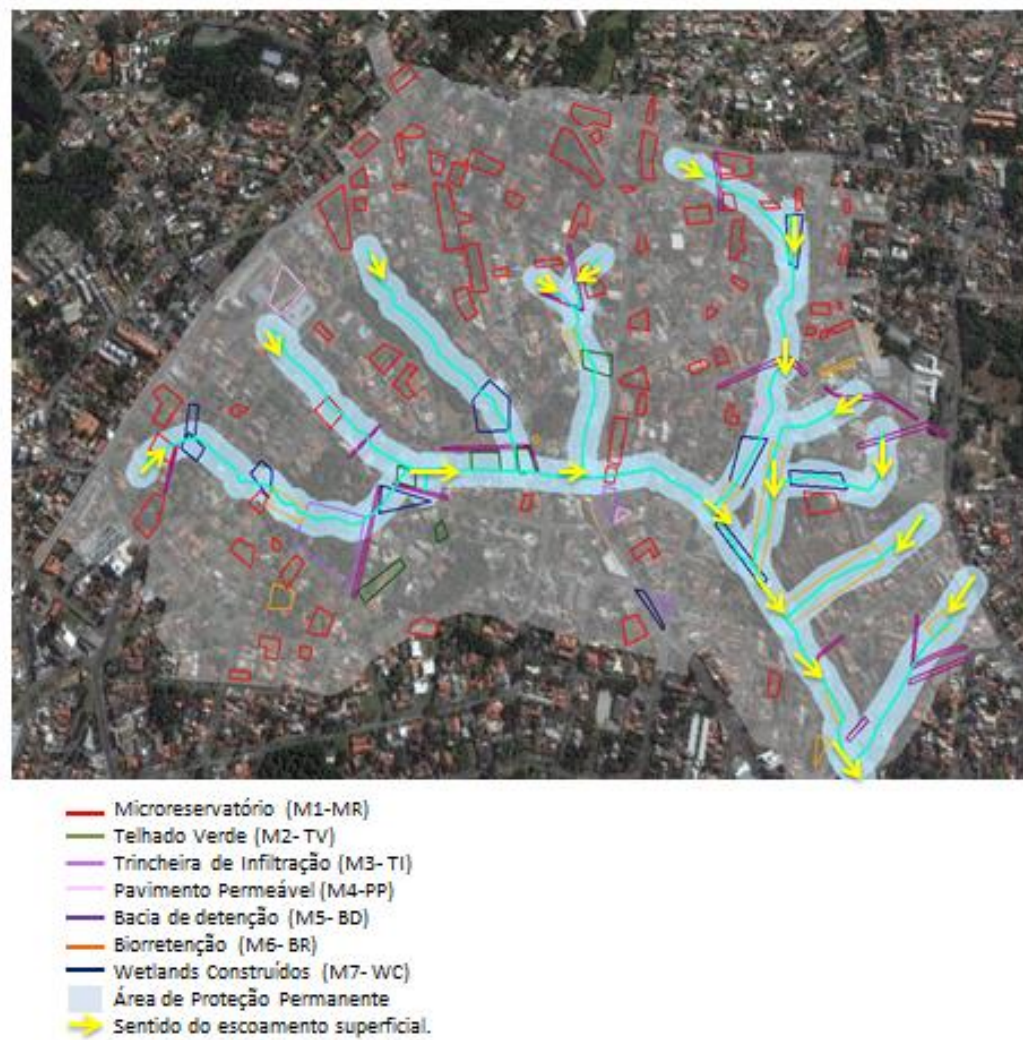


FIGURA 34- Localização das medidas SuDS do GM 5



- Microreservatório (M1-MR)
- Telhado Verde (M2-TV)
- Trincheira de Infiltração (M3-TI)
- Pavimento Permeável (M4-PP)
- Bacia de detenção (M5-BD)
- Biorretenção (M6-BR)
- Wetlands Construídos (M7-WC)
- Área de Proteção Permanente

FIGURA 35- Localização das medidas SuDS do GM 6

APÊNDICE B- INFORMAÇÃO DOS SuDS

B.1. Microreservatório

TABELA 34- Estimativas para o microreservatório

ID	Profundidade	Volume	Capacidade
Área	(m)	de	de
		controle	tratamento
		(m³)	(m³/s)
0	1,5	118,86	0,05866
1	1	24,79	0,01224
2	1	13,48	0,00665
3	1	6,54	0,00323
4	1,5	68,17	0,03364
5	1,5	126,98	0,06267
6	1	42,24	0,02085
7	1	11,47	0,00566
8	1,5	27,26	0,01345
9	1,5	30,35	0,01498
10	1,5	56,00	0,02764
11	1,5	136,11	0,06718
12	1	32,81	0,01620
13	1	21,45	0,01059
16	1,5	67,34	0,03324
17	1,5	67,44	0,03328
18	1	42,82	0,02113
19	1	11,59	0,00572
20	1	13,25	0,00654
21	1	6,46	0,00319
22	1	11,87	0,00586
23	1	7,27	0,00359
24	1	13,43	0,00663
25	1	5,83	0,00288
26	1,5	45,84	0,02262
27	1	11,39	0,00562
28	1	19,06	0,00941
29	1	2,32	0,00114
30	1	18,61	0,00918
31	1	17,68	0,00872
32	1	11,87	0,00586
33	1	6,81	0,00336
36	1	15,21	0,00751
37	1,5	52,43	0,02588
39	1	20,89	0,01031
43	1	35,98	0,01776
45	1	24,79	0,01224
46	1	11,47	0,00566
47	1	35,93	0,01773
48	1	16,09	0,00794
50	1	28,92	0,01427
51	1	13,28	0,00655
53	1	31,18	0,01539

