

**PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DO PARANÁ
ESCOLA DE BELAS ARTES
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GESTÃO URBANA**

ALESSANDRO BERTOLINO

**SISTEMA DE SUPORTE À TOMADA DE DECISÃO PARA IMPLANTAÇÃO DE
MEDIDAS ALTERNATIVAS DE MICRODRENAGEM PLUVIAL EM ESPAÇOS
LIVRES URBANOS PARA MITIGAÇÃO DE ALAGAMENTOS**

**CURITIBA
2020**

ALESSANDRO BERTOLINO

**SISTEMA DE SUPORTE À TOMADA DE DECISÃO PARA IMPLANTAÇÃO DE
MEDIDAS ALTERNATIVAS DE MICRODRENAGEM PLUVIAL EM ESPAÇOS
LIVRES URBANOS PARA MITIGAÇÃO DE ALAGAMENTOS**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Gestão Urbana da Pontifícia Universidade Católica do Paraná, como requisito parcial à obtenção do título de Doutor em Gestão Urbana.

Orientador: Prof. Dr. Carlos Mello Garcias

CURITIBA

2020

Dados da Catalogação na Publicação
Pontifícia Universidade Católica do Paraná
Sistema Integrado de Bibliotecas – SIBI/PUCPR
Biblioteca Central
Pamela Travassos de Freitas – CRB 9/1960

Bertolino, Alessandro
B546s Sistema de suporte à tomada de decisão para implantação de medidas
2020 alternativas de microdrenagem pluvial em espaços livres urbanos para
mitigação de alagamentos / Alessandro Bertolino ; orientador: Carlos Mello
Garcias. – 2020.
190 f. : il. ; 30 cm

Tese (doutorado) – Pontifícia Universidade Católica do Paraná, Curitiba,
2020
Bibliografia: f. 175-189

1. Planejamento urbano - Aspectos ambientais. 2. Águas pluviais.
3. Desenvolvimento sustentável. 4. Drenagem. 5. escoamento urbano.
6. Gestão ambiental. 7. Inundações - Processo decisório. 8. Inundações -
Aspectos ambientais. I. Garcias, Carlos Mello. II. Pontifícia Universidade
Católica do Paraná. Pós-Graduação em Gestão Urbana. III. Título.

CDD 20. ed. – 711.42

TERMO DE APROVAÇÃO

“SISTEMA DE SUPORTE À TOMADA DE DECISÃO PARA IMPLANTAÇÃO DE MEDIDAS ALTERNATIVAS DE MICRODRENAGEM PLUVIAL EM ESPAÇOS LIVRES URBANOS PARA MITIGAÇÃO DE ALAGAMENTOS”

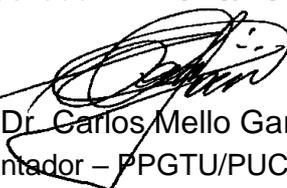
Por

ALESSANDRO BERTOLINO

Tese aprovada como requisito parcial para obtenção do grau de Doutor no Programa de Pós-Graduação em Gestão Urbana, área de concentração em Gestão Urbana, da Escola de Belas Artes, da Pontifícia Universidade Católica do Paraná.



Prof. Dr. Rodrigo José Firmino
Coordenador – PPGTU/PUCPR



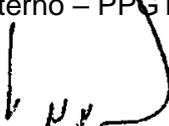
Prof. Dr. Carlos Mello Garcias
Orientador – PPGTU/PUCPR



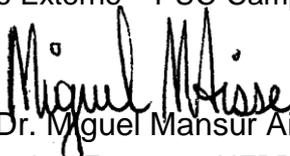
Prof. Dr. Edilberto Nunes de Moura
Membro Interno – PPGTU/PUCPR



Profª. Dra. Leticia Peret Antunes Hardt
Membro Interno – PPGTU/PUCPR



Profª. Dra. Laura Machado de Mello Bueno
Membro Externo – PUC-Campinas



Prof. Dr. Miguel Mansur Aisse
Membro Externo – UFPR

Curitiba, 23 de março de 2020.

Dedico a minha família, pai, mãe, irmã e
esposa e a todos os professores que tive.

Vocês são minha inspiração.

AGRADECIMENTOS

Agradeço...

Primeiramente a Deus, pelo dom da vida, por todas as oportunidades que me foram dadas e por sempre ter colocado em meu caminho pessoas maravilhosas. Também à Mãe Maria, sob todas as suas denominações, que sempre me ajudou nos momentos mais difíceis e estava comigo em todas as minhas orações.

Aos meus pais Sonia e Edmilson, os quais sempre me proporcionaram uma educação de qualidade, me incentivaram (nunca me deixando jogar vídeo game no período de aulas) e que me deram muito carinho e apoio em todas as minhas decisões. Também à minha irmãzinha Sandra, parceira de artes na infância e que me inspira pelo tamanho de seu coração. Ao cãopanheiro Madruga, parceiro de vários momentos de trabalho solitário. Amo vocês.

À minha esposa. Nos bons e maus momentos, no riso e no choro, na piada e nos momentos sérios, você estava comigo e, se por um momento eu caí, foi você que me ergueu. Amo você Stéphanie. Essa tese nunca ficaria pronta se não fosse você. Esse trabalho também é seu.

Ao meu orientador, colega de profissão, amigo e eterno professor, Carlos Mello Garcias. Obrigado pela paciência, compreensão nos momentos em que não pude estar junto ao grupo de pesquisa, pelos conselhos e pela oportunidade.

Aos meus amigos. Sejam daqui de Curitiba, ou de Hong Kong, de Bataguassu, Bombinhas, Canoinhas... Não preciso citar nomes, mas vocês sabem que foram essenciais para eu estar aqui. Vocês foram meu desafogo, ao vivo ou por mensagens, sempre estavam comigo.

Ao Programa de Pós-Graduação em Gestão Urbana pelas oportunidades, por seus docentes que dedicaram parte de seu tempo ao dom de ensinar e a Pollyana, que sempre estava disposta a ajudar, quebrar um galho ou então, escutar as lamentações.

Aos professores Edilberto, Letícia, Miguel e Laura pelo aceite em participar da banca e por todas as contribuições realizadas.

À Pontifícia Universidade Católica do Paraná, pela bolsa de estudos concedida para que eu pudesse cursar o doutorado.

Ao curso de Engenharia Ambiental da PUCPR, seu corpo docente e seus estudantes. Desde o primeiro dia que pisei nessa universidade, estudei por esse curso, lutei por ele, trabalhei por ele. Ele também me deu amigos, me deu uma esposa, me deu uma vida nova. Esse curso é a minha paixão.

A todos, o meu sincero, singelo, mas de coração, **MUITO OBRIGADO!**

Quanto mais cedo nos livrarmos desse
susto, melhor.

(BARRIE, 1911)

RESUMO

As ações de drenagem pautadas na visão de retenção, redução, infiltração e melhoria da qualidade do escoamento superficial são denominadas alternativas. Essa nomenclatura se dá pelo fato de que seus princípios adotados se opõem àqueles utilizados nas soluções convencionais, apesar de serem complementares. Além disso, podem ser empregadas com o objetivo de proporcionar melhor aproveitamento das áreas livres urbanas. Para a aplicação dessas medidas, a tomada de decisão depende de diversos aspectos, dentre eles as características físicas do local de instalação, que podem ser valoradas e comparadas. Com base nisso, o objetivo geral deste estudo foi desenvolver um sistema de suporte à tomada de decisão para implantação de medidas alternativas de microdrenagem pluvial em espaços livres urbanos para mitigação de alagamentos. Para tanto, foram estudadas estruturas baseadas no conceito de Projeto Urbano Sensível à Água: pavimentos permeáveis, valas vegetadas, sistemas de biorretenção, bacias de retenção, bacias de retenção e *wetlands*. Para todas essas, foram relacionadas cinco características físicas que são importantes para sua viabilização: condutividade hidráulica do solo, condutividade hidráulica do subsolo, profundidade do lençol freático, erodibilidade do solo e declividade. Posteriormente, foram construídas métricas de avaliação e cada característica física teve seus valores normalizados pela adaptação do Modelo de Ponderação de Indicadores Econômicos e Ecológicos Normalizados e do Coeficiente de Correlação Tau de Kendall. Na estruturação do sistema de escolha, cada medida alternativa obteve uma nota final ao somar-se as pontuações das cinco características. O sistema foi aplicado em três áreas no município de Curitiba, localizadas na Pontifícia Universidade Católica do Paraná, na Praça Brigadeiro Eppinghaus e no Bosque do Alemão. A aplicação confirmou resultados de pesquisas anteriores e permitiu a discussão das possibilidades de implantação das medidas alternativas de drenagem nas áreas selecionadas. Desta maneira, foi desenvolvido um sistema de suporte à decisão que pode facilitar a difusão das estruturas estudadas como uma forma de complementação aos sistemas convencionais das cidades, além de ser aplicável por gestores no planejamento e na concepção de projetos urbanos. A organização e sistematização dos valores de referência facilita a visualização da possibilidade de implantação das medidas alternativas nas áreas livres urbanas para mitigação de alagamentos.

Palavras-chave: Desenho Urbano. Gestão Ambiental Urbana. Drenagem Urbana Sustentável. Infiltração de Águas Pluviais. Retenção de Águas Pluviais.

ABSTRACT

The drainage actions based on detention, reduction, infiltration and quality improvement of runoff are denominated alternatives. This nomenclature is due to the fact that its adopted principles are opposed to those used in conventional solutions, despite being complementary. In addition, they can be used in order to provide better use of free urban areas. For the application of these measures, the decision-making depends on several aspects, such as the physical characteristics of the installation site, which can be evaluated and compared. Based on this, the general objective of this study was to develop a decision support system for the implementation of alternative microdrainage's measures in urban open spaces to mitigate urban flooding. Thus, structures based on the concept of Water Sensitive Urban Design were studied: permeable pavements, vegetated swales, bio-retention systems, detention and retention basins and wetlands. For all of them, five physical characteristics that are important for their viability were listed: hydraulic conductivity of the soil, hydraulic conductivity of the subsoil, depth of the water table, soil erodibility and slope. Subsequently, assessment metrics were built and each physical characteristic had its values normalized by adapting the Weighted Model to Normalized Economic and Ecological Indicators and Kendall's Tau Correlation Coefficient. In structuring the choice system, each alternative drainage measure obtained a final score by adding the scores of the five characteristics. The system was applied in three areas in the city of Curitiba, located at Pontifícia Universidade Católica do Paraná, Praça Brigadeiro Eppinghaus and Bosque do Alemão. The application confirmed results of previous research and allowed discussion on the possibilities of implementing alternative drainage measures in the selected areas. In this way, a decision support system was developed that can facilitate the diffusion of the studied structures as a way of complementing the conventional systems of cities, in addition to being applicable by managers in the planning and design of urban projects. The organization and systematization of the reference values eases visualization of the possibility of implementing alternative measures in urban drainage in open spaces to mitigate urban flooding.

Key-words: Urban Design. Urban Environmental Management. Sustainable Urban Drainage. Rainwater infiltration. Rainwater Retention.

RÉSUMÉ

Les actions de drainage basées sur la vision de la rétention, de la réduction, de l'infiltration et de l'amélioration de la qualité du ruissellement sont appelées alternatives. Cette nomenclature est due au fait que ses principes adoptés sont opposés à ceux utilisés dans les solutions conventionnelles, bien qu'ils soient complémentaires. De plus, ils peuvent être utilisés afin de permettre une meilleure utilisation des zones urbaines libres. Pour l'application de ces mesures, la prise de décision dépend de plusieurs aspects, dont les ressources d'installation locales, qui peuvent être évaluées et comparées. Donc, l'objectif général de cette étude est développer un système d'aide à la décision pour l'installation de mesures alternatives de microdrain dans les espaces libres urbains pour atténuer les inondations. À cette fin, des structures conceptuelles ont été étudiées dans le cadre du Projet Urbain Sensible à l'Eau: chaussées perméables, fossés végétalisés, aire de biorétention, bassins de détention, bassins de rétention et marais filtrant. Pour tous ces éléments, cinq caractéristiques physiques ont été répertoriées qui sont importantes pour leur viabilité: la conductivité hydraulique du sol, la conductivité hydraulique du sous-sol, la profondeur de la nappe phréatique, l'érosion du sol et pente de la surface. Après, des mesures d'évaluation ont été construites et chaque caractéristique physique avaient ses valeurs normalisées en adaptant le Modèle de Pondération des Indicateurs Économiques et Écologiques normalisés et le Coefficient de Corrélation Tau de Kendall. Dans la structuration du système de choix, chaque mesure alternative a obtenu un score final en additionnant les scores des cinq caractéristiques. Le système a été appliqué dans trois zones de la municipalité de Curitiba, situées à Pontifícia Universidade Católica do Paraná, sur la Place Brigadeiro Eppinghaus et Bosque do Alemão. L'application a confirmé les résultats de recherches antérieures et a permis de discuter des possibilités de l'installation des mesures de drainage alternatives dans les zones sélectionnées. De cette façon, un système d'aide à la décision a été développé qui peut faciliter la diffusion des structures étudiées afin de compléter les systèmes conventionnels des villes, en plus d'être applicable par les gestionnaires dans la planification et la conception de projets urbains. L'organisation et la systématisation des valeurs de référence facilitent la visualisation de la possibilité de l'installation des mesures alternatives dans les zones urbaines libres pour atténuer les inondations.

Mots clés: Design urbain. Gestion de l'Environnement Urbain. Drainage Urbain Durable. Infiltration d'Eau de Pluie. Rétention d'Eau de Pluie.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Objetivos do WSUD	35
Figura 2 - Estacionamento campus Curitiba da PUCPR, período seco.	36
Figura 3 - Estacionamento campus Curitiba da PUCPR, após a chuva do dia 21 de fevereiro de 2019..	36
Figura 4 - Figura resumo da estrutura da tese	39
Figura 5 - Representação esquemática do Projeto Urbano Sensível à Água	44
Figura 6 – Representação da evolução das estratégias em gestão de águas pluviais	45
Figura 7 - Esquema gráfico da evolução da gestão das águas nas cidades.....	47
Figura 8 - Representação das diferenças entre projetos de drenagem convencional e em cidades hidricamente sensíveis.....	48
Figura 9 – Exemplo de aplicação WSUD em uma área urbana	49
Figura 10 - Representação dos espaços vazios na cidade	50
Figura 11 - Representação da variação dos hidrogramas para diferentes coberturas de solo para a mesma chuva	59
Figura 12 - Representação da variação dos hidrogramas para diferentes coberturas de solo em uma bacia hidrográfica.....	60
Figura 13 - Representação do aproveitamento da água de chuva por cisterna	66
Figura 14 - Cobertura verde na Escola de Arte em Singapura.....	68
Figura 15 – Representação dos sistemas de infiltração dos pavimentos permeáveis	70
Figura 16 - Exemplo de pavimento poroso intertravado tipo 1.	71
Figura 17 - Exemplo de pavimento poroso intertravado tipo 2.	71
Figura 18 - Exemplo de Pavimento concreto permeável.....	72
Figura 19 - Vala Vegetada	74
Figura 20. Arranjo para um sistema de biorretenção impermeável.	76
Figura 22 - Exemplo de Jardins de Chuva em Portland.	77
Figura 23 - Exemplo de Jardins de Chuva nas ruas de Portland.	77
Figura 24 - Utilização de macrófitas em <i>wetlands</i> construídas	79
Figura 25 - Esquema de implantação de um sistema de <i>wetlands</i> construídas	80
Figura 26 - Parque Barigui em Curitiba/PR: um exemplo de sistema de retenção de águas	81

Figura 27 - Exemplos de métricas de avaliação.....	101
Figura 28 - Linha de tendência, função de utilidade multidimensional e coeficiente de determinação para erodibilidade	105
Figura 29 - Fluxograma da metodologia desenvolvida.....	107
Figura 30 - Linha de tendência, função de utilidade multidimensional e coeficiente de determinação gerada para condutividade hidráulica do solo para pavimentos permeáveis.....	109
Figura 31 - Linha de tendência, função de utilidade multidimensional e coeficiente de determinação gerada para condutividade hidráulica do subsolo para pavimentos permeáveis.....	110
Figura 32 - Linha de tendência, função de utilidade multidimensional e coeficiente de determinação gerada para profundidade do lençol freático para pavimentos permeáveis.....	112
Figura 33 - Linha de tendência, função de utilidade multidimensional e coeficiente de determinação gerada para erodibilidade para pavimentos permeáveis	113
Figura 34 - Linha de tendência, função de utilidade multidimensional e coeficiente de determinação gerada para declividade para pavimentos permeáveis.....	114
Figura 35 - Linha de tendência, função de utilidade multidimensional e coeficiente de determinação gerada para condutividade hidráulica do solo para valas vegetadas.....	118
Figura 36 - Linha de tendência, função de utilidade multidimensional e coeficiente de determinação gerada para condutividade hidráulica do subsolo para valas vegetadas	119
Figura 37 - Linha de tendência, função de utilidade multidimensional e coeficiente de determinação gerada para profundidade do lençol freático para valas vegetadas..	120
Figura 38 - Linha de tendência, função de utilidade multidimensional e coeficiente de determinação gerada para declividade para valas vegetadas	122
Figura 39 - Linha de tendência, função de utilidade multidimensional e coeficiente de determinação gerada para condutividade hidráulica do solo para sistemas de biorretenção	125
Figura 40 - Linha de tendência, função de utilidade multidimensional e coeficiente de determinação gerada para condutividade hidráulica do subsolo para sistemas de biorretenção	126

Figura 41 - Linha de tendência, função de utilidade multidimensional e coeficiente de determinação gerada para profundidade do lençol freático para sistemas de biorretenção	127
Figura 42 - Linha de tendência, função de utilidade multidimensional e coeficiente de determinação gerada para declividade para sistemas de biorretenção	129
Figura 43 - Linha de tendência, função de utilidade multidimensional e coeficiente de determinação gerada para condutividade hidráulica do solo para bacias de retenção	132
Figura 44 - Linha de tendência, função de utilidade multidimensional e coeficiente de determinação gerada para condutividade hidráulica do subsolo para bacias de retenção	133
Figura 45 - Linha de tendência, função de utilidade multidimensional e coeficiente de determinação gerada para profundidade do lençol freático para bacias de retenção	134
Figura 46 - Linha de tendência gerada para declividade para bacias de retenção.	135
Figura 47 - Linha de tendência, função de utilidade multidimensional e coeficiente de determinação gerada para condutividade hidráulica do solo para bacias de retenção	139
Figura 48 - Linha de tendência, função de utilidade multidimensional e coeficiente de determinação gerada para condutividade hidráulica do subsolo para bacias de retenção	140
Figura 49 - Linha de tendência gerada para profundidade do lençol freático para bacias de retenção	141
Figura 50 - Linha de tendência, função de utilidade multidimensional e coeficiente de determinação gerada para condutividade hidráulica do subsolo para pavimentos permeáveis.....	142
Figura 51 - Linha de tendência, função de utilidade multidimensional e coeficiente de determinação gerada para condutividade hidráulica do solo para <i>wetlands</i>	145
Figura 52 - Linha de tendência, função de utilidade multidimensional e coeficiente de determinação gerada para condutividade hidráulica do subsolo para <i>wetlands</i>	146
Figura 53 - Linha de tendência, função de utilidade multidimensional e coeficiente de determinação gerada para profundidade do lençol freático para <i>wetlands</i>	147
Figura 54 - Linha de tendência, função de utilidade multidimensional e coeficiente de determinação gerada para declividade para <i>wetlands</i>	148

Figura 55 - Locais de aplicação do teste.....	154
Figura 56 - Campus Curitiba da PUCPR.....	156
Figura 57 – Localização do Rio Belém no campus Curitiba da PUCPR.....	156
Figura 58 - Praça Brigadeiro Eppinghaus	159
Figura 59 - Bosque do Alemão.....	161

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Aplicação do sistema de suporte a tomada de decisão criado na área 1	157
Tabela 2 - Aplicação do sistema de suporte a tomada de decisão criado na área 2	160
Tabela 3 - Aplicação do sistema de suporte a tomada de decisão criado na área 3	163
Tabela 4 –Tabela resumo da aplicação do sistema de suporte a tomada de decisão criado	165

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Medidas não estruturais para controle de cheias	57
Quadro 2 - Classificação das tecnologias MAD.	65
Quadro 3 – Vantagens da Cobertura Verde	69
Quadro 4 - Resumo das técnicas WSUD	83
Quadro 5 - Condutividade hidráulica por tipo de solo.....	85
Quadro 6 - Condutividade hidráulica por tipo de subsolo.....	86
Quadro 7 – Classificação das características para locação das medidas alternativas em drenagem WSUD.	99
Quadro 8 - Classes de erodibilidade	102
Quadro 9 - Qualificação por classe de normalização	103
Quadro 10 - Qualificação por classe de normalização	103
Quadro 11 - Valores normalizados para a erodibilidade	104
Quadro 12 - Sistema de pontuação para características físicas	106
Quadro 13 - Valores de referência de condutividade hidráulica do solo para pavimentos permeáveis	108
Quadro 14 – Faixas de normalização de condutividade hidráulica do solo para pavimentos permeáveis	109
Quadro 15 - Valores de referência de condutividade hidráulica do subsolo para pavimentos permeáveis	110
Quadro 16 – Faixas de normalização de condutividade hidráulica do subsolo para pavimentos permeáveis	110
Quadro 17 - Valores de referência de profundidade do lençol freático para pavimentos permeáveis	111
Quadro 18 - Faixas de normalização de profundidade do lençol freático para pavimentos permeáveis	111
Quadro 19 - Valores de referência de erodibilidade para pavimentos permeáveis .	112
Quadro 20 - Faixas de normalização de erodibilidade para pavimentos permeáveis	113
Quadro 21 - Valores de referência de declividade para pavimentos permeáveis....	114
Quadro 22 – Faixas de normalização de declividade para pavimentos permeáveis	114

Quadro 23 – Quadro resumos das funções de utilidade de multidimensional para pavimentos permeáveis	116
Quadro 24 - Valores de referência de condutividade hidráulica do solo para valas vegetadas.....	117
Quadro 25 - Faixas de normalização de condutividade hidráulica do solo para valas vegetadas.....	117
Quadro 26 - Valores de referência de condutividade hidráulica do subsolo para valas vegetadas.....	118
Quadro 27 - Faixas de normalização de condutividade hidráulica do subsolo para valas vegetadas	119
Quadro 28 - Valores de referência de profundidade do lençol freático para valas vegetadas.....	119
Quadro 29 - Faixas de normalização de profundidade do lençol freático para valas vegetadas.....	120
Quadro 30 - Valores de referência de declividade para valas vegetadas	121
Quadro 31 - Faixas de normalização de declividade para valas vegetadas.....	121
Quadro 32 – Quadro resumos das funções de utilidade de multidimensional para valas vegetadas	123
Quadro 33 - Valores de referência de condutividade hidráulica do solo para sistemas de biorretenção	124
Quadro 34 - Faixas de normalização de condutividade hidráulica do solo para sistemas de biorretenção	124
Quadro 35 - Valores de referência de condutividade hidráulica do subsolo para sistemas de biorretenção	125
Quadro 36 - Faixas de normalização de condutividade hidráulica do subsolo para sistemas de biorretenção	126
Quadro 37 - Valores de referência de profundidade do lençol freático para sistemas de biorretenção	126
Quadro 38 - Faixas de normalização de profundidade do lençol freático para sistemas de biorretenção	127
Quadro 39 - Valores de referência de declividade para sistemas de biorretenção ..	128
Quadro 40 - Faixas de normalização de declividade para sistemas de biorretenção	128

Quadro 41 - Quadro resumos das funções de utilidade de multidimensional para sistemas de biorretenção	130
Quadro 42 - Valores de referência de condutividade hidráulica do solo para bacias de detenção.....	131
Quadro 43 - Faixas de normalização de condutividade hidráulica do solo para bacias de detenção.....	131
Quadro 44 - Valores de referência de condutividade hidráulica do subsolo para bacias de detenção	132
Quadro 45 - Faixas de normalização de condutividade hidráulica do subsolo para bacias de detenção	132
Quadro 46 - Valores de referência de profundidade do lençol freático para bacias de detenção	133
Quadro 47 - Faixas de normalização de profundidade do lençol freático para bacias de detenção.....	134
Quadro 48 - Valores de referência de declividade para bacias de detenção	135
Quadro 49 - Faixas de normalização de declividade para bacias de detenção	135
Quadro 50 – Quadro resumos das funções de utilidade de multidimensional para bacias de detenção	137
Quadro 51 – Valores de referência de condutividade hidráulica do solo para bacias de retenção	138
Quadro 52 - Faixas de normalização de condutividade hidráulica do solo para bacias de retenção	138
Quadro 53 - Valores de referência de condutividade hidráulica do subsolo para bacias de retenção	139
Quadro 54 - Faixas de normalização de condutividade hidráulica do subsolo para bacias de retenção	139
Quadro 55 - Valores de referência de profundidade do lençol freático para bacias de retenção	140
Quadro 56 - Faixas de normalização de profundidade do lençol freático para bacias de retenção	140
Quadro 57 - Valores de referência de declividade para bacias de retenção	141
Quadro 58 - Faixas de normalização de declividade para bacias de retenção	142
Quadro 59 – Quadro resumos das funções de utilidade de multidimensional para bacias de retenção	143

Quadro 60 - Valores de referência de condutividade hidráulica do solo para <i>wetlands</i>	144
Quadro 61 - Faixas de normalização de condutividade hidráulica do solo para <i>wetlands</i>	144
Quadro 62 - Valores de referência de condutividade hidráulica do subsolo para <i>wetlands</i>	145
Quadro 63 - Faixas de normalização de condutividade hidráulica do subsolo para <i>wetlands</i>	145
Quadro 64 - Valores de referência de profundidade do lençol freático para <i>wetlands</i>	146
Quadro 65 - Faixas de normalização de profundidade do lençol freático para <i>wetlands</i>	147
Quadro 66 - Valores de referência de declividade para <i>wetlands</i>	148
Quadro 67 - Faixas de normalização de declividade para <i>wetlands</i>	148
Quadro 68 – Quadro resumos das funções de utilidade de multidimensional para <i>wetlands</i>	150
Quadro 69 - Sistema de suporte a tomada de decisão criado	152
Quadro 70 - Sistema de suporte a tomada de decisão automatizado em planilha Excel®.....	152
Quadro 71 - Características naturais da área 1:.....	157
Quadro 72 - Características naturais da área 2.....	160
Quadro 73 - Características naturais da área 3.....	163
Quadro 74 – Quadro resumo das características naturais das áreas de aplicação	165

LISTA DE ABREVIATURAS, SÍMBOLOS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
BAMORT	Bacia de amortecimento de cheias
BMPs	<i>Best Management Practices</i>
cm/s	Centímetros por segundo
ed	Edição
FUM	Função de Utilidade Multidimensional
ISBN	<i>International Standard Book Number</i>
IUWM	<i>Integrated Urban Water Management</i>
km ²	Quilômetros quadrados
LID	<i>Low Impact Development</i> (Desenvolvimento de Baixo Impacto)
m	Metros
MAD	Medidas Alternativas de Drenagem
Mg.ha.h/ha.MJ.mm	Megagrama (tonelada) hectare hora por hectare megajoule milímetro
m/h	Metros por hora
m/s	Metros por segundo
mm/h	Milímetros por hora
n.	Número
NBR	Norma Brasileira Regulamentar
p.	Página
PEAD	Poliétileno de Alta Densidade
PROSAB	Programa de Pesquisas em Saneamento Básico
PUCPR	Pontifícia Universidade Católica do Paraná
PUC Campinas	Pontifícia Universidade Católica de Campinas
R ²	Coefficiente de Determinação
Σ	Somatório
SUDERHSA	Superintendência de Desenvolvimento de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental do Estado do Paraná
SUDS	Sustainable Urban Drainage Systems
SUWM	<i>Sustainable Urban Water Management</i>
UFPR	Universidade Federal do Paraná

UNESCO	Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e Cultura
UNISDR	<i>United Nation International Strategy for Disaster Reduction</i>
v.	Volume
WHGM	<i>Department of Planning and Urban Development of Western Australia</i>
WSUD	<i>Water Sensitive Urban Design</i> (Projeto Urbano Sensível à Água)

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	26
1.1	PROBLEMATIZAÇÃO E JUSTIFICATIVAS	29
1.2	OBJETIVOS	37
1.3	ORIGINALIDADE DO ESTUDO	37
1.4	ESTRUTURA DA TESE	38
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	40
2.1	PROJETO URBANO SENSÍVEL À ÁGUA	42
2.1.1	Espaços livres urbanos: conceitos e funções	49
2.2	PREVENÇÃO, MITIGAÇÃO E RESPOSTA A ALAGAMENTOS	53
2.2.1	Controle dos alagamentos e inundações urbanas	55
2.3	MEDIDAS ALTERNATIVAS DE DRENAGEM PROPOSTAS PELO PROJETO URBANO SENSÍVEL À ÁGUA	63
2.3.1	Controle localizado na fonte	65
2.3.1.1	Cisterna de chuva	66
2.3.1.2	Coberturas verdes	67
2.3.2	Controle linear	69
2.3.2.1	Pavimento permeável	69
2.3.2.2	Valas Vegetadas	74
2.3.2.3	Sistemas de biorretenção ou biofiltração	75
2.3.3	Controle centralizado	78
2.3.3.1	Alagados construídos – <i>Wetlands</i>	78
2.3.3.2	Bacias de detenção ou retenção	80
2.4	CARACTERÍSTICAS PARA INSTALAÇÃO DAS MEDIDAS ALTERNATIVAS EM DRENAGEM NOS PROJETOS URBANOS SENSÍVEIS À ÁGUA	84
2.4.1	Condutividade hidráulica do solo e subsolo	84
2.4.2	Profundidade do lençol freático e risco de contaminação de aquífero	86
2.4.3	Erodibilidade do solo	87
2.4.4	Declividade do terreno	88
2.4.5	Possibilidade de reuso direto e proximidade de fontes de poluição difusa	89
2.4.6	Área de contribuição e capacidade de armazenamento	90
2.4.7	Suporte a esforço e tráfego intenso e restrição à urbanização	91

2.4.8	Disponibilidade de área, presença de instalações subterrâneas e adaptação da medida à infraestrutura urbana existente	92
2.4.9	Proximidade de exutório.....	93
2.4.10	Riscos associados à implantação de medidas alternativas de drenagem	93
2.4.11	Implantação, manutenção e outras características.....	94
3	METODOLOGIA.....	97
4	CONSTRUÇÃO DO SISTEMA.....	108
4.1	PAVIMENTO PERMEÁVEL.....	108
4.1.1	Condutividade Hidráulica do Solo	108
4.1.2	Condutividade Hidráulica do Subsolo	109
4.1.3	Profundidade do Lençol Freático.....	111
4.1.4	Erodibilidade.....	112
4.1.5	Declividade.....	113
4.1.6	Resumo das funções de utilidade multidimensional para pavimento permeável.....	115
4.2	VALAS VEGETADAS	117
4.2.1	Condutividade Hidráulica do Solo	117
4.2.2	Condutividade Hidráulica do Subsolo	118
4.2.3	Profundidade do Lençol Freático.....	119
4.2.4	Erodibilidade.....	120
4.2.5	Declividade.....	121
4.2.6	Resumo das funções de utilidade multidimensional para valas vegetadas.....	122
4.3	SISTEMAS DE BIORRETENÇÃO	124
4.3.1	Condutividade Hidráulica do Solo	124
4.3.2	Condutividade Hidráulica do Subsolo	125
4.3.3	Profundidade do Lençol Freático.....	126
4.3.4	Erodibilidade.....	127
4.3.5	Declividade.....	128
4.3.6	Resumo das funções de utilidade multidimensional para sistemas de biorretenção.....	129
4.4	BACIAS DE DETENÇÃO.....	131
4.4.1	Condutividade Hidráulica do Solo	131

4.4.2	Condutividade Hidráulica do Subsolo	132
4.4.3	Profundidade do Lençol Freático	133
4.4.4	Erodibilidade	134
4.4.5	Declividade	135
4.4.6	Resumo das funções de utilidade multidimensional para bacias de detenção	136
4.5	BACIAS DE RETENÇÃO	138
4.5.1	Condutividade Hidráulica do Solo	138
4.5.2	Condutividade Hidráulica do Subsolo	139
4.5.3	Profundidade do Lençol Freático	140
4.5.4	Erodibilidade	141
4.5.5	Declividade	141
4.5.6	Resumo das funções de utilidade multidimensional para bacias de retenção	142
4.6	WETLANDS	144
4.6.1	Condutividade Hidráulica do Solo	144
4.6.2	Condutividade Hidráulica do Subsolo	145
4.6.3	Profundidade do Lençol Freático	146
4.6.4	Erodibilidade	147
4.6.5	Declividade	147
4.6.6	Resumo das funções de utilidade multidimensional para <i>wetlands</i>	149
4.7	RESUMO DA CONSTRUÇÃO DO SISTEMA	151
5	APLICAÇÃO E DISCUSSÃO DO SISTEMA	153
5.1	APLICAÇÃO NA ÁREA 1 – APTIDÃO RUIM	155
5.2	APLICAÇÃO NA ÁREA 2 – APTIDÃO MÉDIA	158
5.3	APLICAÇÃO NA ÁREA 3 – APTIDÃO ALTA	161
5.4	RESUMO DAS APLICAÇÕES NAS ÁREAS SELECIONADAS	164
5.5	CONSIDERAÇÕES SOBRE A CONSTRUÇÃO E APLICAÇÃO DO SISTEMA	166
6	CONCLUSÃO	172
	REFERÊNCIAS	175
	APÊNDICE A – PESQUISAS DE INICIAÇÃO CIENTÍFICAS ORIENTADAS PELO AUTOR DA TESE ASSOCIADAS À MEDIDAS ALTERNATIVAS DE DRENAGEM PLUVIAL	190

1 INTRODUÇÃO

A visão de detenção, redução, infiltração e melhoria da qualidade das águas escoadas superficialmente nas bacias hidrográficas, faz parte de um conceito ainda pouco aplicado, em comparação com as soluções convencionais dadas a essas situações (TOMINAGA, 2013. BEZA; ZEUNERT; HANSON, 2019). Essas ações são chamadas, comumente, de medidas alternativas por se oporem à solução tradicional de drenagem urbana, a qual busca o rápido escoamento das águas precipitadas. São exemplos dessa tipologia de drenagem os pavimentos permeáveis, as valas vegetadas, sistemas de biorretenção, bacias de detenção e retenção, entre outros.

Essas opções de drenagem tentam se aproveitar de estruturas que se comparam às características pré-urbanização. As abordagens alternativas ou sustentáveis pautam a maior integração entre as atividades de planejamento urbano, como o uso e ocupação da terra, e planejamento ambiental, como a redução da poluição. Estas, propõem ações integradas entre a conservação das características hidrológicas naturais e melhoria da qualidade de vida da população (NUNES, 2011).

Para Tominaga (2013), as medidas alternativas destinam-se ao rearranjo temporal e espacial das vazões. Isto quer dizer que os projetos de medidas alternativas preveem o aumento do tempo de escoamento e a diminuição da quantidade de água escoada, por meio de estruturas de infiltração e detenção. Estas, por sua vez, reduzem a probabilidade de ocorrência de inundações e alagamentos à jusante do sistema de drenagem.

Nas últimas décadas, países desenvolvidos como Estados Unidos, Canadá, Austrália e Reino Unido, vêm desenvolvendo conceitos relacionados ao gerenciamento das águas pluviais e do escoamento superficial nas cidades, com o propósito de amortecer as cheias na fonte e melhorar a qualidade da água destinada aos rios ou infiltrada nos aquíferos (BEZA; ZEUNERT; HANSON, 2019).

Por conta disso, outras terminologias utilizadas para esse tipo de função são a drenagem sustentável ou as medidas compensatórias, já que buscam compensar as áreas impermeáveis nas cidades. Estes conceitos baseiam-se na gestão integrada e no planejamento, com a inserção de técnicas drenagem de modo sustentável e pela ordenação do espaço urbano, atendendo à preservação do fluxo do balanço hídrico. Embora, em geral, objetivem o mesmo propósito, esses conceitos são nomeados de formas diferentes. Nunes (2011) lista as diversas nomenclaturas utilizadas:

- a) *Best Management Practices* – BMPs: relaciona-se com o controle da poluição de efluentes industriais, nos Estados Unidos. Distribuído na bacia hidrográfica, foi considerado também como oportunidade de controle da poluição difusa, além de se integrar ao gerenciamento de águas pluviais, associando controles da quantidade e qualidade de água (TOMAZ, 2007). A origem desse conceito está ligada aos “projetos para reduzir o volume de águas pluviais, as vazões de pico e a poluição difusa, por meio da infiltração, da filtração, dos processos biológicos ou químicos, da retenção e da detenção” (USEPA, 1993).
- b) Técnicas compensatórias em Drenagem Urbana: estruturas implantadas para o controle do escoamento superficial, classificadas em técnica de controle da fonte, técnica de controle centralizado e linear. O objetivo das técnicas compensatórias é a busca por condições originais do solo antes da impermeabilização causada pela urbanização, além de compensar os impactos da urbanização por meio da redução do volume de escoamento superficial (DICKINSON, 2015; BAPTISTA; NASCIMENTO E BARRAUD, 2005).
- c) *Integrated Urban Water Management* – IUWM: traduzido como “Gerenciamento integrado do ciclo da água em área urbana”, consiste na gestão do uso da água dentro da área urbana, como elemento de um plano de manejo da bacia hidrográfica associando área urbana e ciclo hidrológico (UNEP, 2009).
- d) *Sustainable Urban Water Management* – SUWM: possui como finalidade permitir a cooperação entre planejamento urbano e gestão das águas pluviais, por meio de preceitos e diretrizes para a integração da gestão sustentável da água e do desenvolvimento urbano. Essas diretrizes priorizam medidas não estruturais para tal finalidade (UMWELT BUNDESAMT, 2015).
- e) *Sustainable Urban Drainage Systems* – SUDS: objetiva o desenho urbano integrado com a gestão dos recursos hídricos e assim busca a promoção da melhoria do ambiente construído, reduzindo os escoamentos superficiais através de estruturas de controle da água pluvial em pequenas unidades (DICKINSON, 2015. ELLIOT; TROWSDALE, 2007. WOODS-BALLARD et al. 2007).

- f) *Low Impact Development* (LID) ou Desenvolvimento de Baixo Impacto: Proposto por Coffman et al. (1998), corresponde a um “conjunto de procedimentos que tentam compreender e reproduzir o comportamento hidrológico anterior à urbanização.” Deste modo, o uso de paisagens multifuncionais aparece como elemento benéfico no desenho urbano, de forma a proporcionar a recuperação das características de infiltração e retenção da bacia natural. Assim, objetiva imitar as funções hidrológicas da bacia natural, considerando volume, vazão, recarga e tempos de concentração. As BMPs são repetidamente associadas em projeto LID.
- g) *Water Sensitive Urban Design* (WSUD): entendido como Projeto Urbano Sensível à Água “implica em inverter a lógica de adaptação dos sistemas hídricos às necessidades da cidade para uma abordagem de adaptação da cidade ao ciclo hidrológico” (FAUSTINO, 2018). Ou seja, não se permite mais que se adequem os cursos de água em função da cidade, mas sim ao contrário: a cidade deve se adequar à hidrografia local. Nascido na Austrália, o conceito tenta integrar as ciências sociais e físicas em uma sugestão de gerenciamento holístico para águas urbanas, ao considerar simultaneamente a oferta de água potável, os esgotos sanitários e a drenagem de águas pluviais, desde a escala do lote até a escala da bacia. Este processo deve envolver o desenho das edificações e da própria paisagem, compondo-se de medidas estruturais e não estruturais. Ademais, a proposição da introdução da participação social nesse tipo de conceito, amplia o quadro de requisitos para a solução integrada do problema (COOMBES et al., 1999; ARGUE, 2004; WONG, 2006; CITY OF MELBOURNE, 2018).

No Brasil, há algum tempo, também são estudados sistemas alternativos de drenagem urbana. São exemplos de estudos e projetos implantados na década de 70, o Projeto Noroeste na cidade de Rondon e a BAMORT (Bacia de Amortecimento de Cheias) em Planaltina do Paraná, ambos no estado do Paraná. As conclusões dos projetos mostram a necessidade de incentivo aos sistemas alternativos de drenagem urbana, principalmente àqueles que dizem respeito à microdrenagem, realizada para retenção das águas das primeiras chuvas (AISSE, 1997). Atualmente, estudos como os de Destro (2016) e Cárdenas (2017), tentam simular e criar

cenários de implantação de sistemas de drenagem alternativa, considerando variáveis como vazão, capacidade de infiltração dos sistemas e remoção de micropoluentes das águas de escoamento superficial. Outras iniciativas também são mostradas por Righetto (2009), na Rede de Pesquisas sobre “Desenvolvimento de sistemas de manejo das águas pluviais urbanas, tais como técnicas de retenção, detenção e reúso, considerando a qualidade da água e a redução dos impactos da poluição nos corpos d’água” do Programa de Pesquisas em Saneamento Básico – PROSAB – Edital 05.

Esta tese se desenvolveu a partir de diversas pesquisas produzidas e orientadas pelo autor, dentro da linha de pesquisa de Gestão e Tecnologias Ambientais do Programa de Pós-Graduação em Gestão Urbana. Este estudo é uma continuação da dissertação cujo título foi “Medidas de baixo impacto para o controle das inundações e alagamentos em bacias hidrográficas urbanas aplicadas na bacia hidrográfica do rio Belém, Curitiba, Paraná” (BERTOLINO, 2013), desenvolvida pelo autor durante o Projeto de Revitalização do Rio Belém (2012-2015). Essa dissertação deu origem a orientações de iniciação científica (APÊNDICE A), sob um projeto maior denominado “Gestão de águas pluviais urbanas em cidades sensíveis à água”, ainda em andamento.

1.1 PROBLEMATIZAÇÃO E JUSTIFICATIVAS

“A medida em que o próprio homem modifica o equilíbrio natural dos caminhos de drenagem, desmata e ocupa a terra indevidamente, as consequências são voltadas contra seu próprio bem-estar e suas economias” (COSTA; TEUBER, 2001, p. 36). Kobiyama et al. (2006) afirmam que as inundações e alagamentos podem se intensificar devido ao ineficiente gerenciamento das bacias hidrográficas, especialmente pela urbanização desordenada e pelo fenômeno das mudanças climáticas, que aumenta a frequência ou a intensidade dos eventos climáticos em determinadas regiões.

Quando acontecem no ambiente natural, as cheias trazem benefícios e refletem na fauna, na flora e nas atividades humanas. Diferentes fatores naturais implicam na formação dos hidrogramas de cheia, como as propriedades físicas da bacia hidrográfica (formato da bacia, área de drenagem, tipo de solo, cobertura

vegetal, declividades) e os aspectos climáticos. As intervenções humanas em alguns desses fatores transformam os hidrogramas naturais (PINHEIRO, 2007).

Dentre esses elementos, os mais alterados pela atuação humana relacionam-se à cobertura da terra, com a supressão da vegetação, a qual tem importante função no amortecimento dos hidrogramas, e a impermeabilização do solo, remodelando os hidrogramas de cheia. Ao se retirar ou alterar a vegetação, o escoamento superficial das águas pluviais se altera, principalmente pelo fato de que se modifica a interceptação do volume escoado, e provoca uma redução da infiltração e da evapotranspiração. O excedente de água, antes evaporado e infiltrado, aumenta a vazão superficial, além de carrear maiores quantidade de sedimentos do solo que se depositam em cotas mais baixas, também alterando a direção do escoamento superficial. Para Pinheiro (2007), por se tratar de um fenômeno natural, abordá-lo sob a ótica de catástrofe tem coerência apenas se existir uma ocupação humana na área afetada. Conseqüentemente, tal circunstância pode ser declarada como um problema socioambiental quando o homem não se preocupa com os limites naturais e se instala nessas regiões.

Parkinson (2004) divide os impactos ocasionados pelas inundações e alagamentos em quatro tipos:

- a) Impactos na saúde: correspondem à proliferação de vetores e a transmissão de doenças de veiculação hídrica;
- b) Impactos estruturais: relacionam-se às deficiências dos sistemas de drenagem que podem ocasionar danos às edificações e afetar o sistema de transporte;
- c) Impactos ambientais: causados pela poluição difusa e carreamento de inúmeros agentes poluidores; e,
- d) Impactos econômicos: decorrem da combinação dos três impactos anteriores, refletindo em prejuízos públicos e privados.

Segundo o sistema informatizado de Defesa Civil Estado do Paraná, desde o início de janeiro de 2015, só em Curitiba, quase 19 mil pessoas foram afetadas por alagamentos (COORDENADORIA ESTADUAL DA DEFESA CIVIL, 2020). No momento de ocorrência de uma inundação ou alagamento em uma área vulnerável, a população local fica submetida a diversos problemas, dentre os quais Lima-Queiroz et al. (2003) ressaltam:

- a) Perda de vidas humanas;

- b) Deterioração de condições de saúde coletiva;
- c) Perdas materiais diretas resultante da ação física, química e biológica das águas e da deposição de sedimentos;
- d) Perdas indiretas, decorrentes de suspensão ou perturbação de serviços (comunicações, saneamento, transportes, entre outros);
- e) Interrupção do processo produtivo, o qual pode prejudicar o bem-estar econômico de uma sociedade e, provavelmente, as economias regionais e nacionais.

As citadas perdas, sejam elas “humanas, materiais ou ambientais infligidas às pessoas, comunidades, instituições, instalações e aos ecossistemas, como consequência de um desastre” são denominados danos, conforme definição da Instrução Normativa 01 (BRASIL, 2012a). A mesma definição é apresentada no Glossário de Defesa Civil, Estudo de Riscos e Medicina de Desastres (CASTRO, 2009). Além disso, é complementada com uma classificação mais detalhada de danos humanos, materiais e ambientais: danos humanos como aqueles mensurados em função do número de pessoas (desalojadas, desabrigadas, deslocadas, desaparecidas, feridas, enfermas, incapacitadas ou mortas); danos materiais, como aqueles mensurados em função do número de edificações, instalações e outros bens danificados e destruídos; danos ambientais, avaliados em função do nível de poluição e contaminação do ar, da água ou do solo, degradação, perda de solo agricultável por erosão ou desertificação, desmatamento, queimada e riscos de redução da biodiversidade representada pela flora e pela fauna.

Além das alterações do ambiente causadas diretamente por ações humanas, a intensificação das cheias também é justificada pelas mudanças climáticas. O Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas mostra que as alterações do clima, causadas principalmente pela elevação na temperatura média global, e que podem variar de uma região para outra, são capazes de intensificar ciclones e tormentas e, dessa forma, alterar a distribuição das chuvas. O aumento das enchentes devido à aceleração do ciclo hidrológico pode ocorrer em decorrência do incremento das precipitações. As possíveis implicações das alterações climáticas para a segurança da população devem ser consideradas, mesmo que ainda não haja consenso científico sobre suas causas, pois as vulnerabilidades em áreas consideradas de risco podem ser agravadas (PAINEL INTERGOVERNAMENTAL SOBRE MUDANÇAS CLIMÁTICAS, 2015; CARMO, SEIXAS E VARGAS, 2012).

Para Hayakawa e Ultramari (2008), “a recente valorização das questões ambientais trazidas por mudanças climáticas em nível global” altera as prioridades da gestão urbana. Ainda para os autores, essa transformação se dá porque a chamada “crise ambiental” trouxe mais aspectos naturais a serem considerados no planejamento, pois, dentro das cidades, espaços ocupados tornam-se potencialmente suscetíveis a episódios de ordem natural.

Pinheiro (2015) afirma que:

[...] apesar de haver conhecimento sobre algumas das causas dos desastres que permeiam as cidades, chegando, na história, a inviabilizar algumas; apesar de haver domínio da tecnologia; apesar de haver equipes debruçadas sobre computadores e com as agendas repletas de audiências públicas para cumprir os protocolos previstos a fim de outorgarem validade aos diversos planejamentos e seus temas; dentre outras conclusões apontadas por pesquisadores, uma verdade é inquestionável: os desastres continuam acontecendo e aumentando.

A proteção da população, portanto, é um dos objetivos do urbanismo. Para Hayakawa (2008), o urbanismo, pelos seus instrumentos de planejamento urbano, permite “gerar uma diversidade de conhecimentos na procura de soluções para os chamados problemas urbanos”. Além disso, a Lei Federal nº 10.257/2001, a qual estabelece diretrizes para políticas urbanas, deixa clara a necessidade de ordenação e controle do uso da terra para que se evite a exposição da população a riscos de desastres (BRASIL, 2001). Essa obrigação foi incluída pela Lei Federal nº 12.608/2012, a qual institui a Política Nacional de Proteção e Defesa Civil (BRASIL, 2012b).

Ao se considerar essa questão, conclui-se que um gerenciamento eficiente do risco de inundação e alagamentos deve estar incorporado aos códigos urbanísticos dos municípios. Essa abordagem deve ser considerada na avaliação de diferentes alternativas para cada projeto de drenagem urbana, atendendo à necessidade local e considerando as limitações financeiras, políticas e sociais. Por vezes, a solução estrutural não é a mais adequada, podendo-se privilegiar medidas de valorização das zonas inundáveis no ambiente urbano e adotar uma abordagem múltipla que permita a convivência com a situação e garanta a segurança da população (DÉGARDIN; GAIDE, 1999; PLATE, 2002).

Além disso, segundo Santos e Nucci (2009), outro aspecto a ser pensado como alternativa aos projetos convencionais de drenagem é a utilização de espaços abertos urbanos, onde, além de oferecerem oportunidades de contato contemplativo

e/ou recreativo na natureza, salvaguarda paisagens e podem ser utilizados como auxílio nos processos de infiltração, dentro do ciclo hidrológico. Esses espaços ainda não ocupados por construções, como ruas e avenidas, calçadas, canteiros, áreas abertas em lotes, e que não são somente parques e praças, são muitas vezes esquecidos no planejamento urbano, tornando-se locais subutilizados.

Para Magnoli (1982) os espaços abertos representam os

[...] espaços livres de um volume edificado, sendo estes públicos ou privados, como ruas e calçadas, parques e praças, quintais residenciais, áreas livres de lazer em condomínios, recuos de construções, pátios internos, estacionamentos descobertos, terrenos baldios, rios, áreas verdes e outros.

A mesma autora, também denomina esses locais de espaços livres. Macedo et al. (2011) complementa que “toda cidade tem um sistema de espaços livres, e esses espaços são fruto do processo de urbanização e formação”, além de terem origem pelas ações de parcelamento do solo, construções e arruamentos.

Simultaneamente, a busca por espaços para habitação está crescendo em todo o mundo. Segundo Melchiorri et al. (2019), os centros urbanos expandiram-se globalmente sobre uma superfície terrestre equivalente a quase 67.800 km² (aproximadamente a superfície da Irlanda) para instalar cerca de 1,1 bilhão de novas pessoas (quase a população da Índia em 2015). Para a Comissão Europeia¹ (2019), 59% das cidades do mundo também tiveram um aumento na terra consumida por novos residentes. Para a mesma Comissão, a eficiência do uso da terra é essencial para melhorar a urbanização inclusiva e sustentável. A expansão urbana e o uso ineficiente da terra continuam sendo um problema, com impactos variados em diferentes contextos. Portanto, há uma necessidade crescente de otimizar o uso do espaço disponível. Em novos bairros, muitos princípios de desenvolvimento sustentável podem ser aplicados diretamente no planejamento da área. No entanto, isso é muito mais desafiador em áreas históricas e consolidadas. Dentro dos contextos urbanos, o espaço público tem um papel fundamental para tornar as cidades vivas (COMISSÃO EUROPEIA, 2019).

