



**FUNDAÇÃO EDSON QUEIROZ
UNIVERSIDADE DE FORTALEZA – UNIFOR
VICE-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO -VRPG
MESTRADO PROFISSIONAL EM CIÊNCIAS DA CIDADE**

**AVENIDAS JARDINS
ESTRATÉGIAS PARA IMPLANTAÇÃO DE CORREDORES
VERDES NO SISTEMA VIÁRIO DE FORTALEZA-CE**

RAQUEL MORAES VITOR CORTEZ

**FORTALEZA-CE
DEZEMBRO, 2017**

RAQUEL MORAES VITOR CORTEZ

**AVENIDAS JARDINS
ESTRATÉGIAS PARA IMPLANTAÇÃO DE CORREDORES
VERDES NO SISTEMA VIÁRIO DE FORTALEZA-CE**

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado Profissional em Ciências da Cidade da Universidade de Fortaleza como requisito parcial para obtenção do Título de Mestre em Ciências da Cidade.

Orientador: Prof. Dr. Newton Célio Becker de Moura.

Fortaleza - CE
2017

Ficha catalográfica da obra elaborada pelo autor através do programa de geração automática da Biblioteca Central da Universidade de Fortaleza

Cortez, Raquel Moraes Vitor.

Avenidas Jardins: estratégias para implantação de corredores verdes no sistema viário de Fortaleza - CE / Raquel Moraes Vitor Cortez. - 2017
108 f.

Dissertação (Mestrado Profissional) - Universidade de Fortaleza. Programa de Mestrado Profissional Em Ciências Da Cidade, Fortaleza, 2017.

Orientação: Newton Célio Becker de Moura.

1. Infraestrutura verde. 2. Resiliência urbana. 3. Melhores práticas de manejo. 4. Corredores verdes. 5. Fortaleza. I. Moura, Newton Célio Becker de. II. Título.

RAQUEL MORAES VITOR CORTEZ

**AVENIDAS JARDINS ESTRATÉGIAS PARA IMPLANTAÇÃO DE
CORREDORES VERDES NO SISTEMA VIÁRIO DE FORTALEZA- CE**

BANCA EXAMINADORA



Prof. Dr. Newton Célio Becker de Moura
UNIVERSIDADE DE FORTALEZA – UNIFOR



Prof. Dr. José Almir Farias Filho
Universidade Federal de Fortaleza – UFC



Prof. Dr. André Soares Lopes
Universidade de Fortaleza – UNIFOR

Aprovado(a): 22 / 12 / 2017

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus pela motivação, saúde, serenidade e inspiração para finalizar esse trabalho que representa uma etapa muito importante da minha vida profissional. Meu muito obrigada a meus pais por todo incentivo, compreensão e torcida durante esse mestrado e em todos os momentos da minha vida.

Meus sinceros agradecimentos ao meu orientador Professor Dr. Newton Becker pela disponibilidade do seu precioso tempo, acreditando na minha pesquisa desde o início dessa trajetória e compartilhando generosamente seu conhecimento.

Agradeço aos professores Dr. André Soares Lopes e Dra. Flora Lima por suas importantes contribuições durante a qualificação desta pesquisa.

Agradecimentos especiais aos coordenadores do curso de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de Fortaleza, Camila Girão e Marcos Bandeira por confiarem no meu trabalho como docente e incentivarem o ingresso no Mestrado em Ciências da Cidade.

Agradeço à Universidade de Fortaleza por acreditar no seu corpo docente e investir na sua capacitação, sem esse apoio não teria realizado esta conquista.

E, finalmente, agradeço e dedico este trabalho ao meu amado esposo Rodrigo, que esteve ao meu lado com toda paciência, compreensão e dedicação incondicionais. Sem o seu apoio eu não teria conseguido.

“O planeta não é inanimado. É um organismo vivo. A terra, as rochas, oceanos, atmosfera e todos os seres vivos são um grande organismo. Um sistema de vida holístico e coerente, que regula e modifica a si mesmo”