ID Área	Profundidade (m)	Volume de controle (m ³)	Capacidade de tratamento (m ³ /s)
54	1	17,25	0,00851
57	1	12,40	0,00612
58	1	45,59	0,02250
59	1	33,19	0,01638
60	1	39,93	0,01971
61	1	13,18	0,00650
66	1	30,27	0,01494
69	1	6,91	0,00341
70	1	34,80	0,01718
72	1	26,75	0,01320
73	1	9,61	0,00474
75	1	43,95	0,02169
76	1	22,83	0,01127
77	1	13,83	0,00683
78	1	37,82	0,01867
79	1	10,41	0,00514
80	1,5	56,88	0,02807
81	1	36,01	0,01777
82	1,5	57,93	0,02859
83	1	29,57	0,01459
84	1	18,28	0,00902
85	1	24,92	0,01230
86	1	10,84	0,00535
88	1,5	66,96	0,03305
89	1	21,12	0,01042
130	1,5	69,47	0,03429
131	1,5	51,62	0,02548
133	1,5	185,14	0,09138
134	1	23,48	0,01159
Total		2434,44	1,202

TABELA 35- Transbordamento nos Microreservatórios

	C1	C2	C3	C4	C1	C2	C3	C4
ID Área	Vazão de escoamento crítico (m ³ /s)				Transbordamento (m ³ /s)			
0	0,0571267	0,0623034	0,0571267	0,0623034	-0,001537	0,003639	-0,001537	0,003639
1	0,011916	0,0129958	0,011916	0,0129958	-0,046748	-0,045668	-0,046748	-0,045668
2	0,0064777	0,0070647	0,0064777	0,0070647	-0,052186	-0,051599	-0,052186	-0,051599
3	0,0031422	0,0034269	0,0031422	0,0034269	-0,055522	-0,055237	-0,055522	-0,055237
4	0,032763	0,0357318	0,032763	0,0357318	-0,025901	-0,022932	-0,025901	-0,022932
5	0,0610303	0,0665606	0,0610303	0,0665606	0,002366	0,007897	0,002366	0,007897
6	0,0203031	0,0221429	0,0203031	0,0221429	-0,038361	-0,036521	-0,038361	-0,036521
7	0,0055109	0,0060102	0,0055109	0,0060102	-0,053153	-0,052654	-0,053153	-0,052654
8	0,0131004	0,0142875	0,0131004	0,0142875	-0,045564	-0,044376	-0,045564	-0,044376
9	0,0145868	0,0159086	0,0145868	0,0159086	-0,044077	-0,042755	-0,044077	-0,042755
10	0,0269137	0,0293526	0,0269137	0,0293526	-0,031750	-0,029311	-0,031750	-0,029311
11	0,0654172	0,0713451	0,0654172	0,0713451	0,006753	0,012681	0,006753	0,012681
12	0,0157712	0,0172003	0,0157712	0,0172003	-0,042893	-0,041464	-0,042893	-0,041464