A perspectiva de proporcionar soluções para abastecimento de água urbana, águas residuais e águas pluviais, de modo mais econômico, com menores impactos

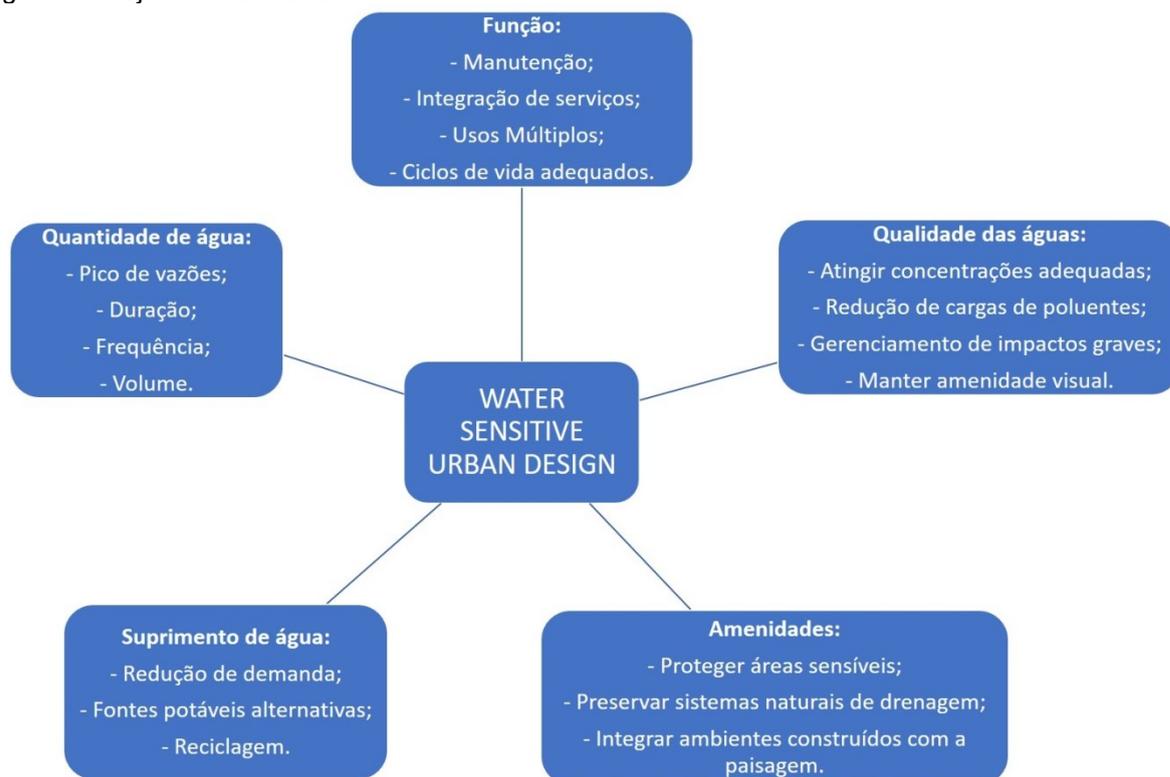
¹ Comissão que define políticas públicas a serem adotadas na União Europeia.

ao meio ambiente e aproveitando os espaços livres urbanos é uma das justificativas para a utilização do WSUD. O seu aspecto de integração, como já mencionado, faz esse conceito australiano se sobressair aos demais conceitos aplicados à drenagem pluvial, apesar de todos estes compartilharem o objetivo de minimizar os efeitos da ação humana sobre o ambiente natural, especialmente sobre os recursos hídricos. Essa integração é fomentada pelos objetivos destacados pelo Melbourne Water (2005):

- a) Minimizar as demandas por água potável por meio de usos mais eficientes, além do melhor rendimento na utilização de fontes alternativas;
- b) Minimizar a geração de efluentes e melhorar dos sistemas de coleta e tratamento destes, previamente ao lançamento em corpos receptores;
- c) Tratar as águas pluviais para atender aos padrões de qualidade ao serem reutilizadas ou lançadas nos corpos d'água receptores;
- d) Restaurar ou preservar o regime hidrológico natural das bacias hidrográficas;
- e) Melhorar a saúde dos corpos d'água;
- f) Melhorar a estética e a conexão entre os recursos hídricos e os residentes das áreas nas quais os sistemas sejam adotados;
- g) Promover autossuficiência dos ambientes onde são implantados os sistemas, de forma que haja equilíbrio entre a quantidade e qualidade das águas que entram e saem do sistema, diminuindo a entrada de água potável e também a saída de esgotos e águas das chuvas.

Estes objetivos são ilustrados na Figura 1, divididos em cinco grupos de maior importância: Função, Qualidade da água, Quantidade de água, Suprimento de água e Amenidades.

Figura 1 - Objetivos do WSUD



Fonte: Jambo, 2017.

O uso de medidas alternativas em microdrenagem urbana já é conhecido, conforme fundamentação teórica apresentada na seção 2 do presente estudo. Porém, nem sempre os locais onde essas medidas são instaladas são propícios a recebê-las, o que faz com que em alguns casos a medida alternativa não cumpra sua função na drenagem pluvial de maneira satisfatória. Um exemplo é o estacionamento, gerido por empresa terceirizada, do campus Curitiba, da Pontifícia Universidade Católica do Paraná (PUCPR). Em 21 de fevereiro de 2019, aproximadamente 110 milímetros de chuva foram registrados na capital paranaense e a medida alternativa em drenagem, no caso o pavimento permeável em um dos bolsões do estacionamento, não foi capaz de proporcionar a infiltração do volume precipitado. Na Figura 2 observa-se o referido bolsão em período seco. Já na Figura 3 observa-se o bolsão no dia do evento chuvoso mencionado.

Figura 2 - Estacionamento campus Curitiba da PUCPR, período seco.



Fonte: o autor, 2020.

Figura 3 - Estacionamento campus Curitiba da PUCPR, após a chuva do dia 21 de fevereiro de 2019..



Fonte: Tribuna do Paraná, 2019.

No caso citado, há a utilização de medida alternativa em drenagem pluvial, porém em local que não oferece as condições naturais mais propícias para cumprir a função de infiltração fornecida pelo pavimento permeável. Assim, a tomada de decisão em relação à qual medida de minimização de cheias deve ser implantada em determinado local de interesse, depende das características do terreno e fatores hidrológicos locais, do benefício da redução dos alagamentos, dos aspectos sociais e dos custos envolvidos, além dos danos evitados com o controle proporcionado.

Dentre estes, os aspectos sociais, custos e danos evitados dependem do local de implantação e contexto social e econômico do projeto. As características hidrológicas podem ser consideradas de diferentes óticas, devendo ser também consideradas no projeto. As características físicas são as que podem ser valoradas e comparadas, indicando as condições que maximizam o potencial de infiltração ou retenção da medida e conseqüentemente seu impacto benéfico à drenagem urbana.

Para delineamento da tese, por fim, sugere-se uma questão problema: Como decidir o melhor aproveitamento e a otimização dos espaços livres urbanos para minimização dos problemas de microdrenagem?

A partir dessa questão problema, propõe-se como hipótese dessa pesquisa: os espaços livres urbanos podem contribuir para a diminuição de alagamentos pela inserção de medidas alternativas de drenagem adequadas.

1.2 OBJETIVOS

Esta tese propõe como **objetivo geral**: desenvolver um sistema de suporte à tomada de decisão para implantação de medidas alternativas de microdrenagem pluvial em espaços livres urbanos para mitigação de alagamentos.

Para alcançar o objetivo geral, são propostos, para este estudo, os seguintes **objetivos específicos**:

- a) Criar um sistema de pontuação das variáveis identificadas como condicionantes naturais para implantação das medidas alternativas de drenagem pluvial urbana;
- b) Validar o sistema desenvolvido, em áreas selecionadas e conhecidas; e
- c) Analisar o sistema de suporte à tomada de decisão para implantação de medidas alternativas.

1.3 ORIGINALIDADE DO ESTUDO

Nesta tese, a originalidade mostra-se na proposição e organização de um sistema para contribuir para a implantação de medidas alternativas de microdrenagem urbana. Essa originalidade está calcada na sistematização e na correlação de parâmetros que são trabalhados de maneira independente, oferecendo, desta maneira, um suporte à tomada de decisão que pode ser aplicado por gestores no planejamento urbano e, mais especificamente, em planos de

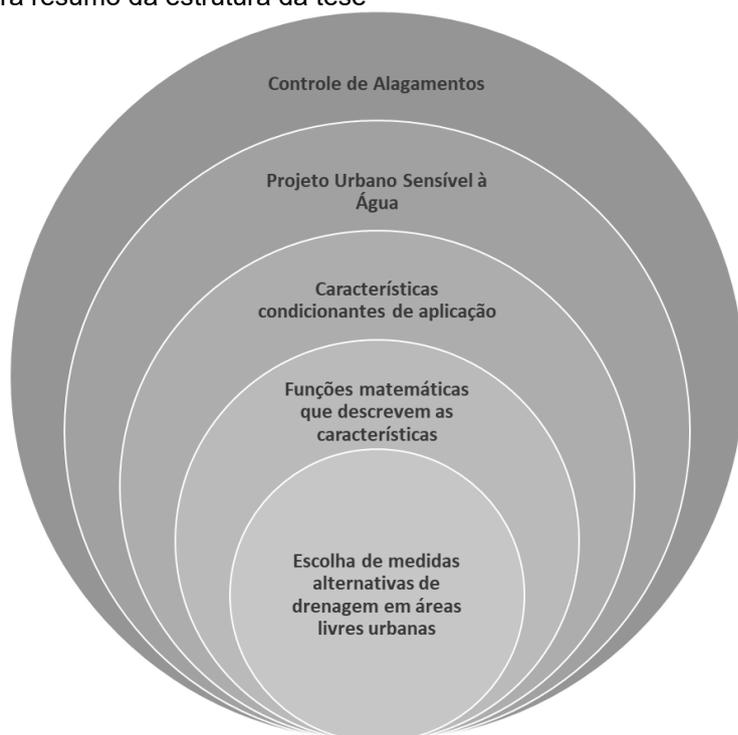
drenagem urbana. Desta maneira, há uma aplicação prática das ciências sociais a partir de nova ótica da água no meio urbano.

Ao responder à questão problema proposta, abre-se um espaço para a utilização de um instrumento de inovação na formação de profissionais de engenharias e arquitetura e urbanismo, tanto em caráter de graduação, quanto em pós-graduação, além de poder ser utilizado por técnicos municipais para resolução de alguns problemas já identificados nesta seção.

1.4 ESTRUTURA DA TESE

A presente tese está estruturada em seções. Na segunda seção, a fundamentação teórica aborda questões como o planejamento urbano e áreas livres e como o conceito de Projeto Urbano Sensível à Água (WSUD) se encaixa no controle de alagamentos. Ainda, nessa seção, são abordadas as tipologias de medidas alternativas de drenagem consideradas para o conceito WSUD e os aspectos considerados fundamentais para o planejamento e elaboração de projetos das medidas estudadas. Na terceira seção, é apresentada a metodologia de construção do sistema de suporte à decisão, mostrando a elaboração de funções matemáticas que possam descrever como as características físicas naturais condicionam a implantação das medidas alternativas de drenagem. Na seção quatro são detalhadas uma a uma a construção das funções matemáticas para composição do sistema. A seção cinco mostra a aplicação e teste do sistema criado e como se dá a escolha das medidas alternativas de drenagem, além das considerações acerca do sistema criado. Por fim, na sexta seção, é apresentada a conclusão do estudo. A Figura 4 representa um resumo da estruturação do documento.

Figura 4 - Figura resumo da estrutura da tese



Fonte: o autor, 2020.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

“Um olhar futuro sobre o território das cidadem prevendo os compartimentos que devem ser bem mais aproveitados e aqueles que possam a vir ser ocupado de forma sustentável”. Assim Cassilha e Amaral (2009) descrevem o planejamento urbano. Por sua vez, Duarte (2007, p. 22) define planejamento como um processo que considera medidas a serem desenvolvidas de forma simultânea e que serão necessárias para atingir objetivos propostos, considerando-se os recursos disponíveis e as externalidades capazes de alterar tal processo. Wilhelm (1979, p. 175, *apud* DUARTE, 2007, p.22) complementa o termo planejamento, agora caracterizado como urbano, como aquele (planejamento) que reconhece as tendências naturais, locais ou regionais para o desenvolvimento, e determina

[...] regras de ocupação do solo, define as principais estratégias e políticas do município e explicita as restrições, as proibições e as limitações que deverão ser observadas para manter e aumentar a qualidade de vida para seus munícipes.

Desta forma, o planejamento dá origem a um documento chamado plano. Na definição mais simples, ao observar o dicionário Michaelis (2020), tem-se que plano é o “conjunto de operações programadas para um determinado fim”. Como o planejamento é feito por etapas, seria um processo contínuo do qual o plano diretor constituiria um momento (VILLAÇA, 1998, p. 187). Assim, o plano será sempre um documento com resultados parciais do planejamento, visto que pode ser modificado, e o plano diretor, especificamente, como o documento com resultados parciais do planejamento urbano.

Neste sentido, Duarte (2007, p. 25) considera como etapas do planejamento urbano:

- a) Diagnóstico: é a análise de um cenário existente, compondo a situação real de uma região. O diagnóstico deve mostrar as condicionantes, as potencialidades e as deficiências de um local;
- b) Prognóstico: criação cenários, considerando o diagnóstico, a história e as tendências regionais para prever um cenário futuro;
- c) Propostas: resultado do processo de planejamento urbano, fazendo do prognóstico não um conjunto de previsões, mas sim um conjunto de possibilidades;

- d) Gestão: gerenciamento das propostas, considerando aspectos legais, envolvimento da sociedade, recursos necessários a fim de direcionar o desenvolvimento urbano.

Nesse processo, entre o planejamento da cidade e o detalhe das construções (a arquitetura, no caso), há um vazio no processo de construção da área urbana. Nesse vazio se encaixa o denominado desenho urbano (NOTO, 2017). A definição é corroborada por Barnett (1982), que diz que o desenho urbano é o “processo de desenhar as cidades, sem desenhar os seus edifícios”. Wall e Waterman (2012) complementam que o desenho urbano “é um processo criativo, colaborativo, interdisciplinar, onde a criação de lugares envolve a configuração de espaços e formas urbanas tridimensionais que enriquecem a vida nas cidades”.

Del Rio (1990) afirma que o desenho urbano integra perspectivas físicas e ambientais da cidade, sendo constituído por um conjunto de sistemas físicos, espaciais e de atividades, que proporcionam à população “vivências, percepções e ações cotidianas”. Carmona et al. (2010) listam as dimensões e contextos vinculados ao desenho urbano: morfológica, perceptivo, social, visual, funcional e temporal. Os autores complementam que o desenho urbano deve ser um processo baseado na apreciação e respeito pelo contexto local, e deve considerar a realidade econômica e política do local estudado.

De acordo com Lang (2005), “as cidades evoluem nas mãos de uma miríade de designers buscando, consciente ou inconscientemente, satisfazer seus próprios interesses”. Esta é a concretização de desenho urbano, como produto de um processo (consciente ou não) que envolve diferentes agentes.

É inconsciente ao não seguir uma intenção específica, mas ainda assim determinar a forma urbana. Nem por isto é aleatório, pois mesmo sendo espontâneo não é acidental. Conforme Barnett (1982) é fruto de decisões tomadas isoladamente, que não consideram amplamente as interrelações nem possíveis efeitos, adversos ou sinérgicos. O desenho urbano passa a ser um processo consciente quando há intenção específica, concepção anterior que guie as ações e decisões.

A drenagem das águas pluviais é fortemente afetada pelo desenho urbano, visto que os sistemas de microdrenagem devem ser projetados e executados simultaneamente ao sistema viário. Em alguns casos, deficiências na concepção e execução nesses sistemas, assim como a falta de atenção a esse aspecto

específico no desenho urbano inconsciente, potencializam o acúmulo de água na superfície, gerando inundações e alagamentos.

O conceito de Projeto Urbano Sensível à Água busca guiar as decisões e ações para que o desenho urbano considere a gestão de águas, combinando funcionalidades e potencialidades das águas urbanas com os princípios do planejamento urbano (HOYER et al., 2011). A intenção não se restringe à drenagem urbana, mas amplia a relevância deste aspecto. Assim, além do atendimento aos diversos interesses que já se manifestam nas cidades, deve-se pensar a função de cada espaço aliada às formas descentralizadas de drenagem urbana.

2.1 PROJETO URBANO SENSÍVEL À ÁGUA

Uma cidade que respeita e leva em consideração a dinâmica do clima para aumentar sua capacidade de resiliência às mudanças climáticas e a preservação dos recursos hídricos em longo prazo seria considerada uma Cidade Sensível à Água. Esse tipo de cidade, ainda na fase de concepção teórica, engloba as características positivas dos modelos anteriores (SUDS, LID, IUWM, SUWM, entre outros) de gestão das águas (CIRIA, 2013) e possui o desenho urbano voltado para a gestão integrada dos recursos hídricos. Existem exemplos de cidades australianas, indonésias e holandesas que buscam se aproximar dessa proposição. Para o mesmo autor, as cidades que se adaptam à dinâmica hídrica devem possuir características comuns às Cidades Resilientes e às Smart Cities.

As discussões a respeito desse modelo de cidade iniciaram-se na Austrália, a partir dos outros modelos já mencionados. A ideia central é o Projeto Urbano Sensível à Água, ou como o original inglês: *Water Sensitive Urban Design* (WSUD). Esse termo foi mencionado pela primeira vez em 1994 na Austrália quando O Departamento de Planejamento e Desenvolvimento Urbano da Austrália (WHGM - *Department of Planning and Urban Development of Western Australia*) apresentou um manual para planejamento e projeto de loteamentos residenciais enfatizando a manutenção dos ambientes aquáticos (NUNES, 2011). Contudo, os estudos acerca de assuntos, que permitiram a criação do modelo, já aconteciam desde o final da década de 80 e a sua disseminação só ocorreu após 2010 (FAUSTINO, 2018).

A elaboração do manual foi baseada na estruturação de planos de desenvolvimento urbano que incorporava diversos objetivos da gestão de águas

pluviais, envolvendo o desenho urbano com a infraestrutura de drenagem pluvial (WONG; BREEN; LLOYD, 2000). Para Nunes (2011), o termo WSUD é uma evolução das estratégias de gestão das águas pluviais por “abranger todos os aspectos da gestão do ciclo hidrológico urbano, incluindo as fontes de abastecimento d’água, esgotamento sanitário e águas pluviais”. Essa opinião é reforçada por Ciria (2013).

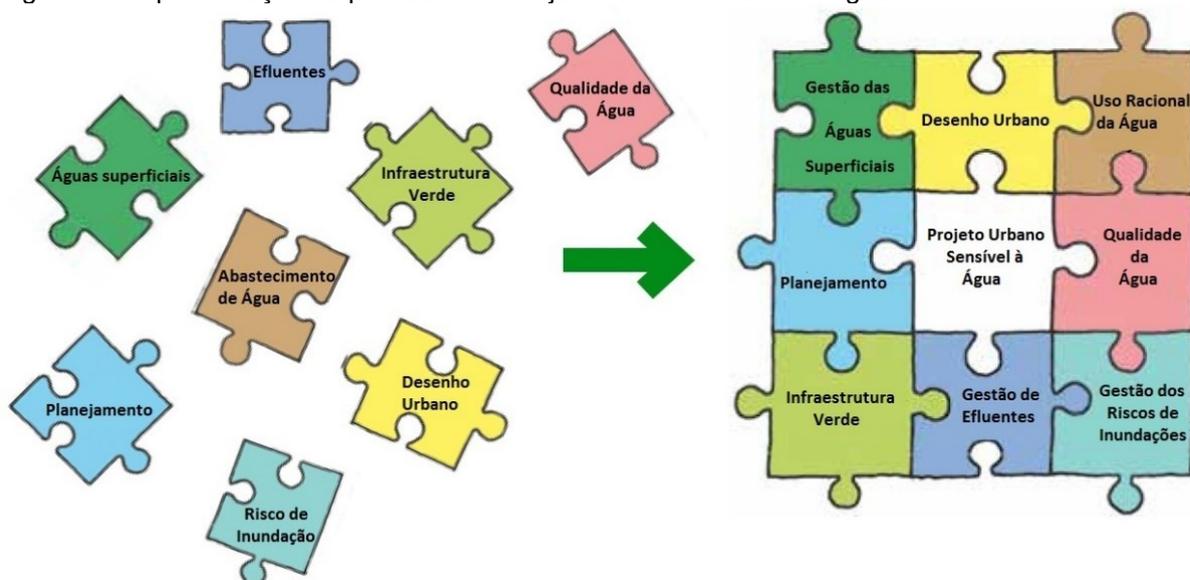
O processo necessário para se atingir a Cidade Sensível à Água é aquele que integra a gestão do ciclo da água com o ambiente construído por meio de planejamento e desenho urbano. O Projeto Urbano Sensível à Água atende a essas premissas por meio de dois princípios fundamentais:

No primeiro princípio, todos os elementos do ciclo hidrológico e suas interconexões devem ser considerados, concomitantemente, para alcançar um resultado que sustente um ambiente natural saudável e atenda às necessidades humanas. Isso inclui a gestão de: demanda por abastecimento de água; águas residuais e poluição; precipitação e escoamento superficial; cursos de água; e inundações. No segundo princípio, a análise do ciclo hidrológico deve estar presente desde o início e ao longo dos processos de planejamento e projeto.

Assim, as soluções de gestão de recursos hídricos buscam atender às expectativas para o projeto de cidades que respeitem as características locais, o meio ambiente e a comunidade, otimizando as relações custo-benefício da infraestrutura e da forma construída, melhorando a qualidade de vida da população e proporcionando segurança de oferta dos recursos e uma maior resiliência no futuro.

A Figura 5 apresenta um esquema de como o Projeto Urbano Sensível à Água é capaz de reunir diferentes temáticas que se complementam em torno do conceito associado às Cidades Sensíveis à Água. Observa-se a associação de elementos já reconhecidos na gestão dos recursos hídricos, como necessidade de abastecimento de água e gerenciamento de efluentes, com elementos cuja discussão nessa abordagem é mais recente, como por exemplo, a importância da infraestrutura verde no ciclo hidrológico e a utilização do desenho urbano para aproximar a população dos cursos de água. Um dos pontos fortes desse modelo é o respeito às características locais, visto que cada cidade possui uma dinâmica hídrica e climática própria, além de aspectos relacionados ao relevo, sistemas construtivos, socioeconômicos e culturais.

Figura 5 - Representação esquemática do Projeto Urbano Sensível à Água

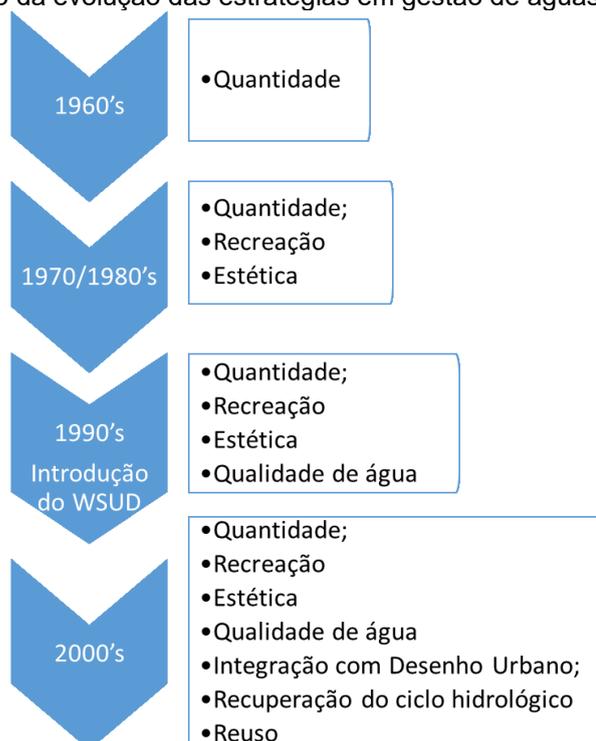


Fonte: Círia, 2013.

As particularidades locais podem representar vulnerabilidades, ou seja, condições intrínsecas condicionantes à resposta a um evento de certo tipo e magnitude que pode resultar em danos ambientais capazes de comprometer uma população ou um ecossistema (SANTOS, 2007; MINAS GERAIS, 2012). Projetos Urbanos Sensíveis a Água tendem a reduzir as vulnerabilidades, fazendo com que as cidades estejam preparadas para fenômenos que, no futuro, possam comprometer a qualidade de vida ou ambiental de uma população, como as mudanças climáticas.

Conforme ilustrado na Figura 6, o escopo da drenagem, originalmente focado na redução do escoamento superficial, passou a agregar questões estéticas e de cunho recreativo. Com a introdução do conceito de planejamento integrado do WSUD, nos anos 90, englobou o fator de tratamento e qualidade da água com vistas a minimizar o impacto da poluição das águas superficiais. E então, na década de 2000, incluiu outras finalidades como de reuso, integração com a estrutura urbana e preservação do ciclo hidrológico.

Figura 6 – Representação da evolução das estratégias em gestão de águas pluviais



Fonte: adaptado de Nunes, 2011.

Essa mesma ideia foi discutida por Brown et al. (2008). O autor dividiu a evolução das cidades perante o seu olhar para água, em seis fases:

A primeira fase refere-se aos sistemas que fornecem água para as populações urbanas, que em crescimento, esperam ser abastecidas de maneira barata e equitativa para todos. Usa-se infraestrutura como barragens e tubulações para extrair e distribuir grandes quantidades à comunidade, a qual espera que a água seja barata, inofensiva ao meio ambiente e disponível ilimitadamente.

Baseado no estado anterior, a Cidade dos Esgotos é estimulada pelo desejo de melhorar a saúde pública e a higiene. Doenças causadas por elementos presentes em efluentes domésticos e industriais levam ao desenvolvimento de sistemas de esgotos que desviam o efluente da habitação e indústrias para os cursos de água fora das cidades. Como no estado anterior, assume-se que o descarte de efluentes não agride o meio ambiente.

A necessidade de proteger casas e infraestrutura de inundações é a motivação por trás da cidade drenada. A canalização de rios permite o desenvolvimento de várzeas para habitação e rápido crescimento urbano. Assim como o efluente, a água da chuva é direcionada para longe das áreas urbanas e por galerias e canais, geralmente considerados também como locais de despejo de

resíduos. Assim como para o abastecimento de água e coleta de esgoto, a população espera que os serviços de drenagem sejam fornecidos a baixo custo.

Os impactos ambientais da extração de água e do processamento de resíduos são levados em consideração pela primeira vez no quarto estado. À medida que os valores sociais e estéticos dos canais de águas limpas são exaltados, o planejamento urbano começa a considerar a água como um aspecto importante. Controla-se agora a extração irrestrita de água, e o recebimento de cursos d'água é protegido pela filtragem de águas pluviais por meio de sistemas de filtragem biológica, como os jardins de chuva e zonas úmidas artificiais distribuídas por toda a cidade.

Na quinta fase, a água é conservada ativamente e os suprimentos de diversas fontes, como águas pluviais, águas cinzas e águas residuais recicladas são usadas de maneira apropriada. A sustentabilidade é amplamente adotada, e o antigo contrato hidrossocial, no qual se esperava que o governo fornecesse serviços de abastecimento de água isentos de riscos, é substituído por acordos de cogestão entre governo, empresas e comunidade.

Por fim, com base na gestão holística e integrada do ciclo da água, que atende às necessidades de água da cidade e, ao mesmo tempo oferece uma série de benefícios de habitabilidade associados, aparece o conceito de Cidade Sensível à Água. Esta cidade gerencia a água de uma maneira a proteger a saúde das águas receptoras, mitigar o risco de inundação e criar espaços públicos verdes que também coletam e reciclam a água. Infraestrutura, tecnologia e desenho urbano são flexíveis, reconhecendo a ligação entre sociedade e tecnologia. A comunidade se vê associada à água e tem oportunidades para um envolvimento mais ativo no sistema, principalmente, por meio do aproveitamento recreacional de espaços verdes irrigados por toda a cidade.

A Figura 7 resume a visão desenvolvida por Brown et al. (2008), considerando as seis evoluções de estado das cidades, além dos indutores sociopolíticos para caracterização de cada uma delas e a prestação de serviços esperada pela população.

Figura 7 - Esquema gráfico da evolução da gestão das águas nas cidades



Fonte: adaptado de Brown et al., 2008.

Observa-se e deixa-se claro, pela figura e pela descrição realizada, que a gestão das águas nas cidades deve sempre incorporar as fases anteriores de gestão. Isso faz com que os pontos positivos sejam potencializados e que os pontos negativos sejam o gatilho de novos pensamentos e ações a respeito das funções da cidade perante os recursos hídricos. Vê-se, portanto, no último estado, a necessidade da gestão integrada da água, visto sua importância para a vida e desenvolvimento, sua escassez e qualidade, além da resiliência das cidades em eventos de chuvas intensas.

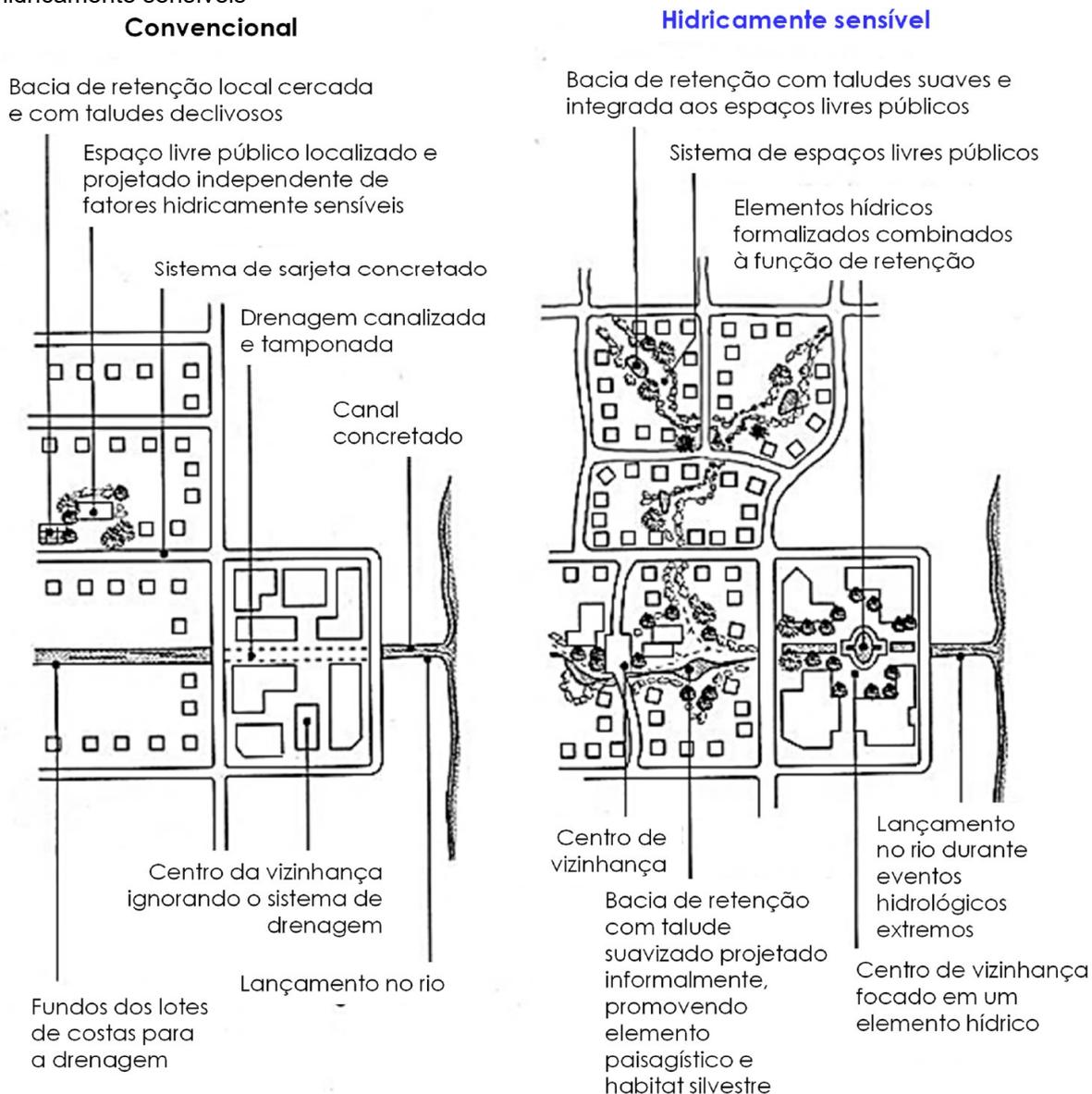
Segundo Wong (2006), para a implementação de práticas WSUD é importante a aplicação de novas tecnologias na criação de projetos, visando a maior efetividade nas soluções buscadas. Na prática, a utilização de medidas WSUD é a conexão de conceitos básicos da hidrologia em planejamentos e projetos urbanos, nos quais são utilizadas técnicas diversas para se atingir o objetivo proposto. Segundo o Victorian Stormwater Committee (2006), os principais objetivos da inserção das técnicas WSUD no ambiente são:

- a) Redução do escoamento superficial;
- b) Melhoria da qualidade ambiental urbana;
- c) Redução da demanda de água potável;
- d) Proteção dos ecossistemas aquáticos naturais;

e) Redução dos custos de sistemas de drenagem e de infraestrutura.

Desta forma, diante da necessidade de se alcançar esses objetivos múltiplos, Deletic et al. (2010) confirmam que é imprescindível a combinação de sistemas WSUD distribuídos por toda a extensão das bacias hidrográficas, principalmente para se atingir resultados esperados para a qualidade e quantidade de água escoada e infiltrada. A Figura 8 representa a aplicação de projetos hidricamente sensíveis nas cidades:

Figura 8 - Representação das diferenças entre projetos de drenagem convencional e em cidades hidricamente sensíveis



Fonte: Faustino, 2018.

A Figura 9 exemplifica a implantação do sistema baseado no conceito WSUD em uma área urbana.

Figura 9 – Exemplo de aplicação WSUD em uma área urbana



Fonte: Lloyd, Wong e Chesterfield, 2001.

Os mesmos autores citam ainda de que modo o cenário urbano também se beneficia com a implantação das técnicas:

- a) Substituição dos itens da drenagem convencional por elementos naturais para drenagem, como zonas úmidas;
- b) Melhor estética através do aumento da vegetação, elementos aquáticos e paisagismo;
- c) "Infraestrutura visível", combinando funcionalidade e elementos naturais;
- d) Ambientes urbanos e naturais interligados;
- e) Mitigação de inundações por abrandar o movimento da água através de áreas urbanas para córregos.

2.1.1 Espaços livres urbanos: conceitos e funções

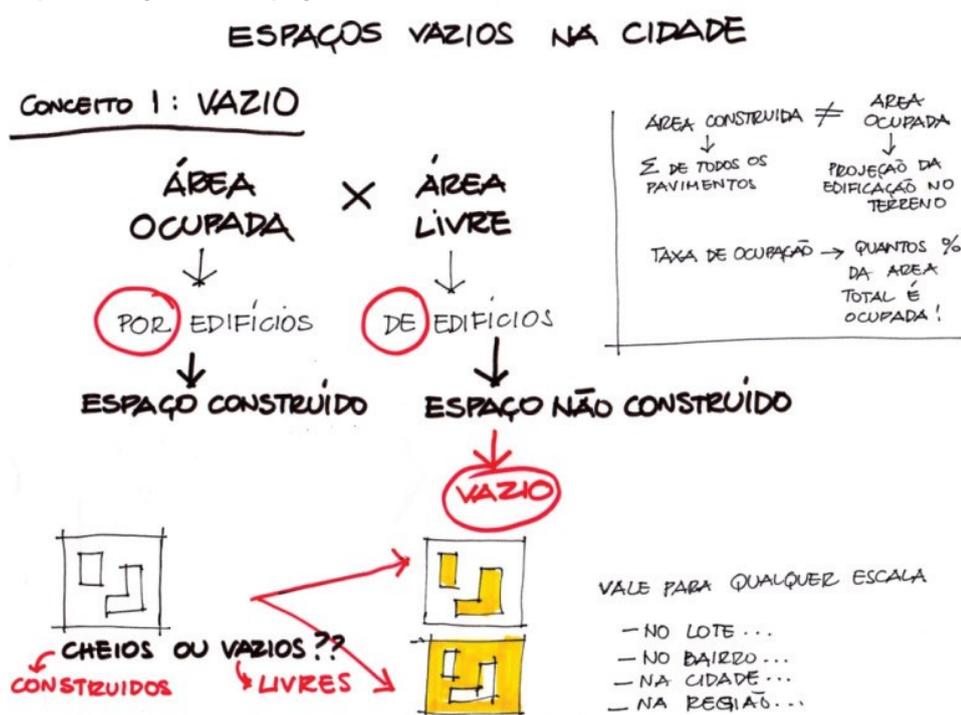
A ideia do Projeto Urbano Sensível à Água faz muito sentido quando se pensa no planejamento de novos espaços urbanos, visto a relativa facilidade de se construir um novo espaço ao invés de se adaptar aquilo que já existe. Isso pode ser

constatado onde o uso de estruturas para retenção de poluição difusa e controle de cheias, como na Austrália, Indonésia e Inglaterra, se dá principalmente em áreas de expansão urbana, ou onde há baixíssima concentração populacional. Entretanto, as áreas das cidades com maiores problemas relacionados a inundações e alagamentos são normalmente aquelas que apresentam espaço urbano consolidado e com densidades populacionais relativamente altas. Alia-se a esses fatores, a precariedade em alguns sistemas de drenagem, principalmente no que se refere à capacidade de escoamento.

Uma possibilidade de inserção das ideias ligadas ao Projeto Urbano Sensível à Água, dentro desses espaços já tomados pela urbe, é justamente nos locais ainda não ocupados por construções.

Para Amorim (2015), a cidade é um conjunto de elementos, sistemas e funções e os espaços livres são um dos principais sistemas, capazes de estruturar toda a configuração urbana. Um dos principais conceitos de espaços livres é o de Magnoli (1982). Segundo a autora, os espaços livres são todos os não edificados: quintais, jardins, ruas, avenidas, praças, parques, rios, matas ou simples vazios urbanos. Assim, os espaços livres englobam diversos outros, como os espaços abertos, as áreas verdes e áreas livres. São espaços livres de edificação, não de ocupação e são, portanto, espaços projetáveis, conforme Figura 10.

Figura 10 - Representação dos espaços vazios na cidade



Corroborando aos conceitos já apresentados, segundo Toledo e Santos (2008), os espaços livres “são as áreas não edificadas de uma cidade, de propriedade do Município, Estado, União ou de particulares, independentes de sua destinação de uso”. Além disso, para Menneh (1998), o desenho das áreas livres se dá tanto pela necessidade de expansão da mancha urbana quanto pela necessidade de adaptação dos espaços existentes às novas formas de uso da terra.

Complementarmente, as áreas livres urbanas possuem diversas funções que se sobrepõem e variam no tempo. Clawson (1969 *apud* MAGNOLI, 1982), exemplifica que os espaços livres urbanos:

- a) Propiciam perspectivas e vistas do cenário urbano;
- b) Propiciam recreação, com amplas possibilidades de atividades específicas;
- c) Propiciam proteção ecológica, recarga de aquíferos, prevenção de inundações e preservação de determinadas áreas;
- d) Reservam áreas para uso futuro.

Os espaços livres urbanos estão por toda parte e constituem grande percentual da terra das cidades brasileiras. Para Queiroga e Benfatti (2007), entre seus múltiplos papéis, por vezes sobrepostos, estão a circulação, a drenagem, atividades do ócio, convívio público, marcos referenciais, memória, conforto e conservação ambiental. O sistema de espaços livres de cada cidade apresenta diferentes níveis de planejamento e projeto prévio, relacionado ao interesse da gestão pública pelos diferentes sub-sistemas que o compõe.

Na mesma linha, Hannes (2016) comenta que

Os elementos e tipos de espaço apresentados possuem caráter híbrido e exercem diferentes funções no contexto da cidade – urbanas, arquitetônicas, paisagísticas, estéticas, sociais – e são apropriados pelas pessoas das mais diversas formas. Mediante a utilização da rua como elemento articulador, compõem sistemas de espaços livres que estão presentes em todas as cidades, independentemente de seus tamanhos, apresentando características distintas de acordo com localização, clima e cultura específicos.

Para Leite (2011), os espaços livres urbanos devem possuir uma interrelação com outros sistemas, como os de drenagem, de transportes e de proteção, por exemplo. Todos esses sistemas e suas respectivas funções relacionadas se complementarizam para a preservação, a conservação e a requalificação ambientais,

a circulação e a drenagem urbanas, as atividades de lazer, o imaginário, a memória e o convívio social públicos. Desta maneira, a potencialização dos usos locais, aliando a drenagem urbana a outros serviços, pode tornar o espaço já consolidado adaptável às necessidades da população.

A vida sustentável nas cidades necessita de espaços urbanos abertos, vistos os benefícios ambientais, econômicos e sociais fornecidos. Yu e Hien (2006) e Cavanagh et al. (2009) citam a minimização das ilhas de calor, além da mitigação da poluição do ar e da água, e Tzoulas e James (2004) citam as melhorias para a biodiversidade dentro da malha urbana. Como benefícios econômicos e sociais à comunidade, citam-se a oferta de possibilidades de recreação (SUGIYAMA; WARD THOMPSON, 2008), além da valorização da área e dos imóveis circunvizinhos (GEOGHEGAN, 2002). Para melhorar a gestão dos espaços abertos já existentes nas cidades, assim como se para pensar em melhores proposições do desenho de novos espaços, deve-se compreender as suas principais funções (KIM; WENTZ, 2002).

Observa-se que atualmente a questão ambiental tem permeado a maior parte das discussões, discursos e estudos. Os conceitos de sustentabilidade se ligam diretamente às questões sociais, econômicas e ambientais, e assim na aplicação desse conjunto, a qualidade de vida da população tende a melhorar. No caso específico das questões ambientais, as áreas verdes públicas são elementos indispensáveis para o bem-estar da população, visto que a sua saúde física e mental é influenciada diretamente por essas áreas.

Desta forma alia-se a melhoria da qualidade de vida da população às questões relacionadas à paisagem urbana e à percepção ambiental da comunidade. Esses são materializados, principalmente, nas praças e parques públicos dos centros urbanos, estendendo-se também à requalificação de espaços, como canteiros, calçadas, vias e vazios urbanos. Isso possibilita um ganho à população, tanto com a preservação de recursos hídricos e do ambiente, quanto pela recreação, sociabilidade e sentimento de pertencimento ao local.

Em resumo, para a Cidade Sensível à Água não basta existir o espaço urbano aberto. É preciso que este seja moldado pela visão integrada do ciclo hidrológico e que as funções ligadas à água sejam potencializadas. Dentro da visão deste trabalho, entende-se os diversos usos dos espaços livres podem ser aliados à função de drenagem urbana e às medidas alternativas de drenagem.

2.2 PREVENÇÃO, MITIGAÇÃO E RESPOSTA A ALAGAMENTOS

A Política Nacional de Proteção e Defesa Civil, a qual apresenta como primeiro objetivo a redução do risco de desastres, depende das etapas de prevenção, mitigação, preparação, resposta e recuperação como ações de proteção e defesa civil. Essas cinco ações são necessárias para que haja estruturação, planejamento e estratégias bem definidas para redução do risco e efeitos dos desastres (BRASIL, 2012b).

Como prevenção e minimização dos danos causados por qualquer desastre natural deve-se executar o Gerenciamento de Desastres Naturais. Para Neto (2000), este gerenciamento possui dois objetivos: compreender o processo dos fenômenos naturais; e “aumentar a resistência da sociedade contra esses fenômenos”. De acordo com Kobiyama et al. (2004), geralmente a etapa de compreensão dos fenômenos é realizada por universidades e institutos de pesquisa e o aumento da resistência da sociedade cabe aos governos federal, estadual, municipal, empresas privadas, ONGs e às próprias comunidades.

Kobiyama et al. (2006) também destacam que essas cinco etapas possuem caráter temporal de acordo com a frequência dos eventos. Para os mesmos autores, as cidades possuem como fenômenos recorrentes as inundações e alagamentos, visto que algumas características locais, além das condições meteorológicas, como geomorfologia e pedologia, influenciam para que ocorram esses tipos de eventos. Enxurradas, deslizamentos e desmoronamentos são outros fenômenos que alteram os ecossistemas onde estão inseridos. Se estes resultarem em prejuízos humanos e materiais, por ocorrerem em locais ocupados, são tratados como desastres naturais.

Castro (2009, p. 57) define desastres como sendo os “resultados de eventos adversos, naturais ou provocados pelo homem, sobre um ecossistema vulnerável, causando danos humanos, materiais e ambientais e consequentes prejuízos econômicos e sociais”.

De forma complementar, a United Nation International Strategy for Disaster Reduction (UNISDR, 2009) expõe a seguinte definição para desastre:

[...] uma séria interrupção no funcionamento de uma comunidade ou sociedade que ocasiona uma grande quantidade de mortes e igual perda e impactos materiais, econômicos e ambientais que excedem a capacidade de uma comunidade ou a sociedade afetada para fazer frente à situação mediante o uso de seus próprios recursos (UNISDR, 2009).

Em 2012, foi criada a Instrução Normativa nº 01 do Ministério da Integração Nacional, a qual estabeleceu procedimentos e critérios para a decretação de emergência ou estado de calamidade pública (BRASIL, 2012a). Esta instrução conceitua desastre como:

Resultado de eventos adversos, naturais ou provocados pelo homem sobre um cenário vulnerável, causando grave perturbação ao funcionamento de uma comunidade ou sociedade envolvendo extensivas perdas e danos humanos, materiais, econômicos ou ambientais, que excede a sua capacidade de lidar com o problema usando meios próprios (BRASIL, 2012a).

Os desastres causados por fortes precipitações são os mais comuns nas cidades brasileiras. Entre esses estão os alagamentos, que aliados às inundações e à vulnerabilidade das várzeas, causam tragédias de ano em ano. Em geral, os mais afetados são membros de comunidades carentes residentes em áreas de risco.

Além da vulnerabilidade dos residentes, é preciso considerar também a suscetibilidade da região. O regime de chuvas altera o nível das águas dos rios causando as enchentes e subseqüentemente, as inundações, que são eventos naturais. Quando as águas pluviais não conseguem ser escoadas pelos sistemas de drenagem urbana, têm-se os alagamentos. Assim, esses eventos passam a ser potencialmente causadores de desastres quando existem ocupações na planície de inundação, área naturalmente 'projetada' para receber a vazão excedente advinda das chuvas e em proximidades de áreas onde o sistema de drenagem não consegue suportar a vazão de escoamento gerada. Sempre que ocupadas, as áreas mais baixas das áreas urbanas se tornam vulneráveis a esses eventos. As ocupações desses locais não são raras e demonstram como a vulnerabilidade global, somada ao inadequado planejamento urbano, que permite ocupações em áreas sensíveis, pode resultar em sérios danos à infraestrutura e mobilidade das cidades, além de perdas ambientais e humanas.

Apesar da gestão dos alagamentos e inundações urbanas decorrer de ações de prevenção, correção de problemas ou infraestruturas ineficientes, o que se vê, normalmente, principalmente na mídia, são as ações de resposta a um determinado evento. Os desastres nas cidades são grandes aceleradores de decisões e ações por parte do poder público, visto que são nesses momentos que ocorre maior visibilidade e divulgação das suas atividades.

2.2.1 Controle dos alagamentos e inundações urbanas

Em 2007 foi criada a Política Nacional de Saneamento Básico no Brasil (BRASIL, 2007). Esta, em seu artigo 3º, prevê como parte dos serviços de saneamento básico municipal o subsistema de drenagem pluvial urbana. Esse sistema busca promover o adequado escoamento das massas líquidas originárias das chuvas que precipitam nas áreas urbanas, garantindo o trânsito público, o conforto dos transeuntes, dirigibilidade dos veículos e a proteção das edificações, bem como, evitando efeitos danosos das inundações e dos alagamentos, principalmente em áreas consideradas vulneráveis habitadas pela população (BRASIL, 2007).

Dentre as diferentes formas de controle para a proteção contra inundações, alagamentos e os riscos que eles podem trazer, existem meios estruturais e não estruturais. As medidas estruturais são fundamentalmente projetadas e construídas unicamente para o controle de cheias. As medidas não estruturais têm como objetivo a melhor coexistência da população com as inundações e alagamentos e fundamentam-se em princípios que disciplinam o uso da terra, a tipologia das construções transitáveis, seguros e sistemas de alerta (TUCCI, 2003).

Para o controle das cheias urbanas, a tendência brasileira tem sido a implantação de medidas estruturais. Na maioria das vezes, adotam-se processos de canalização dos trechos que possuem características de criticidade em relação às enchentes. Normalmente, ocorre em trechos de montante das bacias hidrográficas, em áreas que funcionariam como reservatórios de amortecimento para jusante. A opção por esse recurso é realizada considerando-se somente um trecho da bacia, sem que as implicações sejam previstas para o restante da mesma e não levando em conta o aspecto da ocupação urbana. Deste modo, a canalização dos pontos nevrálgicos acaba somente transferindo, com maior velocidade, o volume precipitado de um ambiente para outro na bacia.

Tucci (1999) afirma que a infraestrutura de drenagem convencional não considera a bacia como sistema de controle. Desta forma, os impactos gerados em cada projeto são transferidos de um ponto a outro à jusante. Para o autor, “na microdrenagem os projetos aumentam a vazão e esgotam seu volume para jusante e na macrodrenagem a tendência é a canalização dos trechos críticos.” Vários autores (SANTOS, 2002; BERTOLINO, 2013; CASTRO, 2016) defendem que esse

tipo de solução segue a visão particular de um trecho da bacia, sem que as implicações sejam prognosticadas para o restante da mesma ou dentro de distintos horizontes de ocupação urbana, apenas deslocando a inundação sem resolver, de maneira efetiva, o problema.

Além das medidas estruturais, também se pode optar pelas medidas não estruturais que visam à prevenção e minimização do impacto causado pelas inundações e alagamentos. Podem ser agrupadas em diversas categorias, como a regulamentação do uso da terra, seguro de enchente e previsão e alerta de inundação. A regulamentação do uso da terra deve ser prevista no Plano Diretor da cidade, e constitui-se principalmente na definição dos riscos de inundação e alagamentos nas diferentes cotas e definição de que usos se poderiam fazer das áreas de maior e menor risco. O seguro de enchente visa à proteção e redução de perdas das pessoas que podem ser atingidas pelas cheias. O objetivo da previsão e alerta é o monitoramento em tempo real que possibilita alertar com antecedência a Defesa Civil, as autoridades e a população para que se possam reduzir os prejuízos (TUCCI, 2002). No Quadro 1, algumas medidas não estruturais, suas características e objetivos podem ser observados.

Essa quantidade de água é menor que a precipitada, pois considera-se que parte ficou retida na vegetação e em outros obstáculos, sendo evaporada posteriormente, e parte se infiltra no solo não saturado. A porção da água infiltrada no solo dá origem a dois tipos de escoamento: o sub-superficial, que ocorre em terrenos mais inclinados e é proveniente das camadas mais rasas do solo; e o escoamento base, muito mais lento, decorrente da água acumulada nas zonas de saturação do solo, que flui aos poucos para o curso d'água (COSTA; TEUBER, 2001).

Quadro 1 – Medidas não estruturais para controle de cheias

Medida	Características	Objetivo
Plano Diretor	Planejamento das áreas a serem desenvolvidas e a densificação das áreas atualmente loteadas.	Evitar ocupação sem prevenção.
Educação ambiental	Para ser realizada junto à população para conservação das margens dos rios, da vegetação e dos taludes.	Conscientizar a população que sofre ou poderá sofrer com as inundações
Medidas de apoio à população	Lugares seguros para preservar a pessoa e sua família, e construção de abrigos temporários, meios de evacuação, patrulhas de segurança.	Inserir na população que poderá ser atingida pela inundação um senso de proteção.
Distribuição de informação sobre as enchentes	Programa de orientação da população sobre as previsões de cheias.	Aprimorar a qualidade da assistência externa e a reduzir falhas como a falta de informações e má avaliação das necessidades.
Reassentamento	Reassentamento de residentes ilegais ocupantes das margens de rios, e de residentes legais nas áreas de risco.	Retirar a população dos locais de risco.
Soluções de mitigação	Promover o aumento das áreas de infiltração e percolação.	Aumentar a eficiência do sistema de drenagem à jusante e da capacidade de controle de enchentes dos sistemas.
Construções a prova de enchentes	Pequenas adaptações nas construções.	Reduzir as perdas em construções localizadas nas planícies de inundação
Sistemas hidrológicos	Histórico hidrológico da bacia e modelos que mostram o comportamento hidráulico e hidrológico do sistema do rio.	Fornecer subsídios para os estudos de comportamento da bacia, assim como previsão de cenários futuros.