James Lovelock

RESUMO

A Avenida Aguanambi situada na cidade de Fortaleza - CE é conhecida pela suscetibilidade a alagamentos em períodos chuvosos. O local vem passando por reformas para a melhoria da mobilidade urbana. Com o objetivo principal de propor uma intervenção adaptativa na avenida em questão e seu entorno, este trabalho vem discutir como as Melhores Práticas de Manejo podem ser integradas à infraestrutura existente para complementar a drenagem da área visando a consolidação da resiliência urbana e a provisão de serviços ambientais na região da Aguanambi. A metodologia de pesquisa aplicada foi exploratória, por isso realizou-se uma investigação sobre a área de estudo com o intuito de caracterizar as possíveis causas do problema detectado. A fundamentação teórica definiu alguns conceitos importantes relativos à Infraestrutura Verde tais como o Desenvolvimento de Baixo Impacto e os Corredores Verdes. A proposta de intervenção adaptativa desenvolvida se baseou no dimensionamento e distribuição das Melhores Práticas de Manejo nas ruas perpendiculares ao canal e na Avenida Aguanambi. A área de contribuição considerada envolve o recurso hídrico e seu entorno; a partir dessa limitação foi calculado o volume de chuva recebido numa precipitação de 65,2mm/h, baseado num tempo de retorno de 10 anos. O dimensionamento das sarjetas verdes considerou a largura das vias locais existentes e nas Avenidas Aguanambi e Cel. Pergentino Ferreira interferiu somente no espaço de calçadas e canteiros centrais. O resultado obtido mostra a retenção de 17,14% do volume precipitado a partir da intervenção em apenas 4,52% da área total. A partir dos resultados positivos, foram elaboradas diretrizes para orientar a constituição de Corredores Verdes através da implantação das Melhores Práticas de Manejo no sistema viário de Fortaleza - CE com base na hierarquia viária estabelecida pela Lei de Uso e Ocupação do solo.

Palavras chave: Infraestrutura verde. Resiliência Urbana. Melhores Práticas de Manejo. Corredores Verdes. Fortaleza.

ABSTRACT

Aguanambi Avenue is located in Fortaleza - CE and it is susceptible to flooding on rainy season. The site has been undergoing reforms to improve urban mobility. With the main goal to promote an adaptive intervention in the avenue and its neighborhood, this research discusses how Best Management Practices (BMP) can integrate the local infrastructure with the aim to complement the drainage consolidating the urban resilience and providing environmental services in the Aguanambi region. This exploratory research promoted a case study area in order to characterize possible causes of the problem detected. The theoretical foundation has defined some important concepts in relation to Green Infrastructure such as Low Impact Development and Greenways. An adaptive intervention study proposed the design and distribution of BMP on the perpendicular streets to the Aguanambi canal. The catchment area treated the canal and its neighborhood. The research calculated from this area the rainfall volume received in precipitation of 65.2mm / h, by 10-year time return. The curb extension dimensioning considered a width of existing local streets, Avenues Aguanambi and Cel. Pergentino Ferreira suffered interferences in the space of sidewalks and central beds. The result obtained shows the retention of 17.14% of the volume precipitated from the intervention in just 4.52% of the total area. From the positive results, the study developed guidelines to the constitution of Greenways through the implementation of BMP in the road system of Fortaleza – CE, based on the road hierarchy defined by Use and Occupation Land Law.

Keywords: Green infrastructure. Urban Resilience. Best Management Practices. Greenways. Fortaleza.

LISTA DE ANEXOS

- Anexo 01** Dimensionamento de galerias pluviais projetadas. Obra: BRT – Av. Aguanambi – Fortaleza – CE, Secretaria de Infraestrutura. Prefeitura de Fortaleza. 2015