	C1	C2	C3	C4	C1	C2	C3	C4
ID Área	Vazão de escoamento crítico (m ³ /s)				Transbordamento (m ³ /s)			
13	0,0103087	0,0112428	0,0103087	0,0112428	-0,048355	-0,047421	-0,048355	-0,047421
16	0,0323642	0,0352969	0,0323642	0,0352969	-0,026300	-0,023367	-0,026300	-0,023367
17	0,0324125	0,0353496	0,0324125	0,0353496	-0,026251	-0,023314	-0,026251	-0,023314
18	0,0205811	0,0224461	0,0205811	0,0224461	-0,038083	-0,036218	-0,038083	-0,036218
19	0,0055713	0,0060761	0,0055713	0,0060761	-0,053093	-0,052588	-0,053093	-0,052588
20	0,0063689	0,006946	0,0063689	0,006946	-0,052295	-0,051718	-0,052295	-0,051718
21	0,0031059	0,0033873	0,0031059	0,0033873	-0,055558	-0,055277	-0,055558	-0,055277
22	0,0057042	0,0062211	0,0057042	0,0062211	-0,052960	-0,052443	-0,052960	-0,052443
23	0,0034926	0,0038091	0,0034926	0,0038091	-0,055171	-0,054855	-0,055171	-0,054855
24	0,0064535	0,0070383	0,0064535	0,0070383	-0,052210	-0,051626	-0,052210	-0,051626
25	0,0028038	0,0030578	0,0028038	0,0030578	-0,055860	-0,055606	-0,055860	-0,055606
26	0,0220313	0,0240277	0,0220313	0,0240277	-0,036633	-0,034636	-0,036633	-0,034636
27	0,0054746	0,0059707	0,0054746	0,0059707	-0,053189	-0,052693	-0,053189	-0,052693
28	0,0091606	0,0099907	0,0091606	0,0099907	-0,049503	-0,048673	-0,049503	-0,048673
29	0,0011143	0,0012152	0,0011143	0,0012152	-0,057550	-0,057449	-0,057550	-0,057449
30	0,008943	0,0097534	0,008943	0,0097534	-0,049721	-0,048910	-0,049721	-0,048910
31	0,0084959	0,0092658	0,0084959	0,0092658	-0,050168	-0,049398	-0,050168	-0,049398
32	0,0057042	0,0062211	0,0057042	0,0062211	-0,052960	-0,052443	-0,052960	-0,052443
33	0,0032751	0,0035719	0,0032751	0,0035719	-0,055389	-0,055092	-0,055389	-0,055092
36	0,0073115	0,0079741	0,0073115	0,0079741	-0,051352	-0,050690	-0,051352	-0,050690
37	0,0251976	0,027481	0,0251976	0,027481	-0,033466	-0,031183	-0,033466	-0,031183
39	0,0100428	0,0109528	0,0100428	0,0109528	-0,048621	-0,047711	-0,048621	-0,047711
43	0,0172939	0,018861	0,0172939	0,018861	-0,041370	-0,039803	-0,041370	-0,039803
45	0,011916	0,0129958	0,011916	0,0129958	-0,046748	-0,045668	-0,046748	-0,045668
46	0,0055109	0,0060102	0,0055109	0,0060102	-0,053153	-0,052654	-0,053153	-0,052654
47	0,0172698	0,0188347	0,0172698	0,0188347	-0,041394	-0,039829	-0,041394	-0,039829
48	0,0077345	0,0084354	0,0077345	0,0084354	-0,050929	-0,050229	-0,050929	-0,050229
50	0,013898	0,0151574	0,013898	0,0151574	-0,044766	-0,043507	-0,044766	-0,043507
51	0,006381	0,0069592	0,006381	0,0069592	-0,052283	-0,051705	-0,052283	-0,051705
53	0,0149856	0,0163436	0,0149856	0,0163436	-0,043678	-0,042320	-0,043678	-0,042320
54	0,0082904	0,0090417	0,0082904	0,0090417	-0,050373	-0,049622	-0,050373	-0,049622
57	0,005958	0,0064979	0,005958	0,0064979	-0,052706	-0,052166	-0,052706	-0,052166
58	0,0219105	0,0238959	0,0219105	0,0238959	-0,036753	-0,034768	-0,036753	-0,034768
59	0,0159525	0,017398	0,0159525	0,017398	-0,042711	-0,041266	-0,042711	-0,041266
60	0,0191913	0,0209303	0,0191913	0,0209303	-0,039473	-0,037734	-0,039473	-0,037734
61	0,0063326	0,0069065	0,0063326	0,0069065	-0,052331	-0,051757	-0,052331	-0,051757
66	0,0145506	0,0158691	0,0145506	0,0158691	-0,044113	-0,042795	-0,044113	-0,042795
69	0,0033234	0,0036246	0,0033234	0,0036246	-0,055340	-0,055039	-0,055340	-0,055039
70	0,0167259	0,0182416	0,0167259	0,0182416	-0,041938	-0,040422	-0,041938	-0,040422
72	0,0128587	0,0140239	0,0128587	0,0140239	-0,045805	-0,044640	-0,045805	-0,044640
73	0,0046165	0,0050349	0,0046165	0,0050349	-0,054047	-0,053629	-0,054047	-0,053629
75	0,0211249	0,0230392	0,0211249	0,0230392	-0,037539	-0,035625	-0,037539	-0,035625
76	0,0109734	0,0119677	0,0109734	0,0119677	-0,047691	-0,046696	-0,047691	-0,046696
77	0,0066469	0,0072492	0,0066469	0,0072492	-0,052017	-0,051415	-0,052017	-0,051415
78	0,0181761	0,0198232	0,0181761	0,0198232	-0,040488	-0,038841	-0,040488	-0,038841
79	0,0050033	0,0054567	0,0050033	0,0054567	-0,053661	-0,053207	-0,053661	-0,053207
80	0,0273367	0,0298139	0,0273367	0,0298139	-0,031327	-0,028850	-0,031327	-0,028850
81	0,017306	0,0188742	0,017306	0,0188742	-0,041358	-0,039790	-0,041358	-0,039790
82	0,0278443	0,0303675	0,0278443	0,0303675	-0,030820	-0,028296	-0,030820	-0,028296
83	0,0142122	0,0155001	0,0142122	0,0155001	-0,044452	-0,043164	-0,044452	-0,043164
84	0,0087859	0,0095821	0,0087859	0,0095821	-0,049878	-0,049082	-0,049878	-0,049082