Fonte: Castro, 2016.

Os sistemas de drenagem urbana dividem-se em microdrenagem e macrodrenagem. A microdrenagem tem como princípio básico a rápida remoção do escoamento superficial. Trata-se das primeiras das estruturas que farão o transporte inicial das águas precipitadas. Tem como objetivo levar as águas pluviais das sarjetas às bocas de lobo e por conseguinte, às tubulações de concreto da rede de galerias. Também compõe esse sistema os meio-fios, caixas de ligação, poços de visita, entre outros necessários à drenagem principalmente de vias e lotes. Posteriormente, a água escoar nos emissários e nos canais de macrodrenagem urbana, os quais, geralmente, são construídos com paredes revestidas e impermeabilizadas. Os sistemas de macrodrenagem destinam-se a receber e realizar a condução final das águas escoadas superficialmente e captadas pela microdrenagem. Kobayashi et al. (2008) definem macro e microdrenagem da seguinte maneira:

A macro-drenagem é constituída em geral, por canais (abertos ou fechados) de grandes dimensões, projetados para vazões de 25 a 100 anos de período de retorno. Quando tem funcionamento adequado previne danos às propriedades, à saúde e à segurança da população habitante das cidades, seja em consequência direta ou indireta das águas.

A micro-drenagem é composta por um sistema de menor escala, formada pelos pavimentos das vias, guias e sarjetas, bocas de lobo, rede de galerias de águas pluviais e, também, canais de pequenas dimensões, feitos para vazões de 2 a 10 anos de período de retorno. Quando manutenção é adequada, praticamente elimina as inconveniências ou as interrupções das funções ou atividades urbanas devidas às inundações.

Uma técnica muito comum refere-se à aplicação do conceito de hidrograma, o qual retrata a resposta de vazão de uma bacia hidrográfica para uma precipitação. Uma das formas mais usuais para construção dos hidrogramas é a utilização do método racional. O método racional é uma simplificação que relaciona a vazão escoada com a intensidade da chuva precipitada sobre a área de drenagem.

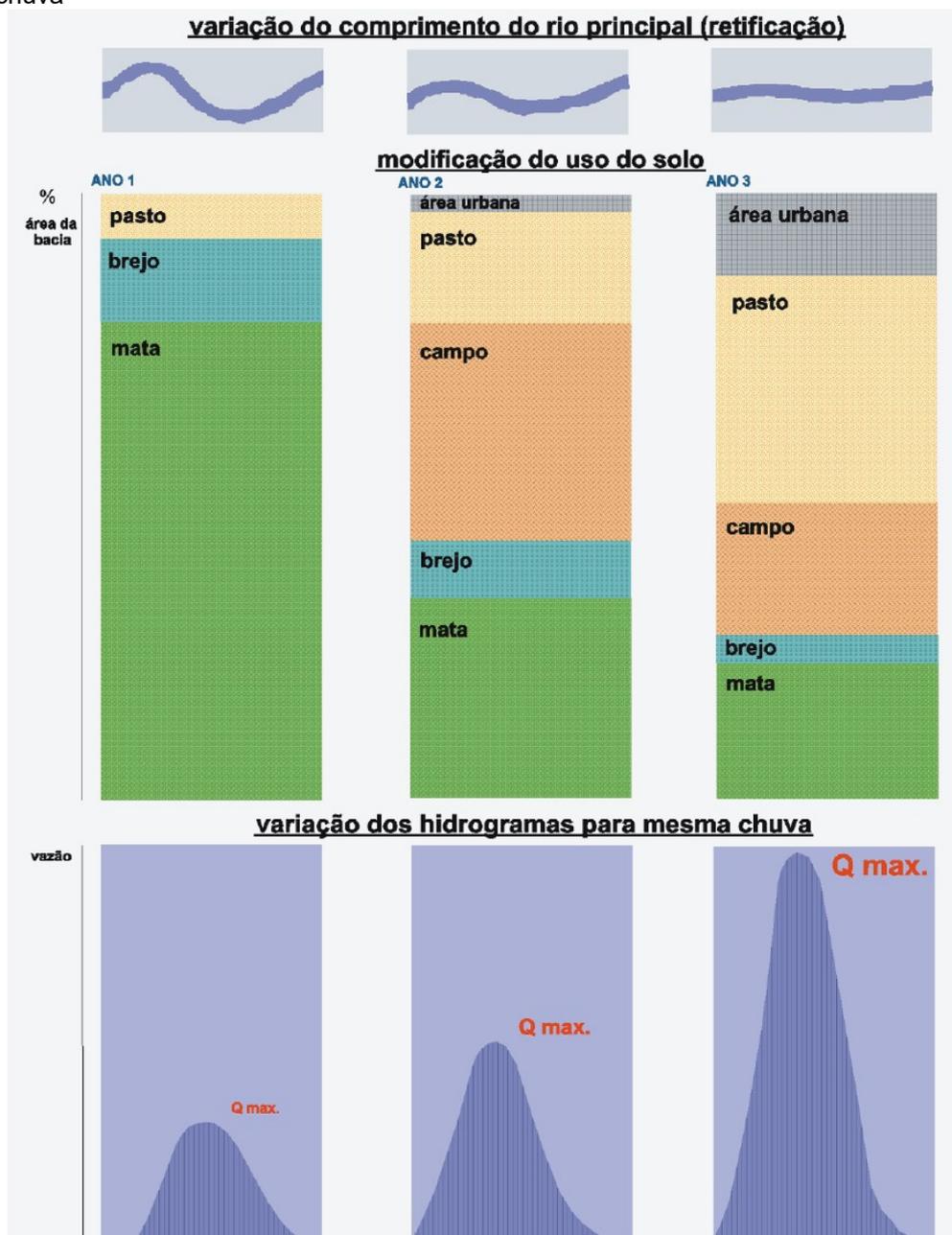
O método racional considera, para a transformação do volume precipitado em vazão, a denominada chuva efetiva, ou seja, o percentual da chuva que efetivamente se transforma em escoamento superficial. Esse percentual é definido por um parâmetro chamado coeficiente de *runoff*, ou coeficiente de escoamento superficial. Esse coeficiente responde pela representação do efeito da cobertura vegetal da bacia e do uso e condições da terra, variando de 0 (zero) a 1 (um). Normalmente valores próximos a 0 (zero) são atribuídos a locais com mais vegetação, como áreas rurais, parques e campos de esporte sem pavimentação. De maneira oposta, valores mais próximos a 1 (um) equivalem a uma maior transformação da chuva em vazão, ou seja, na prática equivalem a superfícies que permitam menores índices de retenção de água pelo solo e pela vegetação, como áreas centrais de cidades, densamente construídas com ruas e calçadas pavimentadas.

Segundo Costa e Teuber (2001), dependendo da intensidade da chuva, em determinado momento, tanto o escoamento superficial, quanto o sub-superficial e o de base contribuirão ao mesmo tempo para o curso de água, porém o atingem em tempos distintos. O escoamento superficial chega aos cursos d'água mais rapidamente e com maior volume; o sub-superficial chega em seguida, com um volume menor; e por último chega à contribuição do escoamento base.

Essas contribuições podem ser representadas graficamente por um hidrograma, que relaciona a vazão (eixo das ordenadas) com o tempo (eixo das

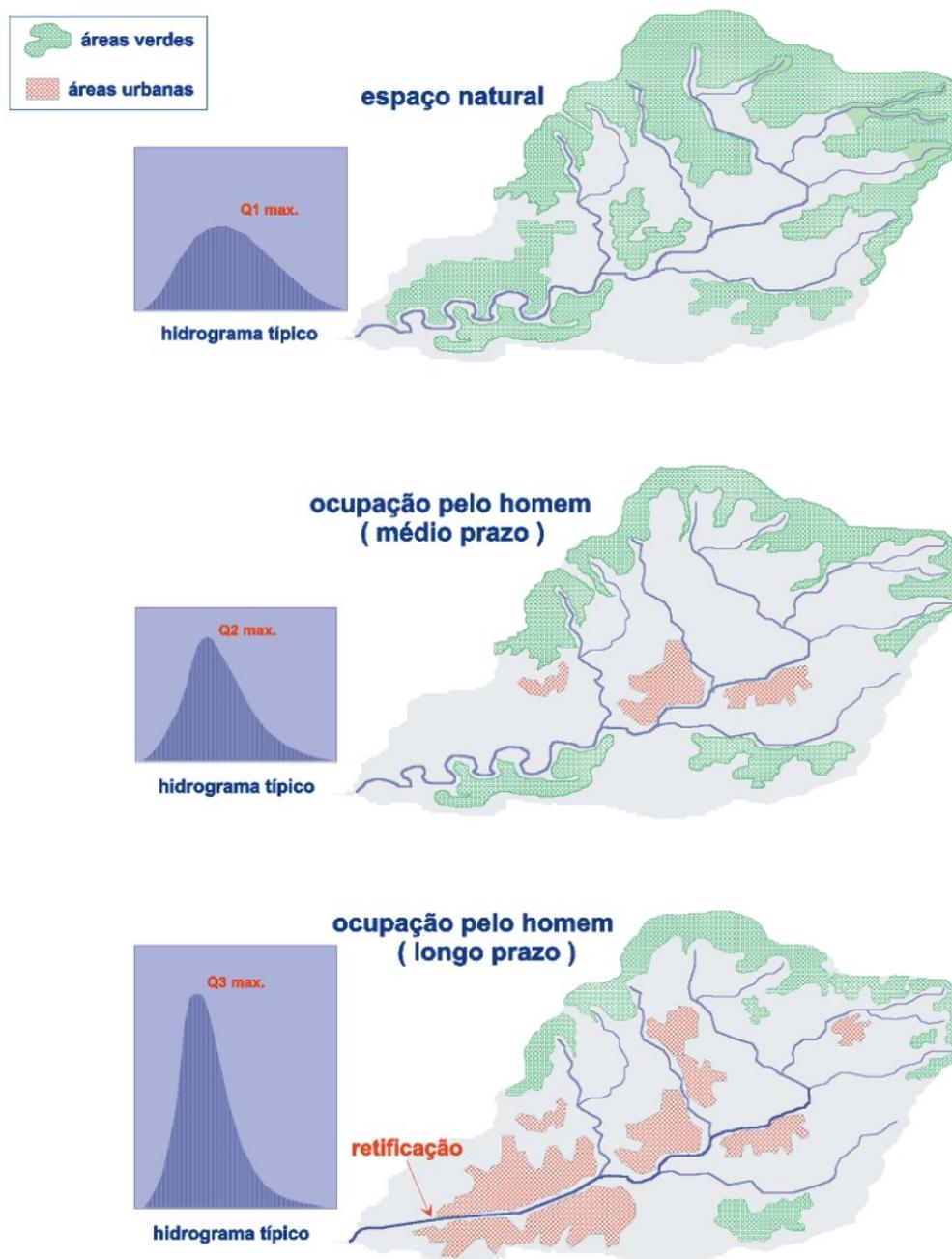
abscissas). As figuras 11 e 12 apresentam exemplos de hidrogramas, considerando as variações de uso e ocupação em bacias hidrográficas:

Figura 11 - Representação da variação dos hidrogramas para diferentes coberturas de solo para a mesma chuva



Fonte: Costa e Teuber, 2001.

Figura 12 - Representação da variação dos hidrogramas para diferentes coberturas de solo em uma bacia hidrográfica



Fonte: Costa e Teuber, 2001.

Sabe-se, portanto, que quanto mais as águas das chuvas nas cidades são retardadas para chegar ao curso d'água, menor o risco de inundações (SANTOS, 2007). Uma prática para que ocorra esse retardamento é a retenção no início do escoamento, como por exemplo, nos próprios lotes, ou pela infiltração ou armazenamento quando se trata de macrodrenagem. Essas medidas visam a evitar a transferência dos impactos causados pelas cheias em áreas à jusante.

Para Freitas (1998), o conceito ambiental da drenagem, considera que todo espaço, a partir do início de sua urbanização, vai causar efeitos no ambiente e, portanto, devem conter um modo de compensação. Deste modo, a população pode perceber a existência e participar da manutenção do ciclo hidrológico no meio urbano. Com o objetivo de reconstituir as características pré-ocupação, as alternativas de infiltração, detenção e retenção tentam beneficiar os processos hidrológicos modificados no processo de urbanização, ou seja, reestabelecer a infiltração natural, a interceptação e o amortecimento do escoamento. Para Treby et al. (2007), o gerenciamento do risco de inundações e alagamentos baseado somente em estruturas hidráulicas deve ser substituído por essa visão que aproxime o ciclo hidrológico natural como solução.

Vários autores concordam que o uso de técnicas de retenção das águas pluviais na fonte é uma forma eficiente de controle de inundações e alagamentos. Esses artifícios que detêm o volume precipitado na origem, aplicadas em cada edificação no meio urbano, retarda o escoamento superficial e pode aumentar a infiltração no solo e o tempo de concentração das águas nas bacias hidrográficas, minimizando os efeitos das inundações (FENDRICH, 2004; BERTOLINO et al, 2016). Porém, para Bertolino et al. (2016), para implantar essas técnicas, o local deve ser previamente estudado de forma a se verificar se algumas condicionantes, como espaço requerido, permeabilidade do solo, nível do lençol freático e declividade permitem a implantação dessas estruturas.

É importante salientar que nem as medidas estruturais nem as não estruturais possuem capacidade de esgotar, de forma completa, o risco de alagamentos e inundações, porém são capazes de minimizar os danos decorrentes dos mesmos (BARBOSA, 2006). A escolha do projeto, advindo de uma decisão assertiva sobre suas alternativas deve considerar as limitações financeiras, políticas e sociais para atender às necessidades locais. Além disso, para que se haja um eficiente gerenciamento de risco, os riscos naturais devem ser lembrados nos códigos urbanísticos, que, por sua vez, orientam os projetos urbanos. (DÉGARDIN; GAIDE, 1999; PLATE, 2002).

Diante disso, Castro (2016) afirma que:

Por vezes a solução estrutural não é a mais adequada, podendo-se privilegiar medidas de valorização das zonas inundáveis no ambiente urbano e adotar uma abordagem múltipla que permita a convivência com a situação e garanta a segurança da população.

E complementa:

A tomada de decisão em relação às medidas de controle depende das características do curso d'água, do benefício da redução das inundações, dos aspectos sociais e dos custos envolvidos, tanto os necessários para implementação da medida, quanto os evitados com o controle proporcionado.

Para a realização das ações preventivas ou de resposta, deve-se ainda considerar os recursos disponíveis por parte do município, Estado ou União. É permitida ainda, a transferência de recursos entre entes federativos, que pode ser realizada de modo voluntário ou obrigatório. Um dos casos obrigatórios é o previsto na Lei nº 12.340, de 2010, que define que:

[...] são obrigatórias as transferências da União aos órgãos e entidades dos Estados, do Distrito Federal e dos Municípios para a execução de ações de prevenção em áreas de risco de desastres, de resposta e de recuperação em áreas atingidas ou com o risco de serem atingidas por desastres (BRASIL, 2010).

Segundo a mesma lei (BRASIL, 2010), as obras preventivas são realizadas com recursos advindos de transferências voluntárias, ou de convênios, ou então do Fundo para Calamidades Públicas. Após os desastres, o repasse de recursos para assistência às vítimas e reconstrução dos locais atingidos são normalmente obtidos por transferências obrigatórias a partir da decretação de emergência ou estado de calamidade pública.

Segundo Coutinho (2014), a prioridade dos gastos deve ser sobre as ações preventivas, para que desta forma, se reduzam os gastos com as ações de recuperação. Isso se deve ao fato de que, em casos emergenciais, a contratação de serviços e obras é realizada sem processo licitatório, o que pode resultar em uma supervalorização das tarefas. Além disso, o autor destaca que alguns municípios optam pela desorganização de suas estruturas de prevenção e gerenciamento de desastres. A justificativa é que se o governo municipal organizar essas estruturas e o gerenciamento, possivelmente conseguirá atender a situação com recursos próprios e não terá a possibilidade de conseguir contratar obras e serviços sem a necessidade de licitação.

A Lei nº 12.340, de 2010, determina que a entidade responsável pela transferência dos recursos é quem define os valores a serem repassados de acordo com sua disponibilidade. A Lei determina também que o beneficiário deve fundamentar o pedido dos valores e comprovar, por meio de um plano de trabalho, a sua utilização, no prazo de noventa dias após a ocorrência. A aprovação dos planos de trabalho e a fiscalização do cumprimento das atividades previstas são de competência da União (BRASIL, 2010).

Observa-se que na maioria dos casos, a gestão das águas pluviais nos municípios se resume a obras, dificilmente passando por um processo de planejamento do uso da terra. Isso porque um canteiro de obras, que promete resoluções em curto prazo, parece agradar mais a população do que ações com resultados de médio em longo prazo, como é o planejamento urbano. Essa ação deve ser realizada com vistas à melhoria da qualidade de vida e ambiental, principalmente em locais onde os riscos de desastres são maiores, priorizando a segurança e bem-estar dos cidadãos.

2.3 MEDIDAS ALTERNATIVAS DE DRENAGEM PROPOSTAS PELO PROJETO URBANO SENSÍVEL À ÁGUA

Para a realização do planejamento urbano com vistas à retenção ou detenção do escoamento superficial das águas, conforme apresentado no subcapítulo anterior, são apresentadas as Medidas Alternativas de Drenagem (MAD) propostas pelo Projeto Urbano Sensível à Água. As técnicas de instalação de medidas de drenagem sustentável podem ser divididas por tipos de controles do escoamento, sendo eles: o controle localizado na fonte, controle centralizado e o controle linear. Conforme Garrido Neto (2012):

- a) Controle Localizado na fonte: tem características relativa à instalação de pequenas estruturas, dais quais, são de responsabilidade do proprietário da área. Exemplos: poços e valas de infiltração, coberturas verdes.
- b) Controle Linear: associado a instalações contínuas, onde as áreas são maiores, podem ser instalados sistemas como pavimentos permeáveis e trincheiras de infiltração.

- c) Controle Centralizado: relacionado a instalações de grande porte, localizadas em áreas abertas, como bacias de retenção.

As técnicas, conforme previsto pelo conceito WSUD, são empregadas de forma combinadas e/ou distribuídas pela extensão da área de projeto, sendo este implantado em um lote ou na extensão de uma bacia hidrográfica, como forma de potencializar os resultados previstos na melhora da qualidade dos habitantes e da água infiltrada ou escoada.

Conforme o Manual de Diretrizes para a aplicação do modelo WSUD de Melbourne (HOYER et al., 2011) a primeira fase para definir um projeto WSUD deve ser a definição dos objetivos que o projeto quer alcançar, sendo eles:

- a) Princípios de design urbano sensíveis à água;
- b) Impactos energéticos e climáticos;
- c) Considerações sociais;
- d) Custos do ciclo de vida do projeto;
- e) Seleção de tecnologia.

Tais objetivos, segundo o mesmo manual, devem ser fundamentados com as finalidades de:

- a) Reduzir a demanda de água potável;
- b) Atender aos objetivos de qualidade da água pluvial ou descarga de escoamento;
- c) Manter ou melhorar a amenidade da paisagem e o valor do ecossistema;
- d) Minimizar alterações na topografia existente;
- e) Preservar e manter o sistema de drenagem natural;
- f) Garantir provisão adequada para acesso e manutenção a todos os serviços.

Na tentativa de reduzir os impactos da impermeabilização, seja em áreas urbanizadas ou aquelas onde serão implantados novos empreendimentos, Moretti e Nishihata (2006) apontam as possíveis áreas, geralmente impermeabilizadas, que devem ser levadas em consideração para aplicação da drenagem sustentável:

- a) áreas edificadas;
- b) áreas pavimentadas para circulação de veículos;
- c) áreas pavimentadas para circulação de pedestres;

- d) áreas impermeabilizadas para fins diversos (recreação, pátios de produção e estocagem, entre outros);
- e) áreas pavimentadas para estacionamento de veículos.

As MAD, segundo o Projeto Urbano Sensível à Água, compõem-se de sete estruturas diferentes. Enfatiza-se que as medidas devem, sempre que possível, ser utilizadas de forma combinada, de maneira a potencializar o seu uso. No Quadro 2, pode-se observar a divisão das estruturas alternativas de drenagem:

Quadro 2 - Classificação das tecnologias MAD.

TIPOLOGIA	TECNOLOGIA
Controle Localizado	Cisterna de Chuva
	Coberturas Verdes
Controle Linear	Pavimento permeável
	Valas vegetadas
	Sistema de Biorretenção
Controle Centralizado	Bacias de detenção ou retenção
	Alagados construídos (<i>wetlands</i>)

Fonte: Garrido Neto (2012).

Observa-se que essa divisão respeita os conceitos relacionados às tipologias. No controle localizado, ou na fonte, as cisternas e coberturas verdes são de responsabilidade do dono do lote. No controle linear, estão inseridos o pavimento permeável (ou poroso), valas vegetadas e sistemas de biorretenção (também chamados de jardins de chuva). Essas tecnologias podem ser implantadas em áreas públicas, por exemplo, como calçadas, vias e/ou canteiros. Já o controle centralizado, considera estruturas de maior porte, e por consequência, tem necessidade de ser instalada em áreas maiores e possui maior capacidade de recebimento de volume. A partir dessa introdução a respeito das tecnologias propostas em um sistema de Projeto Urbano Sensível à Água, são apresentadas, uma a uma, as diferentes tipologias citadas.

2.3.1 Controle localizado na fonte

O controle de águas pluviais de maneira localizada, ou na fonte, corresponde à busca pelo controle e/ou tratamento do fluxo superficial da água, com a redução ou extinção de riscos associados à condução de poluentes para jusante, além da diminuição da vazão de afluência nas redes de micro e macrodrenagem. Como já

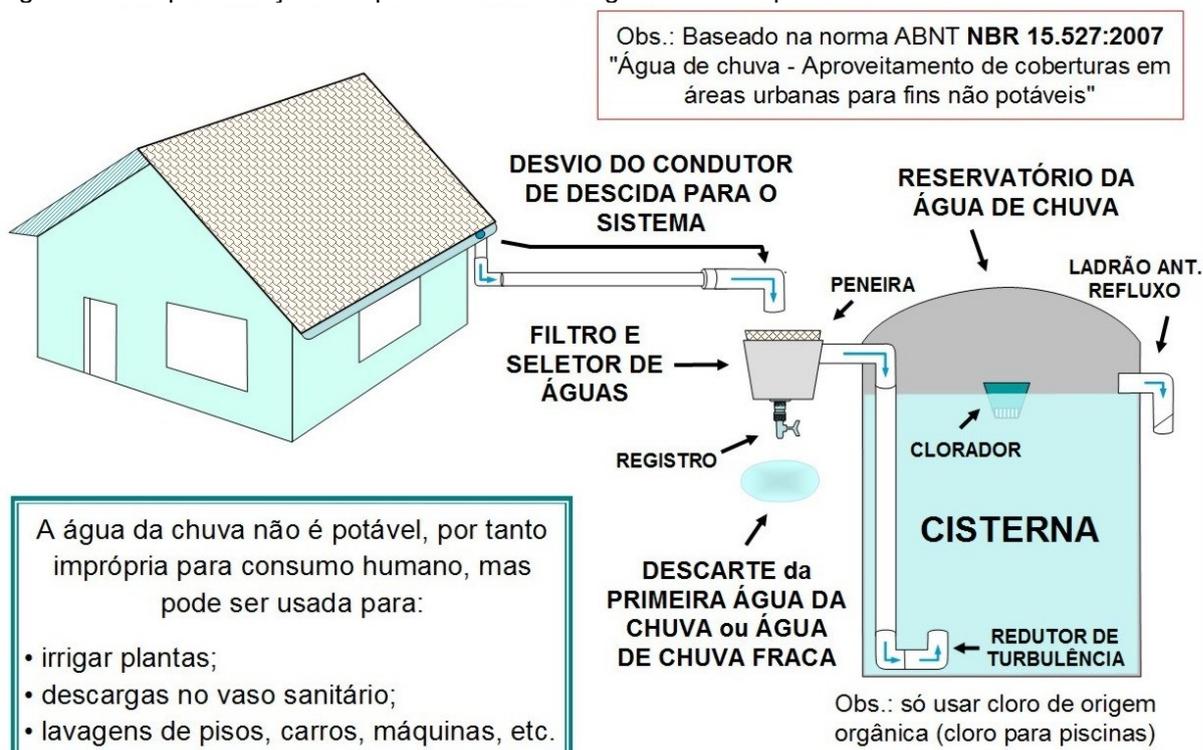
comentado, corresponde a estruturas de pequeno porte, normalmente de responsabilidade do proprietário da área.

2.3.1.1 Cisterna de chuva

Conforme SUDERHSA (2002) a cisterna de chuva é um pequeno reservatório construído para deter os fluxos de água precipitados produzidos em lotes urbanos residenciais e comerciais. Geralmente, são estruturas na forma de caixas de concreto ou alvenaria, ou, em casos menos comuns, podem ser valas preenchidas com brita e revestidas por tecido geotêxtil, como isolamento do solo. As cisternas de chuva ou microreservatório podem ser de detenção – que neste caso apresentando um dispositivo de saída para a água acumulada, que limita a vazão recebida pelo tamanho da cisterna – ou de infiltração no solo.

Considerada a maneira mais simples de aproveitamento de água da chuva, para fins não potáveis a Cisterna de Chuva é prevista na norma brasileira NBR 15.527 (ABNT, 2007), a qual “fornece os requisitos para o aproveitamento de água de chuva de coberturas em áreas urbanas para fins não potáveis”. A Figura 13 demonstra um sistema de cisternas em uma residência.

Figura 13 - Representação do aproveitamento da água de chuva por cisterna



Fonte: Sempresustentavel, 2018.

Por ter dimensões limitadas, deve-se atentar ao utilizar as cisternas de chuva em regiões com alta pluviosidade, uma vez que o tamanho da cisterna pode não comportar o volume precipitado em um evento de chuva. Outro cuidado relevante para se considerar a instalação das cisternas é a manutenção contínua dos microrreservatórios de detenção em relação ao acúmulo de sedimentos. De acordo com a SUDERHSA (2002) os reservatórios, sendo eles de detenção ou infiltração, podem não suportar o recebimento de escoamento muito poluído ou com muitos sedimentos. Isso pode dificultar o reuso em residências ou então, em casos de infiltração, pode haver a colmatação de sedimentos, tornando a percolação em solo mais difícil.

2.3.1.2 Coberturas verdes

A cobertura verde é um sistema natural de aplicação de vegetação sobre superfícies construídas, que visa atenuar os impactos do desenvolvimento urbano. Para Rola (2008), essas estruturas possuem aplicação em quaisquer áreas construídas, ou seja, coberturas, fachadas e vias.

As coberturas verdes “trazem consigo a ideia de recomposição da vegetação original retirada do solo, de forma a recuperar suas propriedades superficiais originais” (CAETANO; TIBIRIÇÁ; SANTOS, 2010). Para isto, as coberturas verdes são instaladas nas coberturas das edificações, onde são implantadas camadas de vegetação, substrato, drenagem e impermeabilização, de forma a simular uma superfície de solo vegetado.

A base da estrutura é composta por uma camada impermeabilizante, onde geralmente adotam-se mantas sintéticas, para proteger a laje de infiltrações. Acima, constitui-se uma camada drenante, com o objetivo de drenar água e agir como um filtro. Esse filtro pode ser composto de brita, seixos, argila expandida ou com mantas drenantes normalmente produzidas em poliestireno. Por cima, uma camada filtrante com manta geotêxtil é aplicada de modo a reter partículas e na camada superior da estrutura é posicionada uma membrana para controlar o crescimento das raízes da vegetação. Acima de toda essa estrutura, são colocados o solo e a vegetação. A vegetação pode ser de pequeno, médio ou grande porte, dependendo das características climáticas locais e da espessura da base da estrutura (HUI, 2006).

Segundo Taylor (2008), todas essas características relacionam-se com o desempenho destas estruturas no controle de cheias. Um exemplo de aplicação de coberturas verdes pode ser observado na Figura 14, a qual mostra a instalação da estrutura em uma Escola de Arte em Singapura.

Outro aspecto a se considerar, conforme Minke (2005), é a inclinação das coberturas. As coberturas verdes são classificadas de acordo com a sua inclinação: planos (inclinações até 5%), de inclinação moderada (5% a 35%) e de inclinação acentuada (36% a 84%).

Figura 14 - Cobertura verde na Escola de Arte em Singapura.



Fonte: Inhabitat, 2015.

Rola (2008) realizou um levantamento das vantagens na utilização das coberturas verdes e as categorizou em vantagens sociais, econômicas e ambientais. O quadro 3 apresenta as vantagens identificadas pelo autor.

Quadro 3 – Vantagens da Cobertura Verde

TIPO DE VANTAGEM	VANTAGEM
SOCIAL	Promoção da diversidade visual no ambiente urbano, uma vez que as coberturas verdes vivas se contrapõem à massa construída da cidade.
	Medida compensatória que pode evitar que ocorram cheias urbanas, e a mobilização da população local.
	Promove o bem-estar por ser paisagisticamente agradável de serem contemplados
ECONÔMICA	Economia de energia utilizada no aquecimento e resfriamento do ambiente interno, já que a amplitude térmica da cobertura com terra e vegetação é muito menor do que uma cobertura convencional.
	Aumento da área verde útil.
	Redução do tamanho das canalizações para drenagem, uma vez que as coberturas verdes e as lajes jardim podem reter boa parte da precipitação de chuvas.
	Aumento no valor da propriedade.
	Redução do dimensionamento das galerias pluviais devido à retenção da água precipitada promovida pela cobertura verde.
	Influência no ambiente interior, contribuindo para o isolamento térmico e reduzindo o consumo de energia.
AMBIENTAL	Retorno da água de chuva ao seu ciclo natural.
	Retenção da água de chuva pela cobertura verde.

Fonte: adaptado de Rola, 2008.

2.3.2 Controle linear

As técnicas de controle linear são obras consideradas simples, em áreas onde se deseja reduzir a velocidade, reter sólidos e remover os poluentes de uma forma mais harmoniosa possível com a área urbanizada.

2.3.2.1 Pavimento permeável

De acordo com Mullaney e Lucke (2013) o pavimento permeável, também chamado de pavimento poroso, é um revestimento para o solo tal como pavimento asfáltico ou de concreto. Esses são capazes de suportar cargas de determinado tráfego ao mesmo tempo que permite a infiltração da água da chuva pela ausência de agregados finos em sua composição, já que apresenta uma taxa alta de vazios após a sua compactação. Conforme Tomaz (2007), o pavimento poroso se constitui de um material que não detém partículas menores que 600 μm . Existem também os diferentes tipos de pavimentos permeáveis, como o pavimento de concreto intertravado permeável, asfalto poroso e concreto poroso.

Os pavimentos permeáveis ou drenantes podem ser utilizados para pavimentação de calçadas, estacionamentos, áreas de lazer, arruamentos, praças e

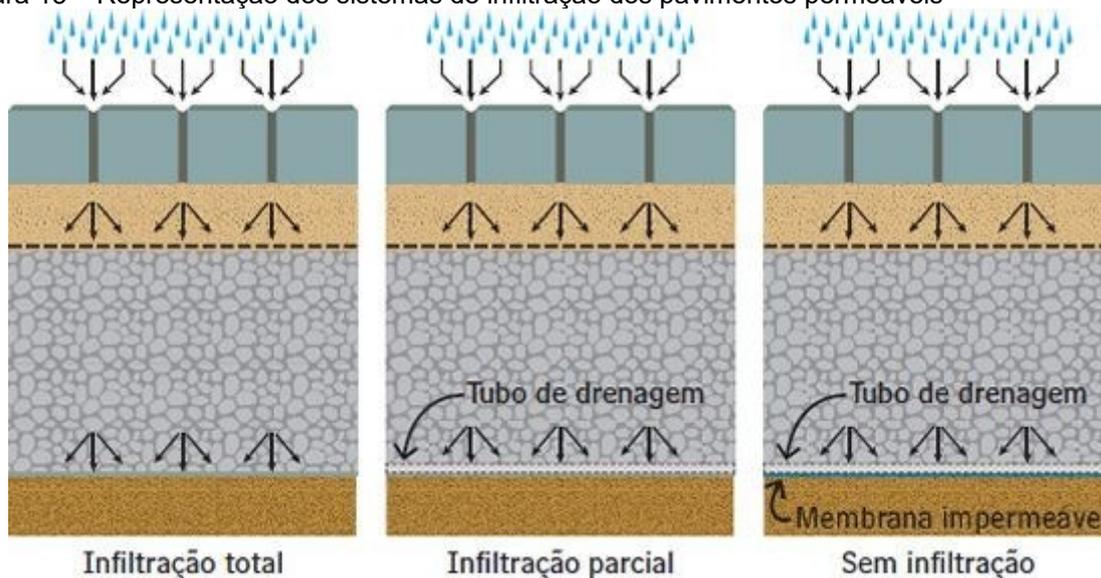
ambientes de circulação. Urbonas e Stahre (1993) mencionam que se deve ter cuidado com a permeabilidade do solo, com o nível do lençol freático e com a existência de uma camada impermeável que não permita a infiltração da água no solo para o uso do pavimento permeável. Nestes casos, esse sistema de drenagem funciona como um reservatório e deverá prever o esgotamento do volume num período de 6 a 12 horas.

Com relação a esta última característica, a NBR 16.416 (ABNT, 2015) prevê três tipos de sistemas de infiltração para os pavimentos considerados permeáveis:

- a) Total: ocorre a infiltração de toda água precipitada que alcança o subleito do pavimento.
- b) Parcial: ocorre a infiltração de parte da água precipitada que alcança o subleito do pavimento. A fração não infiltrada é removida por um dreno, após ficar armazenada temporariamente na estrutura.
- c) Sem infiltração: toda a água precipitada que alcança o subleito do pavimento é armazenada temporariamente e, por fim, é removida por um sistema de drenos.

A Figura 15 exemplifica os três sistemas de infiltração em pavimentos permeáveis:

Figura 15 – Representação dos sistemas de infiltração dos pavimentos permeáveis



Fonte: Marchioni e Silva, 2011.

Os benefícios ao sistema de drenagem incluem remoção de poluentes, promoção de retenção do runoff (coeficiente de escoamento superficial, é a razão

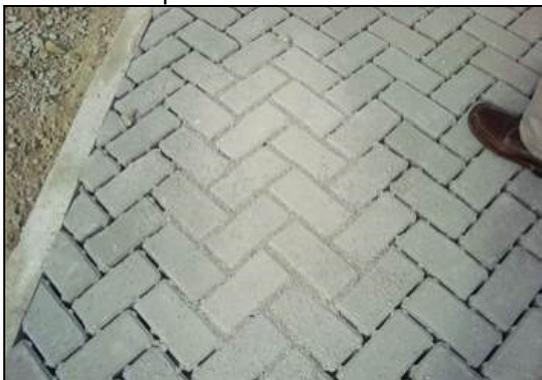
entre o volume de água escoado superficialmente e o volume de água precipitado), e diminuição do volume do escoamento no local (DPLG, 2010).

Mascaró e Yoshinga (2005) definem a importância dos pavimentos porosos, por sua função de amenizar as enchentes regulares e diminuir as altas temperaturas. Porém, a adesão ao pavimento poroso possui alguns critérios para que seu funcionamento seja efetivo, como a realização de manutenções periódicas, para evitar o entupimento dos poros do pavimento e o subsolo do sistema não sofrer excessiva compactação. Quando o solo apresentar baixa permeabilidade ou o nível do lençol freático for alto, o sistema permeável poderá ter a atribuição de poço de detenção e deve ser previsto sistema de drenagem com tubos para o direcionamento da água à rede de drenagem (GONÇALVES e OLIVEIRA, 2014), conforme já citado pela NBR 16.416.

Os pavimentos porosos podem ser classificados em:

- a) Pavimento Intertravado Permeável (figuras 16 e 17): é constituído por peças de concreto posicionadas de modo a possuir espaços vazios entre as unidades, ou seja, nos espaçamentos entre as peças. Assim, os espaços vazios são preenchidos com o mesmo agregado utilizado na sub-base. Para caracterizar um pavimento como poroso é necessário que este atenda à normativa NBR 9.781 (ABNT, 2013) no qual classifica “pavimento intertravado o pavimento que atenda a relação comprimento/espessura < 4 ”.

Figura 16 - Exemplo de pavimento poroso intertravado tipo 1.



Fonte: Marchioni e Silva, 2011.

Figura 17 - Exemplo de pavimento poroso intertravado tipo 2.



Fonte: Marchioni e Silva, 2011.

- b) Asfalto poroso: é semelhante ao pavimento asfáltico tradicional, no entanto, os agregados finos também não são utilizados na sua

composição, a sua estrutura é semelhante ao pavimento de concreto intertravado permeável, diferenciando apenas a camada final onde o paver é substituído pela cobertura asfáltica (MULLANEY E LUCKE, 2013).

- c) Pavimento Concreto Permeável (Figura 18): É definido por ser um revestimento de concreto permeável que permite a infiltração de água e segue a mesma regra dos pavimentos citados anteriormente: na sua fabricação são retirados a maior parte dos agregados finos aumentando a condutividade hidráulica. O coeficiente de permeabilidade de um local com pavimento poroso pode atingir 0,34 cm/s.

Figura 18 - Exemplo de Pavimento concreto permeável



Fonte: Marchioni e Silva, 2011.

Existem algumas recomendações para serem seguidas para a aplicação do pavimento permeável. A instalação do pavimento com declividades muito baixas, inferiores a 0,35%, poderão favorecer a formação de poças d'água, enquanto declividades elevadas tenderão a aumentar a velocidade de escoamento superficial, o que não é o objetivo deste dispositivo (VIRGILIS, 2009).

Para realização do projeto deste tipo de pavimentação, é necessário considerar os seguintes dados: precipitação da região, tráfego no local, coeficiente de permeabilidade do solo e capacidade do suporte do solo. (MARCHIONI e SILVA, 2011). O desempenho do sistema alternativo de drenagem utilizando pavimentos

permeáveis é medido pela velocidade de infiltração de um volume conhecido, ou seja, seu coeficiente de permeabilidade.

Marchioni e Silva (2011) explicam que em uma superfície permeável é importante saber em que taxa a água passa e não a quantidade. Ou seja, a velocidade em que a água entra para dentro do sistema drenante e não o volume total absorvido. Segundo a NBR 16416 (ABNT, 2015) o pavimento é considerado 100% permeável quando apresenta alto grau de permeabilidade e coeficiente acima de 10^{-3} m/s.

Para fins rodoviários, o dimensionamento estrutural do pavimento deverá ser desenvolvido estimando-se a natureza do tráfego, as condições de suporte do subleito, as características dos materiais para as camadas e utilizando procedimentos de cálculo adotados pelos órgãos rodoviários responsáveis. (VIRGILIS, 2009).

A principal aplicação dessa tipologia de pavimentação é em áreas particulares. Na Inglaterra, foi aprovada uma lei exigindo a utilização de sistemas sustentáveis de drenagem nas edificações. Na Alemanha, até 2011, foram construídos 20 milhões de metros quadrados de pavimentos permeáveis por ano em construções residenciais e comerciais (MARCHIONI; SILVA, 2011). No Brasil, a aplicação deste sistema é testada principalmente em estacionamentos privados (como universidades) para acompanhamento da capacidade de armazenamento, retenção, desgaste, quantidade de poluentes absorvidos, além de se observar possíveis melhorias na manutenção e limpeza do material.

Estudos realizados no Instituto de Pesquisas Hidráulicas da Universidade Federal do Rio Grande do Sul mostram resultados favoráveis à infiltração de água de chuva em estacionamentos, com utilização de pavimentos permeáveis. Estes estudos demonstram que, ao analisar um estacionamento permeável experimental com dois tipos de revestimento permeável (blocos de concreto vazados e asfalto poroso) executados sobre camadas de pedra-britada, ambos funcionam como reservatório da água de chuva precipitada, indicando a gradativa infiltração das águas acumuladas (ACIOLI, 2005).

Marchioni e Silva (2011) enfatizam que os pavimentos permeáveis podem contribuir ainda mais para a redução do escoamento superficial do que áreas urbanas livres de pavimentação. Isso se deve pelo fato do solo já se encontrar compactado em grandes centros, e mesmo com cobertura vegetal, as camadas

inferiores possuem também alto grau de compactação, ocasionando baixo coeficiente de percolação de água. Ou seja, considerar superfícies não pavimentadas como área permeável pode resultar em erro de projeto.

2.3.2.2 Valas Vegetadas

As valas vegetadas (Figura 19) são estruturas compostas por pequenos declives longitudinais escavados com o objetivo de recolher as águas da chuva e armazená-la temporariamente ou infiltrá-la no solo. Quando projetadas para armazenamento temporário da água, chamam-se valas vegetadas de biorretenção, quando projetadas para infiltração, intitulam-se valas de infiltração (NUNES, 2011).

Figura 19 - Vala Vegetada



Fonte: Mission Engineers, 2018.

Conforme cita Nunes (2011), as valas têm finalidade de pré-tratamento da água pluvial, por meio da filtração e absorção vegetal, que remove os poluentes por sedimentação. Baptista, Nascimento e Barraud (2005) afirmam que as vantagens do sistema de valas vegetadas, mais do que um sistema de controle do escoamento, possui a finalidade de remover os sedimentos provenientes das águas pluviais, tem baixo custo de construção e manutenção, traz benefícios paisagísticos, resultado da integração do projeto com a valorização do ambiente e benefícios ambientais com a recarga das águas subterrâneas.

As valas vegetadas possuem vida útil de 15 anos e sua manutenção deve ser realizada a cada cinco anos para assegurar o funcionamento adequado do sistema. A manutenção realizada limita-se a sua superfície, relacionada à conservação da grama, justificando o baixo custo de manutenção (MOURA, 2004)

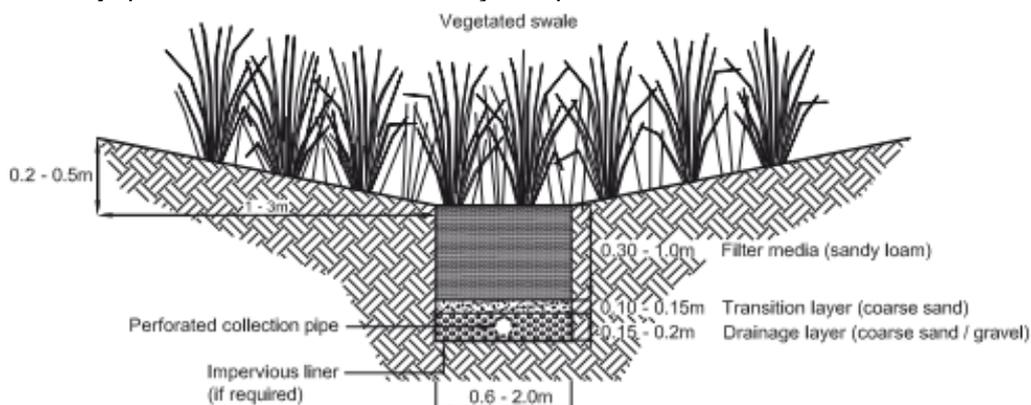
Apesar disso, o sistema não é indicado em áreas com acentuada declividade devido à perda do potencial de deposição de sedimentos e perda do volume de retenção, assim, aumentando a probabilidade de erosão da infraestrutura (BAPTISTA et al, 2011).

2.3.2.3 Sistemas de biorretenção ou biofiltração

Os Sistemas de Biorretenção são extensões escavadas e completadas com uma combinação de solo de alta permeabilidade e material orgânico, onde são cultivadas vegetações, que proporcionam um sistema químico, biológico e físico de plantas e micrroorganismos que proporcionam a infiltração do escoamento superficial das águas pluviais no solo (MELO et al., 2014).

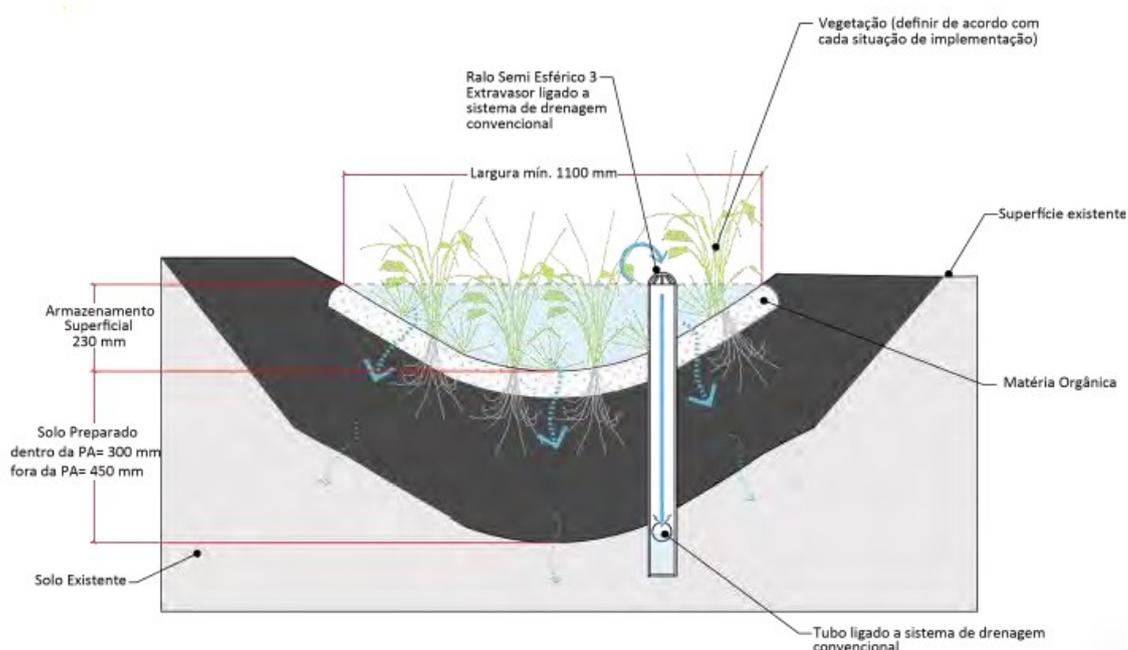
Quando adequadamente projetados, eles imitam os ecossistemas florestais naturais por meio de uma diversidade de espécies, densidade e distribuição da vegetação e, com a utilização de espécies nativas, resultam em um sistema resistente a insetos, doenças, poluição e alterações climáticas (PENNSYLVANIA, 2006). Esses sistemas podem ser projetados no formato de valas, bacias, ou pequenos espaços retangulares com estrutura elevada ou encaixada no subsolo e, implantados em locais adjacentes a estacionamentos, vias públicas, áreas residenciais ou comerciais. Portanto, os elementos essenciais nesse sistema são as plantas de diferentes espécies e tamanhos, responsáveis pela retirada da água e dos poluentes (NASCIMENTO; BAPTISTA, 2009). As Figura 20 e 21 mostram exemplos de arranjos de sistemas de biorretenção.

Figura 20. Arranjo para um sistema de biorretenção impermeável.



Fonte: Government of Western Australia, 2007.

Figura 21. Esquema de implantação de um sistema de biorretenção



Fonte: Brites, 2017.

Observa-se que em ambos os casos existe uma tubulação de drenagem instalada na base do sistema. Isso mostra que mesmo sistemas de drenagem sustentável possuem limite de suporte de volume de água. O excedente que não consegue infiltrar é direcionado para o sistema convencional de drenagem. Isto deixa claro que os sistemas alternativos sozinhos podem não funcionar em eventos de chuvas intensas, e devem ser sempre utilizados em conjunto com outras infraestruturas, como o sistema convencional.

O processo associado às condições hidrológicas naturais propicia o tratamento das águas, além da sua retenção. Segundo os estudos realizados por Davis (2009), a taxa de remoção de poluentes como: sólidos suspensos podem

chegar a 59%, metais pesados (cobre, zinco, chumbo) 74%, óleos e graxas 96%, que comprova a efetividade na filtração da água escoada. Além disso, a implantação do sistema de biorretenção proporciona benefícios aos habitantes, pois melhora a qualidade do ar, atenua as ilhas de calor, propicia o contato com o meio ambiente, e podem valorizar o terreno em até 20% devido ao seu atrativo estético (PRINCE GEORGE'S COUNTY, 2007).

Nas áreas comercial/industrial os dispositivos de biorretenção geralmente são locados onde há limitação de espaços destinados as áreas verdes ou há dificuldade de implantar um sistema eficiente de manejo das águas superficiais. São instalados em áreas lineares, como estacionamentos, vias e estradas, funcionando como uma proteção para que o escoamento superficial não se acumule nas áreas impermeáveis. (PRINCE GEORGE'S COUNTY, 2007)

Outra denominação dos sistemas de biorretenção é Jardins de Chuva (MELO et al., 2014; LI e ZHAO, 2008; LI et al., 2010). Para Li e Zhao (2008), os jardins de chuva são estruturas hidrológicas que compõem a paisagem, de pouco investimento e manutenção, que baseado no conjunto terra-vegetação-atmosfera, saneiam e absorvem as águas pluviais, diminuindo a vazão escoada e protegendo a qualidade das águas dos lençóis freáticos. As figuras 22 e 23 mostram exemplos de aplicação na cidade de Portland, nos Estados Unidos.

Figura 22 - Exemplo de Jardins de Chuva em Portland.



Fonte: City of Portland, 2018.

Figura 23 - Exemplo de Jardins de Chuva nas ruas de Portland.



Fonte: City of Portland, 2014.

A cidade de Sydney tem investido intensamente em testes com essa tecnologia para manter a qualidade da água e reduzir a poluição por águas pluviais em suas baías. Segundo a prefeitura local, quase 3 mil toneladas de poluentes

advindos do óleo de veículos, partículas de borracha de pneus e produtos químicos, entre outros, penetram os cursos d'água da cidade. Estão sendo instalados canteiros com camadas de solo arenoso e vidro triturado reciclado. A cidade possui 154 jardins de chuva instalados em ruas, parques e centros comunitários, que juntos, ocupam 2.300 metros quadrados. O objetivo da prefeitura é reduzir 50% dos sedimentos e sólidos suspensos e 15% dos nutrientes que fluem para as hidrovias do município até 2030 (CITY OF SYDNEY, 2013).

2.3.3 Controle centralizado

As estruturas de controle centralizado possuem características que permitem em auxiliar na drenagem pluvial de toda uma bacia ou somente em parte dela. Esse tipo de controle caracteriza-se por ocuparem áreas maiores que os outros tipos, além de possuir declividades baixas ou nulas. Além disso, visa a auxiliar em processos como retenção e detenção, além da sedimentação e infiltração.

2.3.3.1 Alagados construídos – *Wetlands*

São sistemas naturais de tratamento da água caracterizados pela sua estrutura formada por grandes depressões topográficas que formam uma bacia alagada de retenção das águas pluviais. Os alagados têm o propósito de simular os ecossistemas de vegetação densa e com mecanismos capazes de intensificar a sedimentação, tratar e remover os poluentes das águas pluviais, melhorando a qualidade da água (NSW Government, 2017).

As *wetlands* se diferenciam dos demais métodos de drenagem pluvial por ter o nível da água aflorado, ou seja, o sistema permanece com água. Neste sistema são implantadas vegetações aquáticas, como as macrófitas (Figura 24), que contribui para o tratamento da água através de fitoremediação. Os alagados construídos visam a substituir os processos ecológicos ocorridos nos sistemas naturais formando lagoas permanentes que criam habitats, tendo grande apelo paisagístico e que podem facilmente se tornar locais de recreação, além de contribuírem significativamente para o controle das enchentes urbanas e tratarem a qualidade da água infiltrada.

Para a construção de uma *wetlands* é necessário a disponibilização de uma área na qual é escavado um tanque com profundidade aproximadamente de 1metro.