LISTA DE FIGURAS

INTRODUÇÃO	
Figura 1 - Canal da Aguanambi transbordado em dia chuvoso.	17
Figura 2 - Benefícios da implantação de Infraestrutura Verde nas ruas	19
CAPÍTULO 1	
Figura 3 - Supressão das áreas verdes na cidade Fortaleza durante um século	22
Figura 4 - Técnicas de qualificação urbana	23
Figura 5 - Tipos de pesquisas a serem adotadas	24
Figura 6 - Etapas da Pesquisa	26
CAPÍTULO 2	
Figura 7 - Conceitos chave da Infraestrutura Verde – Polo (Parque Estadual do Cocó), Conexão (Anel Verde de Barcelona) e Fragmento (Praça Dr. Carlos Alberto Studart em Fortaleza – CE).	29
Figura 8 - A conexão entre sistemas naturais e urbanos	37
Figura 9 - A relação entre o runoff e a impermeabilização do solo.	38
Figura 10 – Objetivos do LID (<i>Low Impact Development</i>) Fonte: traduzido de Huber et al. 2010.	39
Figura 11 - <i>Gowanus Canal Sponge Park</i>	44
Figura 12 - Canal Gowanus no Brooklin (Nova Iorque).	44
Figura 13 - Caminho construído nas margens do Canal Gowanus.	45
Figura 14 - Canteiros pluviais no Canal Gowanus – Brooklin – NY	46
Figura 15 - Jinhua Swallowtail Island Park	49
Figura 16 - Jinhua Swallowtail Island Park	50
Figura 17 - Parque Minghu / Turenscape	51
Figura 18 - Parque Minghu / Turenscape	52
CAPÍTULO 3	
Figura 19 - Mapa microbacias hidrográficas e altimetria do bairro de Fátima, Fortaleza – CE, 2010.	54
Figura 20- Detalhe da Carta da Cidade de Fortaleza e arredores. Levantada, desenhada e impressa pelo Serviço Geográfico do Exército, 1945. Vê-se o Riacho Água Nambi antes de sua canalização (acima) e foto aérea registrada em 2017 (abaixo).	55
Figura 21- As transformações na Avenida Aguanambi	56
Figura 22- Mapa 2.5/A4 - Zona de Ocupação Preferencial 2	57
Figura 23 – Morfologia da malha viária no entorno dos recursos hídricos do bairro de Fátima	59
Figura 24 - Alagamentos nas Avenidas Aguanambi e Eduardo Girão	60
Figura 25 - Galeria artificial paralela ao canal da Av. Aguanambi.	61
Figura 26 – Execução da obra para implantação do sistema BRT na Avenida Aguanambi	62
Figura 27 - Obra do BRT na Avenida Aguanambi em Fortaleza- CE	65
Figura 28 - Corredores Verdes em ruas e avenidas	66
Figura 29 - Transformação da Aguanambi num parque linear	68
CAPÍTULO 4	
Figura 30 - Definição das últimas etapas	69
Figura 31 - Definição da área e localização das MPM.	74

Figura 32 - Seção transversal no trecho piloto da Rua Artur Timóteo	76
Figura 33 - Distribuição das sarjetas verdes na rua Artur Timóteo próximo à Avenida Aguanambi.	77
Figura 34 - Seção longitudinal de preenchimento das sarjetas verdes.	78
Figura 35 - Distribuição das MPM na área de estudo	80
Figura 36 - Seção Avenida Aguanambi	81
CAPÍTULO 5	
Figura 37 - Conexão entre polos e fragmentos a partir da Avenida Aguanambi	86
CAPÍTULO 6	
Figura 38 - Adaptação do sistema viário aos Corredores Verdes	88
Figura 39 - Biovaletas	90
Figura 40 - Jardins de Chuva	91
Figura 41 - Canteiro pluvial	92
Figura 42 - Sarjetas verdes são áreas de paisagem do lado da rua que armazenam, filtram e infiltram o escoamento de águas pluviais.	92
Figura 43 - Canteiros arborizados	93
Figura 44 - Pavimento permeável	94

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO 2	
Tabela 1 - Marcos históricos do desenvolvimento da Infraestrutura Verde.	28
Tabela 2 - Conceitos estruturantes da IEV	30
Tabela 3 - Estudo comparativo de funções atribuídas aos Corredores verdes	33
Tabela 4 - Definição dos espaços estruturantes dos corredores de mobilidade.	34
Tabela 5 - Soluções aplicadas e diretrizes para os projetos <i>Sponge City</i>	47
Tabela 6 - Fatores responsáveis pela degradação dos recursos hídricos	48
CAPÍTULO 3	
Tabela 7 - Valores da avaliação da superfície do solo, no tocante a sua impermeabilização, da APP da microbacia B1.7 do Canal da Aguanambi, Fortaleza – CE, 2010.	58
CAPÍTULO 4	
Tabela 8 - Serviços Ecológicos Urbanos - Quadro de referência para avaliação.	70
Tabela 9 - Indicadores básicos para implantação de infraestrutura verde nos corredores.	71
Tabela 10 - Indicação do tempo de retorno a ser adotado para a implantação de jardins de chuva.	72
Tabela 11 - Intensidade máxima provável para uma chuva de 60 minutos em Fortaleza e região Metropolitana.	72
Tabela 12 – Volume de biorretenção das sarjetas verdes e do piso permeável	78
CAPÍTULO 5	
Tabela 13 - Dimensionamento do volume do escoamento superficial de águas pluviais	83
Tabela 14 - Quantitativo de área das MPM e do volume de biorretenção.	83
Tabela 15 - Estimativa de retenção para diferentes coeficientes de escoamento superficial.	84
CAPÍTULO 6	
Tabela 16 - Dimensões estabelecidas para o sistema viário de Fortaleza	96
Tabela 17 - Área das vias a cada 100m e volume precipitado	98
Tabela 18 - Avaliação do desempenho das MPM aplicadas no sistema viário	99
Tabela 19 - Classificação do desempenho das MPM aplicadas no sistema viário	100
Tabela 20 - Combinação entre as MPM e os tipos de vias discriminados pela LUOS	101