	C1	C2	C3	C4	C1	C2	C3	C4
ID Área	Vazão de escoamento crítico (m³/s)				Transbordamento (m³/s)			
85	0,0119764	0,0130617	0,0119764	0,0130617	-0,046687	-0,045602	-0,046687	-0,045602
86	0,0052087	0,0056807	0,0052087	0,0056807	-0,053455	-0,052983	-0,053455	-0,052983
88	0,0321829	0,0350992	0,0321829	0,0350992	-0,026481	-0,023565	-0,026481	-0,023565
89	0,0101516	0,0110715	0,0101516	0,0110715	-0,048512	-0,047592	-0,048512	-0,047592
130	0,0333914	0,0364172	0,0333914	0,0364172	-0,025273	-0,022247	-0,025273	-0,022247
131	0,0248109	0,0270592	0,0248109	0,0270592	-0,033853	-0,031605	-0,033853	-0,031605
133	0,0889833	0,0970467	0,0889833	0,0970467	0,030319	0,038383	0,030319	0,038383
134	0,0112876	0,0123104	0,0112876	0,0123104	-0,047376	-0,046353	-0,047376	-0,046353
Total					0,039439	0,062600	0,039439	0,062600

B.2. Telhado verde

TABELA 36- Estimativas para o telhado verde

ID Área	Volume de controle (m ³)	Profundidade (m)	Capacidade de tratamento (m ³ /s)
98	47,5	0,12	0,023
99	29,8	0,12	0,015
101	40,2	0,12	0,020
102	21,6	0,12	0,011
103	11,3	0,12	0,006
104	13,5	0,12	0,007

ID Área	C1	C2	C3	C4	C1	C2	C3	C4
	Vazão de escoamento crítico (m ³ /s)				Transbordamento (m ³ /s)			
98	0,010	0,011	0,010	0,011	-0,013	-0,013	-0,013	-0,013
99	0,006	0,007	0,006	0,007	-0,017	-0,017	-0,017	-0,017
101	0,008	0,009	0,008	0,009	-0,015	-0,014	-0,015	-0,014
102	0,005	0,005	0,005	0,005	-0,019	-0,018	-0,019	-0,018
103	0,002	0,003	0,002	0,003	-0,021	-0,021	-0,021	-0,021
104	0,003	0,003	0,003	0,003	-0,021	-0,020	-0,021	-0,020
Área Total					0,000	0,000	0,000	0,000

B.3. Trincheira de infiltração

TABELA 37- Estimativas para a trincheira de infiltração

ID Área	Largura (m)	Comprimento (m)	Área Superficial (m ²)	Capacidade (m ³ /s)
99 A	1,5	64	96	0,052
99 B	1,5	60	90	0,054
99 C	1,5	48	72	0,033
107 A	1,5	35	52,5	0,032
107 B	1,5	48	72	0,042
108A	1,5	35	52,5	0,028
108B	1,5	42	63	0,032
109 A	1,5	50	75	0,048
109 B	1,5	52	78	0,039
111 A	1,5	40	60	0,021
111 B	1,5	40	60	0,026
112 A	1,5	50	75	0,036
112 B	1,5	50	75	0,041
119 A	1,5	40	60	0,033
119 B	1,5	40	60	0,026
121	1,5	50	75	0,043
126 A	1,5	40	60	0,031
127 B	1,5	40	60	0,040
134 A	1,5	60	90	0,062
134 B	1,5	50	75	0,031
143 A	1,5	50	75	0,044
143 B	1,5	65	97,5	0,066
144 A	1,5	50	75	0,024
144 B	1,5	40	60	0,020
145 A	1,5	40	60	0,026
145 B	1,5	40	60	0,028
146 A	1,5	60	90	0,059
146 B	1,5	40	60	0,030
146 C	1,5	40	60	0,040
146 D	1,5	50	75	0,039
147 A	1,5	50	75	0,029
147 B	1,5	50	75	0,048
147 C	1,5	40	60	0,018
147 D	1,5	40	60	0,019
148 A	1,5	50	75	0,053
148 B	1,5	60	90	0,079
148 C	1,5	20	30	0,009
148 D	1,5	40	60	0,019
Total			2638,5	1,401