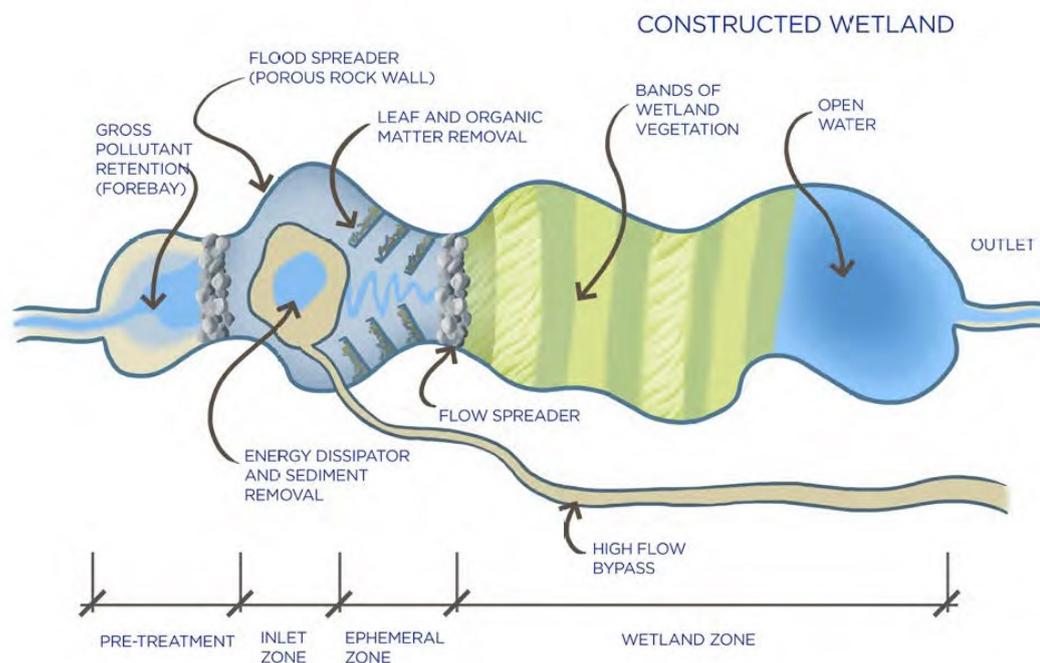
Este tanque é impermeabilizado com mantas de polietileno de alta densidade (PEAD). Após a impermeabilização é montado a rede hidráulica e realizado preenchimento do tanque com o meio filtrante. Após esta etapa, com o leito filtrante já montado, procede-se ao plantio da vegetação mais adequada a região. Na Figura 25 pode ser observado um esquema de construção de uma *wetland*. Neste esquema pode-se observar que o sistema pode ser construído em diversas etapas, para que ocorra o tratamento da água escoada até a zona principal.

Figura 24 - Utilização de macrófitas em *wetlands* construídas



Fonte: NSW Government, 2017.

Figura 25 - Esquema de implantação de um sistema de *wetlands* construídas



Fonte: NSW Government, 2017.

As experiências no Brasil com *wetlands* construídas datam da década de 80. Em 1982, pesquisadores do Instituto de Ecologia Aplicada (IEA) de Piracicaba, em São Paulo, construíram uma *wetland* experimental para o tratamento de águas de um córrego poluído em Piracicaba-SP (SALATI, 2003).

2.3.3.2 Bacias de retenção ou retenção

As **bacias de retenção** mantêm a água de escoamento estocada por longo período com o fim principal de decantação de partículas sólidas e, por esse intermédio, de redução de cargas de poluentes de origem pluvial. Já as **bacias de detenção** têm por função principal o controle de inundações, onde a redução de carga de poluentes é objetivo secundário. Seu esvaziamento ocorre num tempo relativamente curto, visto que dispõe de um equipamento instalado no fundo da bacia para esvaziamento do escoamento, que permanece em operação durante todo o evento de chuva (NUNES, 2011).

Apesar da distinção conceitual, ambas as bacias possuem a finalidade principal de promover a redução do pico das enchentes, por meio do amortecimento do fluxo de água precipitado e por meio do armazenamento de parte do volume escoado. As bacias de detenção são usualmente utilizadas nas cidades brasileiras,

nas quais são criados espaços recreativos e de lazer, que além de melhorar a paisagem reduzem a carga de contaminantes, do escoamento, controla a erosão, e recarrega os aquíferos, entre outras aplicações.

Conforme Schueler (1992), a inclusão de bacias de retenção ou detenção, em projetos de drenagem, tem a vantagem de permitir a redução do pico do escoamento, evitando perturbações à jusante. As bacias de retenção, conforme Nunes (2011) podem ser projetadas para manter água permanentemente, transformando-se em lagos artificiais que além de armazenar água de chuva para fins de uso não potáveis, têm a função de valorizar a paisagem urbana, atividades recreativas, e de propiciar a preservação do habitat da fauna e flora nativa. Essas, também são chamadas de bacias de sedimentação, visto que como estão sempre estão cheias, permitem que os sólidos em suspensão tenham tempo para decantar.

Apesar de serem consideradas um sistema de drenagem alternativo, ou sustentável, a utilização de bacias de retenção e detenção nas cidades é antiga. Na Figura 26 pode ser observado o Parque Barigui em Curitiba/PR, inaugurado em 1972. O lago do parque é uma bacia de retenção, visto que tem a serventia de amortecimento de cheias, encontrando-se todo o tempo com lâmina de água. Neste caso, o parque Barigui se enquadra como um sistema de macrodrenagem, porém em escala de lotes ou quarteirão, os sistemas de retenção podem ser considerados com sistemas de microdrenagem.

Figura 26 - Parque Barigui em Curitiba/PR: um exemplo de sistema de retenção de águas



Fonte: IPPUC, 2015.

O quadro 4 apresenta a relação de técnicas sustentáveis com seus respectivos benefícios, os quais demandam condicionantes favoráveis e possuem condicionantes desfavoráveis em relação a sua instalação. As condicionantes são relacionadas às condições ideais de solo e da região mais adequadas para cada técnica e às regiões menos favoráveis. Segundo Nunes (2011), o cumprimento destas condicionantes pode garantir o funcionamento adequado do sistema, assim como, a qualidade do tratamento relacionado.

Quadro 4 - Resumo das técnicas WSUD

	Tecnologia	Qualidade da água infiltrada	Quantidade de água infiltrada	Benefícios	Condicionantes Favoráveis	Condicionantes Desfavoráveis
Controle Localizado	Cisterna de Chuva	Baixa remoção de poluentes da água	Alta capacidade de retenção das águas pluviais	Armazenamento para reúso. Remoção de sedimentos do tanque. Reduzir frequência de alagamentos.	Próximo ao telhado. Sistema é abastecido por gravidade. Deve ser incorporado ao desenho urbano.	Precisa de área de cobertura para captação. O tanque deve ser destinado unicamente para armazenar água da chuva
	Coberturas Verdes	Média efetividade na remoção de poluentes da água	Média capacidade de retenção das águas pluviais.	Retenção do volume da água pluvial. Aumento da biodiversidade. Melhoria do microclima. Adequado para o manejo das águas pluviais	Coberturas planas e com inclinação máxima de 30°.	Coberturas que não possuem estrutura adequada
Controle Linear	Pavimento permeável	Alta efetividade na remoção de poluentes da água	Média capacidade de retenção das águas pluviais	Detenção e Retenção do escoamento superficial (runoff).	Escala de lote, em vias públicas (calçadas e áreas de passeio) e estacionamentos.	Áreas de tráfego intenso e bacias urbanas com grande quantidade de sedimentos (ou material particulado atmosférico)
	Valas vegetadas	Média efetividade na remoção de poluentes da água	Baixa capacidade de retenção das águas pluviais	Remove médias e finas partículas. Valoriza a paisagem urbana. Reduz o escoamento superficial.	Locais com declividade até 4%.	Locais com declividade íngreme.
	Sistema de Biorretenção	Média efetividade na remoção de poluentes da água	Alta capacidade de retenção das águas pluviais	Retenção do volume da água pluvial. Melhoria da qualidade da água.	Indicado em lotes	Não Indicado em solos argilosos.
Controle Centralizado	Bacias de detenção ou retenção	Alta efetividade na remoção de poluentes da água	Média capacidade de retenção das águas pluviais	Captura de grandes sedimentos. Utilizado como pré-tratamento para outras técnicas	Escala de vizinhança. Onde o incremento do visual paisagístico é requerido	Em geral, necessita de mais espaço físico que as outras técnicas.
	Alagados construídos (wetlands)	Alta efetividade na remoção de poluentes da água	Média capacidade de retenção das águas pluviais	Remove médias e finas partículas e poluentes solúveis. Minimiza a frequência de inundações. Armazena água para reúso. Preserva a biodiversidade dos ecossistemas aquáticos. Adequado para o manejo das águas pluviais	Terrenos planos	Locais com declividade íngreme. Nível do lençol freático alto - próximo a superfície. Normalmente, demanda mais espaço físico que as demais técnicas.

Fonte: adaptado de Nunes, 2011.

2.4 CARACTERÍSTICAS PARA INSTALAÇÃO DAS MEDIDAS ALTERNATIVAS EM DRENAGEM NOS PROJETOS URBANOS SENSÍVEIS À ÁGUA

Considera-se que cada local tem características únicas, as quais podem definir as oportunidades para o controle de inundações e alagamentos. Assim, devem-se avaliar as oportunidades e restrições referentes às características dos locais para a implantação de Medidas Alternativas de Drenagem (BENZERRA et al., 2012).

Por convenção, as coberturas verdes e cisternas não necessitam de condicionantes para instalação, tratando-se apenas de um preparo da estrutura do local escolhido, como por exemplo, a impermeabilização das lajes para a locação das coberturas verdes.

A partir de orientações de literatura técnica (PMSP, 2012. SUDERHSA, 2002. BAPTISTA; NASCIMENTO; BARRAUD, 205. SCHULER, 1987. YAZAKI; MONTENEGRO; COSTA, 2018. YAZAKI, 2012. AZZOUT et al., 1994) foram levantadas as características mais relevantes para a implantação e operação das MAD.

2.4.1 Condutividade hidráulica do solo e subsolo

A condutividade hidráulica, ou capacidade de infiltração de água no solo representa basicamente a quantidade máxima de água que ele pode absover. A determinação da velocidade de infiltração relaciona-se diretamente com o potencial erosivo do solo (ROTH; MEYER; FREDE, 1985). Para Nunes et al. (2012), no início do processo de infiltração a velocidade é alta, principalmente quando a terra está seca, porém, com o tempo a taxa tende a decrescer até o momento em que o solo se torna saturado.

Para Cabeda (1984), a quantidade e tamanho de espaços vazios, chamados de poros, e a rugosidade da superfície influenciam a taxa de infiltração de água no solo. Bernardo, Soares e Mantovani (2006) e Nunes et al. (2012) complementam que a porosidade dos solos varia com a tipologia de solo, pois cada um possui uma textura e estrutura, além da presença de cobertura vegetal (que formam canais pela presença de raízes, matéria orgânica e atividade microbológica) e da existência de

camadas menos permeáveis ao longo do perfil do solo. Dessa maneira, observa-se que solos com textura muito arenosa apresentam uma velocidade de infiltração mais rápida que solos argilosos, já que esses possuem uma granulometria menor, diminuindo a presença de vazios que possam ser preenchidos com água (GONÇALVES et al., 2015).

As MAD, que propiciam a infiltração das águas pluviais no solo, são capazes permitir benefícios ambientais consideráveis. Podem contribuir para redução do volume do escoamento superficial, e por consequência, ajudam na recarga de aquíferos subterrâneos e restabelecem, mesmo que parcialmente, a fase subsuperficial do ciclo hidrológico natural. Enfatiza-se que esse coeficiente é sempre definido em condições de saturação do solo. Esse parâmetro pode variar muito de local para local, assim como com a profundidade (TOMAZ, 2010).

No quadro 5 podem ser observados os valores do parâmetro de condutividade hidráulica para diferentes texturas de solo:

Quadro 5 - Condutividade hidráulica por tipo de solo

Tipo de solo	Condutividade Hidráulica (mm/h)
Areia	210,06
Areia franca	61,21
Franco Arenoso	25,91
Franco	13,21
Franco siltoso	6,86
Franco argilo arenoso	4,32
Franco argiloso	2,29
Franco argilo siltoso	1,52
Argila arenosa	1,27
Argila siltosa	1,02
Argila	0,51

Fonte: Oliveira, Gonçalves e Martins, 2010; Gonçalves e Libardi, 2013; Tomaz, 2010.

Atualmente algumas estruturas, como as coberturas verdes, utilizam outros tipos de substratos para a vegetação, em alternativa aos solos de campo. Esses substratos alternativos, como agregados de argila expandida e pedras-pome, possuem menor densidade, o que permite a retenção da água para futura absorção das plantas (WILLES, 2014, p. 45). Apesar disso, para o presente estudo são consideradas características exclusivas de solos de campo, visto que, conforme descrito na metodologia, as coberturas verdes não são consideradas na pesquisa.

O subsolo, ou o solo situado a uma profundidade baixa da superfície do terreno, apresenta baixas taxas de condutividade hidráulica, principalmente quando apresenta características de compactação ou é rochoso. Desta maneira, a filtração

proporcionada pelas MAD no subsolo pode ser prejudicada. Do mesmo modo, como acontece com a presença de níveis elevados de lençol freático, a capacidade de drenagem da área controlada por uma MAD de infiltração ficaria reduzida. Além do mais, a presença de uma camada em rocha ou solo muito duro, dificulta a escavação para a construção de bacias de detenção, retenção ou subterrâneas (SUDERHSA, 2002).

Tomaz (2007), no Quadro 6, apresenta a condutividade hidráulica do subsolo, segundo algumas características:

Quadro 6 - Condutividade hidráulica por tipo de subsolo

Tipo de subsolo	Condutividade Hidráulica (m/h)
Material de boa infiltração	
Pedregulho	10 a 1000
Solo arenoso	0,1 a 100
Solo franco	0,01 a 1
Solo franco arenoso	0,05 a 0,5
Solo franco	0,001 a 0,1
Solo franco silteoso	0,0005 a 0,05
Material de calcário sedimentar	0,001 a 100
Solo franco argiloso arenoso	0,001 a 0,1
Material de baixa infiltração	
Solo franco argiloso silteoso	0,00005 a 0,005
Solo argiloso	<0,0001
Argila, areia depositada por geleira	0,00001 a 0,01
Rocha	0,000001 a 0,1

Fonte: Tomaz, 2007.

2.4.2 Profundidade do lençol freático e risco de contaminação de aquífero

A profundidade do lençol freático determina a infiltração da água no solo. O lençol próximo à superfície reduz a condutividade hidráulica, limitando a capacidade de drenagem da MAD. Além disso, pode ocorrer a infiltração de água na estrutura de drenagem o que faria o sistema necessitar de um esgotamento por bombeamento.

Em locais onde ocorre a recarga de aquíferos, pode existir riscos de contaminação em razão da possibilidade de infiltração de águas superficiais poluídas. Inclusive, em casos das MAD que não operam por infiltração, são necessárias precauções para a proteção de zonas de recarga. A profundidade do lençol freático representa a cobertura de solo não saturada que proporciona mais proteção ao aquífero. Quanto maior a faixa de solo entre a base do dispositivo de drenagem até o lençol freático, maior o percurso da percolação, melhorando, desta forma, a qualidade da água infiltrada.

Segundo Prince George's County (2007) para a instalação das MAD, em geral, o lençol freático não deve ser alto. Isso representa, para o mesmo autor, que a profundidade do lençol freático não deve ser menor do que 1,2 metros a partir da base da estrutura, visto a propabilidade de contaminação das águas subterrâneas.

Para efeitos de comparação, a resolução Conama 375 (MMA, 2006) cita que para minimizar efeitos de contaminação pelo lodo oriundo do processo de tratamento de efluentes ou produtos derivados, a profundidade do nível do aquífero deve ser inferior a 1,5 metros a partir da cota mais baixo do terreno.

2.4.3 Erodibilidade do solo

A fragilidade do solo, medida pela sua erodibilidade, é a capacidade de erosão diante da força da água. A erodibilidade é diferente de erosão. A intensidade da erosão de uma área qualquer pode ser influenciada, principalmente, pelo declive, características das chuvas, cobertura vegetal e manejo, do que pelas propriedades do solo. Contudo, alguns solos são mais facilmente erodidos do que outros, mesmo quando o declive, a precipitação, a cobertura vegetal e as práticas de controle de erosão são aos mesmos. Essa diferença, devida às propriedades inerentes ao solo, é referida como erodibilidade (BERTONI & LOMBARDI NETO, 1993).

A erodibilidade pela água é influenciada por, especialmente, duas propriedades do solo referentes a:

- a) Permeabilidade e capacidade total de armazenamento de água, que afeta a velocidade de infiltração;
- b) Resistência às forças de dispersão, salpico, abrasão e transporte pela água da chuva e escoamento.

Alguns solos com características argilosas ou com muitos sedimentos finos podem se desestruturar na presença da água, perdendo sua capacidade de suporte e suas propriedades hidráulicas. Desta maneira, esses solos não são adequados para suportar dispositivos de infiltração. Mesmo alternativas como as bacias de detenção e retenção devem estudadas, pois o fundo pode tornar-se excessivamente barrento ou lodoso pelo carreamento e sedimentação do solo das proximidades (TOMAZ, 2007).

Como valores de referência, foi utilizado o trabalho de Bertoni e Lombardi Neto (1999), que classificam o fator erodibilidade nas seguintes classes:

- a) Muito baixo: com valores menores que 0,01 Mg.ha.h/ha.MJ.mm;
- b) Baixo: com valores entre 0,01 e 0,02 Mg.ha.h/ha.MJ.mm;
- c) Moderado: com valores entre 0,02 e 0,03 Mg.ha.h/ha.MJ.mm;
- d) Alto: com valores entre 0,03 e 0,04 Mg.ha.h/ha.MJ.mm;
- e) Muito alto: com valores maiores que 0,04 Mg.ha.h/ha.MJ.mm.

2.4.4 Declividade do terreno

As declividades são determinantes na velocidade do escoamento superficial, pois quanto maior a declividade, mais veloz será o deslocamento da massa de água. A declividade também é fator que influencia na microdrenagem da bacia. Além de conduzir os volumes de água escoados mais rapidamente até os corpos d'água, podem comprometer o sistema, caso as galerias convencionais não estejam preparadas para tais velocidades.

A declividade é uma das condições que se inserem naquilo que se poderia chamar de condições de localização. Em locais com menores taxas de infiltração de água, a velocidade do escoamento, principalmente em áreas declivosas, pode se tornar ainda maior, podendo comprometer a eficácia das MAD. Para Bertolino (2013) “se a medida for instalada a jusante da área com declive, o escoamento pode não ser interceptado pelo sistema, ou a força da água pode carregar o material utilizado na estrutura”. Assim, as MAD podem ter seu uso restringido por altas declividades do terreno. Schueler (1987) afirma que declividades acima de 5% ou mais não são boas, por exemplo, para pavimentos porosos e valas de infiltração. Isso se deve ao fato de que declividades acima disso propiciam mais o escoamento superficial do que a infiltração propriamente dita. Porém (PRINCE GEORGE'S COUNTY, 2007) limita as declividades mínimas também para esses tipos de sistemas. Para a declividade mínima, nesses casos, recomenda-se 1%, para que não haja possibilidade de empoçamento em casos onde ocorra a saturação do solo por água.

O mesmo autor também faz referências para jardins de chuva. Para ele, declividade acima de 20% não são práticas. Como esses tipos de estruturas possuem maior rugosidade natural do que as outras, inclinações maiores, até o limite citado não representariam problemas para a efetividade da medida.

2.4.5 Possibilidade de reuso direto e proximidade de fontes de poluição difusa

Em alguns casos existe a possibilidade de haver o reuso direto da água retida pela MAD. O reuso direto pode acontecer com ou sem tratamento prévio da água. O uso de algumas estruturas para esse fim, como o caso das cisternas nas residências estão crescendo, visto a possibilidade de economia com o custo da água tratada para utilização de fins não nobres. Outros tipos de sistemas, como as coberturas verdes e sistemas de biorretenção, podem ajudar a fazer com que a água precipitada e escoada, tenha uma quantidade menor de poluentes. Porém, isso depende do local de instalação e da tipologia da vegetação que compõe a MAD (SUDERHSA, 2002; YAZAKI; MONTENEGRO; COSTA, 2018).

Destro (2016) criou um sistema de suporte a decisão relacionando sistemas sustentáveis de drenagem urbana aos sistemas de abastecimento de água e serviços de esgotamento sanitário, estudando os efeitos da poluição difusa sobre a qualidade das águas retidas por sistemas de infiltração. O autor comenta que “considerando o uso da água da chuva para descarga de vasos sanitários, rega de jardins e outros usos externos, foi possível estimar a redução no consumo per capita de água potável efetiva”² (tradução nossa).

No entanto, Campos et al. (2004) ressalta a importância do uso da água de chuva como alternativa à utilização da água potável em alguns casos:

[...] o aproveitamento de água pluvial aparece neste início de Século XXI como uma alternativa a fim de substituir o uso de água potável em atividades em que esta não seja necessária tais como descargas de vasos sanitários, irrigação de jardins e lavagens de carros, pisos e passeios (GOULD, NISSEN-PETERSEN, 1999, apud CAMPOS et al., 2004)

Além do reuso das águas pluviais coletadas por cisternas ou coberturas verdes, para Zahed Filho et al (2015), o reuso de águas também pode ser proveniente da drenagem de terrenos. Sobre essas águas, os autores citam:

² “Considering the Rainwater usage for toilet flushing, garden watering, and other outside usages, it was possible to estimate the reduction in effective drinkable water per capita consumption” (DESTRO, 2016).

[...] esta água não é fonte de poços artesianos, esta água seria lançada na drenagem pública se não fosse coletada para o reúso e a coleta desta água não promove danos aos ecossistemas do entorno ou à alimentação de corpos d'água da região (ZAHED FILHO et al, 2015).

Zahed Filho et al (2015) complementam:

A água de drenagem apresenta em geral boa qualidade, no entanto, ela pode se encontrar contaminada por conta de vazamentos ou rupturas na rede pública, contaminação do terreno por conta de descarte de resíduos sólidos na proximidade ou da presença de combustíveis de postos de abastecimento, por exemplo.

Em países em desenvolvimento, as condições sanitárias e sedimentológicas podem ser altamente restritivas ao uso das MAD. As medidas listadas têm problemas com afluências poluídas como esgotos e lavagem das ruas. Pode-se contornar este problema com estruturas de pré-tratamento a montante, mas dependendo da carga poluidora, podem ser necessárias estruturas mais complexas e caras que a própria MAD a ser protegida (FAUSTINO, 2018).

A exemplo do comentado para afluência poluída, as MAD listadas não toleram afluências com cargas altas de sedimentos e lixo. A possibilidade de contornar o problema pode esbarrar no dimensionamento de estruturas de retenção de sedimentos e lixo muito complexas e caras. Nas bacias de detenção e retenção de maior porte, estas estruturas seriam mais viáveis e a limpeza mecanizada seria possível (SUDERHSA, 2002).

2.4.6 Área de contribuição e capacidade de armazenamento

Há uma tendência de as áreas de contribuição serem menores para os sistemas de infiltração e maiores para os de retenção ou detenção. Porém, isto pode ser relativo. “Pela própria natureza dos dispositivos, há aqueles que foram concebidos para controle na fonte de pequenas áreas e outros cuja potencialidade é mais efetiva para áreas maiores” (SUDERHSA, 2002).

Na teoria a escolha das MAD independeria do tamanho da área de contribuição, visto que o dimensionamento das medidas pode adaptar os sistemas. Entretanto, para SUDERHSA (2002), a prática mostra que determinadas medidas de drenagem são mais apropriadas a áreas maiores, e outras a áreas menores em razão de critérios econômicos e urbanísticos.

Associada à área de contribuição, está a capacidade de armazenamento das medidas alternativas de drenagem. O armazenamento tem como principal objetivo a redução das vazões de pico durante eventos de chuvas intensas. Os reservatórios em áreas urbanas podem ser implantados na escala de lote, como auxílio na microdrenagem ou na macrodrenagem. Os reservatórios nos lotes são utilizados, principalmente, a área em que se deseja amortecer a cheia já está urbanizada e loteada. Os reservatórios de microdrenagem e macrodrenagem se encaixam dentro das categorias de detenção ou retenção. Nesses casos, o tipo de armazenamento é temporário, visto que o tempo de detenção é baixo (SUDERHSA, 2002). Quanto maior a área de contribuição, maior deverá ser a capacidade de armazenamento da MAD, visto que a vazão de entrada será maior.

2.4.7 Suporte a esforço e tráfego intenso e restrição à urbanização

O porte da estrutura de uma MAD pode inviabilizar a sua implantação se esta for submetida a esforços muito altos como tráfego pesado. Por exemplo, os dispositivos de infiltração podem sofrer degradação sob tráfego intenso, seja de veículos ou de pedestres (neste último caso, com exceção do pavimento permeável). As estruturas de bacias subterrâneas e de condutos enterrados de armazenamento devem ser dimensionadas de modo a resistir a esforços e vibrações sem trincar. O telhado reservatório pode ser inviabilizado se a carga sobre a estrutura suporte for excessiva (YAZAKI; MONTENEGRO; COSTA, 2018).

Além disso, algumas MAD se adaptam somente a uma determinada tipologia de urbanização ou ocupação da terra. Os pavimentos porosos são implantados, normalmente, em estacionamentos ou vias de tráfego leve, e geralmente não possuem resistência compatível com tráfego pesado. Porém, com a síntese de novas formulações, a tendência é que o material utilizado para eles fique mais resistente (FAUSTINO, 2018). As valas de infiltração constituem outro exemplo, pois são concebidas para loteamentos com densidades de ocupação de até cerca de 60 hab/ha e não seriam adequadas a áreas com densidades habitacionais maiores (PMSP, 2012).

2.4.8 Disponibilidade de área, presença de instalações subterrâneas e adaptação da medida à infraestrutura urbana existente

Ao comparar alternativas de MAD, algumas delas possuem desvantagem por terem restrições de formato desenho. As cisternas, por exemplo, exigem arranjo que possibilite escoamento por gravidade até a rede pluvial. A bacia subterrânea tem desenho condicionado pela sua estrutura que deve resistir a esforços e pela necessidade de seu esgotamento por gravidade. O telhado reservatório tem limitação ditada pela configuração arquitetônica da edificação.

Em locais muito confinados ou densamente ocupados as áreas livres disponíveis geralmente são muito pequenas. Nesses casos não há possibilidade de se implantar certos tipos de MAD que necessitam de espaços mais amplos, por exemplo: bacias de retenção e de detenção e, dependendo das circunstâncias, pavimentos porosos.

Prince George's County (2007), recomenda algumas medidas:

- a) Bioretenção: 4,7 metros quadrados de área mínima;
- b) Vala vegetada: Comprimento mínimo de 4,6 metros a 6,1 metros, a depender do tipo de vegetação; e largura de base mínima de 0,6 metros.

As MAD que operam por infiltração são projetadas para promover a percolação de água no solo, o que pode danificar fundações de construções vizinhas e redes subterrâneas de utilidades (telefonia, abastecimento de água e coleta de efluentes, por exemplo). Da mesma maneira, também pode haver problemas de contaminação de poços de captação de água, em casos onde não ocorra filtração de partículas no solo antes desse contato. Bacias de detenção e retenção, onde há também infiltração, também não são recomendáveis neste caso.

Prince George's County (2007) recomenda que sejam respeitados no mínimo três metros de distância para que as MAD não interfiram no funcionamento de redes e para não comprometerem fundações.

A adaptação à infraestrutura existente corresponde a capacidade de adaptação de uma MAD ao meio em que se deseja instalar a estrutura. Neste caso, o projeto da MAD é o responsável por alterar algumas características de implantação e dimensionamento sem comprometer a sua função. Assim, uma MAD é adaptável se ela puder ter seu desenho, formato, tamanho, entre outras características,

alterados em razão do local onde se deseja instalar o sistema (MONTENEGRO; COSTA, 2018).

2.4.9 Proximidade de exutório

As MAD que não operam por infiltração exigem, para a descarga do volume regularizado de água, um local de destino, um exutório. Há locais, entretanto, onde não há uma rede pluvial ou um córrego nas proximidades em condições de receber essa água. Há outros locais em que por questões ambientais não é permitido esse tipo de despejo. Desta maneira, a ausência de exutório é considerado um fator altamente limitante à utilização de MAD de armazenamento, vista a necessidade de extravasamento (YAZAKI; MONTENEGRO; COSTA, 2018).

As MAD de infiltração, a princípio, não têm maiores problemas quanto a isso, já que descarregam suas águas no solo. Porém, deve-se prever as consequências de chuvas maiores que as de projeto. Em alguns casos, em razão de características de saturação de solo, deve-se prever o uso concomitante de sistemas de drenagem convencional, com drenos. Esse sistema teria um dimensionamento reduzido, visto que só seria utilizado em casos onde o precipitado não consiga infiltrar por completo (YAZAKI; MONTENEGRO; COSTA, 2018).

2.4.10 Riscos associados à implantação de medidas alternativas de drenagem

Além das características que podem influenciar a escolha do local de implantação de uma medida alternativa de drenagem, deve-se considerar que para a instalação, convém identificar os riscos aos quais as estruturas estão sujeitas.

Com relação à probabilidade de estagnação de água pluvial, para as MAD de infiltração ou do tipo bacia, que também opere com a infiltração como modo de funcionamento, o paralelo entre o tempo de residência desejado – que geralmente dura de dois a três dias para fins de remoção de poluição leve – e a altura de lâmina de água máxima para a estrutura - dependente do controle volumétrico – pode resultar em uma limitação desta última, se a condutividade hidráulica do solo não for satisfatória (SUDERHSA, 2002).

Em MAD de maior porte que requerem operação de comportas e equipamentos mecânicos, como pode ser o caso de bacias de retenção e retenção,

existe o risco de falhas de operação (e manutenção) e conseqüente acúmulo ou disseminação de escoamentos altamente poluídos. Em situações onde não se pode garantir um bom funcionamento de tais estruturas elas não são recomendáveis. Por exemplo: microrreservatórios e telhados reservatórios (como as coberturas verdes) devem passar por manutenção periódica para evitar que o entupimento de condutos de descarga provoque o acúmulo excessivo de água, o que pode favorecer a proliferação de mosquitos (YAZAKI, 2012). Nesses casos o clima local deve ser uma característica muito bem estudada para que não haja a disseminação de doenças, como a dengue, por exemplo.

Com relação aos aspectos sanitários, Righetto (2009) afirma que:

os riscos são principalmente ligados à possível estagnação de água em certos tipos de técnicas, o que pode resultar em desenvolvimento de organismos vetores de doenças (mosquitos, vírus, bactérias etc.). Assim, certas técnicas devem ser proscritas em projetos em que haja riscos associados a dificuldades operacionais, como falhas de manutenção ou uso inadequado. No mesmo sentido, problemas associados ao transporte de resíduos sólidos por escoamentos pluviais são fonte de perturbações importantes ao funcionamento das estruturas, apresentando riscos sanitários e gerando problemas significativos de aceitação das soluções compensatórias por razões estéticas, por maus odores e outros.

Há também a probabilidade de sedimentação e/ou colmatação por falha de operação. As recomendações são semelhantes àquelas do risco sanitário por falha de operação. O acúmulo de sedimentos, seja pela operação deficiente ou por conta de não existirem métodos de remoção sistemática, pode deixar bacias de retenção e detenção inoperantes. Para as outras MAD, o risco de uma má operação provocar um problema sedimentológico de proporções é baixo (YAZAKI, 2012).

2.4.11 Implantação, manutenção e outras características

As medidas de controle na fonte, conforme o conceito australiano WSUD, são parte do planejamento integrado da drenagem urbana, “no caso de sistemas de drenagem de áreas consolidadas estas medidas devem ser implantadas para aumentar a eficácia dos sistemas existentes”, conforme cita Tominaga (2013). Para a autora, a implantação possui custos principalmente de material, movimentação de terra e mão-de-obra.

Segundo Novotny (2008), para se manter as medidas funcionando nas suas capacidades máximas deve-se atentar à manutenção, principalmente quanto à prevenção de sedimentação e colmatação.

Ainda conforme o autor, nos EUA as medidas sustentáveis vêm sendo utilizadas de modo a controlar a poluição a quantidade máxima de cargas poluentes de um corpo hídrico:

As medidas de controle na fonte são adotadas principalmente para o tratamento da poluição difusa, o controle deste tipo de poluição se dá por meio de práticas de gerenciamento do uso do solo e do escoamento superficial (NOVOTNY, 2008).

Além das características, citadas nas seções anteriores, foram identificadas outras que também podem ser consideradas para a implementação de MAD em ambientes urbanos. São elas:

- a) **Vocação Paisagística:** capacidade da MAD ser utilizada para fins de melhoramento estético. Está ligada principalmente à utilização de elementos da vegetação e água;
- b) **Possibilidade de permanência de pessoas:** característica associada principalmente aos aspectos de lazer, recreação e prática de esportes. Uma MAD pode fazer com que a população a utilize de diferentes maneiras, principalmente, em períodos secos, sem chuvas; pode despertar o sentimento de pertencimento do local para a comunidade.
- c) **Possibilidade de circulação de pessoas:** além da possibilidade do ficar, a população pode-se utilizar da MAD para tráfego leve, como caminhada e utilização de meios de transporte leves, como bicicletas, patins, patinetes, skates, entre outros.
- d) **Proximidade com áreas de alagamento:** característica pouco explorada na literatura. Algumas estruturas de MAD, principalmente as classificadas como medidas de controle na fonte não podem estar em áreas sujeitas à alagamentos, visto que não podem ficar submersas, como é o caso das cisternas. Também não se justifica utilizar alternativas de infiltração, em áreas onde normalmente se encontram saturadas em épocas de chuva.

- e) Aspectos climáticos: critérios utilizados principalmente para dimensionamento das MAD. Aspectos como sazonalidade das chuvas e a intensidade das mesmas são fatores que, aliados ao tamanho da área de contribuição e seu coeficiente de permeabilidade definem a vazão a ser recebida, volume de armazenamento, área utilizada e tempo de detenção ou retenção das MAD.
- f) Tipologia de vegetação: característica variável para cada MAD que utiliza plantas no seu funcionamento. Esse aspecto pode fazer com que o volume de água e quantidade de poluentes retidos variem. Além disso são determinantes para dimensionamento do substrato e da base das MAD.

Salienta-se ainda a importância da aceitação da população. A comunidade favorecida deve aprovar as “novidades”, entender o benefício das estruturas, seu funcionamento, além de ser orientada sobre os riscos e cuidados básicos para não comprometer a operação das MAD.

Os Projetos Urbanos Sensíveis à Água iniciam-se com uma escolha: ou com a decisão de onde a medida alternativa de drenagem pluvial deve ser implantada, ou com a decisão de como escolher a medida alternativa, já com um local definido. A primeira escolha foi trabalhada por Bertolino (2013) com auxílio de técnicas de geoprocessamento. Neste estudo, dá-se uma continuidade com a escolha da MAD a ser utilizada. A construção do sistema foi detalhada na seção 3.

3 METODOLOGIA

Esta tese caracteriza-se como pesquisa aplicada, baseada em pesquisa bibliográfica sobre as funções do desenho urbano, das ações de prevenção e mitigação dos fenômenos de alagamento e inundações, além do aprofundamento bibliográfico das MAD e das características que as compõem.

Para a proposição do sistema de escolha de implantação de MAD, inicialmente estudou-se o conceito de Projeto Urbano Sensível à Água, aprofundando sete técnicas consideradas MAD, selecionadas por se enquadrarem nos conceitos associados ao Projeto Urbano Sensível à Água. As sete técnicas estudadas foram: cisterna de chuva, coberturas verdes, pavimento permeável, valas vegetadas, sistema de biorretenção, bacias de retenção ou retenção e alagados construídos (*wetlands*). Além disso, foram estudadas quais características são importantes para a viabilização das técnicas citadas. Após o detalhamento das características, as mesmas foram separadas em seis diferentes classes:

- a) Características físicas do local de implantação: correspondem a variáveis que inviabilizam o projeto caso o local não possua os requisitos mínimos especificados para cada MAD;
- b) Tipologia de uso: usos possíveis das MAD, além da função principal de drenagem urbana.
- c) Riscos associados: variáveis que consideram a probabilidade de problemas e consequências da operação das medidas;
- d) Características do entorno: variáveis que devem ser consideradas no projeto de implantação, porém não inviabilizam a sua locação.
- e) Características econômicas: custos associados à fase de implantação e custos de manutenção da operação;
- f) Características ambientais e de dimensionamento: variáveis que quando consideradas flexibilizam a MAD, principalmente suas dimensões.

Porém, visto suas particularidades, as seis classes foram separadas em duas categorias principais. A primeira representa as classes utilizadas na seleção das características que levam em consideração o momento de escolha da MAD para um determinado local. A segunda permite verificar quais são as características que

podem interferir no projeto e dimensionamento da medida escolhida. O Quadro 7 mostra a divisão realizada:

Quadro 7 – Classificação das características para locação das medidas alternativas em drenagem WSUD.

CARACTERÍSTICAS DE ESCOLHA (influem na escolha da MAD)	CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DO LOCAL DE IMPLANTAÇÃO	<ul style="list-style-type: none"> Condutividade hidráulica do solo Condutividade hidráulica do subsolo Profundidade do lençol freático Erodibilidade Declividade do terreno
	TIPOLOGIA DE USO	<ul style="list-style-type: none"> Possibilidade de reuso direto Armazenamento Tráfego intenso Urbanização Permanência de pessoas Circulação de pessoas
CARACTERÍSTICAS DE PROJETO (podem alterar o projeto da MAD escolhida)	CARACTERÍSTICAS DO ENTORNO	<ul style="list-style-type: none"> Área de contribuição Disponibilidade de área Presença de instalações subterrâneas Proximidade de exutório Proximidade de fontes de poluição difusa Áreas próximas à áreas de alagamento
	CARACTERÍSTICAS DE AMBIENTE E DE DIMENSIONAMENTO	<ul style="list-style-type: none"> Adaptação da medida - flexibilidade em mudanças de desenho e formato Adaptação à infraestrutura urbana existente Limite de altura - Altura de estagnação da água pluvial Aspectos climáticos Tipologia de vegetação
	RISCOS ASSOCIADOS	<ul style="list-style-type: none"> Risco de contaminação de aquífero Probabilidade de risco sanitário por falha de operação Probabilidade de sedimentação/colmatação por falha de operação
	CARACTERÍSTICAS ECONÔMICAS	<ul style="list-style-type: none"> Custo de implantação Custo de manutenção

Fonte: o autor, 2020.

Este estudo tem como objetivo principal desenvolver um sistema de suporte à tomada de decisão para implantação de medidas alternativas de drenagem pluvial urbana. Para a proposição de desse sistema poderia ser utilizada a primeira categoria (características de escolha), visto que as demais são consideradas principalmente no processo de dimensionamento das MAD já selecionadas para um local específico. Porém, nesta tese, devido à indisponibilidade bibliográfica específica sobre características de uso, o sistema foi composto somente com as características físicas.

A proposição do sistema de escolha se deu seguindo a seguinte premissa: a partir do momento em que se escolher um local de implantação, o sistema permitirá pontuar cada MAD conforme a adequação ou não das características físicas que, segundo a bibliografia, determinam a sua viabilidade natural de implantação ou não.

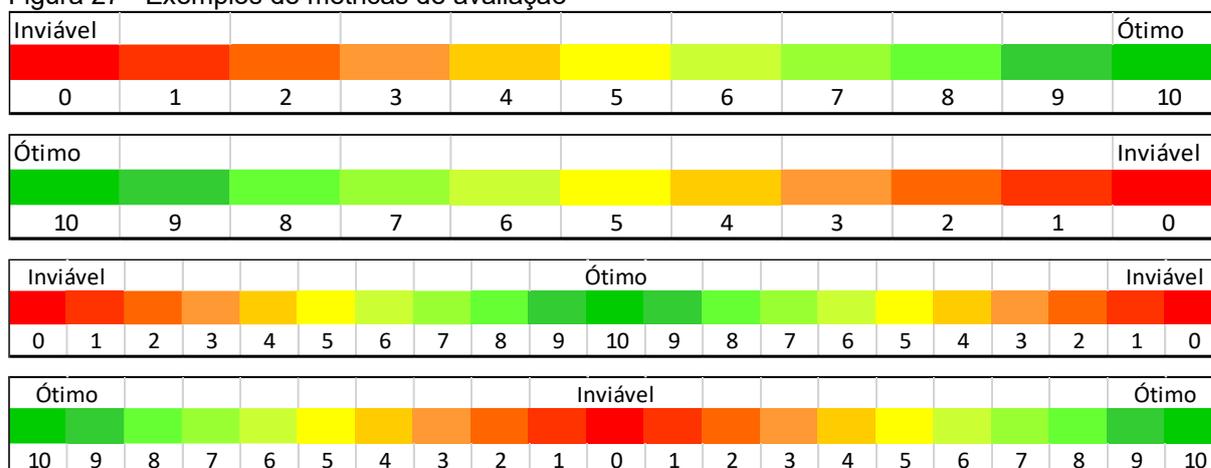
Além disso, não são consideradas as MAD que compõe as técnicas de controle na fonte pois são de responsabilidade do proprietário do local. Como espera-se que o sistema proposto seja utilizado principalmente por gestores urbanos, justifica-se tal exclusão. Desta maneira, foi criado um sistema de escolha para implantação de MAD, considerando somente cinco das sete técnicas anteriormente estudadas: pavimento permeável, valas vegetadas, sistema de biorretenção, bacias de detenção ou retenção e alagados construídos (*wetlands*).

Cada MAD tem uma necessidade diferente em relação às características identificadas. Visto que as variáveis analisadas possuem diferentes unidades de medida, para a agregação dos resultados na estrutura do sistema, é proposta a normalização dos valores, para que possam ser comparadas entre si e serem representadas dentro da mesma faixa numérica. Ao final, cada MAD terá as pontuações de cada característica física somadas, a fim de se atingir uma pontuação geral. A representação das pontuações normalizadas foi realizada por métricas de avaliação criadas para cada propriedade física estudada.

As métricas de avaliação são uma forma de representação gráfica e numérica, baseada em cada medida para indicar o quão possível é a sua instalação e operação no local escolhido. Para a representação numérica, foram atribuídos valores de 0 (zero) a 10 (dez), onde o 0 (zero) corresponde a condição inviável para a MAD. De maneira contrária, o valor 10 (dez) estabelece uma condição ótima, para aquela variável. Essa pontuação foi relacionada com as unidades de medida.

As cinco características físicas (condutividade hidráulica do solo e subsolo, declividade do terreno, erodibilidade e profundidade do lençol freático) foram pontuadas segundo as métricas de avaliação criadas. Deve-se levar em conta, também, que as métricas não são necessariamente lineares e nem diretamente proporcionais às unidades. Deste modo, a Figura 27 representa as quatro variações das métricas de medição criadas para atender as possibilidades de variação das características físicas.

Figura 27 - Exemplos de métricas de avaliação



Fonte: o autor, 2020.

Cada extremo das métricas corresponde aos extremos de medição de cada parâmetro. Por exemplo, a declividade de um ambiente pode variar de 0 a 100%, mas como para diferentes MAD a faixa da declividade ideal pode mudar, a declividade 0 não necessariamente recebe pontuação zero, da mesma forma que a declividade 100 não recebe a pontuação 10.

Para a construção das métricas de avaliação, foi adaptado o Modelo de Ponderação de Indicadores Econômicos e Ecológicos Normalizados (UNESCO, 1987). Este modelo estabeleceu um método de verificação da correlação entre variáveis econômicas e ambientais de um determinado local, refletindo seu grau de desenvolvimento econômico e o estado de qualidade ambiental. Por exemplo, para a comparação de uma característica econômica, como a renda de uma população, com a qualidade da água de um corpo d'água, medida pela quantidade de oxigênio dissolvido, seria inviável a utilização das suas unidades de medida salários mínimos recebidos e miligramas por litro de água, respectivamente. Para este estudo, o modelo da UNESCO foi adaptado com a utilização somente de características

naturais do ambiente para instalação das MAD. Com a normalização pode-se transformar as medidas que se desejam relacionar para a mesma escala: valores variando de 0 (zero) a 1 (um). Para essa tese, consideram-se que valores próximos de 0 (zero) são considerados ruins, e valores próximo a 1 (um) são considerados bons.

Para a normalização, segundo este modelo, adotam-se valores de controle para as variáveis que se quer normalizar. Para tanto, o Modelo da UNESCO utiliza o do Coeficiente de Correlação Tau de Kendall (KENDALL, 1938). Este conceito estabelece uma relação não paramétrica entre variáveis a partir de pontos controle pré-definidos. A aplicação desse coeficiente inicia-se ao se ordenar os valores dos dados observados para cada variável a ser estudada. Ao mesmo tempo, adota-se um “valor de controle”, que pode ser, por exemplo, um limite recomendado por uma norma, ou um valor escolhido para a determinada situação. Nesta tese foram utilizados valores de referência, buscados na bibliografia, que representam condições de viabilidade ou inviabilidade de aplicação da MAD no local.

Utilizando-se da característica erodibilidade, por exemplo, pode-se demonstrar a utilização de valores de controle para a normalização. Para esse aspecto, uma das possibilidades é utilizar os agrupamentos de classes categorizadas por Bertoni e Lombardi Neto (1999), conforme observado no Quadro 8:

Quadro 8 - Classes de erodibilidade

Classe de Erodibilidade	Erodibilidade (Mg.ha.h/ha.MJ.mm)
Muito baixo	$x \leq 0,01$
Baixo	$0,01 < x \leq 0,02$
Moderado	$0,02 < x \leq 0,03$
Alto	$0,03 < x \leq 0,04$
Muito alto	$0,04 < x$

Fonte: Bertoni e Lombardi Neto, 1999.

Os valores de controle poderiam ser os extremos: erodibilidade de solo muito baixa, a qual é a ideal, pode receber nota 1 (um) e erodibilidade do solo muita alta, pode receber nota 0 (zero), considerada ruim, com base em Schueler (1987) e Azzout et al. (1994). Ainda, para uma maior confiança na normalização, adotam-se, também, valores de controle intermediários. Dessa maneira, pode-se realizar a normalização de valores intermediários. Ou seja, podem-se calcular quais seriam os

valores normalizados, por exemplo, para quem erodibilidade de 0,025 Mg.ha.h/ha.MJ.mm.

Para a determinação desses valores intermediários, o Modelo de Ponderação de Indicadores Econômicos e Ecológicos Normalizados sugere que os valores de controle sejam também correlacionados com um valor que representa uma pontuação baixa (0,3) e um valor considerado alto (0,6). Assim, conforme o Quadro 9, o modelo categoriza a faixa de valores, dentro da normalização.

Quadro 9 - Qualificação por classe de normalização

Faixa de Normalização	Resultado
1	Ótimo
$0,6 < x < 1$	Bom
$0,3 < x \leq 0,6$	Regular
$0 < x \leq 0,3$	Ruim
0	Péssimo

Fonte: adaptado de UNESCO, 1987; Bertoni e Lombardi Neto, 1999.

Unindo os quadros 9 e 10 pode-se chegar à uma síntese para realização da normalização (Quadro 10):

Quadro 10 - Qualificação por classe de normalização

Classe de Erodibilidade	Erodibilidade (Mg.ha.h/ha.MJ.mm)	Faixa de Normalização	Resultado
Muito baixo	$x \leq 0,01$	1	Ótimo
Baixo	$0,01 < x \leq 0,02$	$0,6 < x < 1$	Bom
Moderado	$0,02 < x \leq 0,03$	$0,3 < x \leq 0,6$	Regular
Alto	$0,03 < x \leq 0,04$	$0 < x \leq 0,3$	Ruim
Muito alto	$0,04 < x$	0	Péssimo

Fonte: adaptado de Bertoni e Lombardi Neto, 1999.

Assim, a normalização de qualquer unidade de medida pode ser relacionada com um valor nulo (zero), com uma pontuação baixa (0,3), com uma pontuação alta (0,6) e com a pontuação máxima (um). Esses valores de controle intermediários, também podem ser relacionados a um limite recomendado por uma norma, ou um valor escolhido para a situação, da mesma forma que foi demonstrado com os valores de 0 (zero) e 1 (um). Assim, para a situação do exemplo de erodibilidade, pode-se utilizar as mesmas faixas de classes categorizadas, mas agora relacionados aos pontos controle (Quadro 11):

Quadro 11 - Valores normalizados para a erodibilidade

Valor Normalizado	Erodibilidade (Mg.ha.h/ha.MJ.mm)
1	0,01
0,6	0,02
0,3	0,03
0	0,04

Fonte: adaptado de Bertoni e Lombardi Neto, 1999.

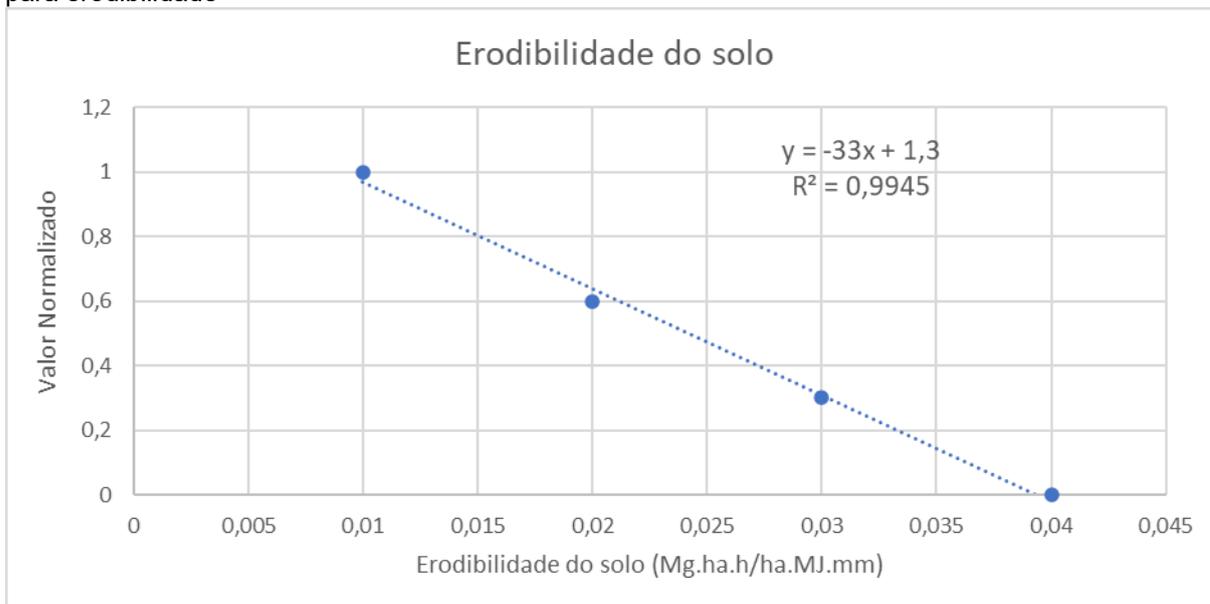
Contudo, ao analisar as relações exemplificadas, ainda resta a dúvida de qual valor adotar para valores mais específicos, como por exemplo, os de 0,025 Mg.ha.h/ha.MJ.mm. O Modelo da UNESCO, para isto, utiliza o conceito do coeficiente de determinação (WEATHERBURN, 1962). Este coeficiente, também denominado de R^2 , é uma forma medida de ajuste de um modelo estatístico genérico, em relação aos valores que se quer estudar. O R^2 reflete o quanto os valores observados são explicados pelo modelo. O coeficiente varia entre 0 (zero) e 1 (um). Quanto mais próximo de 1, melhor o modelo se ajusta à amostra, ou seja, mais explicativo é.

Para determinar o R^2 , o Modelo de Ponderação de Indicadores Econômicos e Ecológicos Normalizados (UNESCO, 1987) faz uso de uma Função de Utilidade Multidimensional. O uso dessa função tenta mostrar qual é a função matemática que melhor explica a relação entre as variáveis estudadas e relacionadas. Essa função é criada a partir de regressões lineares ou não lineares, a depender das variáveis utilizadas para tal método estatístico.

Para essa tese, a Função de Utilidade Multidimensional foi calculada com o software Excel®, o qual, com base nos dados organizados e dispostos de forma ordenada, fornece a função a partir da criação de linhas de tendência das variáveis. O usuário tem a opção de escolher entre as diferentes linhas de tendência disponíveis, permitindo a escolha da que melhor se adequa as condições refletidas pelos dados. A linha de tendência é portando resultado da análise automática do software com componente de análise e discricionariedade humana. As linhas de tendência disponibilizadas pelo software são do tipo exponencial, linear, logarítmica, polinomial, potência e média móvel.