LISTA DE QUADROS

CAPÍTULO 1	
Quadro 1 - Serviços ambientais ou ecossistêmicos promovidos pela natureza.	21
CAPÍTULO 2	
Quadro 2 - O que a infraestrutura verde não é.	30
Quadro 3 - Serviços ambientais propostos pelo LID.	31
Quadro 4 - Princípios do LID	36
Quadro 5 - Conceituação sobre Infraestrutura Cinza e LID	39
Quadro 6 - Comparativo entre Infraestrutura Cinza e LID	40
Quadro 7 - Soluções adotadas nas Melhores Práticas de Manejo (MPM)	42
CAPÍTULO 3	
Quadro 8 - Soluções adotadas para constituição de sistemas urbanos resilientes	64
CAPÍTULO 4	
Quadro 9 - Identificação do padrão de acessos aos lotes na Rua Artur Timóteo	75
CAPÍTULO 6	
Quadro 10 - Classificação das Vias do Sistema Viário pela LUOS (2017)	97
Quadro 11 - Dimensionamento da área das MPM aplicadas no sistema viário	97

LISTA DE GRÁFICOS

CAPÍTULO 5

Gráfico 1 - Percentual comparativo entre a área dos jardins de chuva e o volume de biorretenção. 84

CAPÍTULO 6

Gráfico 2 - Desempenho das MPM no Sistema Viário 100

SIGLAS E ABREVIações

A	Área de contribuição para o cálculo do volume de chuva em metros quadrados
Ac	Área dos canteiros pluviais em metros quadrados
AEM	Avaliação Ecosistêmica do Milênio
BMP	<i>Best Manage Practices</i>
BRT	<i>Bus rapid transit</i>
C	Comprimento linear das ruas em metros
CE	Ceará
DBI	Desenvolvimento de Baixo Impacto
EEUU	Estados Unidos da América
GEE	Gases do Efeito Estufa
i	Intensidade de chuva em mm/h
IEV	Infraestrutura Verde
IPLANFOR	Instituto de Planejamento de Fortaleza
LID	<i>Low Impact Development</i>
LUOS	Lei de Uso e Ocupação do Solo
MPM	Melhores Práticas de Manejo
ODS	Objetivos do Desenvolvimento Sustentável
Pc	Porosidade dos canteiros pluviais
Runoff	Coeficiente de escoamento de água superficial.
t	Tempo em horas
T	Tempo em anos
V	Volume de chuva em metros cúbicos
Vb	Volume de biorretenção
ZPA	Zona de Proteção Ambiental

Sumário

INTRODUÇÃO	17
CAPÍTULO 1	
PROPOSTA DE INTERVENÇÃO ADAPTATIVA PARA RESILIÊNCIA URBANA NA AVENIDA AGUANAMBI: RELEVÂNCIA DO TEMA, OBJETIVOS, HIPÓTESES E ETAPAS DA PESQUISA.	21
1.1 Relevância do tema	21
1.2 Metodologia	24
1.3 Objetivos geral e específicos	25
1.4 Questões	25
1.5 Etapas da Pesquisa	26
CAPÍTULO 2	
DA INFRAESTRUTURA CINZA À INFRAESTRUTURA VERDE: CONCEITOS PARA ALCANÇAR A RESILIÊNCIA URBANA	27
2.1 Os princípios que definem o conceito de Infraestrutura Verde (IEV)	27
2.2 As principais funções dos Corredores Verdes e sua relação com os corredores de mobilidade urbana	32
2.2.1 Elementos estruturantes da Mobilidade Urbana em Fortaleza-CE	34
2.3 O Desenvolvimento de Baixo Impacto (LID) e as Melhores Práticas de Manejo (MPM).	36
2.4 Projetos referenciais de Implantação de infraestrutura verde em escala local e regional	43
2.4.1 Implantação de canteiros pluviais e jardins de chuva – visita ao Gowanus canal no distrito do Brooklin em Nova Iorque (EUA)	43
2.4.2 O conceito de “Cidade esponja”, soluções para o manejo das águas pluviais na China	47
CAPÍTULO 3	
A MOBILIDADE COMO PRIORIDADE NA AVENIDA AGUANAMBI: PASSADO, PRESENTE...E O FUTURO?	53
3.1 Um breve histórico das intervenções	53
3.2 Condicionantes físicos e ambientais	57
3.3 O projeto de implantação do corredor de BRT	60
3.4 Um novo cenário para a Avenida Aguanambi	62
3.4.1 A Recuperação	65
3.4.2 A Adaptação	66
3.4.3 A Transformação	67