TABELA 38- Transbordamentos nas trincheiras de infiltração

ID Área	C1	C2	C3	C4	C1	C2	C3	C4
	Vazão de escoamento crítico (m ³ /s)				Transbordamento (m ³ /s)			
99 A	0,048	0,053	0,048	0,053	-0,004	0,001	-0,004	0,001
99 B	0,052	0,057	0,052	0,057	-0,002	0,003	-0,002	0,003
99 C	0,026	0,028	0,026	0,028	-0,007	-0,005	-0,007	-0,005
107 A	0,030	0,032	0,030	0,032	-0,002	0,000	-0,002	0,000
107 B	0,041	0,044	0,041	0,044	-0,002	0,002	-0,002	0,002
108A	0,027	0,029	0,027	0,029	-0,001	0,001	-0,001	0,001
108B	0,031	0,034	0,031	0,034	-0,001	0,002	-0,001	0,002
109 A	0,040	0,044	0,040	0,044	-0,008	-0,004	-0,008	-0,004
109 B	0,030	0,033	0,030	0,033	-0,009	-0,006	-0,009	-0,006
111 A	0,018	0,020	0,018	0,020	-0,003	-0,001	-0,003	-0,001
111 B	0,023	0,025	0,023	0,025	-0,003	-0,001	-0,003	-0,001
112 A	0,032	0,035	0,032	0,035	-0,004	-0,001	-0,004	-0,001
112 B	0,037	0,041	0,037	0,041	-0,004	-0,001	-0,004	-0,001
119 A	0,029	0,031	0,029	0,031	-0,005	-0,002	-0,005	-0,002
119 B	0,021	0,022	0,021	0,022	-0,006	-0,004	-0,006	-0,004
121	0,038	0,041	0,038	0,041	-0,005	-0,002	-0,005	-0,002
126 A	0,029	0,031	0,029	0,031	-0,002	0,001	-0,002	0,001
127 B	0,038	0,042	0,038	0,042	-0,002	0,002	-0,002	0,002
134 A	0,056	0,061	0,056	0,061	-0,007	-0,002	-0,007	-0,002
134 B	0,026	0,029	0,026	0,029	-0,005	-0,003	-0,005	-0,003
143 A	0,038	0,041	0,038	0,041	-0,006	-0,002	-0,006	-0,002
143 B	0,062	0,067	0,062	0,067	-0,004	0,002	-0,004	0,002
144 A	0,021	0,022	0,021	0,022	-0,004	-0,002	-0,004	-0,002
144 B	0,014	0,015	0,014	0,015	-0,006	-0,005	-0,006	-0,005
145 A	0,023	0,025	0,023	0,025	-0,003	-0,001	-0,003	-0,001
145 B	0,024	0,027	0,024	0,027	-0,003	-0,001	-0,003	-0,001
146 A	0,050	0,055	0,050	0,055	-0,009	-0,005	-0,009	-0,005
146 B	0,022	0,024	0,022	0,024	-0,008	-0,006	-0,008	-0,006
146 C	0,036	0,039	0,036	0,039	-0,004	-0,001	-0,004	-0,001
146 D	0,039	0,042	0,039	0,042	0,000	0,003	0,000	0,003
147 A	0,021	0,023	0,021	0,023	-0,008	-0,006	-0,008	-0,006
147 B	0,042	0,045	0,042	0,045	-0,006	-0,002	-0,006	-0,002
147 C	0,014	0,015	0,014	0,015	-0,004	-0,003	-0,004	-0,003
147 D	0,017	0,018	0,017	0,018	-0,003	-0,001	-0,003	-0,001
148 A	0,044	0,048	0,044	0,048	-0,009	-0,005	-0,009	-0,005
148 B	0,078	0,085	0,078	0,085	-0,001	0,006	-0,001	0,006
148 C	0,001	0,001	0,001	0,001	-0,009	-0,009	-0,009	-0,009
148 D	0,015	0,016	0,015	0,016	-0,005	-0,003	-0,005	-0,003
Total	1,136	1,239	1,136	1,239	0,000	0,021	0,000	0,021

B.4. Pavimento permeável

TABELA 39- Estimativas para o pavimento permeável

ID Área	Profundidade (cm)	Volume (m ³)	Capacidade (m ³ /s)
78	50,78974349	109,20	0,0539
92	49,74945348	29,31	0,0145
96	69,24636024	16,54	0,0082
113	82,20965589	49,13	0,0242

TABELA 40- Transbordamento no Pavimento Permeável

ID Área	C1	C2	C3	C4	C1	C2	C3	C4
	Vazão de Chuva (m ³ /s)				Transbordamento (m ³ /s)			
78	0,0386	0,0421	0,0386	0,0421	-0,0153	-0,0118	-0,0153	-0,0118
92	0,0103	0,0113	0,0103	0,0113	-0,0042	-0,0032	-0,0042	-0,0032
96	0,0062	0,0067	0,0062	0,0067	-0,0020	-0,0014	-0,0020	-0,0014
113	0,0168	0,0183	0,0168	0,0183	-0,0074	-0,0059	-0,0074	-0,0059
Área Total					0,0000	0,0000	0,0000	0,0000

B.5. Bacia de detenção

TABELA 41- Estimativas para bacias de detenção

ID Área	Volume (m ³)	Profundidade (m)	Capacidade de tratamento (m ³ /s)
40	115,114	0,5	0,057
67	355,868	0,7	0,176
95	115,945	0,5	0,057
Área Total	586,927		0,290