A partir disso, foi criada a linha de tendência, a qual resulta em uma função matemática e o valor de R^2 para o exemplo de erodibilidade citado anteriormente. A Figura 28 mostra os itens criados.

Figura 28 - Linha de tendência, função de utilidade multidimensional e coeficiente de determinação para erodibilidade



Fonte: adaptado de UNESCO, 1987; Bertoni e Lombardi Neto, 1999.

Após a criação das linhas de tendência e por consequência das respectivas Funções de Utilidade Multidimensional, pode-se observar o valor do R^2 . No exemplo, por meio de uma função linear chegou-se ao coeficiente de determinação igual a 0,9945. Isso significa que a função explica em 99,45% o comportamento das variáveis de erodibilidade e sua normalização proposta. Na prática, pode-se normalizar qualquer valor de variável dentro do intervalo definido por meio dessas equações. No exemplo do valor de 0,025 Mg.ha.h/ha.MJ.mm, o seu valor normalizado, aplicando a equação seria 0,475. Observando a categorização dos resultados da UNESCO (1987), esse valor de erodibilidade estaria com uma qualidade regular.

Assim, cada característica terá uma função de utilidade multidimensional distinta para cada MAD, visto que os valores considerados ruins, regulares, bons e ótimos variam de medida para medida. O Quadro 12 representa o sistema de pontuação para as características físicas das MAD.

Nesta tese, cada característica física teve seus valores normalizados e categorizados segundo o Modelo da UNESCO, com pequenas adaptações. Os resultados de cada função de utilidade multidimensional foram multiplicados por dez, para que se tenha uma métrica de avaliação de 0 (zero) a 10 (dez), onde 0 (zero) seria a situação péssima, ou no caso deste estudo, a situação inviável para

implementação da MAD, e 10 (dez) a situação ótima, ou seja, o local, que segundo aquela característica tem total viabilidade de implantação de determinada MAD.

Quadro 12 - Sistema de pontuação para características físicas

CARACTERÍSTICA FÍSICA	VALOR DA CARACTERÍSTICA DO LOCAL ESCOLHIDO PARA IMPLANTAÇÃO	PONTUAÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS					
		Pavimentos permeáveis	Valas vegetadas	Sistema de Biorretenção	Bacias de detenção	Bacias de Retenção	Alagados construídos (wetlands)
Condutividade hidráulica do solo	w	f(w)	g(w)	h(w)	j(w)	p(w)	q(w)
Condutividade hidráulica do subsolo	x	f(x)	g(x)	h(x)	j(x)	p(x)	q(x)
Profundidade do lençol freático	y	f(y)	g(y)	h(y)	j(y)	p(y)	q(y)
Erodibilidade	z	f(z)	g(z)	h(z)	j(z)	p(z)	q(z)
Declividade do terreno	k	f(k)	g(k)	h(k)	j(k)	p(k)	q(k)
SOMATÓRIO		Σ	Σ	Σ	Σ	Σ	Σ

Fonte: o autor, 2020.

Após a normalização, os valores encontrados para cada característica são somados, sem atribuição de pesos para cada uma delas. A justificativa para a não atribuição de pesos é que se considera que, para identificar qual é a característica mais relevante, já é necessário ter estabelecido o objetivo de uso do ambiente. A partir disso, pode-se ponderar qual atributo influencia de forma mais significativa no uso proposto. O sistema de suporte a decisão estruturado nesta tese considera o ambiente antes da intervenção, portanto, não seria possível estabelecer um critério de pesos adequados a todas as aplicações do sistema. Em resumo, ao olhar um ambiente, sem um contexto definido, não faz sentido julgar um elemento natural em relação aos outros.

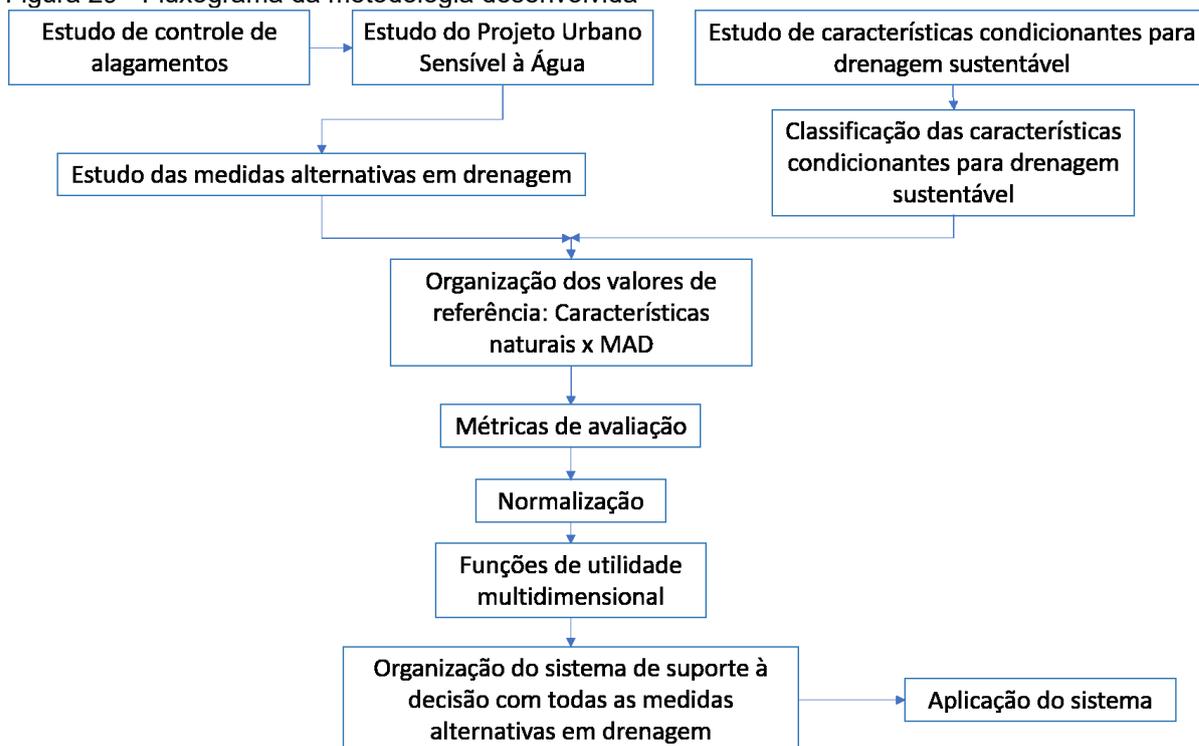
Considera-se também, que os valores normalizados não são necessariamente os extremos de pontuação, ou seja, as equações podem dar valores menores que 0 (zero) e maiores que dez. Nesse caso, valores negativos são considerados como 0 (zero), e valores normalizados e posteriormente pontuados acima de dez, consideram essa pontuação de dez como a nota máxima. No caso de uma característica de uma MAD receber valor 0 (zero), o somatório total é anulado, impedindo que uma medida inviável, para essa medida alternativa de drenagem, seja considerada pelo usuário.

Assim, cada MAD tem uma nota final, ao somar-se as pontuações das cinco características. Porém, somente essa pontuação, resultado de uma aplicação rígida,

não substitui a capacidade de análise humana. Considerando que esse somatório representa uma direção a ser tomada na decisão de escolha, neste momento é mantida a liberdade de decisão do usuário do método (no caso, o gestor).

A Figura 29 apresenta um fluxograma com a estrutura da metodologia.

Figura 29 - Fluxograma da metodologia desenvolvida



Fonte: o autor, 2020.

4 CONSTRUÇÃO DO SISTEMA

Com base no método apresentado, foi construído o sistema de suporte à tomada a decisão. São apresentadas, nesta seção, as etapas de construção das funções de utilidade multidimensional para cada par: MAD *versus* característica. Assim, os subcapítulos apresentam as características e seus respectivos valores de referência, gradação, linha de tendência e função utilidade multidimensional, para cada medida alternativa.

4.1 PAVIMENTO PERMEÁVEL

Nesta seção apresenta-se a construção das funções de utilidade multidimensional das características com base nos valores de referência para os pavimentos permeáveis.

4.1.1 Condutividade Hidráulica do Solo

Para a normalização da característica condutividade hidráulica do solo para a medida – pavimento permeável – foram utilizados os seguintes valores de referência (Quadro 13):

Quadro 13 - Valores de referência de condutividade hidráulica do solo para pavimentos permeáveis

CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA DO SOLO (mm/h)	CONDIÇÃO	REFERÊNCIA
$7,6 \leq x \leq 200$	Viável	SCHUELER (1987); FENDRICH et al. (1982); TOMAZ (2007)
7	Viável, com restrições	
$0,5 \leq x \leq 4$	Inviável	

Fonte: o autor, 2020.

Os valores de referência foram organizados e correlacionados com as faixas de normalização para equacionar a função de utilidade multidimensional, conforme o Quadro 14. Observa-se que para a geração de equações de utilidade multidimensional, o valor limite inferior 0 (zero) nem sempre pode ser utilizado, visto que esse valor nulo impossibilita algumas operações matemáticas. Nesses casos, o valor limite inferior foi substituído por 0,0001.

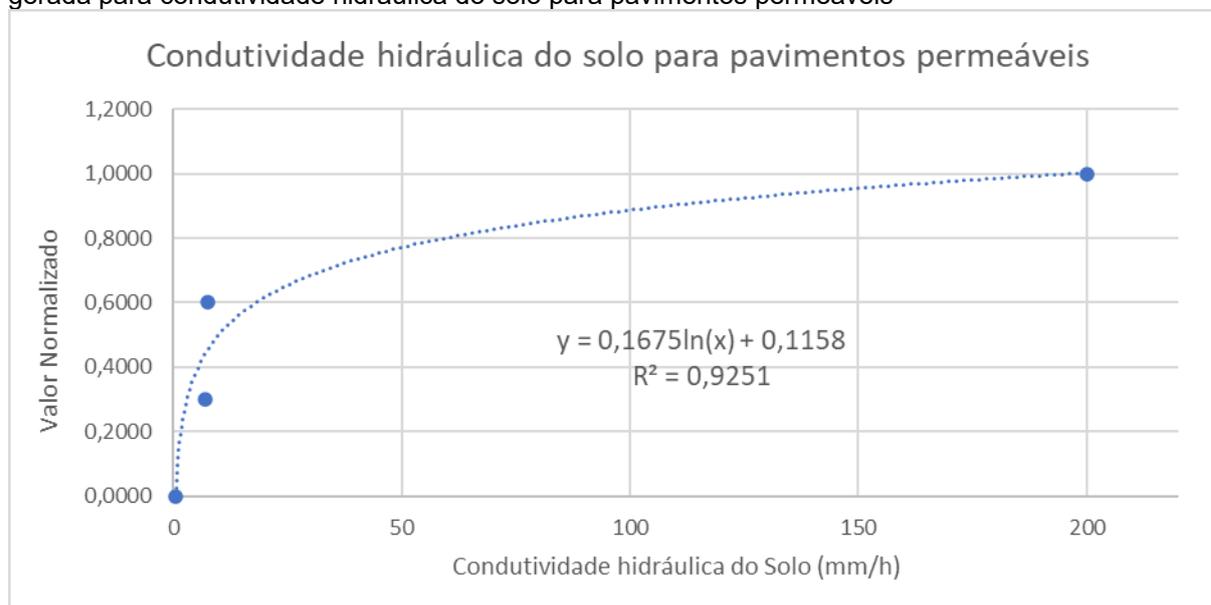
Quadro 14 – Faixas de normalização de condutividade hidráulica do solo para pavimentos permeáveis

CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA DO SOLO PARA PAVIMENTO PERMEÁVEL	VALOR NORMALIZADO	VALORES DE REFERÊNCIA (mm/h)	GRADAÇÃO
	0,0001	0,5	
		1	
		1,5	
		2	
		4	
	0,3000	7	
	0,6000	7,6	
		13	
		25	
		60	
	1,0000	200	

Fonte: adaptado de Fendrich et al., 1982; Schueler, 1987; Tomaz, 2007.

Dentre as possíveis linhas de tendência foi escolhida a linha logarítmica que alcançou o coeficiente de determinação de 0,9251, apresentada Figura 30:

Figura 30 - Linha de tendência, função de utilidade multidimensional e coeficiente de determinação gerada para condutividade hidráulica do solo para pavimentos permeáveis



Fonte: adaptado de Fendrich et al., 1982; Schueler, 1987; Tomaz, 2007.

4.1.2 Condutividade Hidráulica do Subsolo

Para a normalização da característica condutividade hidráulica do subsolo para a medida – pavimento permeável – foram utilizados os seguintes valores de referência (Quadro 15):

Quadro 15 - Valores de referência de condutividade hidráulica do subsolo para pavimentos permeáveis

CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA DO SUBSOLO (m/h)	CONDIÇÃO	REFERÊNCIA
$0,005 \leq x \leq 1000$	Viável	Adaptado de TOMAZ (2007); SCHUELER (1987); AZZOUT et al. (1994)
$0,001 \leq x < 0,005$	Aceitável	
$0,00001 \leq x < 0,001$	Inviável	

Fonte: o autor, 2020.

Os valores de referência foram organizados e correlacionados com as faixas de normalização para equacionar a função de utilidade multidimensional, conforme o Quadro 16:

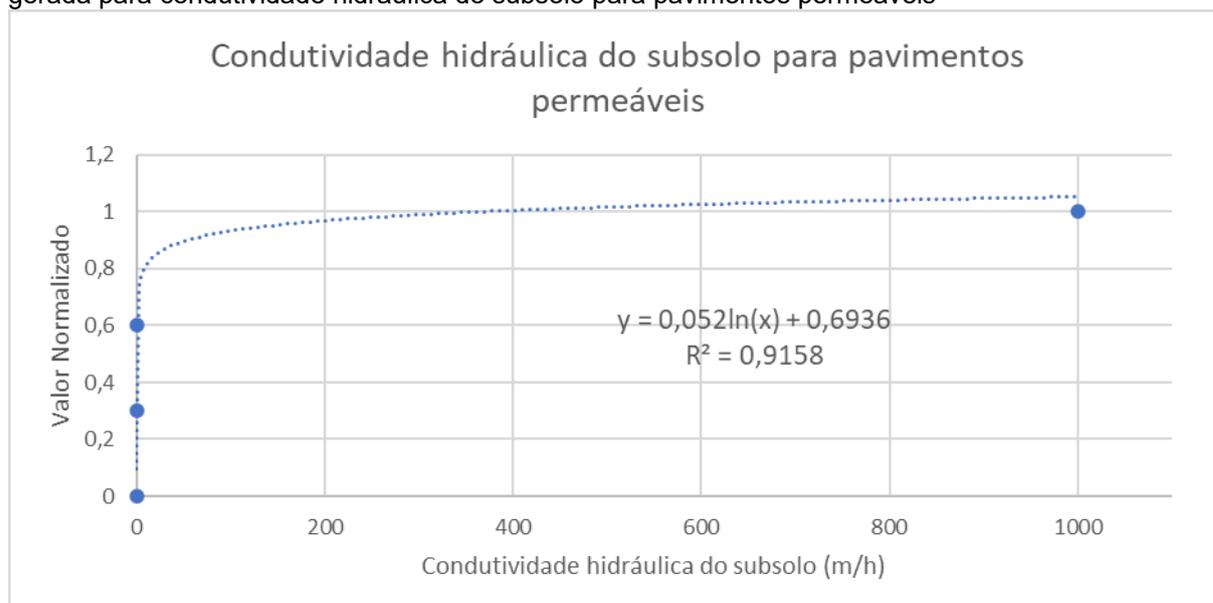
Quadro 16 – Faixas de normalização de condutividade hidráulica do subsolo para pavimentos permeáveis

	VALOR NORMALIZADO	VALORES DE REFERÊNCIA (m/h)	GRADAÇÃO
CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA DO SUBSOLO PARA PAVIMENTO PERMEÁVEL	1	1000	
	0,6	0,005	
	0,3	0,001	
	0	0,00001	

Fonte: adaptado de Schueler, 1987; Azzout et al., 1994; Tomaz, 2007.

Dentre as possíveis linhas de tendência foi escolhida a linha logarítmica que alcançou o coeficiente de determinação de 0,9158, apresentada na Figura 31:

Figura 31 - Linha de tendência, função de utilidade multidimensional e coeficiente de determinação gerada para condutividade hidráulica do subsolo para pavimentos permeáveis



Fonte: adaptado de Schueler, 1987; Azzout et al., 1994; Tomaz, 2007.

4.1.3 Profundidade do Lençol Freático

Para a normalização da característica profundidade do lençol freático para a medida – pavimento permeável – foram utilizados os seguintes valores de referência (Quadro 17):

Quadro 17 - Valores de referência de profundidade do lençol freático para pavimentos permeáveis

PROFUNDIDADE DO LENÇOL FREÁTICO (m)	CONDIÇÃO	REFERÊNCIA
$1,2 < x$	Adequado	SCHUELER (1987); AZZOUT et al. (1994); FENDRICH et al. (1982); PRINCE GEORGE'S COUNTY (2007)
$0 < x \leq 1,2$	Inadequado	

Fonte: o autor, 2020.

Schueler (1987) e Azzout et al. (1994) citam que lençol freático alto inviabiliza a implantação de pavimentos permeáveis. Prince George's County (2007) informa que se considera lençol freático alto aqueles com profundidade entre 0,0m e 1,2m. Nesta tese, essa referência foi utilizada para a construção de todas as funções de utilidade multidimensional de níveis de lençol freático.

Os valores de referência foram organizados e correlacionados com as faixas de normalização para equacionar a função de utilidade multidimensional, conforme o Quadro 18:

Quadro 18 - Faixas de normalização de profundidade do lençol freático para pavimentos permeáveis

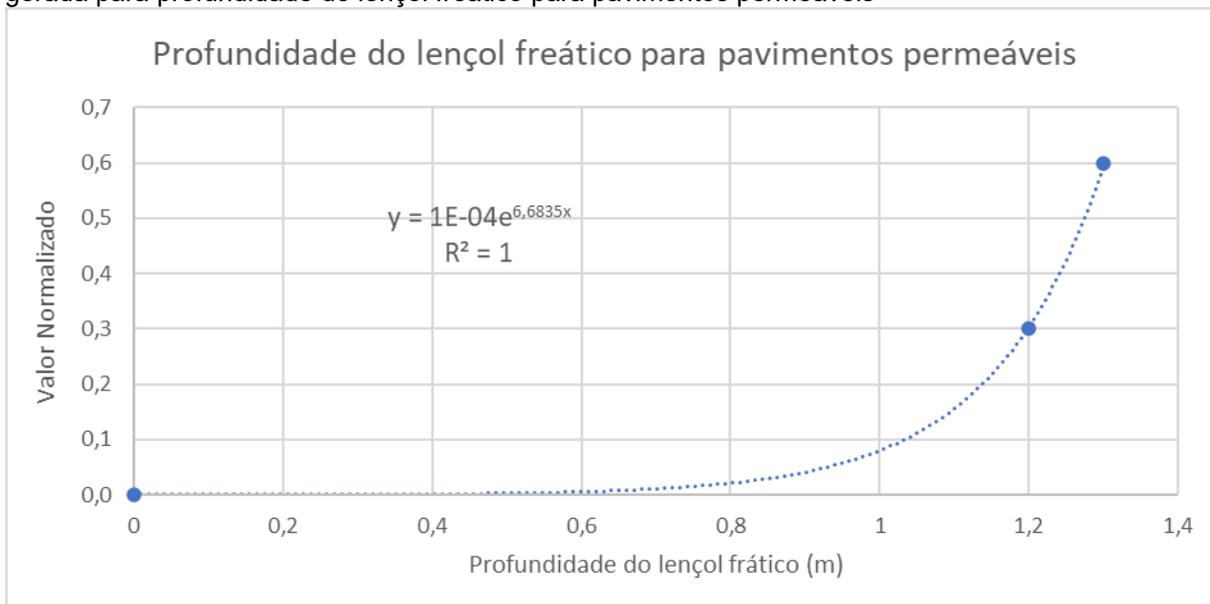
	VALOR NORMALIZADO	VALORES DE REFERÊNCIA (m)	GRADAÇÃO
PROFUNDIDADE DO LENÇOL FREÁTICO PARA PAVIMENTOS PERMEÁVEIS	0,0	0,0001	
	0,3	1,2	
	0,6	1,3	

Fonte: adaptado de Fendrich et al., 1982; Schueler, 1987; Azzout et al., 1994; Prince George's County, 2007.

Para alguns parâmetros não existe limite superior para alocação das MAD. Nesse exemplo, para pavimentos permeáveis, o lençol freático deve estar a mais do que 1,2m de profundidade. Ou seja, qualquer valor acima de 1,2m já é considerado viável para pavimentos permeáveis. Assim, optou-se por não inserir um valor normalizado 1, para não estabelecer um limite superior.

Dentre as possíveis linhas de tendência foi escolhida a linha exponencial que alcançou o coeficiente de determinação de 1, apresentada na Figura 32:

Figura 32 - Linha de tendência, função de utilidade multidimensional e coeficiente de determinação gerada para profundidade do lençol freático para pavimentos permeáveis



Fonte: adaptado de Fendrich et al., 1982; Schueler, 1987; Azzout et al., 1994; Prince George's County, 2007.

4.1.4 Erodibilidade

Para a normalização da característica erodibilidade para a medida – pavimento permeável – foram utilizados os seguintes valores de referência (Quadro 19):

Quadro 19 - Valores de referência de erodibilidade para pavimentos permeáveis

ERODIBILIDADE (Mg.ha.h/ha.Mj.mm)	CONDIÇÃO	REFERÊNCIA
$x \leq 0,01$	Muito baixa	BERTONI; LOMBARDI NETO (1999); SCHUELER (1987); AZZOUT et al. (1994)
$0,01 < x \leq 0,02$	Baixa	
$0,02 < x \leq 0,03$	Moderada	
$0,03 < x \leq 0,04$	Alta	
$0,04 < x$	Muito alta	

Fonte: o autor, 2020.

Os valores de referência foram organizados e correlacionados com as faixas de normalização para equacionar a função de utilidade multidimensional, conforme o Quadro 20:

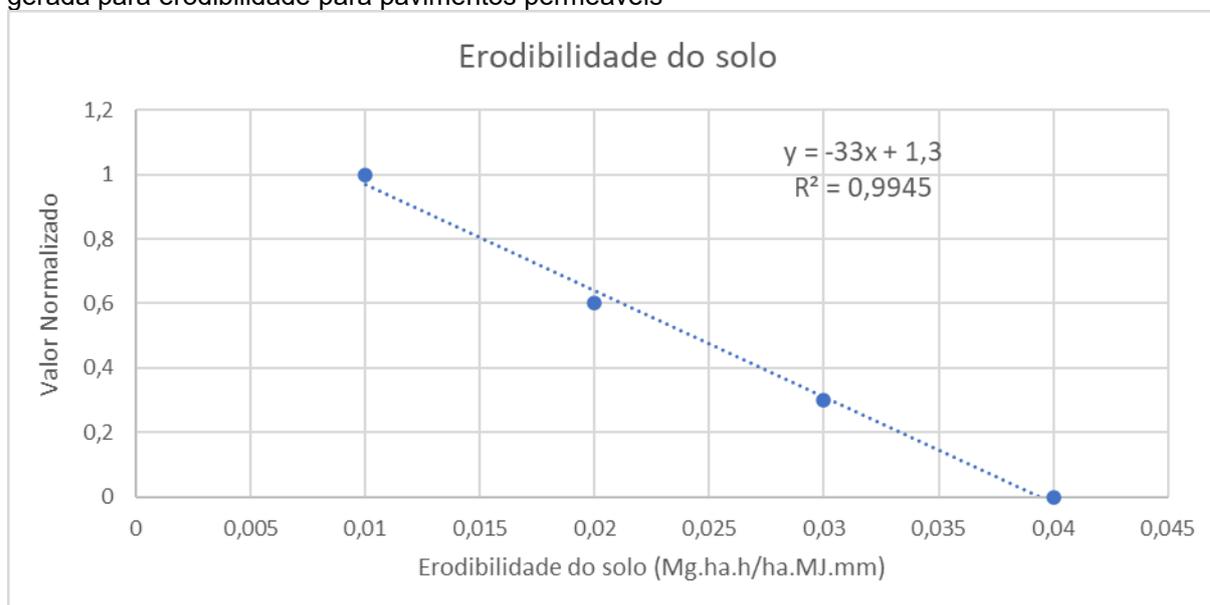
Quadro 20 - Faixas de normalização de erodibilidade para pavimentos permeáveis

	VALOR NORMALIZADO	VALORES DE REFERÊNCIA (Mg.ha.h/ha.MJ.mm)	GRADAÇÃO
ERODIBILIDADE PARA PAVIMENTOS PERMEÁVEIS	1	0,01	
	0,6	0,02	
	0,3	0,03	
	0	0,04	

Fonte: adaptado de Schueler, 1987; Azzout et al., 1994; Bertoni e Lombardi Neto, 1999.

Dentre as possíveis linhas de tendência foi escolhida a linha linear que alcançou o coeficiente de determinação de 0,9945, apresentada na Figura 33.

Figura 33 - Linha de tendência, função de utilidade multidimensional e coeficiente de determinação gerada para erodibilidade para pavimentos permeáveis



Fonte: adaptado de Schueler, 1987; Azzout et al., 1994; Bertoni e Lombardi Neto, 1999.

Esses mesmos valores de referência foram utilizados para as outras MAD (valas vegetadas, sistemas de biorretenção, bacias de detenção e retenção e *wetlands*), visto que as restrições de erodibilidade são iguais para todas, segundo Bertoni e Lombardi Neto (1999), Schueler (1987) e Azzout et al. (1994).

4.1.5 Declividade

Para a normalização da característica declividade para a medida – pavimento permeável – foram utilizados os seguintes valores de referência (Quadro 21):

Quadro 21 - Valores de referência de declividade para pavimentos permeáveis

DECLIVIDADE (%)	CONDIÇÃO	REFERÊNCIA
1 < x < 5 0,35%	Adequado	VIRGILIS (2009); SCHUELER (1987); FENDRICH et al. (1982)

Fonte: o autor, 2020.

Os valores de referência foram organizados e correlacionados com as faixas de normalização para equacionar a função de utilidade multidimensional, conforme o Quadro 22:

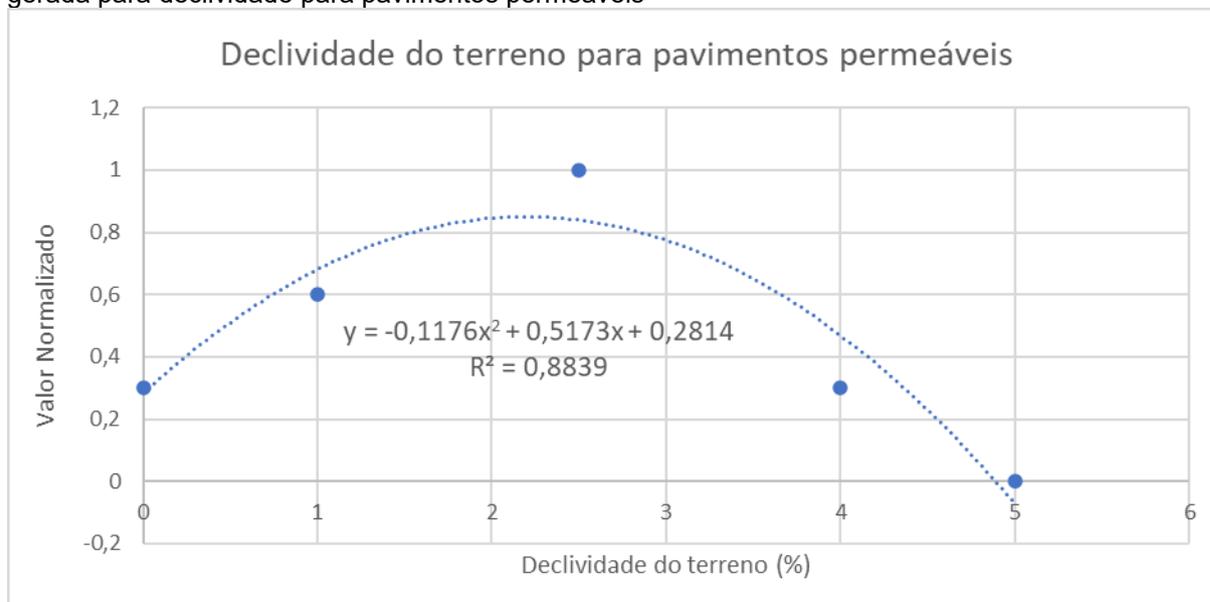
Quadro 22 – Faixas de normalização de declividade para pavimentos permeáveis

	VALOR NORMALIZADO	VALORES DE REFERÊNCIA (%)	GRADAÇÃO
DECLIVIDADE DO TERRENO PARA PAVIMENTO PERMEÁVEL	0,3	0	
	0,6	1	
	1	2,5	
	0,3	4	
	0,0000	5	

Fonte: adaptado de Fendrich et al., 1982; Schueler, 1987; Virgilis, 2009.

Dentre as possíveis linhas de tendência foi escolhida a linha linear que alcançou o coeficiente de determinação de 0,8839, apresentada na Figura 34.

Figura 34 - Linha de tendência, função de utilidade multidimensional e coeficiente de determinação gerada para declividade para pavimentos permeáveis



Fonte: adaptado de Fendrich et al., 1982; Schueler, 1987; Virgilis, 2009.

4.1.6 Resumo das funções de utilidade multidimensional para pavimento permeável

Após a elaboração das funções de utilidade multidimensional, apresenta-se um quadro resumo (Quadro 23) com as funções, coeficientes de determinação e faixas de gradação, além de campos vazios para inserção dos valores observados *in situ* para aplicação do sistema.

Quadro 23 – Quadro resumos das funções de utilidade de multidimensional para pavimentos permeáveis

PAVIMENTOS PERMEÁVEIS		VALOR LOCAL	FUNÇÃO DE UTILIDADE MULTIDIMENSIONAL (FUM)	R ²	PONTUAÇÃO
CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DO LOCAL DE IMPLANTAÇÃO	Condutividade hidráulica do solo		$y = 0,1675 \ln(x) + 0,1158$	0,9251	Inviável Ótimo 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10
	Condutividade hidráulica do subsolo		$y = 0,052 \ln(x) + 0,6936$	0,9158	Inviável Ótimo 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10
	Profundidade do Lençol Freático		$y = 10^{-4} * e^{6,9835x}$	1	Inviável Ótimo 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10
	Erodibilidade		$y = -33x + 1,3$	0,9945	Inviável Ótimo 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10
	Declividade do terreno		$y = -0,1176x^2 + 0,5173x + 0,2814$	0,8839	Inviável Ótimo Inviável 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 9 8 7 6 5 4 3 2 1 0

Fonte: o autor, 2020.

4.2 VALAS VEGETADAS

Nesta seção, apresenta-se a construção das funções de utilidade multidimensional das características com base nos valores de referência para as valas vegetadas.

4.2.1 Condutividade Hidráulica do Solo

Para a normalização da característica condutividade hidráulica do solo para a medida – valas vegetadas – foram utilizados os seguintes valores de referência (Quadro 24):

Quadro 24 - Valores de referência de condutividade hidráulica do solo para valas vegetadas

CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA DO SOLO (mm/h)	CONDIÇÃO	REFERÊNCIA
$2 \leq x \leq 200$	Viável	SCHUELER (1987)
$1 \leq x \leq 1,5$	Viável, com restrições	
$0,5 \leq x < 1$	Inviável	

Fonte: Schueler, 1987.

Os valores de referência foram organizados e correlacionados com as faixas de normalização para equacionar a função de utilidade multidimensional, conforme o Quadro 25.

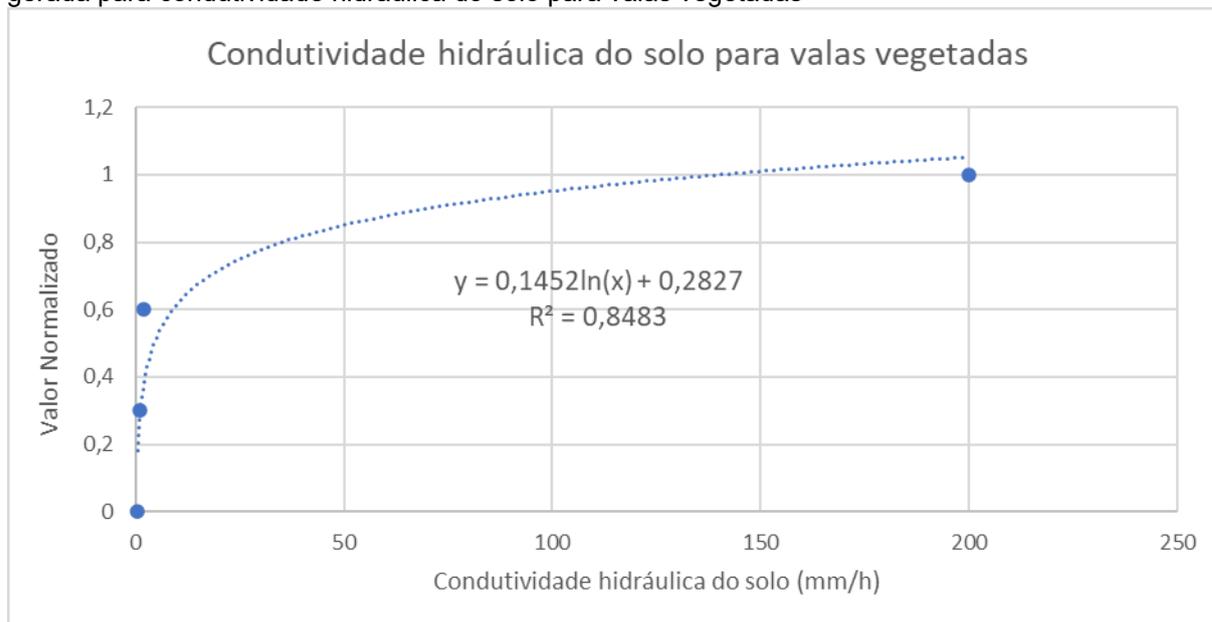
Quadro 25 - Faixas de normalização de condutividade hidráulica do solo para valas vegetadas

CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA DO SOLO PARA VALAS VEGETADAS	VALOR NORMALIZADO	VALORES DE REFERÊNCIA (mm/h)	GRADAÇÃO
	0,0001	0,5	
	0,3	1	
		1,5	
	0,6	2	
		4	
		7	
		13	
		25	
		60	
	1	200	

Fonte: adaptado de Schueler, 1987.

Dentre as possíveis linhas de tendência foi escolhida a linha logarítmica que alcançou o coeficiente de determinação de 0,8483, apresentada na Figura 35:

Figura 35 - Linha de tendência, função de utilidade multidimensional e coeficiente de determinação gerada para condutividade hidráulica do solo para valas vegetadas



Fonte: adaptado de Schueler, 1987.

4.2.2 Condutividade Hidráulica do Subsolo

Para a normalização da característica condutividade hidráulica do subsolo para a medida – valas vegetadas – foram utilizados os seguintes valores de referência (Quadro 26):

Quadro 26 - Valores de referência de condutividade hidráulica do subsolo para valas vegetadas

CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA DO SUBSOLO (m/h)	CONDIÇÃO	REFERÊNCIA
$0,005 \leq x \leq 1000$	Viável	Adaptado de TOMAZ (2007); SCHUELER (1987); AZZOUT et al. (1994)
$0,001 \leq x < 0,005$	Aceitável	
$0,00001 \leq x < 0,001$	Inviável	

Fonte: o autor, 2020.

Os valores de referência foram organizados e correlacionados com as faixas de normalização para equacionar a função de utilidade multidimensional, conforme o Quadro 27:

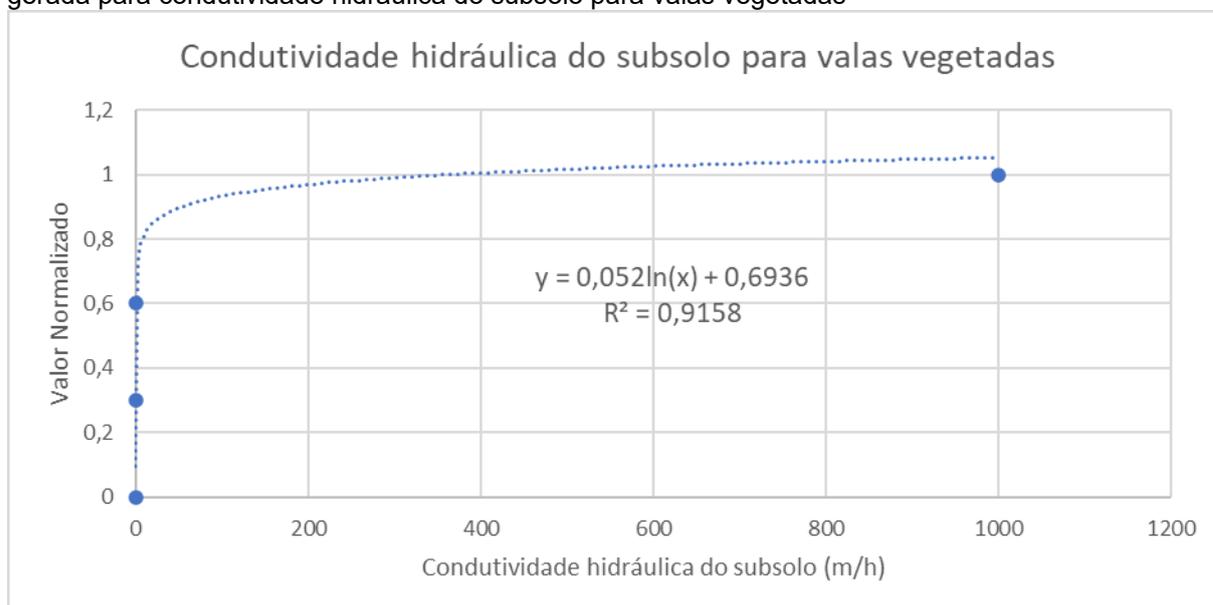
Quadro 27 - Faixas de normalização de condutividade hidráulica do subsolo para valas vegetadas

	VALOR NORMALIZADO	VALORES DE REFERÊNCIA (m/h)	GRADAÇÃO
CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA DO SUBSOLO PARA VALAS VEGETADAS	1	1000	
	0,6	0,005	
	0,3	0,001	
	0	0,00001	

Fonte: adaptado de Schueler, 1987; Azzout et al., 1994; Tomaz, 2007.

Dentre as possíveis linhas de tendência foi escolhida a linha logarítmica que alcançou o coeficiente de determinação de 0,9158, apresentada na Figura 36:

Figura 36 - Linha de tendência, função de utilidade multidimensional e coeficiente de determinação gerada para condutividade hidráulica do subsolo para valas vegetadas



Fonte: adaptado de Schueler, 1987; Azzout et al., 1994; Tomaz, 2007.

4.2.3 Profundidade do Lençol Freático

Para a normalização da característica profundidade do lençol freático para a medida – valas vegetadas – foram utilizados os seguintes valores de referência (Quadro 28):

Quadro 28 - Valores de referência de profundidade do lençol freático para valas vegetadas

PROFUNDIDADE DO LENÇOL FREÁTICO (m)	CONDIÇÃO	REFERÊNCIA
$1,2 < x$	Adequado	SCHUELER (1987); AZZOUT et al. (1994); PRINCE GEORGE'S COUNTY (2007)
$1,0 < x \leq 1,2$	Aceitável	
$0 < x \leq 1,0$	Inadequado	

Fonte: o autor, 2020.

Os valores de referência foram organizados e correlacionados com as faixas de normalização para equacionar a função de utilidade multidimensional, conforme o Quadro 29:

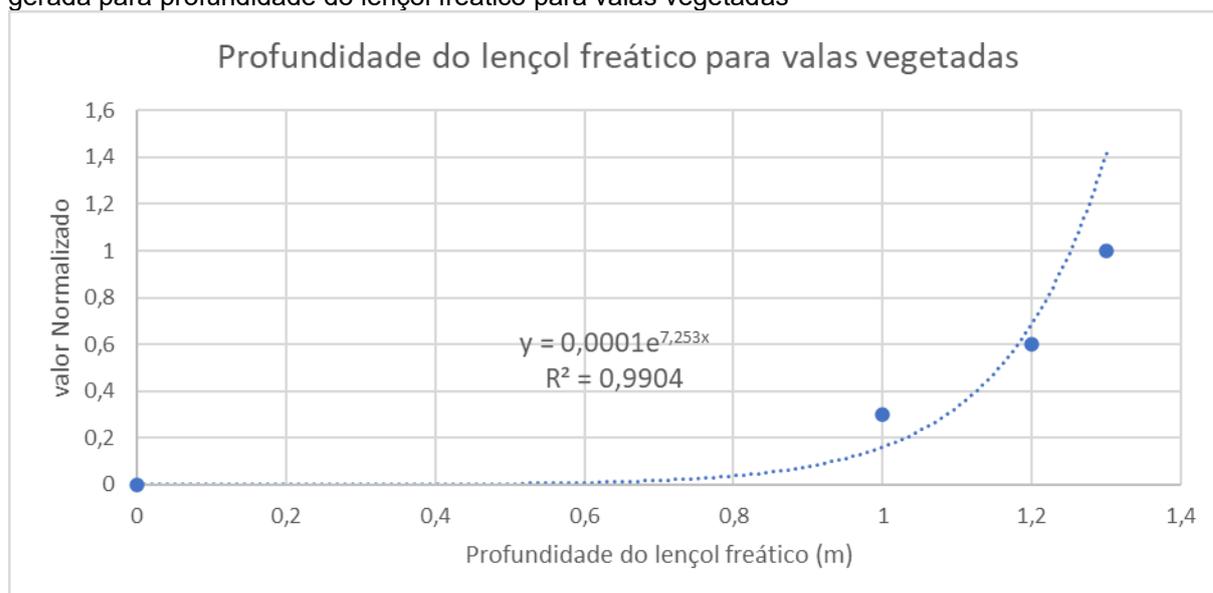
Quadro 29 - Faixas de normalização de profundidade do lençol freático para valas vegetadas

	VALOR NORMALIZADO	VALORES DE REFERÊNCIA (m)	GRADAÇÃO
PROFUNDIDADE DO LENÇOL FREÁTICO PARA VALAS VEGETADAS	0,0001	0,0001	
	0,3	1	
	0,6	1,2	
	1	1,3	

Fonte: adaptado de Schueler, 1987; Azzout et al., 1994; Prince George's County, 2007.

Dentre as possíveis linhas de tendência foi escolhida a linha exponencial que alcançou o coeficiente de determinação de 0,9904, apresentada na Figura 37:

Figura 37 - Linha de tendência, função de utilidade multidimensional e coeficiente de determinação gerada para profundidade do lençol freático para valas vegetadas



Fonte: adaptado de Schueler, 1987; Azzout et al., 1994; Prince George's County, 2007.

4.2.4 Erodibilidade

Segundo o item 4.1.4, as restrições de erodibilidade são iguais para todas as MAD, conforme Bertoni e Lombardi Neto (1999), Schueler (1987) e Azzout et al. (1994). Desta maneira, os valores de referência, os valores normalizados e as funções de utilidade multidimensional, válidos para todas as MAD, estão apresentados na seção citada.

4.2.5 Declividade

Para a normalização da característica declividade para a medida – valas vegetadas – foram utilizados os seguintes valores de referência (Quadro 30):

Quadro 30 - Valores de referência de declividade para valas vegetadas

DECLIVIDADE (%)	CONDIÇÃO	REFERÊNCIA
$0 \leq x < 1$	Pouco viável	BAPTISTA et al. (2011); PRINCE GEORGE'S COUNTY (2007); SCHUELER (1987)
$1 \leq x$	Aceitável	
2,5	Viável	
$x > 5$	Inviável	

Fonte: o autor, 2020.

Os valores de referência foram organizados e correlacionados com as faixas de normalização para equacionar a função de utilidade multidimensional, conforme o Quadro 31.

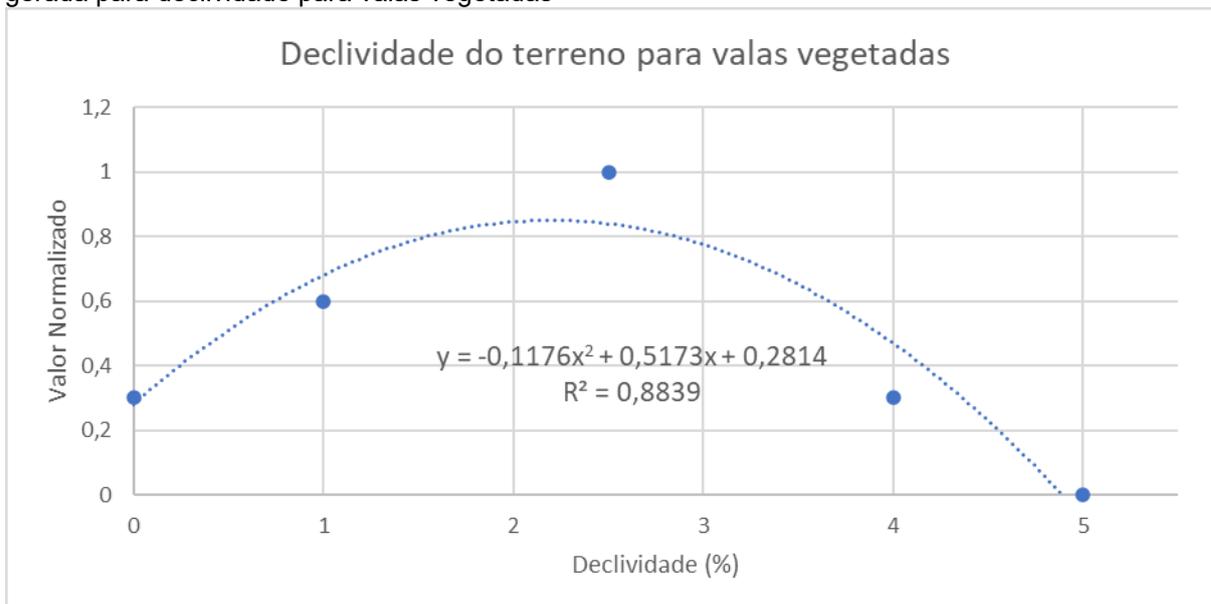
Quadro 31 - Faixas de normalização de declividade para valas vegetadas

	VALOR NORMALIZADO	VALORES DE REFERÊNCIA (%)	GRADAÇÃO
DECLIVIDADE DO TERRENO PARA VALAS VEGETADAS	0,3	0,0001	
	0,6	1	
	1	2,5	
	0,3	4	
	0,0001	5	

Fonte: adaptado de Schueler, 1987; Baptista et al., 2011; Prince George's County, 2007.

Dentre as possíveis linhas de tendência foi escolhida a linha polinomial que alcançou o coeficiente de determinação de 0,8939, apresentada na Figura 38:

Figura 38 - Linha de tendência, função de utilidade multidimensional e coeficiente de determinação gerada para declividade para valas vegetadas



Fonte: adaptado de Schueler, 1987; Baptista et al., 2011; Prince George's County, 2007.

4.2.6 Resumo das funções de utilidade multidimensional para valas vegetadas

Após a elaboração das funções de utilidade multidimensional, apresenta-se um quadro resumo (Quadro 32) com as funções, coeficientes de determinação e faixas de gradação, além de campos vazios para inserção dos valores observados *in situ* para aplicação do sistema.

Quadro 32 – Quadro resumos das funções de utilidade de multidimensional para valas vegetadas

VALAS VEGETADAS		VALOR LOCAL	FUNÇÃO DE UTILIDADE MULTIDIMENSIONAL (FUM)	R ²	PONTUAÇÃO
CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DO LOCAL DE IMPLANTAÇÃO	Condutividade hidráulica do solo		$y = 0,1452\ln(x) + 0,2827$	0,8483	Inviável Ótimo 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10
	Condutividade hidráulica do subsolo		$y = 0,052\ln(x) + 0,6936$	0,9158	Inviável Ótimo 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10
	Profundidade do Lençol Freático		$y = 10^{-4} * e^{7,253x}$	0,9904	Inviável Ótimo 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10
	Erodibilidade		$y = -33x + 1,3$	0,9945	Inviável Ótimo 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10
	Declividade do terreno		$y = -0,1176x^2 + 0,5173x + 0,2814$	0,8839	Inviável Ótimo Inviável 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 9 8 7 6 5 4 3 2 1 0

Fonte: o autor, 2020.

4.3 SISTEMAS DE BIORRETENÇÃO

Nesta seção, apresenta-se a construção das funções de utilidade multidimensional das características com base nos valores de referência para os sistemas de biorretenção.

4.3.1 Condutividade Hidráulica do Solo

Para a normalização da característica condutividade hidráulica do solo para a medida – sistemas de biorretenção – foram utilizados os seguintes valores de referência (Quadro 33):

Quadro 33 - Valores de referência de condutividade hidráulica do solo para sistemas de biorretenção

CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA DO SOLO (mm/h)	CONDIÇÃO	REFERÊNCIA
$7 < x \leq 200$	Viável	SCHUELER (1987); PRINCE GEORGE'S COUNTY (2007); URBONAS; STAHERE (1993); EWING (2013)
7	Viável, com restrições	
$0,5 \leq x \leq 4$	Inviável	

Fonte: o autor, 2020.

Os valores de referência foram organizados e correlacionados com as faixas de normalização para equacionar a função de utilidade multidimensional, conforme o Quadro 34.

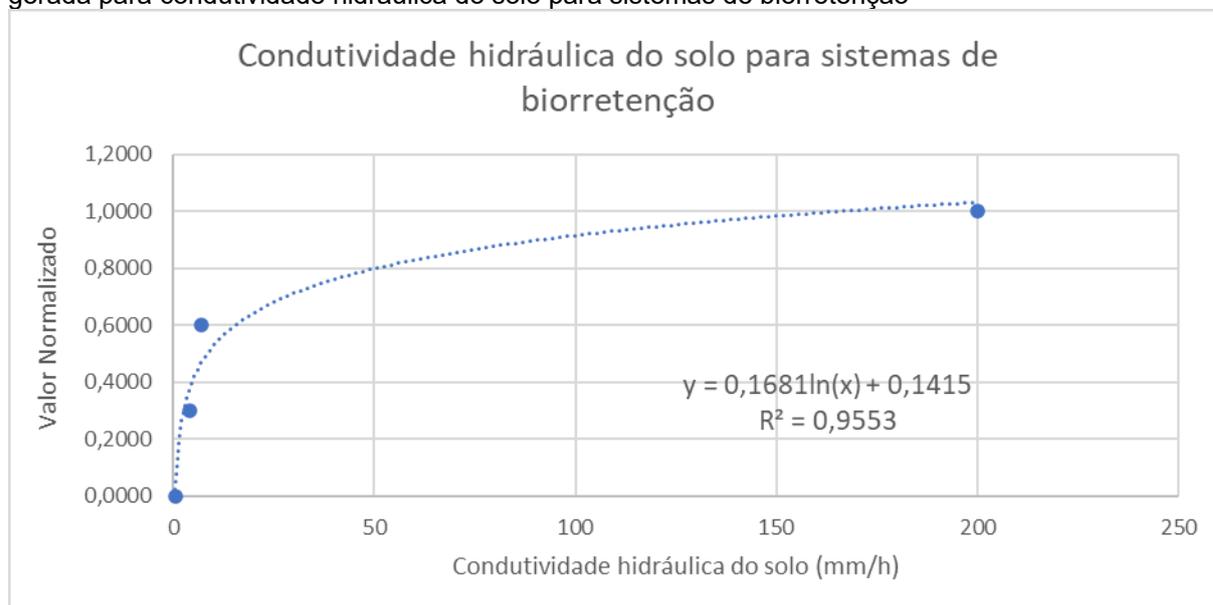
Quadro 34 - Faixas de normalização de condutividade hidráulica do solo para sistemas de biorretenção

CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA DO SOLO PARA SISTEMAS DE BIORRETENÇÃO	VALOR NORMALIZADO	VALORES DE REFERÊNCIA (mm/h)	GRADAÇÃO
	0,0001	0,5	
		1	
		1,5	
		2	
	0,3	4	
	0,6	7	
		13	
		25	
	1	200	

Fonte: adaptado de Schueler, 1987; Urbonas e Stahre, 1993; Prince George's County, 2007; Ewing, 2013.