CAPÍTULO 4

PROCEDIMENTOS PARA O DESENVOLVIMENTO DO ESTUDO DE CASO	69
4.1 Definição das métricas	70
4.2 Parâmetros adotados para desenvolvimento da proposta de implantação das MPM no entorno da microbacia do canal da Avenida Aguanambi.	71
4.2.1 Definição do tempo de retorno e da maior intensidade de chuva	71
4.2.2 Definição da área, dimensões, localização e volume de retenção das Melhores Práticas de Manejo	73

CAPÍTULO 5

CAPACIDADE DE RETENÇÃO DAS MELHORES PRÁTICAS DE MANEJO PROPOSTAS PARA O ENTORNO DA AVENIDA AGUANAMBI.	82
5.1 Cálculo do volume de chuva precipitado na área	82
5.2 Resultados	83
5.3 Considerações sobre o estudo de caso	85

CAPÍTULO 6

RECOMENDAÇÕES PARA APLICAÇÃO DAS MELHORES PRÁTICAS DE MANEJO NO SISTEMA VIÁRIO DE FORTALEZA VISANDO A CONSTITUIÇÃO DE CORREDORES VERDES.	87
6.1 Estudo das propriedades e características das MPM aplicáveis em corredores de mobilidade	88
6.1.1 Biovaletas	89
6.1.2 Jardins de Chuva	90
6.1.3 Canteiros Pluviais	91
6.1.4 Sarjetas Verdes	92
6.1.5 Canteiros Arborizados	93
6.1.6 Pavimento Permeável	93
6.2 Avaliação do desempenho das MPM a partir dos padrões estabelecidos na LUOS	95
CONSIDERAÇÕES FINAIS	103
REFERÊNCIAS	104



INTRODUÇÃO

As cidades foram construídas sobre uma paisagem natural. Fortaleza, como muitas metrópoles brasileiras, teve sua expansão urbana às custas da degradação de vários recursos naturais, como rios, lagoas, dunas e manguezais (NETO; ALBUQUERQUE, 2014). A infraestrutura cinza ou convencional, definida como sistemas construídos nas cidades para viabilizar o abastecimento de água e energia, a captação de águas pluviais, o saneamento básico, o sistema viário e tudo aquilo que dá suporte ao funcionamento dos assentamentos humanos (BONZI, 2017), provocou a segregação das áreas naturais e acarretou diversos problemas ambientais às cidades, tais como a poluição dos recursos hídricos, os deslizamentos, as enchentes e a alteração do microclima com a formação das ilhas de calor (op. cit.). Dessa forma, entende-se que as políticas públicas adotadas em Fortaleza ainda são baseadas em soluções do século passado, conforme Bonzi (2017):

“Sob o pretexto do higienismo e capitulado pela engenharia civil, o planejamento urbano do século XX imaginou ser possível prescindir da cobertura vegetal e dos recursos naturais enquanto soluções tecnicistas driblaram o ciclo hidrológico. Solos foram impermeabilizados, aumentando o escoamento superficial da água da chuva, e linhas de drenagem naturais foram substituídas por galerias pluviais projetadas para conduzir as águas de forma rápida e invisível, expediente sinistro que transfere o volume indesejado de água para uma comunidade mais à jusante.” (BONZI, 2017 p. 2)

Corroborando a constatação de que esse tipo de solução é adotado *a priori* nas obras públicas da capital cearense, a Prefeitura Municipal de Fortaleza está construindo estações acima do riacho Água Nambi para abrigar o sistema de transporte BRT (*Bus Rapid Transit*). Dessa forma, mais um recurso hídrico da cidade será sepultado. A obra orçada em 95 milhões de reais (PREFEITURA DE FORTALEZA, 2017), está promovendo o tamponamento de 36% da superfície do canal e a construção de uma galeria auxiliar para a captação de águas pluviais. Conforme a Prefeitura de Fortaleza (2017):