TABELA 42- Transbordamento nas bacias de detenção

ID Área	C1	C2	C3	C4	C1	C2	C3	C4
	Vazão de Chuva (m ³ /s)				Transbordamento (m ³ /s)			
40	0,054	0,059	0,054	0,059	-0,003	0,002	-0,003	0,002
67	0,178	0,195	0,178	0,195	0,003	0,019	0,003	0,019
95	0,061	0,066	0,061	0,066	0,004	0,009	0,004	0,009
Área Total					0,006	0,030	0,006	0,030

B.6. Biorretenção

TABELA 43- Estimativas para o biorretenção

ID Área	Profundidade (cm)	Volume (m ³)	Capacidade (m ³ /s)
35	50	0,00	0,0004
38	50	0,21	0,0353
55	50	0,21	0,0346
56	50	0,39	0,0656
68	50	0,25	0,0410
71	50	0,21	0,0356
115	50	0,19	0,0322
117	50	0,57	0,0950
118	50	0,31	0,0511
120	50	0,12	0,0197
133	50	1,01	0,1679
Área Total			0,5784

TABELA 44- Transbordamento na biorretenção

ID Área	C1	C2	C3	C4	C1	C2	C3	C4
	Vazão de Chuva (m ³ /s)				Transbordamento (m ³ /s)			
35	0,0184	0,0229	0,0229	0,0250	0,0181	0,0226	0,0226	0,0247
38	0,0413	0,0450	0,0451	0,0492	0,0060	0,0097	0,0098	0,0139
55	0,0408	0,0445	0,0446	0,0486	0,0062	0,0099	0,0100	0,0140
56	0,0649	0,0708	0,0709	0,0773	-0,0007	0,0052	0,0053	0,0117
68	0,0453	0,0494	0,0495	0,0539	0,0043	0,0084	0,0085	0,0130
71	0,0415	0,0453	0,0453	0,0494	0,0059	0,0096	0,0097	0,0138
115	0,0392	0,0427	0,0428	0,0466	0,0070	0,0106	0,0106	0,0145
117	0,0932	0,1017	0,1018	0,1110	-0,0018	0,0066	0,0067	0,0160
118	0,0529	0,0577	0,0578	0,0630	0,0018	0,0066	0,0067	0,0119
120	0,0313	0,0341	0,0342	0,0373	0,0116	0,0145	0,0145	0,0176
133	0,1860	0,2029	0,2031	0,2215	0,0181	0,0349	0,0352	0,0536
Área Total	0,65	0,72	0,72	0,78	0,0790066	0,1386111	0,1395302	0,2045827

B.7. Wetlands construídos

TABELA 45- Estimativas dos *wetlands* construídos.

ID Área	Largura (m)	Comprimento (m)	Volume (m³)	Profundidade (m)	Vazão de controle (m³/s)
41	40,00	10,00	453,8	1,13	0,01050
87	52,92	13,23	1266,2	1,81	0,02931
90	44,72	11,18	658,9	1,32	0,01525
105	44,72	11,18	588,3	1,18	0,01362
106	34,64	8,66	281,2	0,94	0,00651
114	44,72	11,18	848,1	1,70	0,01963
116	44,72	11,18	538,6	1,08	0,01247
127	44,72	11,18	351,8	0,70	0,00814
130	44,72	11,18	679,8	1,36	0,01574
135	34,64	8,66	256,1	0,85	0,00593
Total				12,07	0,14

TABELA 46- Transbordamento nos *wetlands* construídos

ID Área	C1 C2 C3 C4				C1 C2 C3 C4			
	Vazão de Chuva (m³/s)				Transbordamento (m³/s)			
41	0,011	0,012	0,012	0,013	0,000	0,001	0,001	0,002
87	0,033	0,036	0,036	0,039	0,004	0,007	0,007	0,010
90	0,017	0,019	0,019	0,020	0,002	0,003	0,003	0,005
105	0,015	0,017	0,017	0,018	0,002	0,003	0,003	0,005
106	0,007	0,008	0,008	0,009	0,001	0,001	0,001	0,002
114	0,022	0,024	0,024	0,026	0,002	0,004	0,004	0,007
116	0,014	0,015	0,015	0,017	0,002	0,003	0,003	0,004
127	0,009	0,010	0,010	0,011	0,001	0,002	0,002	0,003
130	0,018	0,019	0,019	0,021	0,002	0,004	0,004	0,005
135	0,007	0,007	0,007	0,008	0,001	0,001	0,001	0,002
Total					0,016141	0,030028	0,030242	0,045407