Dentre as possíveis linhas de tendência foi escolhida a linha logarítmica que alcançou o coeficiente de determinação de 0,9553, apresentada na Figura 39:

Figura 39 - Linha de tendência, função de utilidade multidimensional e coeficiente de determinação gerada para condutividade hidráulica do solo para sistemas de biorretenção



Fonte: adaptado de Schueler, 1987; Urbanas e Stahre, 1993; Prince George's County, 2007; Ewing, 2013.

4.3.2 Condutividade Hidráulica do Subsolo

Para a normalização da característica condutividade hidráulica do subsolo para a medida – sistemas de biorretenção – foram utilizados os seguintes valores de referência (Quadro 35):

Quadro 35 - Valores de referência de condutividade hidráulica do subsolo para sistemas de biorretenção

CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA DO SUBSOLO (m/h)	CONDIÇÃO	REFERÊNCIA
$0,005 \leq x \leq 1000$	Viável	Adaptado de TOMAZ (2007); SCHUELER (1987); AZZOUT et al. (1994)
$0,001 \leq x < 0,005$	Aceitável	
$0,00001 \leq x < 0,001$	Inviável	

Fonte: o autor, 2020.

Os valores de referência foram organizados e correlacionado com as faixas de normalização para equacionar a função de utilidade multidimensional, conforme o Quadro 36:

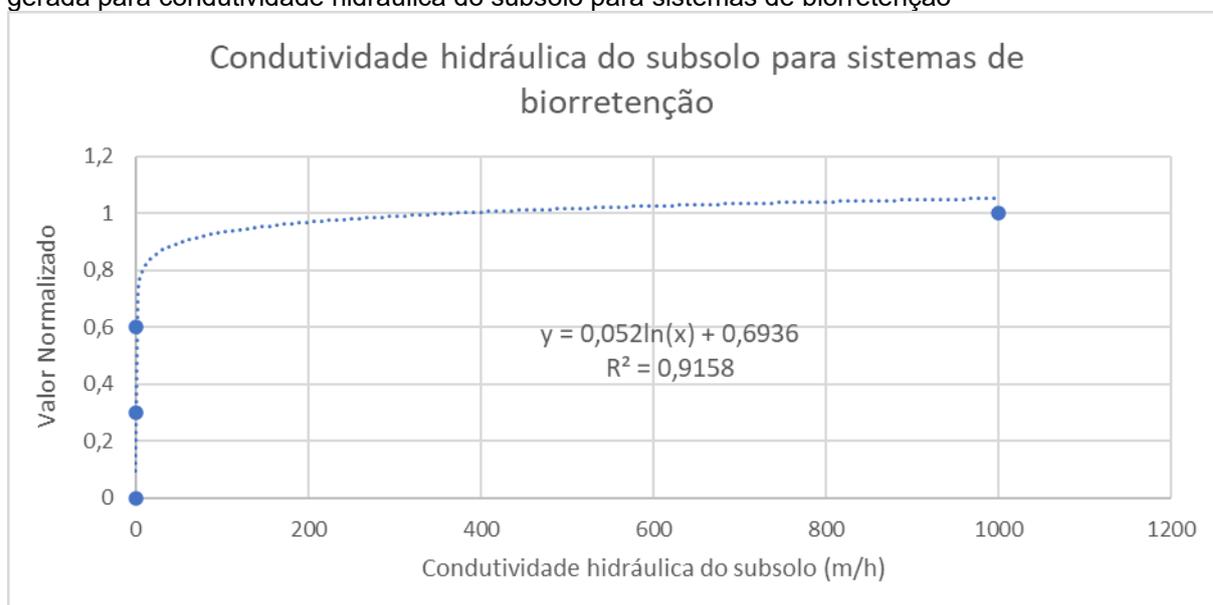
Quadro 36 - Faixas de normalização de condutividade hidráulica do subsolo para sistemas de biorretenção

	VALOR NORMALIZADO	VALORES DE REFERÊNCIA (m/h)	GRADAÇÃO
CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA DO SUBSOLO PARA SISTEMAS DE BIORRETENÇÃO	1	1000	
	0,6	0,005	
	0,3	0,001	
	0	0,00001	

Fonte: adaptado de Schueler, 1987; Azzout et al., 1994; Tomaz, 2007.

Dentre as possíveis linhas de tendência foi escolhida a linha logarítmica que alcançou o coeficiente de determinação de 0,9158, apresentada na Figura 40.

Figura 40 - Linha de tendência, função de utilidade multidimensional e coeficiente de determinação gerada para condutividade hidráulica do subsolo para sistemas de biorretenção



Fonte: adaptado de Schueler, 1987; Azzout et al., 1994; Tomaz, 2007.

4.3.3 Profundidade do Lençol Freático

Para a normalização da característica profundidade do lençol freático para a medida – sistemas de biorretenção – foram utilizados os seguintes valores de referência (Quadro 37):

Quadro 37 - Valores de referência de profundidade do lençol freático para sistemas de biorretenção

PROFUNDIDADE DO LENÇOL FREÁTICO (m)	CONDIÇÃO	REFERÊNCIA
$1,2 < x$	Adequado	PRINCE GEORGE'S COUNTY (2007); SCHUELER (1987); AZZOUT et al. (1994);
$0 < x \leq 1,2$	Inadequado	URBONAS; STAHR (1993); BAPTISTA; NASCIMENTO; BARRAUD (2005).

Fonte: o autor, 2020.

Os valores de referência foram organizados e correlacionados com as faixas de normalização para equacionar a função de utilidade multidimensional, conforme o Quadro 38.

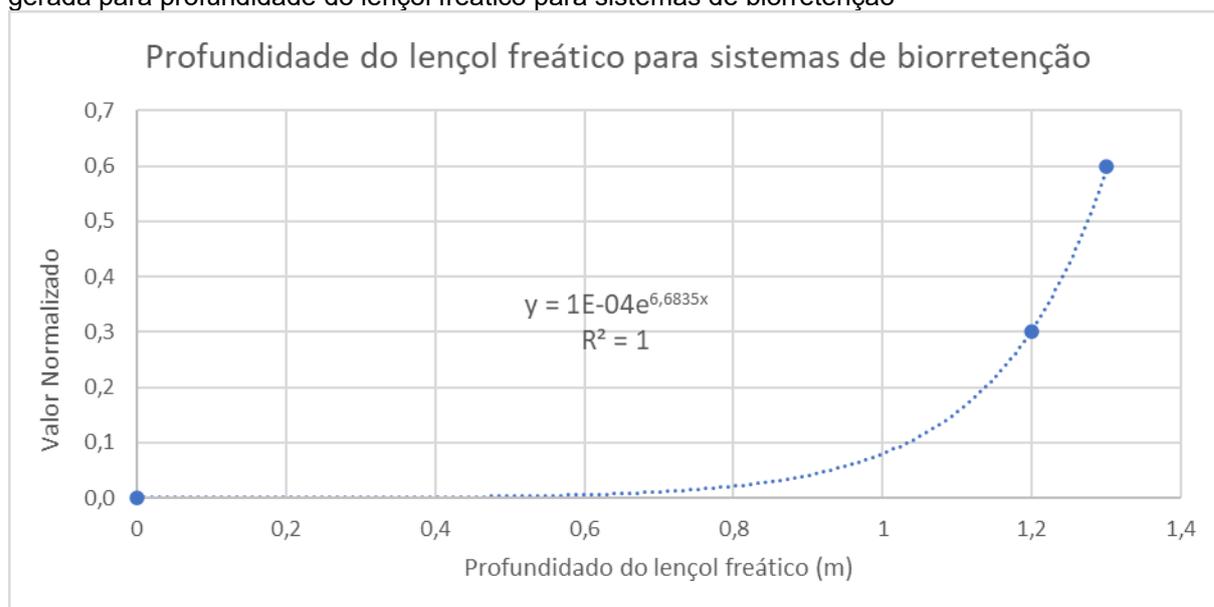
Quadro 38 - Faixas de normalização de profundidade do lençol freático para sistemas de biorretenção

	VALOR NORMALIZADO	VALORES DE REFERÊNCIA (m)	GRADAÇÃO
PROFUNDIDADE DO LENÇOL FREÁTICO PARA SISTEMAS DE BIORRETENÇÃO	0,0001	0,0001	
	0,3	1	
	0,6	1,3	

Fonte: adaptado de Schueler,1987; Urbonas e Stahre, 1993; Azzout et al., 1994; Baptista, Nascimento e Barraud, 2005; Prince George's County, 2007.

Dentre as possíveis linhas de tendência foi escolhida a linha exponencial que alcançou o coeficiente de determinação de 1, apresentada na Figura 41.

Figura 41 - Linha de tendência, função de utilidade multidimensional e coeficiente de determinação gerada para profundidade do lençol freático para sistemas de biorretenção



Fonte: adaptado de Schueler,1987; Urbonas e Stahre, 1993; Azzout et al., 1994; Baptista, Nascimento e Barraud, 2005; Prince George's County, 2007.

4.3.4 Erodibilidade

Segundo o item 4.1.4, as restrições de erodibilidade são iguais para todas as MAD, conforme Bertoni e Lombardi Neto (1999), Schueler (1987) e Azzout et al. (1994). Desta maneira, os valores de referência, os valores normalizados e as funções de utilidade multidimensional, válidos para todas as MAD, estão apresentados na seção citada.

4.3.5 Declividade

Para a normalização da característica declividade para a medida – sistemas de biorretenção – foram utilizados os seguintes valores de referência (Quadro 39):

Quadro 39 - Valores de referência de declividade para sistemas de biorretenção

DECLIVIDADE (%)	CONDIÇÃO	REFERÊNCIA
$0 \leq x < 1$	Pouco viável	SCHUELER (1987); URBONAS; STAHRE (1993)
$1 \leq x$	Aceitável	
2,5	Viável	
$5 < x < 20$	Pouco viável	
$20 < x$	Inviável	

Fonte: o autor, 2020.

Os valores de referência foram organizados e correlacionados com as faixas de normalização para equacionar a função de utilidade multidimensional, conforme o Quadro 40:

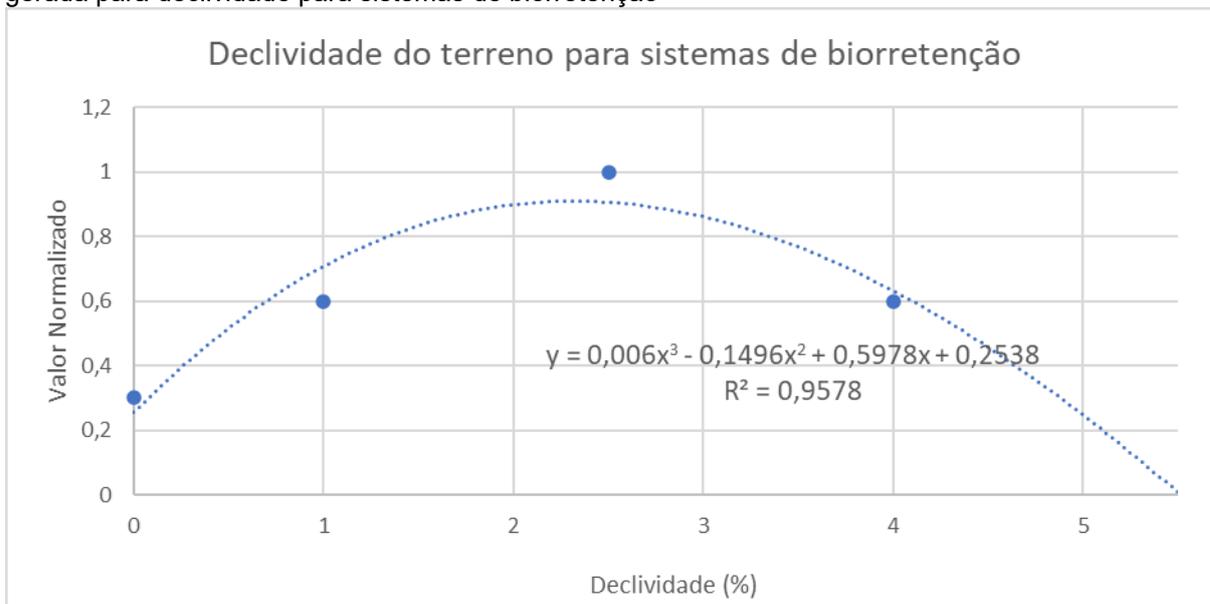
Quadro 40 - Faixas de normalização de declividade para sistemas de biorretenção

	VALOR NORMALIZADO	VALORES DE REFERÊNCIA (%)	GRADAÇÃO
DECLIVIDADE DO TERRENO PARA SISTEMAS DE BIORRETENÇÃO	0,3	0	
	0,6	1	
	1	2,5	
	0,3	4	
	0	20	

Fonte: adaptado de Schueler, 1987; Urbonas e Stahre, 1993.

Dentre as possíveis linhas de tendência foi escolhida a linha polinomial que alcançou o coeficiente de determinação de 0,8932, apresentada na Figura 42:

Figura 42 - Linha de tendência, função de utilidade multidimensional e coeficiente de determinação gerada para declividade para sistemas de biorretenção



Fonte: adaptado de Schueler, 1987; Urbonas e Stahre, 1993.

4.3.6 Resumo das funções de utilidade multidimensional para sistemas de biorretenção

Após a elaboração das funções de utilidade multidimensional, apresenta-se um quadro resumo (Quadro 41) com as funções, coeficientes de determinação e faixas de gradação, além de campos vazios para inserção dos valores observados *in situ* para aplicação do sistema.

Quadro 41 - Quadro resumos das funções de utilidade de multidimensional para sistemas de biorretenção

SISTEMAS DE BIORRETENÇÃO	VALOR LOCAL	FUNÇÃO DE UTILIDADE MULTIDIMENSIONAL (FUM)	R ²	PONTUAÇÃO
CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DO LOCAL DE IMPLANTAÇÃO	Condutividade hidráulica do solo	$y = 0,1681\ln(x) + 0,1415$	0,9553	<p>Inviável Ótimo</p> <p>0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10</p>
	Condutividade hidráulica do subsolo	$y = 0,052\ln(x) + 0,6936$	0,9158	<p>Inviável Ótimo</p> <p>0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10</p>
	Profundidade do Lençol Freático	$y = 10^{-4} * e^{6,6835x}$	1	<p>Inviável Ótimo</p> <p>0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10</p>
	Erodibilidade	$y = -33x + 1,3$	0,9945	<p>Inviável Ótimo</p> <p>0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10</p>
	Declividade do terreno	$y = 0,006x^3 - 0,1497x^2 + 0,5979x + 0,2538$	0,9578	<p>Inviável Ótimo Inviável</p> <p>0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 9 8 7 6 5 4 3 2 1 0</p>

Fonte: o autor, 2020.

4.4 BACIAS DE DETENÇÃO

Nesta seção, apresenta-se a construção das funções de utilidade multidimensional das características com base nos valores de referência para as bacias de retenção.

4.4.1 Condutividade Hidráulica do Solo

Para a normalização da característica condutividade hidráulica do solo para a medida – bacias de retenção – foram utilizados os seguintes valores de referência (Quadro 42):

Quadro 42 - Valores de referência de condutividade hidráulica do solo para bacias de retenção

CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA DO SOLO (mm/h)	CONDIÇÃO	REFERÊNCIA
$2 \leq x \leq 200$	Viável	SCHUELER (1987);
$1 \leq x \leq 1,5$	Viável, com restrições	
0,5	Inviável	

Fonte: Schueler, 1987.

Os valores de referência foram organizados e correlacionados com as faixas de normalização para equacionar a função de utilidade multidimensional, conforme o Quadro 43.

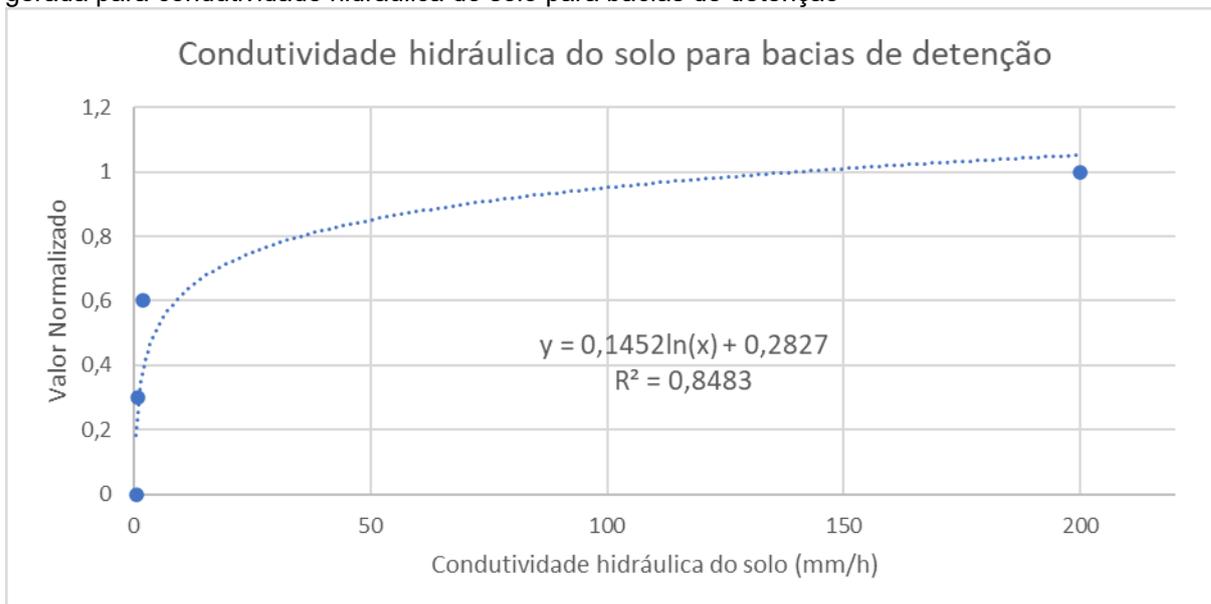
Quadro 43 - Faixas de normalização de condutividade hidráulica do solo para bacias de retenção

CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA DO SOLO PARA BACIAS DE DETENÇÃO	VALOR NORMALIZADO	VALORES DE REFERÊNCIA (mm/h)	GRADAÇÃO
	0,0001	0,5	
	0,3	1	
		1,5	
	0,6	2	
		4	
		7	
		13	
		25	
		60	
	1	200	

Fonte: adaptado de Schueler, 1987.

Dentre as possíveis linhas de tendência foi escolhida a linha logarítmica que alcançou o coeficiente de determinação de 0,8483, apresentada na Figura 43:

Figura 43 - Linha de tendência, função de utilidade multidimensional e coeficiente de determinação gerada para condutividade hidráulica do solo para bacias de detenção



Fonte: adaptado de Schueler, 1987.

4.4.2 Condutividade Hidráulica do Subsolo

Para a normalização da característica condutividade hidráulica do subsolo para a medida – bacias de detenção – foram utilizados os seguintes valores de referência (Quadro 44):

Quadro 44 - Valores de referência de condutividade hidráulica do subsolo para bacias de detenção

CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA DO SUBSOLO (m/h)	CONDIÇÃO	REFERÊNCIA
$0,005 \leq x \leq 1000$	Viável	Adaptado de TOMAZ (2007); SCHUELER (1987); AZZOUT et al. (1994)
$0,00001 \leq x < 0,005$	Aceitável	

Fonte: o autor, 2020.

Os valores de referência foram organizados e correlacionados com as faixas de normalização para equacionar a função de utilidade multidimensional, conforme o Quadro 46:

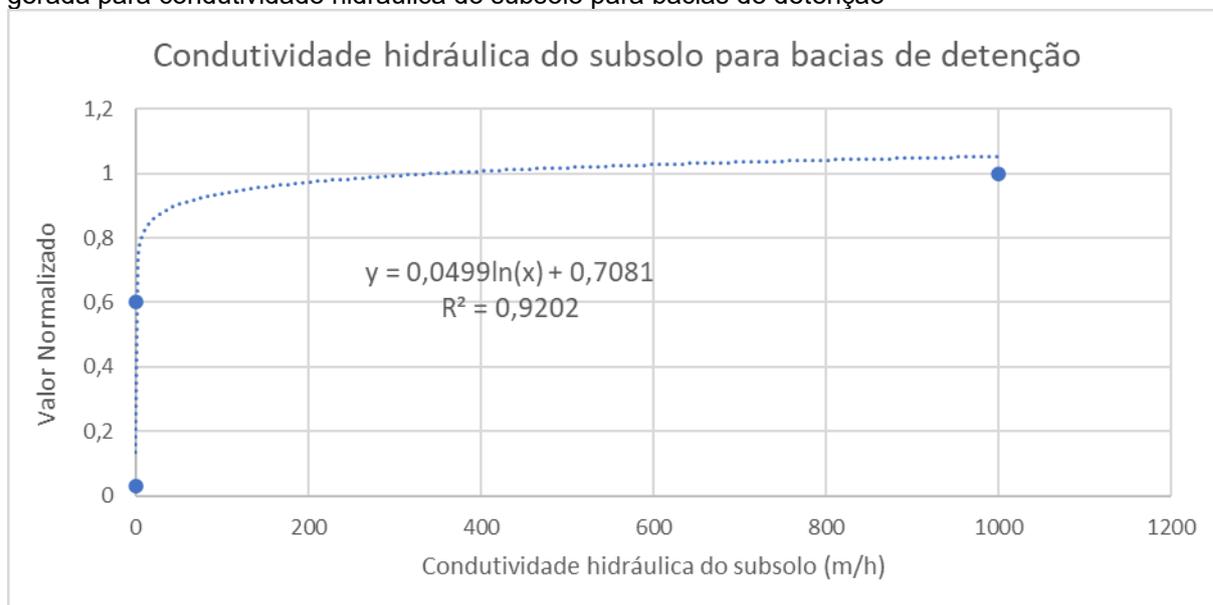
Quadro 45 - Faixas de normalização de condutividade hidráulica do subsolo para bacias de detenção

	VALOR NORMALIZADO	VALORES DE REFERÊNCIA (m/h)	GRADAÇÃO
CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA DO SUBSOLO PARA BACIAS DE DETENÇÃO	1	1000	
	0,6	0,005	
	0,3	0,00001	

Fonte: adaptado de Schueler, 1987; Azzout et al., 1994; Tomaz, 2007.

Dentre as possíveis linhas de tendência foi escolhida a linha logarítmica que alcançou o coeficiente de determinação de 0,9202, apresentada na Figura 44.

Figura 44 - Linha de tendência, função de utilidade multidimensional e coeficiente de determinação gerada para condutividade hidráulica do subsolo para bacias de detenção



Fonte: adaptado de Schueler, 1987; Azzout et al., 1994; Tomaz, 2007.

4.4.3 Profundidade do Lençol Freático

Para a normalização da característica profundidade do lençol freático para medida – bacias de detenção – foram utilizados os seguintes valores de referência (Quadro 46):

Quadro 46 - Valores de referência de profundidade do lençol freático para bacias de detenção

PROFUNDIDADE DO LENÇOL FREÁTICO (m)	CONDIÇÃO	REFERÊNCIA
$0 < x$	Adequado	SCHUELER (1987); AZZOUT et al. (1994); PRINCE GEORGE'S COUNTY (2007)
0	Aceitável	

Fonte: o autor, 2020.

Os valores de referência foram organizados e correlacionados com as faixas de normalização para equacionar a função de utilidade multidimensional, conforme o Quadro 47:

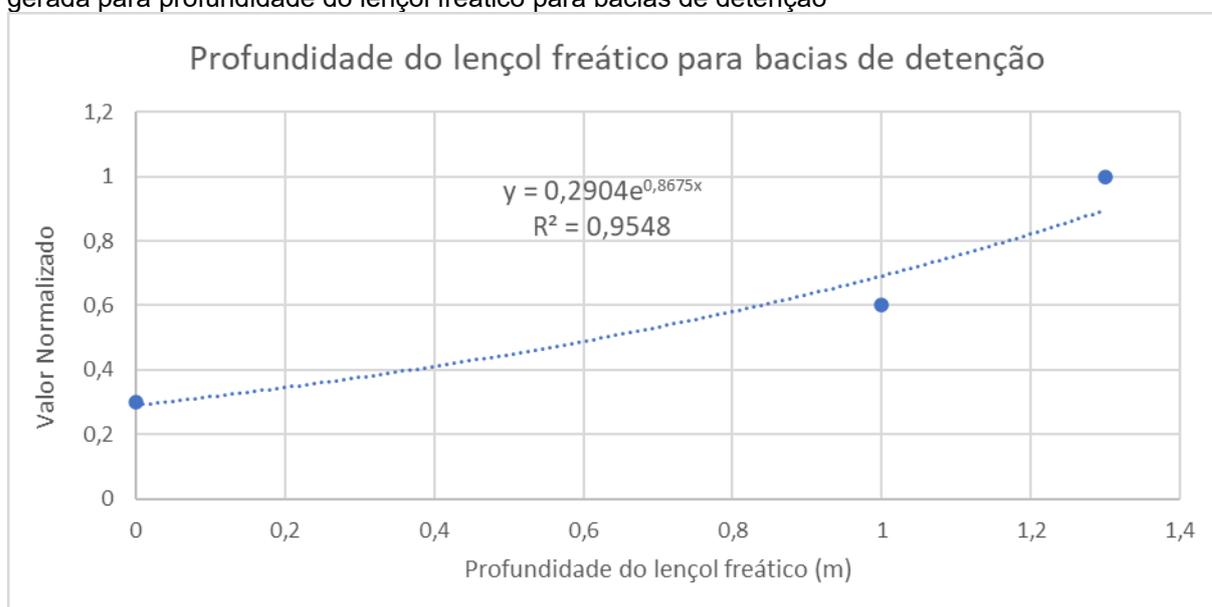
Quadro 47 - Faixas de normalização de profundidade do lençol freático para bacias de detenção

	VALOR NORMALIZADO	VALORES DE REFERÊNCIA (m)	GRADAÇÃO
PROFUNDIDADE DO LENÇOL FREÁTICO PARA BACIAS DE DETENÇÃO	0,3	0	
	0,6	1	
	1	1,3	

Fonte: adaptado de Schueler, 1987; Azzout et al., 1994; Prince George's County, 2007.

Dentre as possíveis linhas de tendência foi escolhida a linha exponencial que alcançou o coeficiente de determinação de 0,9548, apresentada na Figura 45.

Figura 45 - Linha de tendência, função de utilidade multidimensional e coeficiente de determinação gerada para profundidade do lençol freático para bacias de detenção



Fonte: adaptado de Schueler, 1987; Azzout et al., 1994; Prince George's County, 2007.

4.4.4 Erodibilidade

Segundo o item 4.1.4, as restrições de erodibilidade são iguais para todas as MAD, conforme Bertoni e Lombardi Neto (1999), Schueler (1987) e Azzout et al. (1994). Desta maneira, os valores de referência, os valores normalizados e as funções de utilidade multidimensional, válidos para todas as MAD, estão apresentados na seção citada.

4.4.5 Declividade

Segundo Schueler (1987) não existe restrição de declividade para implantação de bacias de detenção. Deste modo, o valor de referência é apresentado no Quadro 48:

Quadro 48 - Valores de referência de declividade para bacias de detenção

DECLIVIDADE (%)	CONDIÇÃO	REFERÊNCIA
$0 \leq x$	Viável	SCHUELER (1987)

Fonte: Schueler, 1987.

O valor de referência foi correlacionado com somente uma faixa de normalização, conforme o Quadro 49:

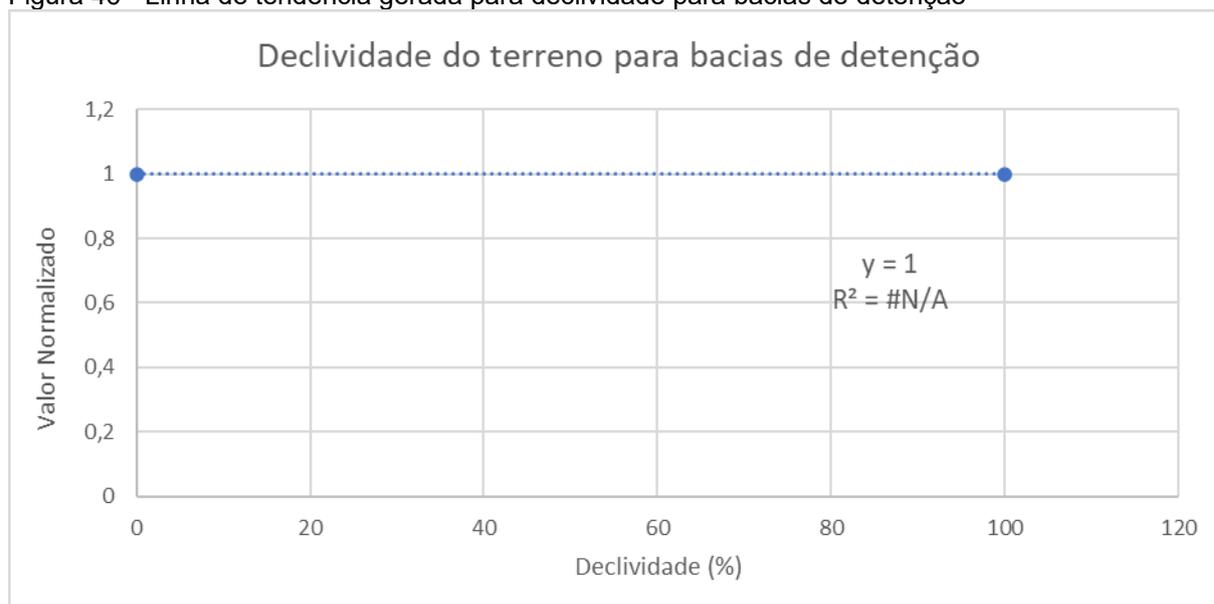
Quadro 49 - Faixas de normalização de declividade para bacias de detenção

	VALOR NORMALIZADO	VALORES DE REFERÊNCIA (%)	GRADAÇÃO
DECLIVIDADE DO TERRENO PARA BACIAS DE DETENÇÃO	1	0	
	1	100	

Fonte: adaptado de Schueler, 1987.

Considerando essa situação, todos os valores de declividade foram considerados como pontuação 1 (um), seguindo a lógica da normalização apresentada. A figura 46 ilustra a situação:

Figura 46 - Linha de tendência gerada para declividade para bacias de detenção



Fonte: adaptado de Schueler, 1987.

4.4.6 Resumo das funções de utilidade multidimensional para bacias de detenção

Após a elaboração das funções de utilidade multidimensional, apresenta-se um quadro resumo (Quadro 50) com as funções, coeficientes de determinação e faixas de gradação, além de campos vazios para inserção dos valores observados *in situ* para aplicação do sistema.

Quadro 50 – Quadro resumos das funções de utilidade de multidimensional para bacias de detenção

BACIAS DE DETENÇÃO		VALOR LOCAL	FUNÇÃO DE UTILIDADE MULTIDIMENSIONAL (FUM)	R ²	PONTUAÇÃO
CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DO LOCAL DE IMPLANTAÇÃO	Condutividade hidráulica do solo		$y = 0,1452\ln(x) + 0,2827$	0,8483	Inviável Ótimo  0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10
	Condutividade hidráulica do subsolo		$y = 0,0499\ln(x) + 0,7081$	0,9202	Pouco viável Ótimo  0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10
	Profundidade do Lençol Freático		$y = 0,2903 * e^{0,8675x}$	0,9548	Pouco viável Ótimo  0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10
	Erodibilidade		$y = -33x + 1,3$	0,9945	Inviável Ótimo  0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10
	Declividade do terreno		$y = 1$	1	Ótimo  10

Fonte: o autor, 2020.

4.5 BACIAS DE RETENÇÃO

Nesta seção, apresenta-se a construção das funções de utilidade multidimensional das características com base nos valores de referência para as bacias de retenção.

4.5.1 Condutividade Hidráulica do Solo

Para a normalização da característica condutividade hidráulica do solo para a medida – bacias de retenção – foram utilizados os seguintes valores de referência (Quadro 51):

Quadro 51 – Valores de referência de condutividade hidráulica do solo para bacias de retenção

CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA DO SOLO (mm/h)	CONDIÇÃO	REFERÊNCIA
$200 \leq x$	Inviável	SCHUELER (1987);
$25 \leq x \leq 60$	Viável, com restrições	
$0,5 \leq x \leq 13$	Viável	

Fonte: Schueler, 1987.

Os valores de referência foram organizados e correlacionados com as faixas de normalização para equacionar a função de utilidade multidimensional, conforme o Quadro 52:

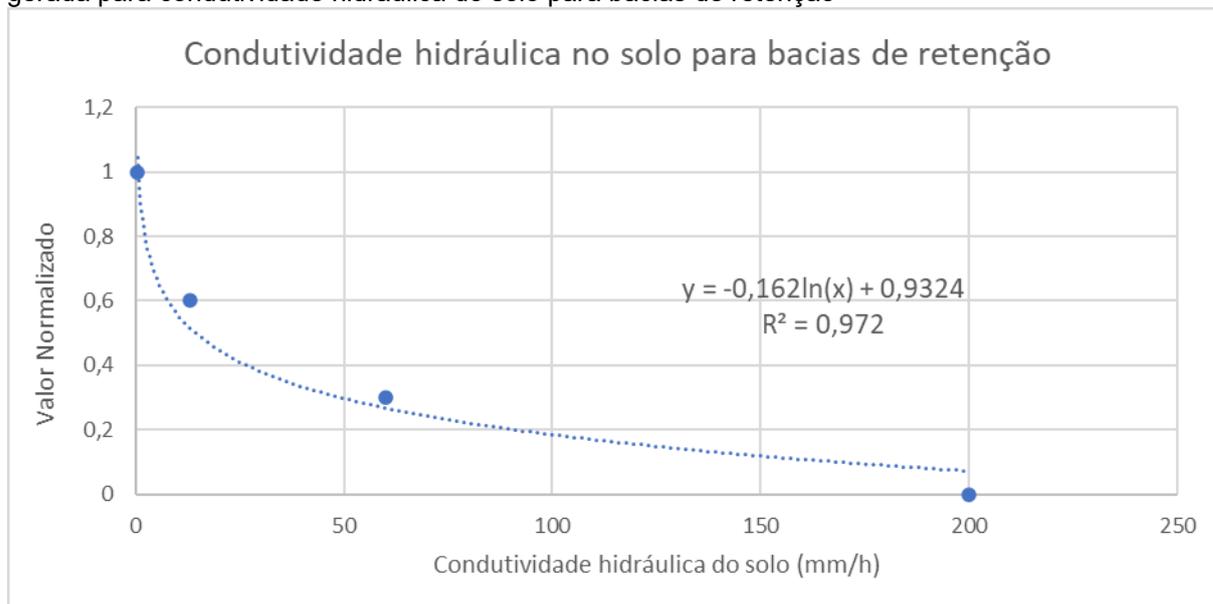
Quadro 52 - Faixas de normalização de condutividade hidráulica do solo para bacias de retenção

CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA DO SOLO PARA BACIAS DE RETENÇÃO	VALOR NORMALIZADO	VALORES DE REFERÊNCIA (mm/h)	GRADAÇÃO
	1	0,5	
		1	
		1,5	
		2	
		4	
		7	
	0,6	13	
		25	
	0,3	60	
	0,0001	200	

Fonte: adaptado de Schueler, 1987.

Dentre as possíveis linhas de tendência foi escolhida a linha logarítmica que alcançou o coeficiente de determinação de 0,972, apresentada na Figura 47:

Figura 47 - Linha de tendência, função de utilidade multidimensional e coeficiente de determinação gerada para condutividade hidráulica do solo para bacias de retenção



Fonte: adaptado de Schueler, 1987.

4.5.2 Condutividade Hidráulica do Subsolo

Para a normalização da característica condutividade hidráulica do subsolo para a medida – sistemas de biorretenção – foram utilizados os seguintes valores de referência (Quadro 53):

Quadro 53 - Valores de referência de condutividade hidráulica do subsolo para bacias de retenção

CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA DO SUBSOLO (m/h)	CONDIÇÃO	REFERÊNCIA
$0,005 \leq x \leq 1000$	Viável	Adaptado de TOMAZ (2007); SCHUELER (1987); AZZOUT et al. (1994)
$0,001 \leq x < 0,005$	Aceitável	
$0,00001 \leq x < 0,001$	Inviável	

Fonte: o autor, 2020.

Os valores de referência foram organizados e correlacionados com as faixas de normalização para equacionar a função de utilidade multidimensional, conforme o Quadro 55:

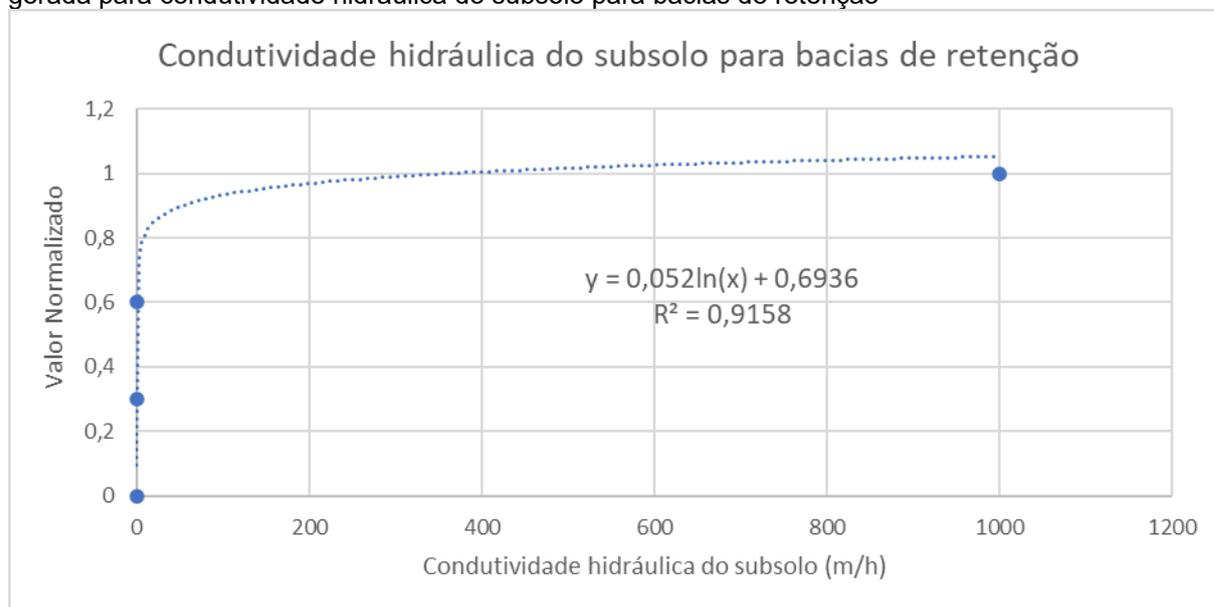
Quadro 54 - Faixas de normalização de condutividade hidráulica do subsolo para bacias de retenção

	VALOR NORMALIZADO	VALORES DE REFERÊNCIA (m/h)	GRADAÇÃO
CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA DO SUBSOLO PARA BACIAS DE RETENÇÃO	1	1000	
	0,6	0,005	
	0,3	0,001	
	0	0,00001	

Fonte: adaptado de Schueler, 1987; Azzout et al., 1994, Tomaz, 2007.

Dentre as possíveis linhas de tendência foi escolhida a linha logarítmica que alcançou o coeficiente de determinação de 0,9158, apresentada na Figura 48.

Figura 48 - Linha de tendência, função de utilidade multidimensional e coeficiente de determinação gerada para condutividade hidráulica do subsolo para bacias de retenção



Fonte: adaptado de Schueler, 1987; Azzout et al., 1994, Tomaz, 2007.

4.5.3 Profundidade do Lençol Freático

Segundo Schueler (1987) e Azzout et al. (1994) não existe restrição de profundidade de lençol freático para implantação de bacias de retenção. Isto se deve pelo fato de a bacia de retenção já estar totalmente cheia de água, com o solo saturado. Deste modo, o valor de referência pode ser observado no Quadro 55:

Quadro 55 - Valores de referência de profundidade do lençol freático para bacias de retenção

PROFUNDIDADE DO LENÇOL FREÁTICO (m)	CONDIÇÃO	REFERÊNCIA
$0 \leq x$	Viável	SCHUELER (1987); AZZOUT et al. (1994)

Fonte: o autor, 2020.

O valor de referência foi correlacionado com somente uma faixa de normalização, conforme o Quadro 56:

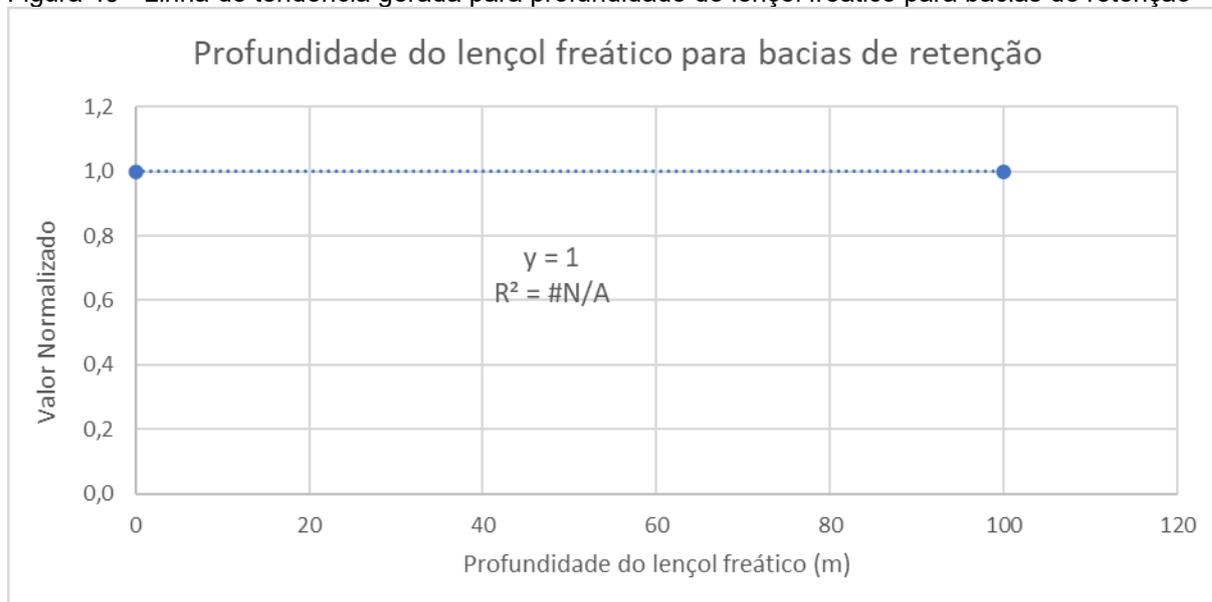
Quadro 56 - Faixas de normalização de profundidade do lençol freático para bacias de retenção

	VALOR NORMALIZADO	VALORES DE REFERÊNCIA (%)	GRADAÇÃO
PROFUNDIDADE DO LENÇOL FREÁTICO PARA BACIAS DE RETENÇÃO	1	0	
	1	100	

Fonte: adaptado de Schueler, 1987; Azzout et al., 1994.

Considerando essa situação, todos os valores de profundidade do lençol freático foram considerados como pontuação 1 (um), seguindo a lógica da normalização apresentada. A figura 49 ilustra a situação:

Figura 49 - Linha de tendência gerada para profundidade do lençol freático para bacias de retenção



Fonte: adaptado de Schueler, 1987; Azzout et al., 1994.

4.5.4 Erodibilidade

Segundo o item 4.1.4, as restrições de erodibilidade são iguais para todas as MAD, conforme Bertoni e Lombardi Neto (1999), Schueler (1987) e Azzout et al. (1994). Desta maneira, os valores de referência, os valores normalizados e as funções de utilidade multidimensional, validos para todas as MAD, estão apresentados na seção citada.

4.5.5 Declividade

Para a normalização da característica declividade para a medida – bacias de retenção – foram utilizados os seguintes valores de referência (Quadro 57):

Quadro 57 - Valores de referência de declividade para bacias de retenção

DECLIVIDADE (%)	CONDIÇÃO	REFERÊNCIA
$x < 5$	Adequado	SCHUELER (1987)

Fonte: Schueler, 1987.

Os valores de referência foram organizados e correlacionados com as faixas de normalização para equacionar a função de utilidade multidimensional, conforme o Quadro 58:

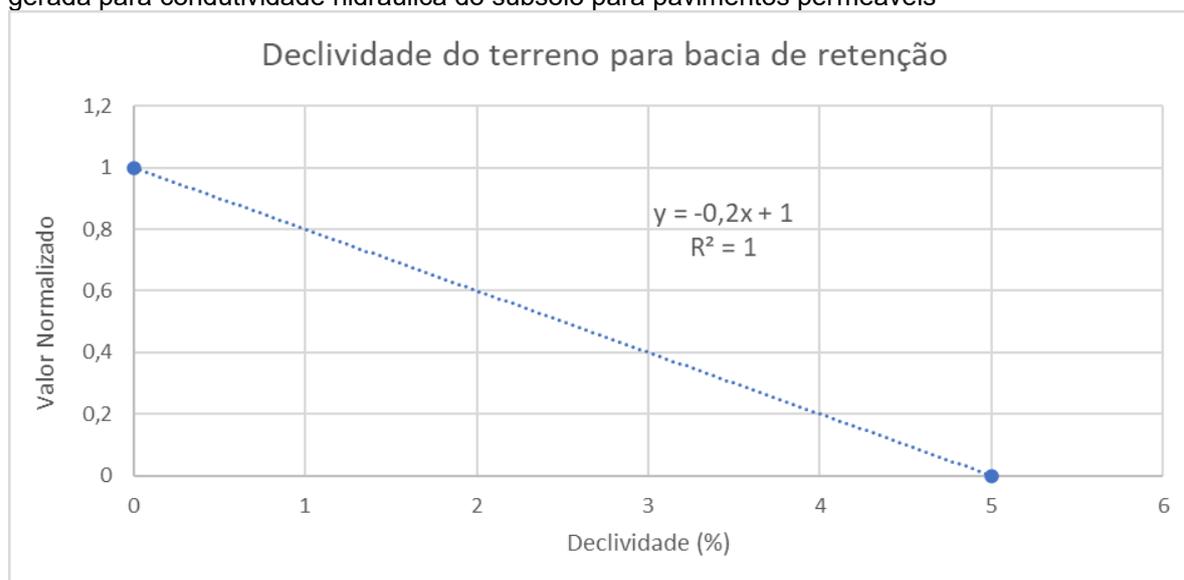
Quadro 58 - Faixas de normalização de declividade para bacias de retenção

	VALOR NORMALIZADO	VALORES DE REFERÊNCIA (%)	GRADAÇÃO
DECLIVIDADE DO TERRENO PARA BACIAS DE RETENÇÃO	1	0	
	0,6		
	0,30		
	0	5	

Fonte: adaptado de Schueler, 1987.

Dentre as possíveis linhas de tendência foi escolhida a linha linear que alcançou o coeficiente de determinação de 1, apresentada na Figura 50:

Figura 50 - Linha de tendência, função de utilidade multidimensional e coeficiente de determinação gerada para condutividade hidráulica do subsolo para pavimentos permeáveis



Fonte: adaptado de Schueler, 1987.

4.5.6 Resumo das funções de utilidade multidimensional para bacias de retenção

Após a elaboração das funções de utilidade multidimensional, apresenta-se um quadro resumo (Quadro 59) com as funções, coeficientes de determinação e faixas de gradação, além de campos vazios para inserção dos valores observados *in situ* para aplicação do sistema.

Quadro 59 – Quadro resumos das funções de utilidade de multidimensional para bacias de retenção

BACIAS DE RETENÇÃO		VALOR LOCAL	FUNÇÃO DE UTILIDADE MULTIDIMENSIONAL (FUM)	R ²	PONTUAÇÃO
CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DO LOCAL DE IMPLANTAÇÃO	Condutividade hidráulica do solo		$y = -0,162\ln(x) + 0,9324$	0,972	<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> Inviável Ótimo </div>  <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 </div>
	Condutividade hidráulica do subsolo		$y = 0,052 \ln(x) + 0,6936$	0,9158	<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> Inviável Ótimo </div>  <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 </div>
	Profundidade do Lençol Freático		$y=1$	N/A	<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> Ótimo </div>  <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> 10 </div>
	Erodibilidade		$y = -33x + 1,3$	0,9945	<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> Inviável Ótimo </div>  <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 </div>
	Declividade do terreno		$y = -0,2x + 1$	1	<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> Inviável Ótimo </div>  <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 </div>

Fonte: o autor, 2020.

4.6 WETLANDS

Nesta seção, apresenta-se a construção das funções de utilidade multidimensional das características com base nos valores de referência para as *wetlands*.

4.6.1 Condutividade Hidráulica do Solo

Para a normalização da característica condutividade hidráulica do solo para a medida – *wetlands* – foram utilizados os seguintes valores de referência (Quadro 60):

Quadro 60 - Valores de referência de condutividade hidráulica do solo para *wetlands*

CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA DO SOLO (mm/h)	CONDIÇÃO	REFERÊNCIA
200	Inviável	SCHUELER (1987);
$25 \leq x \leq 60$	Viável, com restrições	
$0,5 \leq x \leq 13$	Viável	

Fonte: Schueler, 1987.

Os valores de referência foram organizados e correlacionados com as faixas de normalização para equacionar a função de utilidade multidimensional, conforme o Quadro 61:

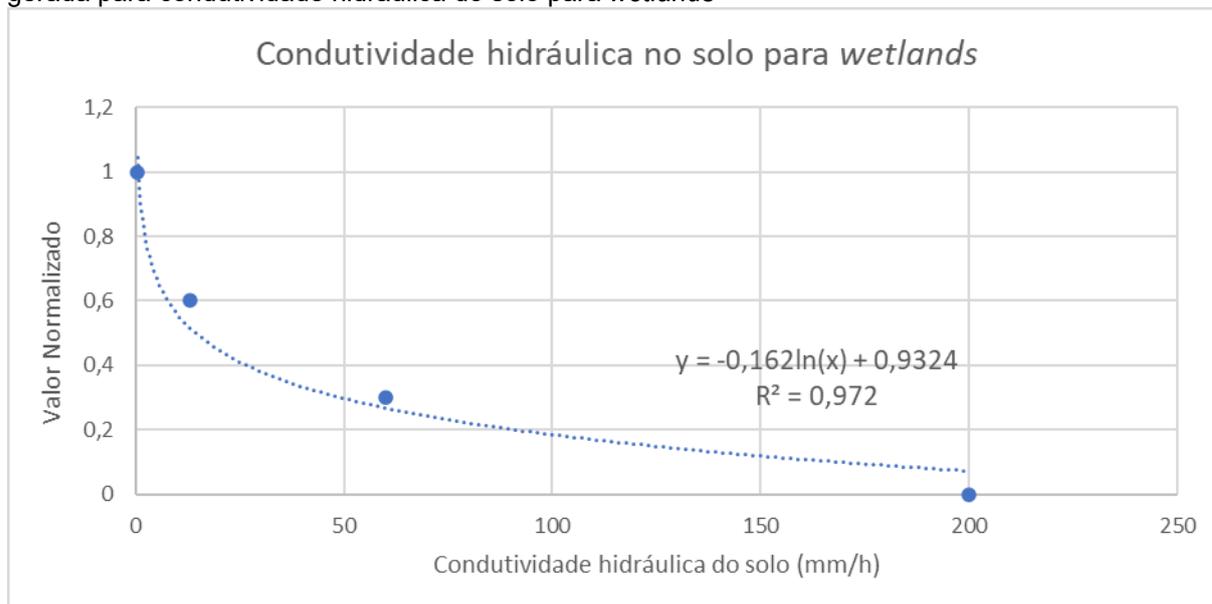
Quadro 61 - Faixas de normalização de condutividade hidráulica do solo para *wetlands*

	VALOR NORMALIZADO	VALORES DE REFERÊNCIA (mm/h)	GRADAÇÃO
CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA DO SOLO PARA WETLANDS	1	0,5	
		1	
		1,5	
		2	
		4	
		7	
	0,6	13	
		25	
	0,3	60	
	0,0001	200	

Fonte: adaptado de Schueler, 1987.