“Orçada em R\$ 95 milhões, com o viaduto e passarela liberados em março deste ano, as obras foram iniciadas em fevereiro de 2016 e fazem parte do corredor expresso Messejana/Centro, que prevê diversas intervenções na região, como a requalificação viária da Avenida Aguanambi, com a implantação de um novo sistema de drenagem, calçadas, quatro quilômetros de ciclovia, instalação de oito estações de ônibus junto ao canteiro central, além da urbanização e reforma de duas praças e da rotatória existente sob o novo viaduto. A segunda etapa da obra, que prevê a ampliação de urbanização da Av. Aguanambi, possui conclusão prevista para janeiro de 2018.” (PREFEITURA DE FORTALEZA, 2017, p. web).

Diante desse fato, a intervenção na Avenida Aguanambi demonstra que a aplicação da infraestrutura cinza foi a principal solução de projeto admitida para viabilizar a implantação do corredor de BRT.

Notícias de alagamentos na avenida citada comprovam o impacto das intervenções mal planejadas das últimas décadas que não consideraram as características naturais do sítio tais como a topografia, o recurso hídrico e suas várzeas. Em 08 de janeiro de 2017 ocorreu no período da manhã uma precipitação de 55,6mm que causou o transbordamento do canal da Aguanambi (G1 CE, 2017) (Figura 1). Tecnicamente, isso significa que na área de 1,00m² formou uma lâmina de 55,6mm ou 5,5cm de altura. Pode parecer pouco, mas em regiões vulneráveis, como a Aguanambi, as consequências desse tipo de evento climático são desastrosas.



Figura 1 - Canal da Aguanambi transbordado em dia chuvoso.
Fonte: Diário do Nordeste (2017)

Portanto, diante dessas informações, o problema identificado é a vulnerabilidade da Avenida Aguanambi a eventos naturais, como precipitações intensas, situação provocada pelo adensamento urbano (BONZI, 2015) e pelas intervenções promovidas no local ao longo dos anos para melhorar a mobilidade urbana, acarretando intensa impermeabilização do solo no entorno do riacho.

A eliminação de espaços verdes permeáveis em áreas alagáveis, como a Avenida Aguanambi, contribui para a sua suscetibilidade aos eventos naturais que têm se tornado cada vez mais comuns nas grandes cidades: intensificação das tempestades, aumento dos níveis



dos oceanos e ilhas de calor, causados principalmente pelo aumento da emissão dos gases de efeito estufa (GEE) (DE PARIS, 2015). Por isso, as cidades estão em busca da consolidação de uma resiliência urbana, ou seja, querem ter a capacidade de suportar distúrbios e tensões, mantendo as suas propriedades (DE BOER, MUGGAH e PATEL, 2016). De acordo com a Agenda 2030 (NAÇÕES UNIDAS, 2015) um dos seus objetivos de desenvolvimento sustentável (ODS) cita a importância de “Construir infraestruturas resilientes, promover a industrialização inclusiva e sustentável e fomentar a inovação” (NAÇÕES UNIDAS, 2015 p. 18).

Justifica-se a elaboração deste trabalho pela necessidade de estudar soluções que possam constituir propostas para uma Avenida Aguanambi resiliente. Considerando que o projeto executado na área de estudo poderá resolver por algum tempo os alagamentos da região, esta pesquisa entende que alcançar a resiliência urbana não significa apenas mitigar as enchentes (CHELLERI et al, 2015), mas sim realizar a adaptação de um sistema a infraestruturas alternativas desempenhando um papel importante na melhoria da qualidade de vida nos centros urbanos (HUBER et al. 2010). Portanto, oferecer espaços caminháveis, amenizar a poluição do canal e criar um espaço saudável para os cidadãos são ações que podem tornar a Avenida Aguanambi resiliente.

Chelleri e Olazabal (2012) identificaram três categorias de intervenções para a aplicação da resiliência: a recuperação, a adaptação e a transformação.

- A recuperação, em curto prazo reestabelece prontamente um sistema;.
- A adaptação, em médio prazo, é uma ação preventiva a possíveis distúrbios;
- A transformação, a longo prazo, incorpora tensões ou impactos mantendo o sistema sempre equilibrado através de mudanças drásticas.