APÊNDICE C- MODELAÇÃO DO INTERCEPTOR COM A FERRAMENTA STORMCAD

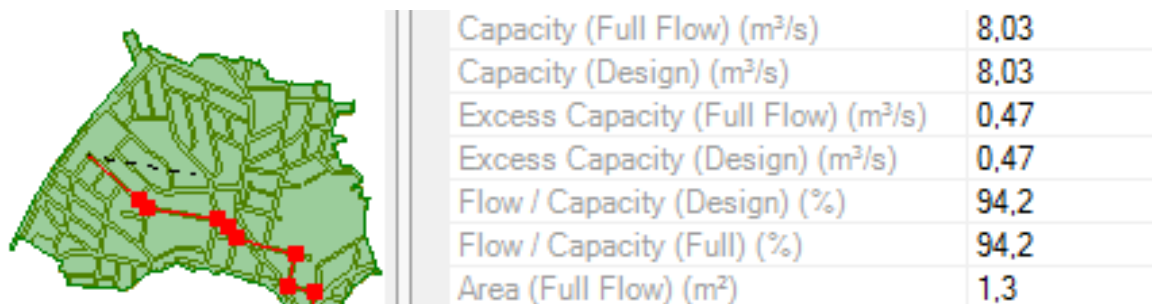


FIGURA 36- Capacidade da rede com $C_0 = 0,22$ E $P_0 = 3959$ hab

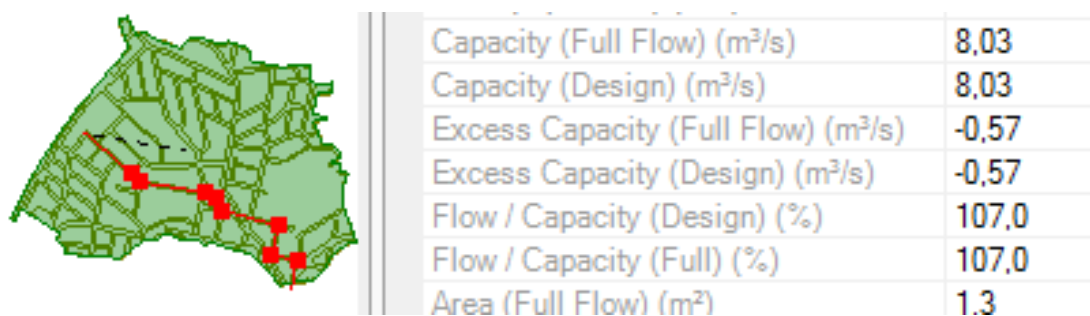


FIGURA 37- Capacidade da rede com $C_{2046} = 0,25$ E $P_{2046} = 4737$ hab

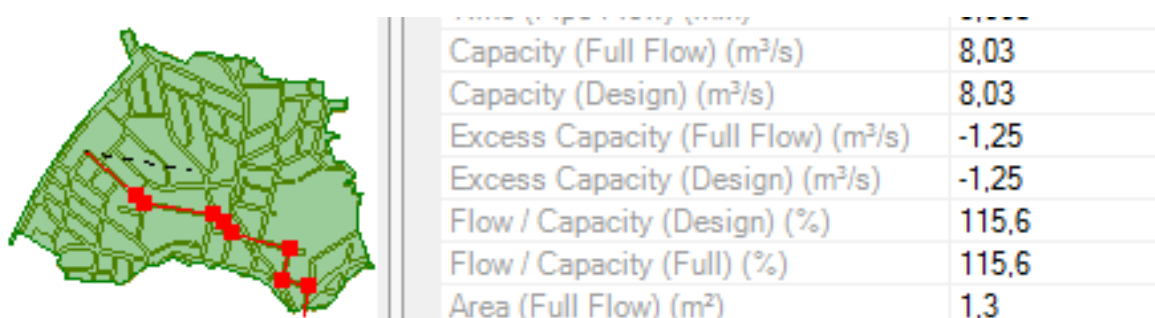


FIGURA 38- Capacidade da rede com $C_{2046} = 0,27$ E $P_{2046} = 4737$ hab

APÊNDICE D- QUESTIONARIO PARA DETERMINAR OS PESOS DOS INDICADORES

D.1. Entrevistados

- Esp 1: Cesar Destro (co-orientador): Graduado em Engenharia Sanitária e Ambiental pela Universidade Federal de Mato Grosso, UFMT (2007), mestre em Recursos Hídricos pela Universidade Federal de Mato Grosso, UFMT (2010), e doutor em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental pela Universidade Federal do Paraná, UFPR (2016). Tem experiência na área de tratamento de águas residuárias e métodos de análise de séries temporais. Atuou no projeto de implantação do Centro de Referência de Reúso de Água em Cuiabá/MT como coordenador do laboratório de análises físicas e químicas. Atualmente, é professor adjunto da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), ministrando disciplinas nas áreas de saneamento, hidráulica e hidrologia. Atua na área de planejamento e gestão urbana considerando os sistemas de abastecimento de água, esgotamento sanitário, e com foco em sistemas sustentáveis de drenagem utilizando abordagem integrada e planejamento estratégico.
- Esp 2: Daniel Santos (Orientador): Possui graduação em Engenharia Civil pela Universidade Federal de Santa Maria (1988), mestrado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul (1993), doutorado em Construção Civil e Estruturação Urbana pela Universidade de São Paulo (1998) e pós-doutorado em Saneamento Ambiental no Institute for Water Education, UNESCO IHE, Holanda (2010). Atualmente é professor associado da Universidade Federal do Paraná. Tem experiência na área de Saneamento Ambiental com ênfase no uso sustentável da água no meio urbano, nas instalações hidrossanitárias e nas soluções de saneamento para comunidades de interesse social.
- Esp 3: Livia Yu Iwamura: Graduação em Arquitetura e Urbanismo (2009) - Universidade Federal do Paraná (UFPR). Mestrado pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil (2011) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). Especialização em Gestão Ambiental em Municípios (2014) - UTFPR. Doutorado pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil (2017) - UFPR (em andamento). Atualmente é Arquiteta e Urbanista da Universidade Federal da Integração Latino-Americana (UNILA).
- Esp 4: Miguel Aisse (Membro da banca avaliadora): Graduação em Engenharia Civil pela Universidade Federal do Paraná (1976), mestrado em Engenharia Civil - Hidráulica e Saneamento pela Escola de Engenharia de São Carlos -USP (1985) e doutorado em Engenharia Civil - Engenharia Hidráulica pela Universidade de São Paulo (2002). Professor da Pontifícia Universidade Católica do Paraná, na graduação e junto ao Programa de Pós-Graduação - PPGTU, de 1980 a 2007. Professor da Universidade Federal do Paraná, desde 1982, na graduação e junto ao Programa de Pós-Graduação - PPGERHA. Experiência na área de Engenharia Sanitária e Ambiental, atuando principalmente nos seguintes temas: projeto e gestão da infraestrutura sanitária, tratamento de esgotos sanitário, reúso da água. Integra o Conselho Editorial da Revista ESA da Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental - ABES. Atua na Diretoria da ABES desde 1992.