Dentre as possíveis linhas de tendência foi escolhida a linha logarítmica que alcançou o coeficiente de determinação de 0,972, apresentada na Figura 51:

Figura 51 - Linha de tendência, função de utilidade multidimensional e coeficiente de determinação gerada para condutividade hidráulica do solo para *wetlands*



Fonte: adaptado de Schueler, 1987.

4.6.2 Condutividade Hidráulica do Subsolo

Para a normalização da característica condutividade hidráulica do subsolo para a medida – *wetlands* – foram utilizados os seguintes valores de referência (Quadro 62):

Quadro 62 - Valores de referência de condutividade hidráulica do subsolo para *wetlands*

CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA DO SUBSOLO (m/h)	CONDIÇÃO	REFERÊNCIA
$0,005 \leq x \leq 1000$	Viável	Adaptado de TOMAZ (2007); SCHUELER (1987); AZZOUT et al. (1994)
$0,001 \leq x < 0,005$	Aceitável	
$0,00001 \leq x < 0,001$	Inviável	

Fonte: o autor, 2020.

Os valores de referência foram organizados e correlacionados com as faixas de normalização para equacionar a função de utilidade multidimensional, conforme o Quadro 63:

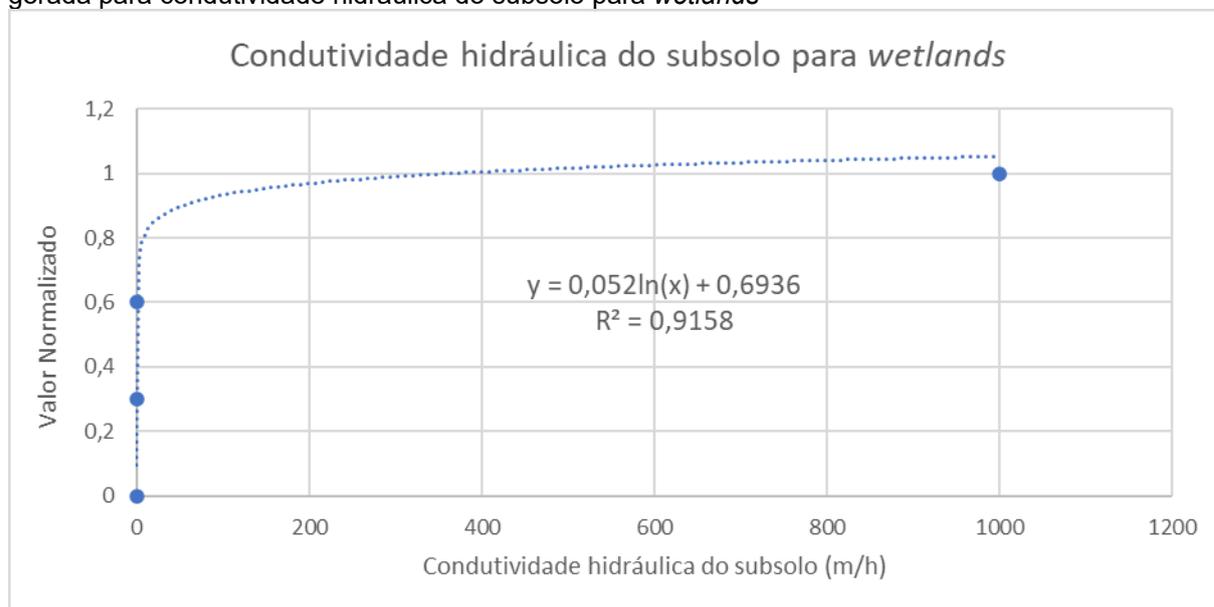
Quadro 63 - Faixas de normalização de condutividade hidráulica do subsolo para *wetlands*

	VALOR NORMALIZADO	VALORES DE REFERÊNCIA (m/h)	GRADAÇÃO
CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA DO SUBSOLO PARA WETLANDS	1	1000	Verde
	0,6	0,005	Verde
	0,3	0,001	Amarelo
	0	0,00001	Vermelho

Fonte: adaptado de Schueler, 1987; Azzout et al., 1994, Tomaz, 2007.

Dentre as possíveis linhas de tendência foi escolhida a linha logarítmica que alcançou o coeficiente de determinação de 0,9158, apresentada na Figura 52:

Figura 52 - Linha de tendência, função de utilidade multidimensional e coeficiente de determinação gerada para condutividade hidráulica do subsolo para *wetlands*



Fonte: adaptado de Schueler, 1987; Azzout et al., 1994, Tomaz, 2007.

4.6.3 Profundidade do Lençol Freático

Para a normalização da característica profundidade do lençol freático para a medida – *wetlands* – foram utilizados os seguintes valores de referência (Quadro 64):

Quadro 64 - Valores de referência de profundidade do lençol freático para *wetlands*

PROFUNDIDADE DO LENÇOL FREÁTICO (m)	CONDIÇÃO	REFERÊNCIA
$1,2 < x$	Adequado	SCHUELER (1987); AZZOUT et al. (1994); PRINCE GEORGE'S COUNTY (2007)
$0 < x \leq 1,0$	Inadequado	

Fonte: o autor, 2020.

Os valores de referência foram organizados e correlacionados com as faixas de normalização para equacionar a função de utilidade multidimensional, conforme o Quadro 65:

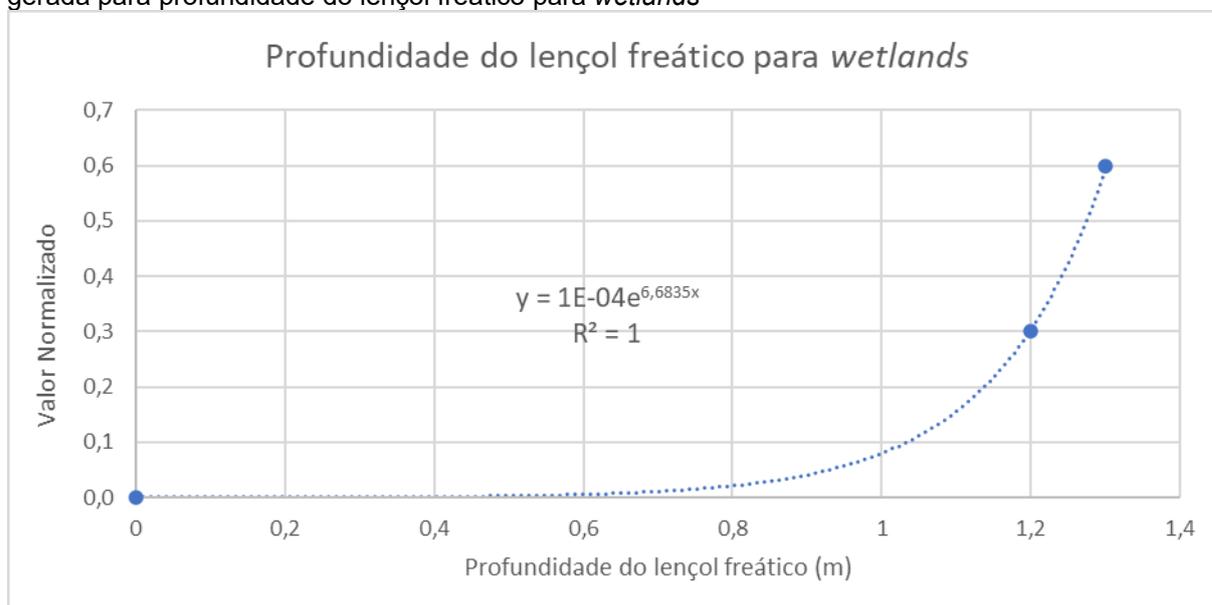
Quadro 65 - Faixas de normalização de profundidade do lençol freático para *wetlands*

	VALOR NORMALIZADO	VALORES DE REFERÊNCIA (m)	GRADAÇÃO
PROFUNDIDADE DO LENÇOL FREÁTICO PARA WETLANDS	0,0001	0,0001	
	0,3	1	
	0,6	1,3	

Fonte: adaptado de Schueler, 1987; Azzout et al., 1994, Prince George's County, 2007.

Dentre as possíveis linhas de tendência foi escolhida a linha exponencial que alcançou o coeficiente de determinação de 1, apresentada na Figura 53:

Figura 53 - Linha de tendência, função de utilidade multidimensional e coeficiente de determinação gerada para profundidade do lençol freático para *wetlands*



Fonte: adaptado de de Schueler, 1987; Azzout et al., 1994, Prince George's County, 2007.

4.6.4 Erodibilidade

Segundo o item 4.1.4, as restrições de erodibilidade são iguais para todas as MAD, conforme Bertoni e Lombardi Neto (1999), Schueler (1987) e Azzout et al. (1994). Desta maneira, os valores de referência, os valores normalizados e as funções de utilidade multidimensional, válidos para todas as MAD, estão apresentados na seção citada.

4.6.5 Declividade

Para a normalização da característica declividade para a medida – *wetlands* – foram utilizados os seguintes valores de referência (Quadro 66):

Quadro 66 - Valores de referência de declividade para *wetlands*

DECLIVIDADE (%)	CONDIÇÃO	REFERÊNCIA
$0 \leq x < 1$	Pouco viável	SCHUELER (1987)
$1 \leq x \leq 3$	Viável	
$3 < x$	Pouco viável	

Fonte: Schueler, 1987.

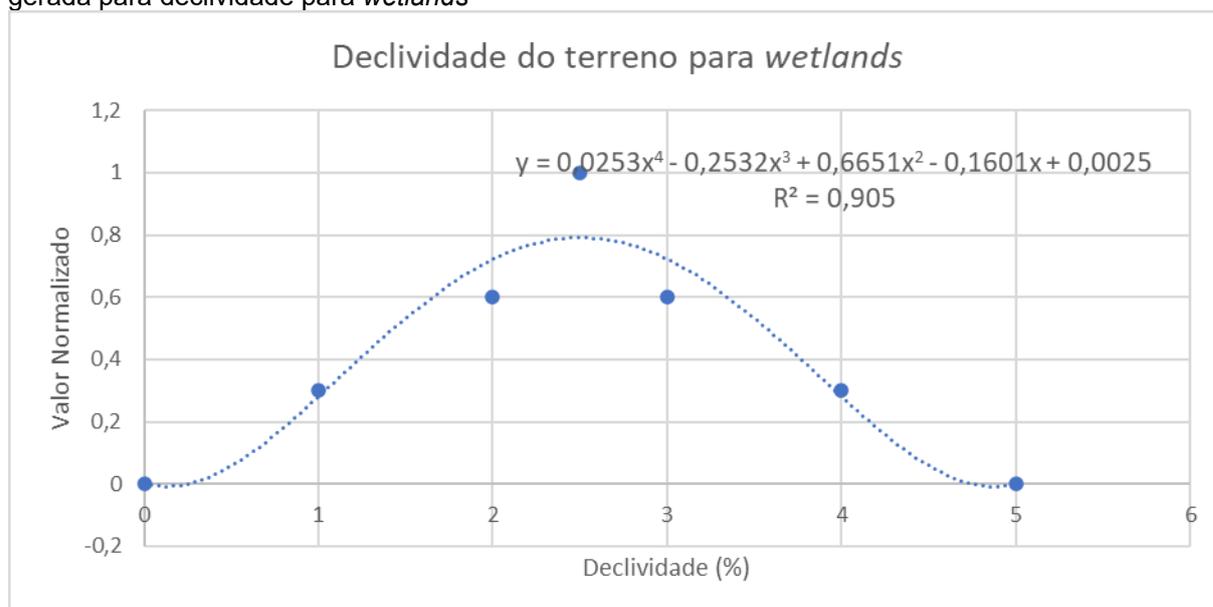
Os valores de referência foram organizados e correlacionados com as faixas de normalização para equacionar a função de utilidade multidimensional, conforme o Quadro 67:

Quadro 67 - Faixas de normalização de declividade para *wetlands*

	VALOR NORMALIZADO	VALORES DE REFERÊNCIA (%)	GRADAÇÃO
DECLIVIDADE DO TERRENO PARA WETLANDS	0,0001	0,0001	
	0,3	1	
	0,60	2	
	1	2,5	
	0,6	3	
	0,3	4	
	0,0001	5	

Fonte: adaptado de Schueler, 1987.

Dentre as possíveis linhas de tendência foi escolhida a linha polinomial que alcançou o coeficiente de determinação de 0,905, apresentada na Figura 54:

Figura 54 - Linha de tendência, função de utilidade multidimensional e coeficiente de determinação gerada para declividade para *wetlands*

Fonte: adaptado de Schueler, 1987.

4.6.6 Resumo das funções de utilidade multidimensional para *wetlands*

Após a elaboração das funções de utilidade multidimensional, apresenta-se um quadro resumo (Quadro 68) com as funções, coeficientes de determinação e faixas de gradação, além de campos vazios para inserção dos valores observados *in situ* para aplicação do sistema.

Quadro 68 – Quadro resumos das funções de utilidade de multidimensional para *wetlands*

WETLANDS		VALOR LOCAL	FUNÇÃO DE UTILIDADE MULTIDIMENSIONAL (FUM)	R²	PONTUAÇÃO
CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DO LOCAL DE IMPLANTAÇÃO	Condutividade hidráulica do solo		$y = 0,162\ln(x) + 0,9324$	0,972	Inviável Ótimo 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10
	Condutividade hidráulica do subsolo		$y = 0,052 \ln(x) + 0,6936$	0,9158	Inviável Ótimo 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10
	Profundidade do Lençol Freático		$y = 10^{-4} * e^{6,6835x}$	1	Inviável Ótimo 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10
	Erodibilidade		$y = -33x + 1,3$	0,9945	Inviável Ótimo 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10
	Declividade do terreno		$y = 0,0253 * x^4 - 0,2532 * x^3 + 0,6651 * x^2 - 0,1601x + 0,0025$	0,905	Inviável Ótimo Inviável 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 9 8 7 6 5 4 3 2 1 0

Fonte: o autor, 2020.

4.7 RESUMO DA CONSTRUÇÃO DO SISTEMA

As funções apresentadas foram organizadas e preparadas para a aplicação no software Excel®, conforme os quadros 69 e 70. Observa-se que nesses quadros, as funções estão multiplicadas por 10 (dez), conforme exposto na seção 3 (Metodologia).

Assim, finalizou-se a construção do sistema de escolha com a criação das funções de utilidade multidimensional e preparação da planilha eletrônica para cálculo automático. Na sequência, o sistema foi aplicado em três áreas de teste para verificar a sua funcionalidade.

Quadro 69 - Sistema de suporte a tomada de decisão criado

CARACTERÍSTICA FÍSICA	VALOR DA CARACTERÍSTICA DO LOCAL ESCOLHIDO PARA IMPLANTAÇÃO	PONTUAÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS					
		Pavimentos permeáveis	Valas vegetadas	Sistema de Biorretenção	Bacias de detenção	Bacias de Retenção	Alagados construídos (wetlands)
Condutividade hidráulica do solo	w	$f(w) = 10^{*(0,1675\ln(w) + 0,1158)}$	$f(w) = 10^{*(0,1452\ln(w) + 0,2827)}$	$f(w) = 10^{*(0,1681\ln(w) + 0,1415)}$	$f(w) = 10^{*(0,1452\ln(w) + 0,2827)}$	$f(w) = 10^{*(0,162\ln(w) + 0,9324)}$	$f(w) = 10^{*(0,162\ln(w) + 0,9324)}$
Condutividade hidráulica do subsolo	x	$f(x) = 10^{*(0,052 \ln(x) + 0,6936)}$	$f(x) = 10^{*(0,052\ln(x) + 0,6936)}$	$f(x) = 10^{*(0,052\ln(x) + 0,6936)}$	$f(x) = 10^{*(0,0499\ln(x) + 0,7081)}$	$f(x) = 10^{*(0,052 \ln(x) + 0,6936)}$	$f(x) = 10^{*(0,052 \ln(x) + 0,6936)}$
Profundidade do lençol freático	y	$f(y) = 10^{*(10^{-4}*e6,9835y)}$	$f(y) = 10^{*(10^{-4}*e7,253y)}$	$f(y) = 10^{*(10^{-4}*e6,6835y)}$	$f(y) = 10^{*(0,2903*e0,8675y)}$	$f(y) = 10^{*1}$	$f(y) = 10^{*(10^{-4}*e6,6835y)}$
Erodibilidade	z	$f(z) = 10^{*(-33z + 1,3)}$	$f(z) = 10^{*(-33z + 1,3)}$	$f(z) = 10^{*(-33z + 1,3)}$	$f(z) = 10^{*(-33z + 1,3)}$	$f(z) = 10^{*(-33z + 1,3)}$	$f(z) = 10^{*(-33z + 1,3)}$
Declividade do terreno	k	$f(k) = 10^{*(-0,1176k^2 + 0,5173k + 0,281)}$	$f(k) = 10^{*(0,01176k^2 + 0,5173k + 0,2814)}$	$f(k) = 10^{*(0,006k^3 - 0,1497k^2 + 0,5979k + 0,2538)}$	$f(k) = 10^{*1}$	$f(k) = 10^{*(-0,2k + 1)}$	$f(k) = 10^{*(0,0253*k^4 - 0,2532*k^3 + 0,6651*k^2 - 0,1601k + 0,0025)}$
SOMATÓRIO		Σ	Σ	Σ	Σ	Σ	Σ

Fonte: o autor, 2020.

Quadro 70 - Sistema de suporte a tomada de decisão automatizado em planilha Excel®

CARACTERÍSTICA FÍSICA	VALOR DA CARACTERÍSTICA DO LOCAL ESCOLHIDO PARA IMPLANTAÇÃO	PONTUAÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS					
		Pavimentos permeáveis	Valas vegetadas	Sistema de Biorretenção	Bacias de detenção	Bacias de Retenção	Alagados construídos (wetlands)
Condutividade hidráulica do solo	w	$=10^{*(0,1675*\ln(B3)+0,1158)}$	$=10^{*(0,1452*\ln(B3)+0,2827)}$	$=10^{*(0,1681*\ln(B3)+0,1415)}$	$=10^{*(0,1452*\ln(B3)+0,2827)}$	$=10^{*(0,162*\ln(B3)+0,9324)}$	$=10^{*(0,162*\ln(B3)+0,9324)}$
Condutividade hidráulica do subsolo	x	$=10^{*(0,052*\ln(B4)+0,6936)}$	$=10^{*(0,052*\ln(B4)+0,6936)}$	$=10^{*(0,052*\ln(B4)+0,6936)}$	$=10^{*(0,0499*\ln(B4)+0,7081)}$	$=10^{*(0,052*\ln(B4)+0,6936)}$	$=10^{*(0,052*\ln(B4)+0,6936)}$
Profundidade do lençol freático	y	$=10^{*(1*10^{(-4)*\exp(6,9835*B5)})}$	$=10^{*(0,0001*\exp(7,253*B5))}$	$=10^{*(1*10^{(-4)*\exp(6,6835*B5)})}$	$=10^{*(0,2903*\exp(0,8675*B5))}$	$=1*10$	$=10^{*(1*10^{(-4)*\exp(6,6835*B5)})}$
Erodibilidade	z	$=10^{*(-33*B6+1,3)}$	$=10^{*(-33*B6+1,3)}$	$=10^{*(-33*B6+1,3)}$	$=10^{*(-33*B6+1,3)}$	$=10^{*(-33*B6+1,3)}$	$=10^{*(-33*B6+1,3)}$
Declividade do terreno	k	$=10^{*(-0,1176*(B7^2)+0,5173*B7+0,281)}$	$=10^{*(0,01176*(B7^2)+0,5173*B7+0,2814)}$	$=10^{*(0,006*(B7^3)-0,1497*(B7^2)+0,5979*B7+0,2538)}$	$=1*10$	$=10^{*(-0,2*B7+1)}$	$=10^{*(0,0253*(B7^4)-0,2532*(B7^3)+0,6651*(B7^2)-0,1601*B7+0,0025)}$
SOMATÓRIO		Σ	Σ	Σ	Σ	Σ	Σ

Fonte: o autor, 2020.

5 APLICAÇÃO E DISCUSSÃO DO SISTEMA

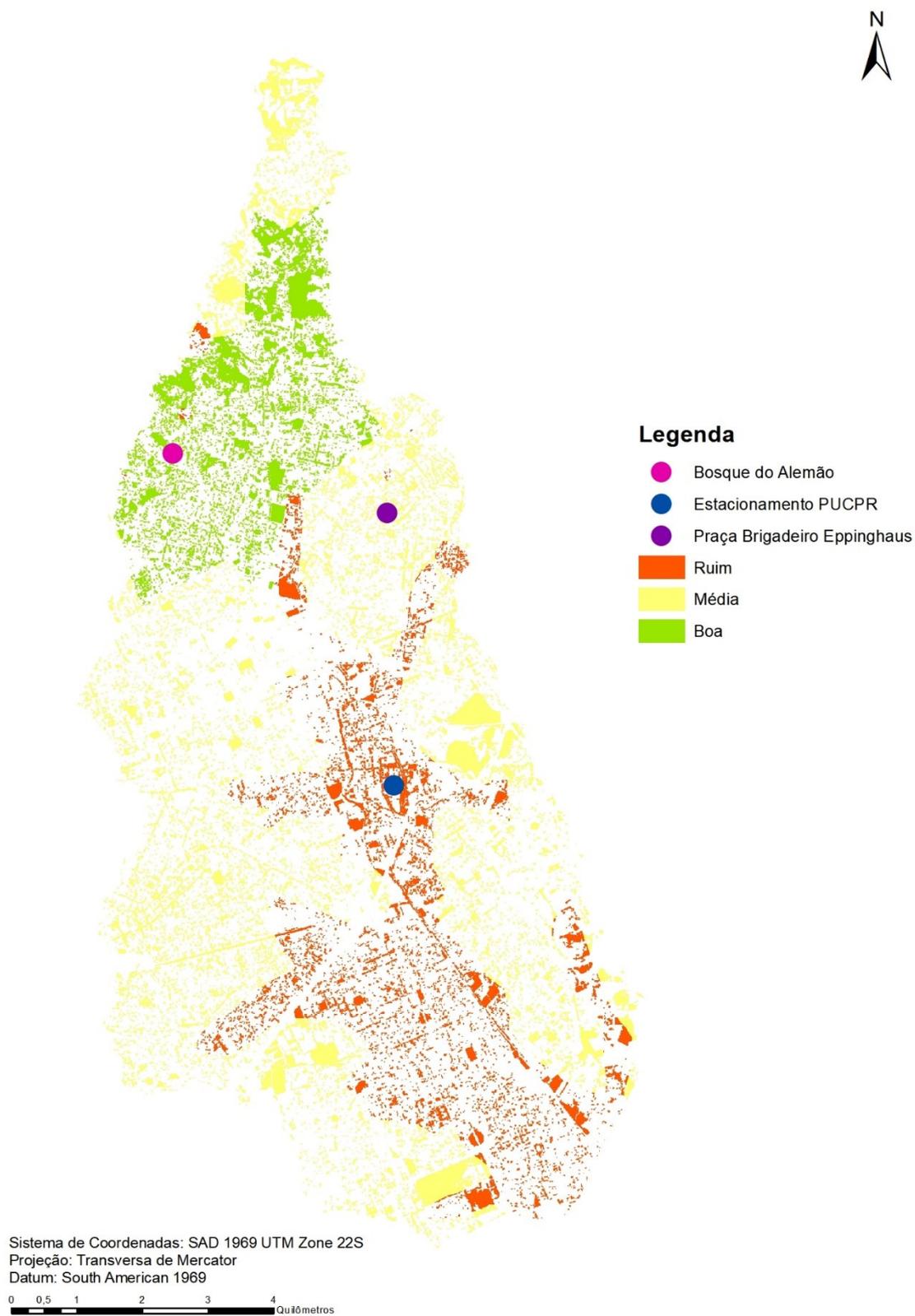
Para a seleção das áreas para aplicação do sistema foram utilizados os resultados obtidos por Bertolino (2013). O autor buscou “verificar a possibilidade de implantação de medidas de baixo impacto para o controle de inundações e alagamentos na bacia hidrográfica do Rio Belém, em Curitiba, Paraná”. No estudo, o autor mapeou os locais em que havia condições para implantação de medidas de drenagem sustentável a fim de se obter a aptidão das diversas áreas livres já mapeadas nesta bacia.

A bacia hidrográfica do rio Belém é considerada estritamente curitibana, pois nasce e tem a sua foz dentro dos limites da capital paranaense. Ocupa cerca de 20% da área total do município (KNOPKI, 2008) e de acordo com dados do último censo, abriga 40% da população de Curitiba (GABRIEL, 2013). Segundo Bertolino (2013), a bacia hidrográfica possui aproximadamente 85% da sua área com ocupação urbana, o que implica em áreas impermeabilizadas. A maior concentração de áreas com maior permeabilidade localiza-se na porção norte da bacia.

Partiu-se do pressuposto que as medidas estudadas (sistemas de bioretenção, valas gramadas, trincheiras de infiltração, entre outras) possuíam condicionantes, isto é, fatores técnicos que precisariam ser levados em consideração no projeto executivo. A partir disso, tomou-se como base as restrições para que cada estrutura pudesse ser aplicada: espaço requerido, tipo de solo, declividade e profundidade do lençol freático. O estudo de Bertolino (2013) resultou em um mapeamento que relacionou as características presentes em determinada área, no caso, cada área livre da Bacia Hidrográfica do Rio Belém, com as características ideais ou favoráveis à implantação. Nessa bacia hidrográfica, o autor identificou áreas com aptidão boa, média ou ruim para a aplicação de técnicas de drenagem.

Assim, para a aplicação do sistema de suporte a decisão criado na presente tese, foram selecionadas três áreas livres (Figura 55), dentro das três diferentes classificações propostas por Bertolino (2013).

Figura 55 - Locais de aplicação do teste



Fonte: adaptado de Bertolino, 2013.

Para esta pesquisa foram selecionadas áreas livres, nas quais puderam ser obtidos os dados referentes às cinco características consideradas no sistema de escolha:

- a) Área 1 – Baixa aptidão: estacionamento do Bloco Administrativo do Campus Curitiba da Pontifícia Universidade Católica do Paraná (PUCPR). Este local foi selecionado pela ocorrência de alagamentos, que são objetos de diversas pesquisas da própria instituição;
- b) Área 2 – Média aptidão: Praça Brigadeiro Eppinghaus, selecionada de modo aleatório
- c) Área 3 – Alta aptidão: Bosque do Alemão, selecionada de modo aleatório;

Com a obtenção dos dados, a aplicação foi realizada pela inserção dos valores na planilha anteriormente preparada. Assim, a aplicação é exemplificativa para fins de demonstração e teste do sistema, podendo ser realizada em qualquer local no qual se possa obter os dados de entrada.

5.1 APLICAÇÃO NA ÁREA 1 – APTIDÃO RUIM

O campus Curitiba da PUCPR (Figura 56) localiza-se no bairro Prado Velho, na capital paranaense. A universidade, fundada em 1959, é cortada pelo Rio Belém (Figura 57) e localiza-se aproximadamente no trecho central do curso do rio, local onde sua vazão é influenciada pela contribuição de pouco mais da metade da bacia hidrográfica. O entorno da universidade é uma zona residencial, caracterizada em especial pela presença da Vila Torres, ex-ocupação irregular datada da década de 50, localizada em sua grande parte às margens do rio Belém, a montante da PUCPR, e que tem passado por ações de revitalização por parte do poder público.

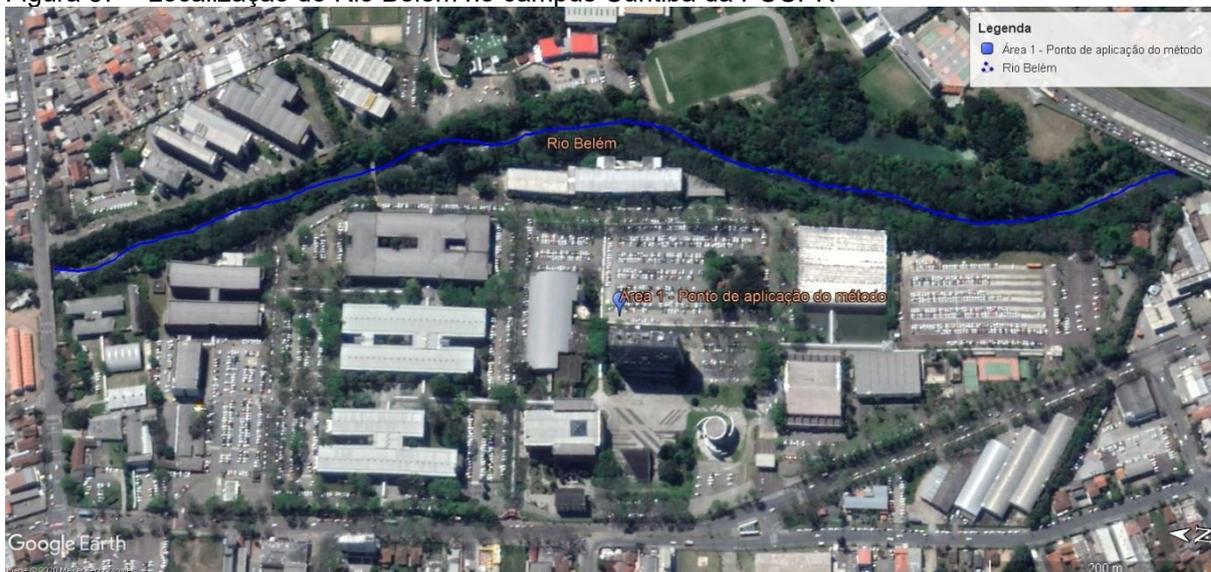
De acordo com Bertolino (2013), a área recebeu a classificação de baixa aptidão por apresentar solo do tipo gleissolo háplico (IPPUC, 2013), caracterizado por ser de baixa permeabilidade. O seu subsolo é caracterizado por possuir sedimentos areno-siltico-argilosos depositados em ambiente fluvial, intercalados com camadas de areia fina a grossa e cascalhos, característico de aluviões atuais (IPPUC, 2013).

Figura 56 - Campus Curitiba da PUCPR



Fonte: Coelho, 2020.

Figura 57 – Localização do Rio Belém no campus Curitiba da PUCPR



Fonte: adaptado de Google Earth, 2020.

A área de aplicação é a mesma apresentada nas figuras 2 e 3, um dos estacionamentos da universidade. Para a aplicação, foram identificados os dados referentes às características que embasam o sistema de escolha, resumidos no Quadro 71. Os dados levantados foram inseridos no sistema de escolha, resultando na Tabela 1.

Quadro 71 - Características naturais da área 1:

CARACTERÍSTICA FÍSICA	VALOR DA CARACTERÍSTICA DO LOCAL ESCOLHIDO PARA IMPLANTAÇÃO	REFERÊNCIA
Condutividade hidráulica do solo (mm/h)	5	Adaptado de IPPUC (2013) e Souza, 2012
Condutividade hidráulica do subsolo (m/h)	0,00001 a 0,00005 (optou-se por inserir no sistema o valor médio: 0,00003)	Adaptado de IPPUC (2013), Giusti (1989) e Ministério do Meio Ambiente (2015)
Profundidade do lençol freático (m)	1,3	Adaptado de Instituto das Águas do Paraná (2013) e Bertolino (2013)
Erodibilidade (Mg.ha.h/ha.MJ.mm)	0,0044	Adaptado de IPPUC (2013) e Mannigel et al. (2002)
Declividade do terreno (%)	0	Adaptado de IPPUC (2013) e Bertolino (2013)

Fonte: o autor, 2020.

Tabela 1 - Aplicação do sistema de suporte a tomada de decisão criado na área 1

CARACTERÍSTICA FÍSICA	VALOR DA CARACTERÍSTICA DO LOCAL ESCOLHIDO PARA IMPLANTAÇÃO	PONTUAÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS					
		Pavimentos Porosos	Valas vegetadas	Sistema de Biorretenção	Bacias de detenção	Bacias de retenção	Alagados construídos (wetlands)
Condutividade hidráulica do solo (mm/h)	5	3,9	5,2	4,1	5,2	6,7	6,7
Condutividade hidráulica do subsolo (m/h)	0,00003	1,5	1,5	1,5	1,9	1,5	1,5
Profundidade do lençol freático (m)	1,3	8,8	10,0	5,9	9,0	10,0	5,9
Erodibilidade (Mg.ha.h/ha.MJ.mm)	0,0044	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0
Declividade do terreno (%)	0	2,8	2,8	2,5	10,0	10,0	0,0
SOMATÓRIO		27,0	29,5	24,1	36,0	38,2	24,2

Fonte: o autor, 2020.

5.2 APLICAÇÃO NA ÁREA 2 – APTIDÃO MÉDIA

A Praça Brigadeiro Eppinghaus (Figura 58) localiza-se no Juvevê, bairro distante, aproximadamente, 2 quilômetros do centro do município de Curitiba, na área considerada de média aptidão em receber sistemas de drenagem sustentável. O entorno da praça caracteriza-se por uma zona residencial de média e alta renda, além de possuir infraestrutura de comércio, serviços e transporte. Apesar de ser totalmente urbanizado, é considerado arborizado, com diversos terrenos não impermeabilizados. A praça, recentemente revitalizada, apresenta quadras para prática de esportes (basquete, futebol de areia, pista de caminhada) e é procurada por moradores da região para, além da prática de esportes, para piqueniques e passeios com animais de estimação.

De acordo com Bertolino (2013), recebeu essa classificação por possuir Cambissolos Amarelos, os quais são caracterizados por possuir baixa condutividade hidráulica, porém maior do que o gleissolo háplico, presente na região do estacionamento da PUCPR (Área 1). Está situada sobre a Formação Guabirotuba, caracterizada por apresentar sedimentos da Bacia de Curitiba, incluindo argilas, arcósios, areias e cascalhos.

Figura 58 - Praça Brigadeiro Eppinghaus



Fonte: o autor, 2020.

Para a aplicação foram levantados dados referentes às características que embasam o sistema de escolha, resumidos no Quadro 72. Os dados levantados foram inseridos no sistema de escolha, resultando na Tabela 2:

Quadro 72 - Características naturais da área 2

CARACTERÍSTICA FÍSICA	VALOR DA CARACTERÍSTICA DO LOCAL ESCOLHIDO PARA IMPLANTAÇÃO	REFERÊNCIA
Condutividade hidráulica do solo (mm/h)	7	Adaptado de IPPUC (2013) e Betim (2013)
Condutividade hidráulica do subsolo (m/h)	10 ⁻⁵	Adaptado de IPPUC (2013), Giusti (1989) e Ministério do Meio Ambiente (2015)
Profundidade do lençol freático (m)	1,8	Adaptado de Instituto das Águas do Paraná (2013) e Bertolino (2013)
Erodibilidade (Mg.ha.h/ha.MJ.mm)	0,0254	Adaptado de IPPUC (2013) e Mannigel et al. (2002)
Declividade do terreno (%)	3,5	Adaptado de IPPUC (2013) e Bertolino (2013)

Fonte: o autor, 2020.

Tabela 2 - Aplicação do sistema de suporte a tomada de decisão criado na área 2

CARACTERÍSTICA FÍSICA	VALOR DA CARACTERÍSTICA DO LOCAL ESCOLHIDO PARA IMPLANTAÇÃO	PONTUAÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS					
		Pavimentos Porosos	Valas vegetadas	Sistema de Biorretenção	Bacias de detenção	Bacias de retenção	Alagados construídos (wetlands)
Condutividade hidráulica do solo (mm/h)	7	4,4	5,7	4,7	5,7	6,2	6,2
Condutividade hidráulica do subsolo (m/h)	0,00001	0,9	0,9	0,9	1,3	0,9	0,9
Profundidade do lençol freático (m)	1,8	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0
Erodibilidade (Mg.ha.h/ha.MJ.mm)	0,0254	4,6	4,6	4,6	4,6	4,6	4,6
Declividade do terreno (%)	3,5	6,5	6,5	7,7	10,0	3,0	5,3
SOMATÓRIO		26,5	27,7	28,0	31,6	24,7	27,5

Fonte: o autor, 2020.

5.3 APLICAÇÃO NA ÁREA 3 – APTIDÃO ALTA

O Bosque do Alemão (Figura 59) localiza-se no bairro Vista Alegre, localizado na porção norte da bacia hidrográfica do Rio Belém. Predominantemente residencial de média e alta renda, possui traços da colonização alemã, italiana e polonesa, além de ser composto por lotes grandes com muitas áreas verdes, resultado do desmembramento das antigas chácaras que ocupavam o local. O Bosque do Alemão é uma homenagem aos colonizadores germânicos e localiza-se em uma antiga chácara de quase 4 hectares, possuindo além de uma área gramada, trilha por meio do bosque e um mirante da cidade, visto que se encontra em uma das regiões com maior altitude do município.

A área foi considerada de boa aptidão em receber sistemas de drenagem sustentável. De acordo com Bertolino (2013), recebeu essa classificação por possuir Latossolo Vermelho-Amarelo, os quais são caracterizados por possuir condutividade hidráulica maior que os solos dos outros locais estudados. Está situada sobre o Complexo Gnáissico-Migmatítico.

Figura 59 - Bosque do Alemão



Fonte: o autor, 2020.

Para a aplicação foram levantados dados referentes às características que embasam o sistema de escolha, resumidos no Quadro 73. Os dados levantados foram inseridos no sistema de escolha, resultando na Tabela 3:

Quadro 73 - Características naturais da área 3

CARACTERÍSTICA FÍSICA	VALOR DA CARACTERÍSTICA DO LOCAL ESCOLHIDO PARA IMPLANTAÇÃO	REFERÊNCIA
Condutividade hidráulica do solo (mm/h)	36	Adaptado de IPPUC (2013) e DNIT (2013)
Condutividade hidráulica do subsolo (m/h)	0,3	Adaptado de IPPUC (2013), Giusti (1989) e Ministério do Meio Ambiente (2015)
Profundidade do lençol freático (m)	3,4	Adaptado de Instituto das Águas do Paraná (2013) e Bertolino (2013)
Erodibilidade (Mg.ha.h/ha.MJ.mm)	0,0150	Adaptado de IPPUC (2013) e Bertolino (2013)
Declividade do terreno (%)	3,0	Adaptado de IPPUC (2013) e Bertolino (2013)

Fonte: o autor, 2020.

Tabela 3 - Aplicação do sistema de suporte a tomada de decisão criado na área 3

CARACTERÍSTICA FÍSICA	VALOR DA CARACTERÍSTICA DO LOCAL ESCOLHIDO PARA IMPLANTAÇÃO	PONTUAÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS					
		Pavimentos Porosos	Valas vegetadas	Sistema de Biorretenção	Bacias de detenção	Bacias de retenção	Alagados construídos (wetlands)
Condutividade hidráulica do solo (mm/h)	36	7,2	8,0	7,4	8,0	3,5	3,5
Condutividade hidráulica do subsolo (m/h)	0,3	6,3	6,3	6,3	6,5	6,3	6,3
Profundidade do lençol freático (m)	3,4	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0
Erodibilidade (Mg.ha.h/ha.MJ.mm)	0,015	8,1	8,1	8,1	8,1	8,1	8,1
Declividade do terreno (%)	3	7,7	7,7	8,6	10,0	4,0	7,2
SOMATÓRIO		39,3	40,1	40,4	42,6	31,9	35,6

Fonte: o autor, 2020.

5.4 RESUMO DAS APLICAÇÕES NAS ÁREAS SELECIONADAS

Para efeitos de comparação, construiu-se o Quadro 74 e a Tabela 4. Ambos contêm, respectivamente, os valores utilizados na aplicação teste do sistema, e os resultados obtidos a partir das funções de utilidade multidimensional.

Quadro 74 – Quadro resumo das características naturais das áreas de aplicação

CARACTERÍSTICA FÍSICA	VALOR DA CARACTERÍSTICA DO LOCAL ESCOLHIDO PARA IMPLANTAÇÃO		
	ÁREA 1	ÁREA 2	ÁREA 3
Condutividade hidráulica do solo (mm/h)	5	7	36
Condutividade hidráulica do subsolo (m/h)	0,00001 a 0,00005 (optou-se por inserir no sistema o valor médio: 0,00003)	10 ⁻⁵	0,3
Profundidade do lençol freático (m)	1,3	1,8	3,4
Erodibilidade (Mg.ha.h/ha.MJ.mm)	0,0044	0,0254	0,0150
Declividade do terreno (%)	0	3,5	3,0

Fonte: o autor, 2020.

Tabela 4 –Tabela resumo da aplicação do sistema de suporte a tomada de decisão criado

CARACTERÍSTICA FÍSICA	PONTUAÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS																	
	Pavimentos Porosos			Valas vegetadas			Sistema de Biorretenção			Bacias de detenção			Bacias de retenção			Alagados construídos (wetlands)		
	ÁREA 1	ÁREA 2	ÁREA 3	ÁREA 1	ÁREA 2	ÁREA 3	ÁREA 1	ÁREA 2	ÁREA 3	ÁREA 1	ÁREA 2	ÁREA 3	ÁREA 1	ÁREA 2	ÁREA 3	ÁREA 1	ÁREA 2	ÁREA 3
Condutividade hidráulica do solo (mm/h)	3,9	4,4	7,2	5,2	5,7	8	4,1	4,7	7,4	5,2	5,7	8	6,7	6,2	3,5	6,7	6,2	3,5
Condutividade hidráulica do subsolo (m/h)	1,5	0,9	6,3	1,5	0,9	6,3	1,5	0,9	6,3	1,9	1,3	6,5	1,5	0,9	6,3	1,5	0,9	6,3
Profundidade do lençol freático (m)	8,8	10	10	10	10	10	5,9	10	10	9	10	10	10	10	10	5,9	10	10
Erodibilidade (Mg.ha.h/ha.MJ.mm)	10	4,6	8,1	10	4,6	8,1	10	4,6	8,1	10	4,6	8,1	10	4,6	8,1	10	4,6	8,1
Declividade do terreno (%)	2,8	6,5	7,7	2,8	6,5	7,7	2,5	7,7	8,6	10	10	10	10	3	4	0	5,3	7,2
SOMATÓRIO	27	26,5	39,3	29,5	27,7	40,1	24,1	28	40,4	36	31,6	42,6	38,2	24,7	31,9	24,2	27,5	35,6

Fonte: o autor, 2020.

5.5 CONSIDERAÇÕES SOBRE A CONSTRUÇÃO E APLICAÇÃO DO SISTEMA

Da tomada de decisão para solução de um problema decorrem diversas fases. No caso dos alagamentos, pode-se considerar que o processo de decisão precede e permeia a sequência de planejamento, planos e projetos municipais nos aspectos relacionados à drenagem. O modelo proposto nesta tese auxilia neste processo, visando à otimização do projeto e do sistema de drenagem. Neste contexto, o sistema de apoio à tomada de decisão pode ser visto como um instrumento para facilitar e melhorar as decisões que interferem nas cidades e podem contribuir para a redução da magnitude de eventos decorrentes de precipitações intensas. Independente do quão eficiente seja um sistema de drenagem, não se pode esperar que elimine a ocorrência de alagamentos nas áreas urbanas.

A concepção do sistema de escolha buscou a simplicidade de aplicação, dando atenção ao ponto de vista do usuário final: o gestor urbano que deseja implantar uma medida alternativa de drenagem. A planilha eletrônica foi preparada para facilitar a aplicação, inclusive em campo. O usuário precisa apenas inserir os valores das características, nas unidades especificadas, e os cálculos são realizados de forma automática. Reitera-se que, embora a aplicação em si seja simples, o sistema não foi concebido para usuários leigos. É necessária a interpretação dos resultados para que seja efetivamente escolhida a opção mais adequada à área estudada.

Na elaboração das funções de utilidade multidimensional, a média dos coeficientes de determinação (R^2) foi de 0,9521 e o menor coeficiente de determinação (R^2) foi de 0,87. Embora forneça uma razoável representatividade, demonstra que há margem de erro. Com isto, se reforça a necessidade de interpretação dos resultados numéricos por técnico competente. O método foi baseado nos modelos propostos pela UNESCO (1987) e por Kendall (1938), porém estes não puderam ser integralmente aplicados. Para viabilizar a estruturação do sistema foram feitos ajustes, como a substituição do valor normalizado atribuído para a pior situação de zero para 0,0001, considerando restrições matemáticas, além de ajustes nos valores de controle.

Com a estruturação e aplicação do sistema pôde-se verificar a influência da erodibilidade no processo de escolha. Com a mesma referência para todas as MAD, esta característica não influencia na comparação. Porém, caso obtenha resultado 0 (zero), demonstra a inviabilidade de aplicação não de apenas uma MAD, mas de todas as estudadas. Assim, é recomendável que a primeira verificação no local de aplicação seja a erodibilidade. Se for verificado um solo friável, o gestor poderá alterar a estratégia, dando outro uso à área livre inicialmente escolhida, pois na maioria das situações seria inviável realizar intervenção profunda o bastante para viabilizar a implantação de uma MAD.

Conforme exposto na estruturação do sistema, quando uma das características em relação à MAD recebe pontuação 0 (zero), a MAD é considerada inviável no local. Portanto, caso as outras características atinjam pontuações satisfatórias, o sistema permite a simulação de um cenário da alteração da característica anulada, proporcionando ao usuário do sistema, a opção de alteração do ambiente natural para que a MAD esteja apta à implantação no local analisado.

Essas simulações de cenários de intervenção no ambiente, que propiciam uma visualização rápida de resultados, podem ser realizadas com o objetivo de facilitar a escolha ou, por exemplo, sugerir alternativas de menor custo para a instalação. Desta maneira, o gestor pode identificar se haveria menor impacto financeiro em alterar a declividade em um ambiente, com obras de terraplanagem, ou se poderiam ser possíveis intervenções que melhorem a infiltração, como a substituição de parte do solo local por substratos específicos, como os utilizados para a instalação de coberturas verdes. É possível estimar o valor de alterações como esta e o usuário pode simular se é financeiramente mais vantajoso aplicar a MAD que melhor se adequa ao ambiente, ou intervir na área para escolher uma MAD de menor custo.

Com os resultados da aplicação, pode-se reafirmar parcialmente os resultados obtidos por Bertolino (2013). As pontuações mais altas corresponderam à Área 3 (Bosque do Alemão), considerado pelo autor, como um dos locais de boa aptidão para receber estruturas de drenagem sustentável. Porém, a princípio, para a Área 2 (considerado de média aptidão) e a Área 1 (baixa aptidão) os resultados foram divergentes. Explica-se parcialmente pelo fato de o autor não ter considerado as características de erodibilidade e condutividade hidráulica do subsolo em seu estudo. Esses dois parâmetros se mostraram importantes para o resultado obtido no

sistema, pois tanto na Área 1, quanto na Área 2, foram esses os que obtiveram menores pontuações, especialmente na Área 2. Se analisadas sozinhas, as duas características assinalam que essa área, considerada por Bertolino (2013) de média aptidão, pode ser de baixa aptidão.

Porém, se comparadas as pontuações obtidas para os parâmetros condutividade hidráulica do solo, profundidade do lençol freático e declividade – os aspectos considerados por Bertolino (2013) – a Área 2 demonstra maior aptidão do que a Área 1, confirmando os resultados do autor.

Portanto, ao aplicar o sistema desenvolvido nesta tese, verifica-se que outras características também possuem influência na aptidão de um local para receber as MAD. Desta maneira, demonstra-se que a diversidade de critérios aprimora a análise. Uma vantagem do sistema proposto é que ele pode ser facilmente adaptado para melhorias. Caso novos estudos venham a alterar os valores de referência disponíveis, é possível remodelar as funções de utilidade multidimensional, mantendo a concepção. Podem também ser adicionadas características condicionantes se novos estudos demonstrarem esta necessidade.

Os resultados obtidos com a aplicação na Área 1 demonstram que pavimento permeável (o qual já existe no local) não seria a medida mais adequada, devido à baixa condutividade hidráulica do gleissolo háplico e à declividade ser considerada 0. No sistema, as medidas que receberam as melhores pontuações foram as bacias de detenção e retenção. Considerando-se de maneira simples, somente o resultado numérico, as duas MAD poderiam ser instaladas no local, porém como já mencionado, é importante a análise do gestor.

O local estudado possui uma particularidade: está situado em cota mais baixa que o rio Belém, que corta a universidade. Como a bacia de detenção caracteriza-se pelo seu esvaziamento após o evento chuvoso, o esgotamento pode ser realizado de duas maneiras: descarga no corpo hídrico ou descarga no solo. Analisando-se a posição do estacionamento na universidade, as duas alternativas apresentam dificuldades. Para a descarga no corpo hídrico, sem que haja o bombeamento, teria-se que direcionar a vazão para um ponto mais baixo, a jusante do rio. Já para a descarga no solo, verificou-se anteriormente que a permeabilidade não é a ideal, dificultando também, essa alternativa.

Por outro lado, a bacia de retenção seria uma solução, visto sua característica de não esvaziamento, o que poderia além de auxiliar no acúmulo de água, compor

um cenário diferente no local. Mesmo assim, não se descarta problemas decorrentes dessa instalação, como a probabilidade de risco sanitário, com a criação de um ambiente de água parada, propício ao surgimento de vetores, e por consequência, a disseminação de doenças.

Com essas ponderações, fica claro que, por mais que se tenha um sistema que auxilie a decisão, não se pode desconsiderar os demais fatores que interferem nos projetos dos sistemas alternativos de drenagem e que o uso do instrumento não pode ser desassociado do processo planejamento-plano-projeto.

Na aplicação da Área 2 percebe-se o parâmetro de condutividade hidráulica do subsolo, como já destacado, obteve pontuações muito baixas: 0,9 de um máximo de 10 pontos. Além disso, não houve uma MAD que atingisse uma pontuação de destaque perante as outras. Nesse caso, a bacia de retenção, conseguiu apenas 63% do total de pontos possíveis. Também, há de se observar que parte dessa pontuação veio do parâmetro declividade, o qual não representa uma restrição para a instalação da medida. Nesse caso, um gestor poderia, por exemplo, optar por destinar a área a outro uso, pois nenhuma das MAD apresenta grande aderência ao local sem intervenções que modifiquem as características atuais.

A aplicação na Área 3 obteve as maiores pontuações, conforme já citado. Nesse local, fica claro que várias alternativas poderiam ser instaladas com sucesso, considerando as variáveis estudadas. O sistema, nesse caso, permitiria ao gestor maior liberdade de escolha, visto as pontuações muito próximas, com exceção das bacias de retenção e *wetlands*. Isso permite um estudo mais aprofundado para que se possa considerar questões de projeto e custo.

Como o sistema foi aplicado em três áreas distintas, pode-se perceber que além de possibilitar a comparação das medidas em uma mesma área, o que foi a proposta inicial, o sistema também permite a comparação da mesma medida em áreas diferentes. As pontuações obtidas demonstram que as *wetlands* são as MAD com maiores restrições relacionadas às características naturais do ambiente, enquanto as bacias de retenção são as que se adequam com maior facilidade às diferentes condições. Enfatiza-se que as características dos locais podem ser alteradas pela ação humana para adequar o ambiente à MAD que se desejaria implantar.

Para maximizar os resultados é preciso que os dados de entrada tenham a maior qualidade possível. Para a utilização em caso prático, devem ser realizados os

levantamentos *in loco*, obtendo dados refinados e em escala compatível. Estes levantamentos precisam ser feitos quando da realização de um projeto de implantação, portanto não representam etapa adicional, e permitem a extração de melhores resultados do sistema de escolha.

Em relação aos espaços livres utilizados como teste para a aplicação, percebe-se que embora possuam funções importantes e definidas no contexto da cidade, sob o olhar da drenagem poderiam ser mais bem utilizados, sendo mais do que apenas áreas não impermeabilizadas. Mesmo no caso da Área 1 e a Área 2, que não apresentam condições mais favoráveis à instalação das MAD, faltam projetos que busquem uma forma de utilização desse tipo de ambiente de maneira mais eficiente na drenagem urbana. Nesse contexto, o desenho urbano pode utilizar conceitos do Projeto Urbano Sensível à Água para agregar funcionalidades às áreas livres.