As intervenções adaptativas nas cidades são essenciais para a resiliência urbana, mas somente se aplicadas através de sistemas baseados na ecologia (CHELLERI et al 2015). A Infraestrutura Verde (IEV) é definida como uma rede de áreas verdes interconectadas que promove uma série de benefícios ambientais como a regulação do clima e a preservação da biodiversidade (BENNEDICT; MACMAHON, 2006). O DBI (Desenvolvimento de Baixo Impacto, traduzido de Low Impact Development) desenvolveu-se nos últimos anos como uma das principais alternativas para a constituição de uma Infraestrutura Verde (IEV) nos espaços públicos e privados através da aplicação de técnicas de manejo das águas pluviais; também conhecidas como MPM (Melhores práticas de Manejo, termo traduzido de Best Practice Management). De acordo com Gehrels et al (2016) a IEV aplicada em ruas e avenidas, através das MPM, pode oferecer inúmeros serviços ecológicos que contribuem para a resiliência urbana (Figura 2).

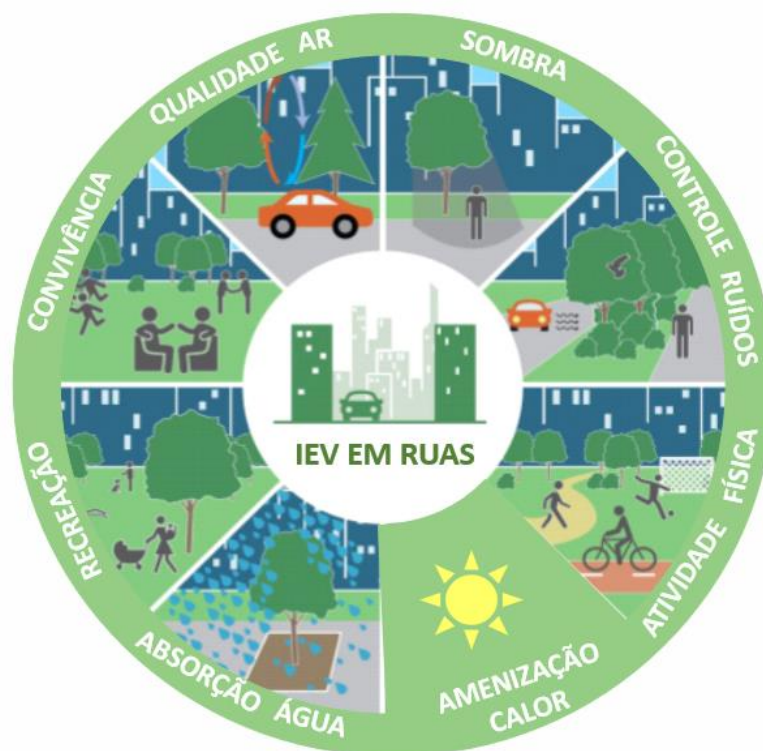


Figura 2 - Benefícios da implantação de Infraestrutura Verde nas ruas
Fonte: Gehrels et al (2016)

Tendo em vista a identificação do problema e as possíveis abordagens de intervenção a serem propostas para a Avenida Aguanambi e seu entorno, a presente pesquisa, desenvolvida pelo programa de pós-graduação do Mestrado Profissional em Ciências da Cidade, tem como objetivo propor uma intervenção adaptativa para a integração da Infraestrutura Verde à infraestrutura cinza da Avenida, vislumbrando a resiliência urbana e a recuperação de serviços ambientais através da constituição de um Corredor Verde.

Organizado em 6 capítulos, este trabalho expõe os objetivos da pesquisa, as hipóteses levantadas, a fundamentação teórica, o diagnóstico sobre a área de estudo, os procedimentos adotados para elaboração de um estudo de caso, os resultados encontrados e, para finalizar, elabora diretrizes para ampliar a integração de Corredores Verdes a outros corredores de mobilidade da cidade de Fortaleza-CE.

O primeiro capítulo contextualiza a pesquisa apresentando algumas diretrizes determinadas pelo Plano “Fortaleza 2040” para o desenvolvimento urbano. São listados também os objetivos geral e específicos deste trabalho, cujo foco é compreender como a IEV pode ser integrada à infraestrutura cinza da área de estudo e desenvolver uma proposta de intervenção para a Avenida Aguanambi. Por fim, são apresentadas as hipóteses e as etapas de pesquisa cumpridas para obter os resultados.