- Esp 5: Ramiro Etchepare: Professor Adjunto na Universidade Federal do Paraná (UFPR). Doutor em Engenharia (2016) na área de Tecnologia Ambiental do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais (PPGE3M) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), com período sanduíche de um ano na Delft University of Technology (TUD, Holanda), no setor de Engenharia Sanitária. Possui mestrado no PPGE3M/UFRGS (2012) e graduação em Engenharia Ambiental (2009) pela Universidade Luterana do Brasil. Pesquisa na área de avaliação de riscos e tratamento e reúso de águas e efluentes líquidos pelos processos físico-químico e oxidativo avançado. Possui experiência profissional como consultor técnico em Engenharia Sanitária e Ambiental, no gerenciamento de resíduos sólidos urbanos e industriais, projetos de gestão e licenciamento ambiental, avaliação de impactos ambientais e produção mais limpa na indústria
- Esp 6: Karoline Richter: Graduada em Engenharia Civil pela Universidade Federal do Paraná em dezembro de 2009 e em Especialização em Engenharia de Segurança do Trabalho pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná em dezembro de 2010. Mestre pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia da Construção Civil da Universidade Federal do Paraná em abril de 2014. Doutoranda pelo Programa de Pós Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental da Universidade Federal do Paraná.
- Esp 7: Erika Sierra Cárdenas: Graduação em Engenharia Sanitária (2013) e Engenharia Ambiental (2015) – Universidad de Boyacá, Colombia (Uniboyaca). Mestrado pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental pela Universidade Federal do Paraná, UFPR (2017). Pesquisa na área de tratamento de águas, de esgotos, planejamento e gestão urbana visando o emprego dos Sistemas Urbanos de drenagem Sustentável.

D.2. Questionário para a concepção dos pesos

O questionário para a conceição dos pesos foi o seguinte:

Avalie os indicadores segundo a importância que você considere na gestão e controle sobre uma área urbana, onde 1 é menos importante e 10 é mais importante conforme o apresentado na seguinte Tabela:

TABELA 47- Avaliação dos pesos dos indicadores

Indicador	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Prevenção de enchentes										
Redução da carga de NTK na drenagem										
Redução da carga de PT na drenagem										
Redução da carga de SST na drenagem										
Aumento da cobertura do sistema de abastecimento de água										

D.3. Resultados dos pesos dos indicadores

TABELA 48- Pesos dos indicadores

Indicadores	Entrevistados							Pesos
	Esp 1	Esp 2	Esp 3	Esp 4	Esp 5	Esp 6	Esp 7	
Vazão de escoamento crítico	0,50	0,40	0,26	0,35	0,23	0,23	0,32	0,33
Carga de Nitrogênio kjeldahl total	0,05	0,20	0,13	0,17	0,18	0,18	0,16	0,17
Carga de Fósforo total	0,05	0,20	0,13	0,10	0,18	0,18	0,14	0,12
Carga de Sólidos Suspensos Totais	0,10	0,10	0,22	0,28	0,18	0,18	0,16	0,17
Cobertura do sistema de água	0,30	0,10	0,26	0,10	0,23	0,23	0,22	0,22
							Σ	1,00