Nos momentos de crise, como na chuva em fevereiro de 2019, a população afetada demanda soluções, porém na maioria dos casos, não percebe que essas áreas podem se tornar importantes alternativas. A tendência da gestão urbana é buscar o envolvimento da população, portanto essa percepção deve ser incentivada sempre que possível.

Outro ponto percebido é a escassez de trabalhos recentes que possam servir de base para determinação das condicionantes de projeto. Vários manuais e artigos tem como base estudos da década de 80 e 90. Por exemplo, Schueler e Azzout et al., com trabalhos publicados em 1987 e 1994, respectivamente, são as principais referências do Plano Diretor de drenagem para a bacia do rio Iguaçu na região metropolitana de Curitiba (SUDERHSA, 2002). Este, por sua vez, é a referência dos manuais de drenagem de São Paulo, de 2012, e do Distrito Federal, de 2018. Percebe-se que, mesmo que os manuais sejam mais recentes, não há renovação dos valores de referência utilizados.

Além disso, a maioria da bibliografia possui mais de quinze anos, e ainda assim com informações muito genéricas: lençol freático não pode ser alto, a declividade não pode ser muito alta ou muito baixa, a condutividade do solo deve ser boa. São raros os autores que dizem o que significa um lençol freático alto, qual o seu valor de referência, assim como informações mais precisas sobre declividade e condutividade hidráulica do solo e como esses valores influenciam cada medida alternativa de drenagem. Mesmo que, para algumas medidas alternativas as

pesquisas tenham sido mais fáceis de se realizar, por haver maior gama de informações e pesquisas mais atuais, como é o caso da biorretenção e pavimentos permeáveis, verifica-se que ainda se utilizam de informações genéricas.

A proposta inicial desta tese considerava pontuar, além das características físicas passíveis de medição, a função dada à medida escolhida. Cada MAD poderia ter variados usos além da prevenção e minimização de alagamentos. Para isso, seria criada uma segunda etapa de pontuação. Cada MAD teria uma pontuação definida para cada uso pesquisado. Porém, para essa segunda etapa, também se encontrou bibliografia escassa sobre a temática. Assim, a valoração para as diferentes funções possíveis e até mesmo a extensão da segunda parte do sistema acabou por fugir do escopo inicial proposto. A coleta dos dados necessários para embasar e definir as pontuações de função podem ser objeto de estudo futuro, mantendo-se a mesma base de concepção e agregando informações ao sistema de suporte à tomada de decisão.

6 CONCLUSÃO

Esta tese permitiu o desenvolvimento de um sistema de suporte à decisão que pode facilitar a difusão das medidas alternativas de drenagem como uma forma de complementação aos sistemas convencionais aplicados nas cidades. A organização e sistematização dos valores de referência facilita a visualização da possibilidade de implantação das MAD nas áreas livres urbanas para mitigação de alagamentos.

Para esse desenvolvimento, foram estruturados objetivos específicos: a) Criar um sistema de pontuação das variáveis identificadas como condicionantes naturais para implantação das medidas alternativas de drenagem pluvial urbana; b) Testar o sistema desenvolvido, em áreas selecionadas e conhecidas; e, c) Analisar o sistema suporte à tomada de decisão para implantação de medidas alternativas.

O primeiro objetivo específico foi cumprido ao se adquirir dados sobre condicionantes físicas naturais para instalação de medidas de drenagem alternativa e utilizar os métodos de UNESCO (1987), Kendall (1938) e Weatherburn (1962) para criar funções de utilidade multidimensional que permitem realizar a pontuação dos parâmetros com base dados específicos dos locais de aplicação. O segundo objetivo específico teve seus resultados apresentados seção 5 pela aplicação do sistema desenvolvido no estacionamento da PUCPR, na Praça Brigadeiro Eppinghaus e no Bosque do Alemão. E, o terceiro objetivo específico foi tratado na seção 5.4, com as considerações sobre a criação e aplicação do sistema.

As limitações da tese referem-se, principalmente, às referências utilizadas, tanto para elaboração das normalizações e das funções de utilidade multidimensional quanto para aplicação do sistema. Houve dificuldade na localização de estudos recentes para a determinação de valores de referência, e a maioria das condicionantes encontradas na bibliografia eram tratadas de maneira genérica. Para a aplicação, parte dos dados disponíveis encontrava-se em escala maior do que a desejável, e fugia do escopo desta tese o levantamento de dados refinados, que seriam os mais recomendáveis para a aplicação do sistema.

Apesar da margem de erro encontrada nas funções de utilidade multidimensional, representada pelos coeficientes de determinação, pela facilidade de aplicação o sistema de escolha pode ser utilizado na prática, porém não por usuários leigos, pois depende de interpretação técnica para melhor utilização. Não

foi localizado outro sistema que auxilie a tomada de decisão da perspectiva das características locais, com a organização dos valores de referência e sua sistematização. Assim, o método criado pode colaborar para difusão de instalação das MAD.

A planilha eletrônica que automatiza o cálculo das funções de utilidade multidimensional já facilita a aplicação, mas o sistema poderá ainda ser migrado para uso em dispositivos móveis por meio de aplicativo. Unido à inteligência artificial, o aplicativo poderia dar opções de interpretação, utilizando o conhecimento dos técnicos que o utilizassem, possibilitando que no futuro o sistema esteja disponível para leigos. Com isto, poderia ser aplicado para instalação de estruturas de controle na fonte, como prioriza a drenagem sustentável, retendo a água pluvial de forma pontual e dispersa nas cidades, com impacto na magnitude dos eventos de alagamentos. Além disso, o sistema pode ser associado a bancos de dados georreferenciados. Com a automatização do cálculo, é possível que os softwares de geoprocessamento retornem mapas de aptidão, especializando os resultados. Cabe aqui mencionar que esses dados georreferenciados devem possuir confiabilidade aceitável para a aplicação pretendida.

Também em estudos futuros, pode-se aprofundar a utilização dos possíveis usos secundários das MAD a serem implantadas para composição do sistema de pontuação, provendo mais informações para sustentar a escolha de uma MAD para uma área específica. Além disso, a inserção de pesos para refinamento do sistema pode ser estudada a partir da discussão das partes interessadas na aplicação do sistema, além de considerar o envolvimento da comunidade, visto que são diretamente afetados pela aplicação de medidas WSUD.

Para a gestão urbana fica a contribuição de um novo instrumento, que permite ao gestor visualizar outras formas de uso para áreas livres nas cidades, oferecendo um meio de se considerar a possibilidade de instalação de medidas alternativas de drenagem de forma mais ágil e prática. Também possibilita a criação de cenários, com alteração do meio natural para adequação da área à MAD que se deseja aplicar.

Ressalta-se que a drenagem sustentável não descarta a utilização das técnicas de drenagem convencional, pois técnicas como as MAD auxiliam com a redução dos picos de vazão que chegam ao sistema convencional e, portanto, não o substituem. Por fim, espera-se que o sistema de suporte à decisão fomente

discussões futuras. A impermeabilização do solo é em geral vista como o principal fator que leva às inundações e alagamentos, porém o sub-aproveitamento dos espaços livres urbanos também tem sua parcela nestes eventos.

REFERÊNCIAS

- ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15527**: Água de chuva - Aproveitamento de coberturas em áreas urbanas para fins não potáveis – Requisitos. Rio de Janeiro, 2007.
- ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9781**: Peças de concreto para pavimentação – Especificação e métodos de ensaio. Rio de Janeiro, 2013.
- ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16416**: Pavimentos permeáveis de concreto - Requisitos e procedimentos. Rio de Janeiro, 2015.
- ACIOLI, L. A. **Estudo experimental de Pavimentos Permeáveis para o controle do escoamento superficial na fonte**. 2005. Dissertação de mestrado (Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2005.
- AISSE, M. M. Sistemas Alternativos para Microdrenagem Pluvial Urbana: Ênfase na Retenção do Escoamento Superficial. **Revista Acadêmica**. VII(2): 35-45. Dezembro, 1997.
- AMORIM, N. C. R. **O Sistema de Espaços Livres na Forma Urbana de Patos de Minas**. 2015. 164 f. Dissertação de Mestrado (Arquitetura e Urbanismo) - Universidade Federal de Uberlândia. Uberlândia, 2015. Disponível em: <<https://repositorio.ufu.br/handle/123456789/12272>>. Acesso em: jan. 2019.
- ANDRADE, Liza Maria Souza de. **Conexão dos padrões espaciais dos ecossistemas urbanos**: a construção de um método com enfoque transdisciplinar para o processo de desenho urbano sensível à água no nível da comunidade e da paisagem. 2014. 544 f., il. Tese (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo) – Universidade de Brasília, Brasília: 2014.
- ARGUE J.R. (ed). WSUD: Basic Procedures for “Source Control” of Stormwater – a Handbook for Australian practice. **Urban Water**. Adelaide, 2004. Disponível em: <<http://www.waterbucket.ca/rm/sites/wbcmr/documents/media/55.pdf>>. Acesso em: nov. 2015
- AZZOUT, Y.; BARRAUD, S.; CRES, F.N.; ALFAKIH, E. **Techniques Alternatives en Assainissement Pluvial**: Choix, Conception, Réalisation et Entretien, LCPC, INSA Lyon, Certu, Agences de l’Eau, Lavoisier Technique et Documentation, Paris, 1994.
- BAPTISTA, M.; NASCIMENTO, N.; BARRAUD, S. **Técnicas Compensatórias em Drenagem Urbana**. 2 ed. Porto Alegre: ABRH, 2005.
- BARBOSA, F. A. R. **Medidas de proteção e controle de inundações urbanas na bacia do rio Mamanguape/PB**. 2006. 116 f. Dissertação de Mestrado (Engenharia Urbana) – Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2006.
- BARRIE, J. M. **Peter Pan**. 1911. Tradução: Julia Romeu. 1 ed. – Rio de Janeiro:

Zahar, 2013.

BARNETT, J. **An introduction to urban design**. New York: Harper & Row, 1982.

BENZERRA, A.; CHERRARED, M.; CHOCAT, B.; CHERQUI, F.; ZEKIOUK, T. Decision support for sustainable urban drainage system management: A case study of Jijel, Algeria. **Journal of Environmental Management**. v. 101, p. 43-56, 2012. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301479712000382>>. Acesso em: out. 2018.

BERNARDO, S; SOARES, A. A.; MANTOVANI, E. C. **Manual de irrigação**. 8.ed. Viçosa: UFV, 2006. 625p.

BERTOLINO, A. **Medidas de baixo impacto para o controle das inundações e alagamentos em bacias hidrográficas urbanas aplicadas na Bacia Hidrográfica do Rio Belém, Curitiba, Paraná**. 2013. 125f. Dissertação de Mestrado (Gestão Urbana) – Pontifícia Universidade Católica do Paraná, Curitiba, 2013.

BERTOLINO, A.; GARCIAS, C. M.; MOURA, E. N.; CASTRO, S. L. I. Medidas de Baixo Impacto para o Controle de Alagamentos e Inundações Aplicadas na Bacia Hidrográfica do Rio Belém em Curitiba, Paraná. **Enciclopédia Biosfera**. Centro Científico Conhecer: Goiânia, v.13, n.23, p. 764-779, 2016. Disponível em <<http://www.conhecer.org.br/enciclop/2016a/agrarias/Medidas%20de%20baixo.pdf>>. Acesso em jan. 2018.

BERTONI, J. e LOMBARDI NETO, F. **Conservação do Solo**. 3 ed. Ícone Editora: São Paulo, 1993.

BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do solo**. 4.ed. São Paulo: Ícone, 1999. 355p.

BETIM, L. S. **Caracterização da condutividade hidráulica dos solos e estudo da vulnerabilidade à contaminação dos aquíferos da sub-bacia do Córrego Palmital Viçosa/MG**. 2013. Dissertação de Mestrado - UFV - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. 2013. Disponível em: <<https://www.locus.ufv.br/handle/123456789/3792>>. Acesso em: 14 fev. 2020.

BEZA, B.; ZEUNERT, J.; HANSON, F. The Role of WSUD in Contributing to Sustainable Urban Settings. In: SHARMA, A.; GARDNER, T.; BEGBIE, D. (Ed). **Approaches to Water Sensitive Urban Design**. 1 ed. Elsevier: Austrália, 2019, p. 367-380. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780128128435000186>>. Acesso em: fev. 2019.

BRASIL. Lei Federal nº 12.340, de 01 de dezembro de 2010. **Diário Oficial da União**. Brasília, 2010. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato/2007-2010/2010/lei/l12340.htm>. Acesso em: jan. 2018.

BRASIL. Lei Federal nº 10.257, de 10 de julho de 2001. **Diário Oficial da União**. Brasília, 2001. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/leis_2001/l10257.htm>. Acesso em: dez. 2017.

BRASIL. Lei Federal nº 11.445, de 05 de janeiro de 2007. **Diário Oficial da União**. Brasília, 2007. Disponível em <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2007/lei/l11445.htm>. Acesso em abr. 2017.

BRASIL. Lei nº 12,608, de 10 de abril de 2012. **Diário Oficial da União**. Brasília, 2012b. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2011-2014/2012/Lei/L12608.htm>. Acesso em: jan. 2018.

BRASIL. Ministério da Integração Nacional. Instrução Normativa nº 001, de 24 de agosto de 2012. **Diário Oficial da União**. Brasília, 2012a. Disponível em: <http://www.mi.gov.br/c/document_library/get_file?uuid=21ba1a8a-8616-4b89-b159-c329093c3ac6&groupId=185960>. Acesso em: dez. 2017.

BRITES, A. P. Z. **Soluções Sustentáveis para a Drenagem Urbana**. São Paulo, 2017.

BROWN R.; KEATH, N.; WONG, T. Transitioning to Water Sensitive Cities: Historical, Current and Future Transition States. In: International Conference on Urban Drainage, 11. **Anais...** Edimburgo, 2008. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/228344384_Transitioning_to_water_sensitive_cities_historical_current_and_future_transition_states>. Acesso em: ago. 2018.

CABEDA, M. S. Degradação física e erosão do solo. In: Simpósio de Manejo do Solo e Plantio Direto no Sul do Brasil, 1., Simpósio de Conservação do Solo do Planalto, 3. Passo Fundo, 1984. **Anais...** Passo Fundo: PIVCS e UPF - Faculdade de Agronomia, 1984. p.28-33.

CAETANO, F. D. N.; TIBIRIÇÁ, A. C. G.; SANTOS, G. L. A. A. **Sistema de cobertura verde para uma edificação na área de saúde numa IFES**. XIII Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, Canela, out. 2010. Disponível em: <<http://www.infohab.org.br/entac2014/2010/arquivos/618.pdf>>. Acesso em dez. 2018.

CAMPOS, M. A. S. **Aproveitamento de água pluvial em edifícios residências multifamiliares na cidade de São Carlos**. 2004. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil – Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2004.

CÁRDENAS, E. H. S. **Avaliação dos Sistemas Urbanos de Drenagem Sustentável Mediante o Modelo Urban Water Use (UWU) em Área Urbana da Cidade de Curitiba**. 2017. 113f. Dissertação de Mestrado (Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental) - Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2017.

CARMO, R.L.; SEIXAS, S.R.C.; VARGAS, M.C. Vulnerabilidades às mudanças climáticas no litoral paulista: urbanização, saneamento e saúde. In: Encontro Nacional da ANPPAS, 6., **Anais...** Belém, 2012, p. 18-21. Disponível em: <<http://www.anppas.org.br/encontro6/anais/ARQUIVOS/GT11-742-465-20120715073551.pdf>>. Acesso em: fev. 2018.

CARMONA, M.; HEATH, T.; OC, T.; TIESDELL, S. **Public Places - Urban Spaces: the dimensions of urban design**. 2 ed. Londres: Routledge, 2010.

CASSILHA, GILDA A.; CASSILHA, SIMONE A. **Planejamento Urbano e Meio Ambiente**. Curitiba: IESDE Brasil S.A., 2009-176 p.

- CASTRO, A. L. C. de; **Glossário de Defesa Civil Estudos de Riscos e Medicina de Desastres**. 5 ed. Ministério da Integração Nacional (Secretaria Nacional de Defesa Civil): Brasília, 2009, 191 p. Disponível em <http://www.mi.gov.br/c/document_library/get_file?uuid=71458606-5f48-462e-8f03-4f61de3cd55f&groupId=10157>. Acesso em jan. 2018.
- CASTRO, S. L. I. C. **Análise de métodos diretos de avaliação de perdas e danos e seu papel na gestão de inundações**. 2016. Dissertação de Mestrado (Gestão Urbana) - Pontifícia Universidade Católica do Paraná, Curitiba, 2016.
- CAVANAGH, J. E. et. al. Spatial attenuation of ambient particulate matter air pollution within an urbanized native forest patch. **Urban Forestry and Urban Greening**, v.8, p. 21-30, 2009.
- CIRIA. **Water Sensitive Urban Design in the UK: Ideas for built environment practitioners**. Londres, 2013. Disponível em: <<http://www.ciria.org/documents/wsudreport/index.html#/6/>>. Acesso em: nov. 2015.
- CITY OF MELBOURNE. **WSUD Guidelines: Applying the Model WSUD Guidelines, An Initiative of the Inner Melbourne Action Plan**. Melbourne, 2018. Disponível em <<https://www.melbourne.vic.gov.au/SiteCollectionDocuments/wsud-full-guidelines.pdf>>. Acesso em: nov. 2018.
- CITY OF PORTLAND. **Springtime is Rain Garden Time**. Portland, 2014. Disponível em, <<https://www.portlandoregon.gov/bes/article/486284>>. Acesso em: jan. 2019.
- CITY OF PORTLAND. **What do rain gardens have to do with CSOs?** Portland, 2018. Disponível em <<https://www.portlandoregon.gov/bes/article/565073>>. Acesso em: out. 2018.
- CITY OF SYDNEY. **Sustainable Sydney 2030 Community Strategic Plan**. Sydney, 2011. Disponível em <https://www.cityofsydney.nsw.gov.au/__data/assets/pdf_file/0005/99977/6645_Final-version-Community-Strategic-Plan-IPR-Document_FA4-1_low-res.pdf>. Acesso em: dez. 2018.
- COELHO, M. **Pontifícia Universidade Católica do Paraná - Plano Diretor**. Curitiba, 2020. Disponível em: <<http://www.mcacoelho.com.br/?portfolio=plano-diretor>>. Acesso em: abr. 2020.
- COFFMAN, L.S.; CHENG, M; WEINSTEIN, N.; CLAR, M. Low-Impact Development Hydrologic Analysis and Design. In Annual Conference on Water Resources Planning and Management, 25, **Proceedings...**Nova Iorque: 1998.
- COMISSÃO EUROPEIA. **The future of cities: How can public space in a city help to address future urban challenges?** Bruxelas. 2019. Disponível em: <<https://urban.jrc.ec.europa.eu/thefutureofcities/space-and-the-city#the-chapter>>. Acesso em: fev. 2020.
- COOMBES, P.J.; ARGUE, J.R.; KUCZERA, G. Figtree Place: A Case Study in Water Sensitive Urban Development (WSUD). **Urban Water**. v.1. Adelaide: 1999, p. 335-343. Disponível em <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1462075800000273>>. Acesso

em: nov. 2015

COORDENADORIA ESTADUAL DA DEFESA CIVIL. **Relatório de Ocorrências.**

Curitiba. 2020. Disponível em:

<http://www.sisdsc.pr.gov.br/sdc/publico/relatorios/ocorrencias_geral.jsp>. Acesso em jan. 2020.

COSTA, H.; TEUBER, W. **Enchentes no Estado do Rio de Janeiro: uma abordagem geral.** Rio de Janeiro: SEMADS, 2001. 160p. Disponível em

<<http://www.bibliotecaflorestal.ufv.br/handle/123456789/10809>>. Acesso em fev. 2017.

COUTINHO, N. C. de A. **Desastres, Cidadania e o Papel do Estado: As Relações entre os Direitos Fundamentais e a Proteção contra Desastres “Naturais” Hidrológicos.** 2014. 281 f. Tese de Doutorado (Direito Político e Econômico) – Universidade Presbiteriana Mackenzie, 2014.

DAVIS, A. L. et al. BioretentionTechnology: overview of current practice and future needs. **Journal of Environmental Engineering**, v. 135, n. 3, p. 109-117, 2009.

DÉGARDIN, F.; GAIDE, P. A. Valoriser les Zones Inondables dans l'Aménagement Urbain Repères pour une Nouvelle Démarche. In: **Dossier Eau et Aménagement.** Collection Dossiers. Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement. Centre d'Études sur le Réseaux, les Transports, l'Urbanisme et les Constructions Publiques. Paris, 1999, 231p.

DEL RIO, V. **Introdução ao Desenho Urbano no Processo de Planejamento.** São Paulo: Pini, 1990.

DELETIC, A., FLETCHER, T. D., HATT, B., MCCARTHY, D. **Stormwater Treatment Technologies: Latest advances, principles and Design Procedures.** Civil Eng. Dept., Monash University, VIC, Australia, 2010.

DESTRO, C. A. M. **The urban water use model as a tool to support the evaluation of sustainable drainage measures in brazilian cities.** 2016. 153f. Tese de Doutorado (Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental) - Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2016.

DICKINSON, R. **BMP, LID, SUDS, WSUD e Infraestrutura Verde – práticas que revolucionam a drenagem urbana.** Disponível em <swmm5.org/2015/11/20/bmp-lid-suds-wsud-e-infraestrutura-verde-praticas-que-revolucionam-a-drenagem-urbana/>. Acesso em: set.2018.

DNIT - DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTE. **Projetos básico e executivo de engenharia para as obras de restauração, manutenção e conservação de rodovia C.R.E.M.A – 2ª Etapa.** 2013. Disponível em:

<http://www.antt.gov.br/backend/galeria/arquivos/basicocrema242vol_1tomo_5.pdf>. Acesso em jan. 2020.

DPLG – DEPARTMENT OF PLANNING AND LOCAL GOVERNMENT. **Water Sensitive Urban Design Technical Manual for the Greater Adelaide Region.** Adelaide: Government of South Australia, 2010. Disponível em

<<https://www.sa.gov.au/topics/planning-and-property/land-and-property-development/planning-professionals/water-sensitive-urban-design>>. Acesso em: set. 2018

DUARTE, Fábio. **Planejamento urbano**. Curitiba: IBPEX, 2007. 177 p.

ELLIOT, A. H; TROWSDALE, S. A. A Review Of Models For Low Impact Urban Stormwater Drainage. **Environmental Modelling And Software**, Auckland, v.22, n.3, p. 394-405, 2007. Disponível em <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364815206000053>>. Acesso em: mar. 2017.

EWING, C. **Assessment of International Bioretention Soil Media: Guidelines and Experiences**. Copenhagen, 2013.

FAUSTINO, A. S. **Gestão de águas pluviais urbanas através da abordagem water sensitive urban design: desafios e potencialidades para o município de São Carlos SP**. São Carlos, São Paulo. 2017. Dissertação (Pós-Graduação em Engenharia Urbana) – Universidade Federal de São Carlos, 2017. Disponível em <<https://repositorio.ufscar.br/handle/ufscar/9585>>. Acesso em: dez. 2018.

FENDRICH, R. Economia de água potável pelo uso de sistema de coleta, armazenamento, utilização e infiltração das águas pluviais. **Engenharia e Construção**, p. 67-72, abr. 2004.

FENDRICH, Roberto; et al. **Estudo da implantação de bacias de amortecimento em sistemas de macrodrenagem pluvial urbana**. Curitiba. Relatório Técnico, Instituto de Saneamento Ambiental, Pontifícia Universidade Católica do Paraná, 117p., 1982.

FREITAS, C. O. de A. **Estudo de Vazões da Bacia Hidrográfica do Rio Belém**. v. 1. Instituto de Saneamento Ambiental: Curitiba, 1998. 124 p.

GABRIEL, B. **Processos comunicativos na difusão de informações sobre rios urbanos: revitalização do rio Belém**. 2013. 193p. Dissertação (Mestrado) – Pontifícia Universidade Católica do Paraná, Curitiba, 2013.

GARBOGINNI, F. B. **O potencial dos espaços urbanos na qualificação urbana: uma experiência piloto na cidade universitária Zeferino Vaz**. 2012. 546f. Tese de Doutorado (Arquitetura, Tecnologia e Cidade) - Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo da Unicamp. Campinas, 2012.

GARRIDO NETO, P. de S. **Telhados verdes associados com sistema de aproveitamento de água da chuva: Projeto de dois protótipos para futuros estudos sobre esta técnica compensatória em drenagem pluvial urbana e prática sustentável na construção civil**. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Civil) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2012. Disponível em: <<http://monografias.poli.ufjf.br/monografias/monopoli10004589.pdf>>. Acesso em: mai. 2018.

GEOGHEGAN, J. The value of open spaces in residential land use. **Land Use Policy**. 2002. 19: 91-98. Disponível em <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0264837701000400>>. Acesso

em out. 2018.

GIUSTI, Donizeti Antonio. **Contribuição a geologia ambiental no município de Curitiba PR.** São Paulo. 115p. 1989.

GONÇALVES A. B.; OLIVEIRA R. H. Pavimentos permeáveis e sua influência sobre a Drenagem. Seminário da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. **Anais...** São Paulo, 2014. Disponível em <www.pha.poli.usp.br/learq.aspx?ld_arq=118_052014>. Acesso em: ago. 2018.

GONÇALVES, A. A.; SOUSA, E. F. de; LIMA, I. da S.; SALAZAR, R. C.; GOMES FILHO, R. R. **Determinação da velocidade de infiltração básica da água no neossolo por meio de anéis de concêntricos na área experimental da UFS.** XXV CONIRD – Congresso Nacional de Irrigação e Drenagem. São Cristovão/SE, 2015.

GONÇALVES, A. D. M. A.; LIBARDI, P. L. Análise da determinação da condutividade hidráulica do solo pelo método do perfil instantâneo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo.** Viçosa, 2013. Vol 37. p. 1174-1184. Disponível em: <<https://www.sbc.org.br/wp-content/uploads/2013/11/07-177.pdf>>. Acesso em: ago. 2018.

GOVERNMENT FOR WESTERN AUSTRALIA. **Stormwater Management Manual for Western Australia.** 2007. Disponível em: <http://www.water.wa.gov.au/__data/assets/pdf_file/0020/4772/44217.pdf>. Acesso em set. 2018.

HANNES, E. Espaços abertos e espaços livres: um estudo de tipologias. **Paisagem e Ambiente:** Ensaios. n. 37 - São Paulo. p. 121-144, 2016.

HAYAKAWA, I. F. **Situações de risco ambiental como definidoras de inflexões no planejamento e na gestão urbana:** um estudo na cidade de Curitiba – Paraná. Dissertação (Mestrado em Gestão Urbana) - Pontifícia Universidade Católica do Paraná, Curitiba, 2008.

HAYAKAWA, I. F.; ULTRAMARI, C. **Situações de risco como definidoras de inflexões no planejamento e na gestão urbana:** um estudo em Curitiba. In: Encontro Nacional de Estudos Populacionais, 16., 2008, Caxambu. Anais... Caxambu, 2008. Disponível em <<http://www.abep.org.br/publicacoes/index.php/anais/article/view/1814/1773>>. Acesso em: jan. 2018.

HOYER, J. et. al. **Water Sensitive Urban Design:** Principles and Inspiration for Sustainable Stormwater Management in the City of the Future. Manual. Hamburgo, 2011. 118 p.

HUI, S. C. M. Benefits and potential applications of green roof systems in Hong Kong, In **Proceedings of the 2nd Megacities International Conference 2006,** 2006, Guangzhou, China, pp. 351-360.

INHABITAT. **A swirling green roof tops the gorgeous Nanyang Technical University in Singapore.** Califórnia, 2015. Disponível em: <<https://inhabitat.com/amazing-green-roof-art-school-in-singapore/>>. Acesso em set. 2018.

- INSTITUTO DAS ÁGUAS DO PARANÁ. **Mapas e Dados Espaciais**. 2013. Disponível em <<http://www.aguasparana.pr.gov.br/modules/conteudo/conteudo.php?conteudo=79>>. Acesso em fev. 2020
- IPPUC – INSTITUTO DE PESQUISA E PLANEJAMENTO URBANO DE CURITIBA. **Banco de Dados – Mapas Temáticos**. 2013. Disponível em <<http://ippuc.org.br/geodownloads/geo.htm>>. Acesso em fev. 2020
- IPPUC. **Ortofotos**. Curitiba, 2015. Disponível em <<http://ippuc.org.br/geodownloads/ortofoto/Aerofotos.html>>. Acesso em: out. 2018
- JAMBO, J. B. **Uso do Conceito WSUD (Water Sensitive Urban Design) na Transição para Cidades “Sensíveis” à Água um Estudo de Caso de Teresópolis, RJ**. Trabalho de Conclusão de Curso (Curso de Engenharia Civil) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2017.
- KENDALL, M. G. A New Measure of Rank Correlation. **Biometrika**. 1938 Volume 30, pp. 81–93. Disponível em: <<https://doi.org/10.1093/biomet/30.1-2.81>>. Acesso em: jan. 2019.
- KIM, W. K.; WENTZ, E. **Complicated Simplicity: A Case Study on Urban Open Spaces in Phoenix Metropolitan Area**. Phoenix, 2002.
- KNOPKI, P. B. **Avaliação da qualidade de vida dos moradores da bacia hidrográfica do rio Belém e sua relação com variáveis ambientais**. 2008. 94 f. TCC (Engenharia Ambiental) - Pontifícia Universidade Católica do Paraná, Curitiba, 2008.
- KOBAYASHI, F. Y.; FAGGION, F. H. M.; DEL BOSCO, L. M.; CHIRINÉA, M. L. B. FERNANDES, M. **Drenagem Urbana Sustentável**. Água em Ambientes Urbanos. Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. 2008. Disponível em: <http://www.pha.poli.usp.br/LeArq.aspx?id_arq=3040>. Acesso em abr. 2020.
- KOBIYAMA, M. CHECCHIA, T.; SILVA, R.V.; SCHRÖDER, P.H.; GRANDO, A.; REGINATTO, G.M.P. **Papel da comunidade e da universidade no gerenciamento de desastres naturais**. In: I Simpósio Brasileiro de Desastres Naturais, 2004, Florianópolis. Florianópolis: GEDN, Anais, 2004. p. 834-846.
- KOBIYAMA, M. et al. **Prevenção de desastres naturais: conceitos básicos**. 1 ed. Curitiba: Organic Trading, 2006, 109 p.
- LANG, J. **Urban design: a typology of procedures and products**. Burlington: Architectural Press, 2005.
- LEITE, Maria Angela Faggin Pereira. Um sistema de espaços livres para São Paulo. **Estudos Avançados**. São Paulo, v. 25, n.71, p. 159-174, Apr. 2011. Disponível em <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-40142011000100011&lng=en&nrm=iso>. Acesso em fev. 2020.
- LI, J. Q.; CHE, W.; GE, R. L. Control Effects comparison of Three Kinds of Typical LID Infiltration and Emission Reduction Measures: Beijing case study. In: International Low Impact Development Conference, San Francisco, 2010.

Proceedings...San Francisco, California, 2010.

LI, J. Q.; ZHAO, W. W. **Design and Hydrologic Estimation Method of Multi-Purpose Rain Garden:** Beijing case study. In: International Low Impact Development Conference, Seattle, 2008.

LIMA-QUEIROZ, J. C et al. Avaliação do risco de inundação em Itajubá através do Método – Inondabilité. In: Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 15., 2003, Curitiba. **Anais**, Curitiba, 2003.

LLOYD, S.D., WONG, T.H.F. CHESTERFIELD, C.J. Opportunities and Impediments to Water Sensitive Urban Design in Australia. **Proceedings of the 2nd South Pacific Stormwater Conference**, Auckland, New Zealand, p. 302-309, jun. 2001.

MACEDO et al. Sistemas de espaços livres privados – o outro lado do sistema de espaços livres urbanos: reflexões preliminares. In: MACEDO, Silvio Soares et al (Org.). **Sistemas de espaços livres:** conceitos, conflitos e paisagens. São Paulo: FAUUSP, 2011, p. 33-53.

MAGNOLI, M. **Espaços livres e urbanização:** Uma introdução a aspectos da paisagem metropolitana. 1982. Tese (Livre-Docência) – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1982. Disponível em: <<http://www.revistas.usp.br/paam/issue/view/3333>>. Acesso em: fev. 2020.

MANNINGEL, A. R.; CARVALHO, M. P. C.; MORETI, D.; MEDEIROS, L. R. Fator erodibilidade e tolerância de perda dos solos do Estado de São Paulo. **Acta Scientiarum**. Maringá. v. 24, n. 5, p. 1335-1340, 2002. Disponível em <<http://periodicos.uem.br/ojs/index.php/ActaSciAgron/article/download/2374/1787>>. Acesso em jan. 2020.

MARCHIONI, M.; SILVA, C. O. **Pavimento Intertravado Permeável - Melhores Práticas**. Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP). São Paulo, p. 24, 2011. Disponível em <www.abcp.org.br/cms/wp-content/files_mf/Cartilha_Pav_Intertravado_Permeavel_v1.pdf>. Acesso em: ago. 2018.

MASCARÓ, J. L.; YOSHINAGA, M. **Infra-estrutura urbana**. Porto Alegre: Masquatro, 2005. 207 p.

MELBOURNE WATER. **WSUD Engineering Procedures:** Stormwater. Melbourne: CSIRO Publishing. 2005.

MELCHIORRI, M.; PESARESI, M.; FLORCZYK, A. J.; CORBANE, C.; KEMPER, T. Principles and Applications of the Global Human Settlement Layer as Baseline for the Land Use Efficiency Indicator - SDG 11.3.1. **International Journal of Geo-Information**. 2019, 8(2), p. 96 <<https://www.mdpi.com/2220-9964/8/2/96/htm>>. Acesso em jan. 2020.

MELO, T. dos A.T. de et al. Jardim de chuva: sistema de biorretenção para o manejo das águas pluviais urbanas. **Ambiente construído**, Porto Alegre, v. 14, n. 4, p. 147-165, 2014. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1678-86212014000400011&lng=en&nrm=iso>. Acesso em: Jun. 2018.

MENNEH, M. H. Uma revisão no desenho dos espaços livres urbanos dos conjuntos residenciais do "urbanismo moderno". **Paisagem Ambiente: Ensaios**. São Paulo n. 11 p. 41 - 70. 1998

MICHAELIS. **Moderno Dicionário da Língua Portuguesa**. Disponível em: <<http://michaelis.uol.com.br/moderno/portugues/index.php>>. Acesso em: jan. 2020.

MIGUEZ, M.; REZENDE, O.; VERÓL, A. **Drenagem Urbana: Do Projeto Tradicional à Sustentabilidade**. Elsevier, Brasil. 2016.

MINAS GERAIS. **Lei nº 20.009, de 4 de janeiro de 2012**. Belo Horizonte, 2012. Disponível em <<http://ws.mp.mg.gov.br/biblio/informa/130116845.htm>>. Acesso em dez. 2017.

MINISTERIO DO MEIO AMBIENTE. **Carta das águas subterrâneas do Paraná**. Resumo executivo. Secretaria de Recursos Hídricos e Ambiente Urbano – Brasília, 337 p., 2015. Disponível em: <<http://www.aguasparana.pr.gov.br/arquivos/File/PUBLICACOES/LivroR5.pdf>>. Acesso em 23 jan. 2020.

MINKE, G. **Techos verdes - Planificación, ejecución, consejos prácticos**. Uruguai: Editora Fin de Siglo, 2005.

MISSION ENGINEERS. **Vegetated Swale to reduce pollution runoff into the storm drain system**. San Jose, 2018. Disponível em: <<http://www.missionengineersinc.com/19901/19922.html>>. Acesso em: dez. 2018.

MMA – MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. Resolução Conama 375, de 29 de agosto de 2006. **Diário Oficial da União**. Brasília, 2006. Disponível em: <<http://www2.mma.gov.br/port/conama/res/res06/res37506.pdf>>. Acesso em: abr. 2020.

MORETTI, R. S.; NISHIHATA, N. M. **Melhorias do manejo de águas pluviais urbanas: possibilidades associadas aos estacionamentos**. In: XI Encontro Nacional de Tecnologia no Ambiente Construído. Florianópolis, 2006. Disponível em: <http://www.infohab.org.br/entac2014/2006/artigos/ENTAC2006_2835_2843.pdf>. Acesso em: out. 2018.

MOURA, P. M. **Contribuição para a avaliação global de sistemas de drenagem urbana**. Dissertação de Pós-Graduação em Saneamento, Meio Ambiente, Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, 2004. Disponível em <<http://www.smarh.eng.ufmg.br/defesas/110M.PDF>>. Acesso em: set. 2018.

MULLANEY, J; LUCKE, T. Practical Review of Pervious Pavement Designs. In: **CLEAN - Soil Air Water**. Austrália, 2013.

NASCIMENTO, N. O.; BAPTISTA, M. B. **Técnicas Compensatórias em águas Pluviais**. In: RIGHETTO, A. M. (Coord.). Manejo de Águas Pluviais Urbanas. Rio de Janeiro: Abes, 2009.

NETO, S.L.R. **Um modelo conceitual de sistema de apoio à decisão espacial para gestão de desastres por inundações**. São Paulo: USP, 2000. 231p. (Tese de doutorado em Engenharia)

NOTO, Felipe de Souza. **O quarteirão como suporte da transformação urbana de São Paulo**. 2017. Tese (Doutorado em Projeto de Arquitetura) - Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2017. doi:10.11606/T.16.2018.tde-12122017-141651. Acesso em: 2020-03-02.

NOVOTNY, V. **Diffuse Pollution Monitoring and Abatement in the Future Cities**. (Keynote paper). In: International Workshop on TMDL Monitoring and Abatement Program presented at Konkuk University, Seul, 2008.

NUNES, J. A. S.; SILVEIRA, M. H. D.; SILVA, T. J. A. da; NUNES, P. C. M.; CARVALHO, K. dos S. Velocidade de infiltração pelo método do infiltrômetro de anéis concêntricos em latossolo vermelho de cerrado. **Enciclopédia Biosfera**, Centro Científico Conhecer, Goiânia, v.8, n.15, p.1685-1692, 2012.

NUNES, R. S. **Métodos para inserção de técnicas em gestão de águas pluviais no processo de planejamento e desenho urbano**: estudos de caso em Guarantã do Norte, na região Amazônica Brasileira, e na região metropolitana de Melbourne, Austrália. 2011. 211f. Tese de Doutorado (Pós-graduação em Planejamento Energético) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2011.

OLIVEIRA, L. A.; GONÇALVES, R. M.; MARTINS, F. P. Contraste de condutividade hidráulica em solos de texturas arenosa e argilosa encontrados nos tributários da margem esquerda do Rio Tijuco, Município de Ituiutaba, Estado de Minas Gerais, Brasil. In: **Caminhos de Geografia. Uberlândia**, v. 11, n. 33. 2010 p. 230 – 243. ISSN 1678-6343. Disponível em: <<http://www.seer.ufu.br/index.php/caminhosdegeografia/article/view/16139/9083>>. Acesso em: jan. 2019.

PAINEL INTERGOVERNAMENTAL SOBRE MUDANÇAS CLIMÁTICAS – IPCC. Grupo de Trabalho II. **Impactos, adaptação e vulnerabilidades**. Sumário para os tomadores de decisão do quinto relatório de avaliação (2014). Tradução: Magno Castelo Branco e Karla Sessin-Dilascio. São Paulo: Iniciativa Verde, 2015. Disponível em: <http://www.iee.usp.br/sites/default/files/Relatorio_IPCC_portugues_2015.pdf>. Acesso em: jan. 2017.

PARKINSON, J. Os Fatores Sócio-econômicos que Afetam as Estratégias Para Controle de Enchentes Urbanas. In: Simpósio de Recursos Hídricos do Centro-Oeste, 3, 2004, Goiânia. **Anais**.Goiânia, 2004.

PENNSYLVANIA. **Pennsylvania Stormwater Best Management Practices Manual**. 2006. Disponível em: <<https://pecpa.org/wp-content/uploads/Stormwater-BMP-Manual.pdf>>. Acesso em: dez. 2018.

PINHEIRO, A. 2007. **Enchente e Inundação**. In: SANTOS, R. F. dos (org.) Vulnerabilidade Ambiental: desastres naturais ou fenômenos induzidos? Brasília: MMA, 2007. 192p.

PINHEIRO, E. G. **Gestão pública para redução dos desastres**: incorporação da variável risco de desastre à gestão da cidade. 1 Ed. Curitiba: Appris, 2015. 221p.

PLATE, E. J. Flood risk and flood management. **Journal of Hydrology**. vol. 267, p.

2-11, 2002.

PMS (PREFEITURA MUNICIPAL DE SÃO PAULO). Secretaria Municipal de Desenvolvimento Urbano / Fundação Centro Tecnológico de Hidráulica (SMDU/FCTH). **Manual de drenagem e manejo de águas pluviais**. São Paulo: Imprensa Oficial do Estado de São Paulo, 2012.

PRINCE GEORGE'S COUNTY. Department of Environmental Resources. **Low-Impact Development Design Strategies: An Integrated Design Approach**. 123 Maryland, 2007. Disponível em: <<ftp://lowimpactdevelopment.org/pub>>. Acesso em ago. 2018.

QUEIROGA, E. F.; BENFATTI, D. M. Sistemas de Espaços Livres Urbanos: Construindo um Referencial Teórico. **Paisagem Ambiente: ensaios**. N. 24 - São Paulo - p. 81 - 88 – 2007. Disponível em: <<http://www.revistas.usp.br/paam/article/view/85699/88459>>. Acesso em: jan. 2019.

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

ROLA, Sylvia. Meimaridou. **A Natureza como Ferramenta para a Sustentabilidade de Cidades: Estudo da Capacidade do Sistema de Natureza em Filtrar a Água de Chuva**. Tese de doutorado em Planejamento Energético e Ambiental. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. 2008.

ROTH, C.H.; MEYER, B.; FREDE, H. G. A portable rainfall simulator for studying factors affecting runoff, infiltration and soil loss. **Catena**, Braunschweig, v.12, p.79-85, 1985. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0341816285800060>>. Acesso em: nov. 2018.

SALATI, E. Utilização de sistemas de wetlands construídas para tratamento de águas. **Biológico**. v.65, n.1/2, São Paulo, jan-dez, 2003.

SANTOS, D. G.; NUCCI, J. C. **Paisagens Geográficas: Um tributo a Felisberto Cavaleiro**. Campo Mourão: Editora da FECILCAM, 2009. 196 p.

SANTOS, D. Os sistemas prediais e a promoção da sustentabilidade ambiental. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 2, n. 4, p. 7-18, out/dez 2002.

SANTOS, R. F. dos. **Vulnerabilidade Ambiental** (org). – Brasília: MMA, 2007.

SCHUELER, T. **Controlling urban runoff: a practical manual for planning and designing urban BMP**. Washington, DC: Metropolitan Washington Council of Governments, 1987.

SCHUELER, T. **Design of storm-water Wetland systems: guidelines for creating diverse and effective stormwater wetland system in the Mid-Atlantic Region**. Washington, DC: Anacostia Restoration Team, Department of Environmental Programs, Metropolitan Washington Council of Governments, 1992.

SEMPRESUSTENTÁVEL. **Aproveitamento de água de chuva de baixo custo para residências urbanas**. 2018. Disponível em: <<http://www.sempresustentavel.com.br/hidrica/aguadechuva/agua-de-chuva.htm>>.

Acesso em: nov. 2018.

SOUZA, E. G. **Avaliação da capacidade de infiltração do solo da utp rio Tavares, Florianópolis/SC, para aplicação em sistemas de águas pluviais urbanas**. 2012. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - UFSC - Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental, 2012. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/125092/EI%C3%ADs%20Gomes%20de%20Souza%20%20TCC_II.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 13 fev. 2020.

SUDERHSA. **Plano diretor de drenagem para a bacia do rio Iguaçu na região metropolitana de Curitiba**. 2002. Disponível em: <www.aguasparana.pr.gov.br/arquivos/File/pddrenagem/volume6/mdu_versao01.pdf>. Acesso em: jun. 2018.

SUGIYAMA, T.; THOMPSON, C. W. Associations between characteristics of neighbourhood open space and older people's walking. *Urban Forestry and Urban Greening*, 7: 41-51. 2008.

TAYLOR, B. The Stormwater Control Potencial of Green Roofs in Seattle. Prepared for the American Society of Civil Engineers Low-impact Development Conference, Seattle, Washington. Seattle, 2008.

TOLEDO, F. S.; SANTOS, D. G. Espaços Livres de Construção. **Revista SBAU**, Piracicaba, v.3, n.1, mar. 2008, p. 73-91.

TOMAZ, P. **BMPs Best Management Practices**. 2007. Disponível em <www.pliniotomaz.com.br/downloads/livro01v02bmps.pdf>. Acesso em: out. 2018.

TOMAZ, P. Infiltração e condutividade K. In: **Curso de manejo de águas pluviais**. 2010. Disponível em: <http://www.pliniotomaz.com.br/downloads/capitulo17_hidraulica.pdf>. Acesso em: dez. 2018.

TOMINAGA, E. N. de S. **Urbanização e Cheias: Medidas de Controle na Fonte**. 2013. Dissertação de Mestrado em Engenharia Urbana. Universidade de São Paulo. Disponível em <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3147/tde-19092014-120127/publico/Dissert_Tominaga.pdf>. Acesso em: set 2018.

TREBY, E. J.; CLARK, M. J.; PRIEST, S. J. Confronting flood risk: implications for insurance and risk transfer. **Journal of Environmental Management**, v. 81, p. 351-359, 2007. Disponível em <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301479705003610>>. Acesso em jan. 2018.

TRIBUNA DO PARANA. Temporal chega com força e alaga Curitiba. **Tribuna do Paraná**. 21 fev. 2019. Disponível em: <<https://www.tribunapr.com.br/noticias/curitiba-regiao/chuva-chega-com-forca-e-alaga-curitiba/>>. Acesso em 15 jan. 2020.

TUCCI, C. E. M. Aspectos Institucionais no Controle de Inundações. In: I SEMINÁRIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO CENTRO-OESTE, I. **Anais...** Brasília, 1999.

TUCCI, C. E. M. **Hidrologia: Ciência e Aplicação**. Porto Alegre: Editora da UFRGS, 2002. 940p.

TUCCI, C.E.M. **Drenagem Urbana**. Ciência e Cultura. vol.55 no.4 São Paulo. 2003.

TZOULAS, K.; JAMES P. **Finding links between urban biodiversity and human health and well-being**. Paper presented at 4th International Postgraduate Research Conference on the Built and Human Environment, Salford, 29th March – 2nd April 2004. Disponível em: <<http://www.els.salford.ac.uk/urbannature/interactive/Downloads/Kosta%20IPRC.doc>>. Acesso em jan. 2019.

UMWELT BUNDESAMT. **Urban Water - Sustainable Water Management in Urban Space**. Dessau-Roßlau, 2015. Disponível em <www.umweltbundesamt.de/en/topics/climate-energy/climate-change-adaptation/adaptation-tools/project-catalog/urban-water-sustainable-water-management-in-urban>. Acesso em: out. 2018.

UNEP – UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME. **Integrated Urban Water Management**. Osaka, 2009. Disponível em <<http://www.unep.or.jp/ietc/brochures/iuwm.pdf>>. Acesso em: out. 2018.

UNESCO. **Methodological guidelines for the integrated environmental evaluation of water resources development**, IHR - International Hydrological Programme, Paris, 1987. 152p.

UNISDR. **Terminología sobre reducción del riesgo de desastres**. Ginebra, 2009. Disponível em: <http://www.unisdr.org/files/7817_UNISDRTerminologySpanish.pdf>. Acesso em: fev. 2018.

URBONAS, B.; STAHR, P. **Stormwater Best Management Practices and Detention**. Prentice Hall. New Jersey, 1993. 450p.

USEPA - UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. **Guidance for Developing Best Management Practices (BMP)**. 1993. Disponível em: <<https://www3.epa.gov/npdes/pubs/owm0274.pdf>>. Acesso em: dez. 2017.

VICTORIAN STORMWATER COMMITTEE. **Urban Stormwater: Best Practice Environmental Management Guidelines**. Victoria, 2006. ISBN 064306453-2. Disponível em: <<http://www.publish.csiro.au/ebook/download/pdf/2190>>. Acesso em: dez. 2018.

VILLAÇA, Flávio. **Espaço intra-urbano no Brasil**. São Paulo: Studio Nobel, c1998. 373 p. ISBN 85-85445-75-0.

Virgili, A. **Procedimentos de projeto e execução de pavimentos permeáveis visando retenção e amortecimento de picos de cheias**. Dissertação de Mestrado, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009.

WAL, E.; WATERMAN, T., **Desenho urbano**. Porto Alegre: Bookman, 2012.

WEATHERBURN, C. E. **A first course in mathematical statistics**. Cambridge University Press: Cambridge, 1968. Disponível em: <http://assets.cambridge.org/97805210/91589/frontmatter/9780521091589_frontmatter>

er.pdf>. Acesso em: nov. 2018.

WILLES, J. A. **Tecnologias em telhados verdes extensivos: meios de cultura, caracterização hidrológica e sustentabilidade do sistema**. Tese de doutorado (Ciências). Universidade de São Paulo. 70f. 2014. Disponível em: <https://teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11136/tde-03122014-171411/publico/Jorge_Alex_Willes_versao_revisada.pdf>. Acesso em jan. 2020.

WONG, T. H. F. **Australian Runoff Quality: A guide to Water Sensitive Urban Design**. Engineers Australia, Canberra, Australia, 2006. New South Wales: Engineers Media.

WONG, T.H.F.; BREEN, P.; LLOYD, S. **Water Sensitive Road Design: Design Options for Improving Stormwater Quality of Road Runoff**. Technical report 00/1. CRCCH – Cooperative Research Centre for Catchment Hydrology, Australia, 2000.

WOODS-BALLARD, B. et al. **The SUDS Manual**. CIRIA C697. Londres: CIRIA, 2007.

YAZAKI, L. F. O. et al. Integrated solutions for urban runoff pollution control in Brazilian metropolitan regions. **Water Science and Technology**, London, IWA Publishing, v. 66, n. 4, p. 704-711, 2012.

YAZAKI, L. F. O.; MONTENEGRO, M. H. F.; COSTA J. (ed) **Manual de drenagem e manejo de águas pluviais urbanas do Distrito Federal**. Brasília, DF: Adasa, Unesco. 2018. 329 p.: il. ISBN 978-85-53093-01-4

YU, C.; HIEN, W. N. Thermal benefits of city parks. **Energy and Buildings**. 38: 105-120. 2006.

ZAHED FILHO, K.; MARTINS, J. R. S.; PORTO, M. F. A. **Reuso de Água: Reuso Direto de Água em Grandes Cidades. Água em Ambientes Urbanos**. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental – PHA. Disponível em <http://www.pha.poli.usp.br/LeArq.aspx?id_arq=14214>. Acesso em abr. 2020.

**APÊNDICE A – PESQUISAS DE INICIAÇÃO CIENTÍFICAS ORIENTADAS PELO
AUTOR DA TESE ASSOCIADAS À MEDIDAS ALTERNATIVAS DE DRENAGEM
PLUVIAL**

Período	Título	Orientado(a)
2016 – 2017	Potencialidades e deficiências do sistema de drenagem pluvial urbano em um município paranaense.	Maíra Kozloski
2017 – 2018	Utilização de estruturas permeáveis para fins de drenagem urbana.	Ana Júlia Maria
2017 – 2018	Técnicas não convencionais de retenção de águas pluviais no solo.	Andressa Natyara da Silva Valério
2018 – 2019	Prevenção e mitigação de inundações e alagamentos em um município paranaense.	Pedro Guilherme Arsego Ihlenfeld
2018 – 2019	Pavimentação com materiais permeáveis para redução do escoamento superficial de águas pluviais em ambiente urbano.	Flávia de Souza Malaquias
2019 – 2020 (em andamento)	Avaliação de potencialidades e deficiências dos sistemas convencionais de drenagem pluvial urbana.	Lucas Lordeiro de Andrade
2019 – 2020 (em andamento)	Avaliação de potencialidades e deficiências dos sistemas alternativos de drenagem pluvial urbana.	Lucas Montes Malheiros