O segundo capítulo consiste na fundamentação teórica e aborda os campos temáticos relacionados à Infraestrutura Verde, como a definição do LID (*Low Impact Development*) e as Melhores Práticas de Manejo (MPM), tecnologias que apoiam a constituição da IEV no contexto urbano. A relação entre os Corredores Verdes, identificado como componente fundamental da IEV, e corredores de mobilidade é discutida por causa da área investigada, a Avenida Aguanambi, um dos principais eixos de mobilidade da cidade de Fortaleza. Para concluir essa fundamentação, a aplicabilidade da IEV nos centros urbanos é investigada através de dois exemplos internacionais, o primeiro apresenta a aplicação das MPM, em escala local, nas ruas do Brooklin em Nova York; e o segundo exemplo trata da aplicação da Infraestrutura Verde na China em escala regional.

O terceiro capítulo apresenta um diagnóstico sobre aspectos históricos e físicos da área de estudo. A análise mostra os aspectos legais do dimensionamento da APP (Área de Preservação Permanente) do canal da Aguanambi, as condições da taxa de permeabilidade e a dimensão das áreas verdes na região. Num segundo momento são apresentados alguns dados sobre o projeto e o dimensionamento do novo sistema de drenagem projetado para viabilizar a implantação do BRT na avenida. A finalização deste capítulo aborda as possíveis propostas de intervenção para constituição da resiliência urbana e recuperação dos serviços ambientais; nesse tópico a intervenção adaptativa é identificada como o ponto de partida para conformação de um Corredor Verde na Avenida Aguanambi.

O quarto capítulo, sobre os procedimentos adotados para o estudo de caso, discorre inicialmente sobre quais métricas identificadas no diagnóstico foram aplicadas na elaboração da proposta de intervenção adaptativa. A segunda parte explica os parâmetros definidos para o dimensionamento das MPM e da sua capacidade de retenção do escoamento de águas pluviais no entorno do canal.

O quinto capítulo apresenta os resultados encontrados e avalia o desempenho das técnicas propostas para a integração da IEV com a infraestrutura convencional existente na Avenida Aguanambi. São apresentadas as relações percentuais entre o volume total e o volume retido em diferentes cenários.

O último capítulo faz recomendações para a expansão da proposta a outros corredores de mobilidade na cidade de Fortaleza, com a definição de diretrizes para a implantação das técnicas de manejo de águas pluviais e arborização no sistema viário da cidade visando a consolidação dos Corredores Verdes. Para isso, foram adotados parâmetros estabelecidos pela Lei de Uso e Ocupação do Solo para o sistema viário da cidade de Fortaleza.



PROPOSTA DE INTERVENÇÃO ADAPTATIVA PARA RESILIÊNCIA URBANA NA AVENIDA AGUANAMBI: RELEVÂNCIA DO TEMA, OBJETIVOS, HIPÓTESES E ETAPAS DA PESQUISA.

A orientação de acordos internacionais para a consolidação da resiliência urbana nas cidades é uma realidade e foi admitida pelo Plano Fortaleza 2040 conforme será apresentado neste capítulo. O reconhecimento da relevância deste tema se fundamenta nas diretrizes que este plano determina; a definição dos objetivos e hipóteses se constituiu pelo anseio de oferecer uma contribuição baseada no conceito Infraestrutura Verde aos modelos e padrões urbanísticos propostos no referido plano para o sistema viário da capital cearense.

1.1 Relevância do tema

No último ano do século XX o secretário geral da Organização das Nações Unidas (ONU), Kofi Annan, criou a Avaliação Ecosistêmica do Milênio (AEM), um programa destinado a fazer um diagnóstico sobre as consequências causadas ao bem-estar humano pelas mudanças nos ecossistemas do globo terrestre (ASSESSMENT, 2005). Sendo assim, o programa reuniu alguns serviços importantes promovidos pela natureza para a população mundial, denominados serviços ambientais, ecossistêmicos ou ecológicos (Quadro 1). A partir disso, cidades ao redor do mundo reconheceram essa informação para planejar seu futuro.

SERVIÇOS DE PROVISÃO	SERVIÇOS DE REGULAÇÃO	SERVIÇOS CULTURAIS
<ul style="list-style-type: none"> - Alimento - Água - Combustíveis - Matérias-primas 	<ul style="list-style-type: none"> - Regulação do clima - Regulação de doenças - Regulação da água - Poluição atmosférica 	<ul style="list-style-type: none"> - Lazer - Educação - Religião - Estética

Quadro 1- Serviços ambientais ou ecossistêmicos promovidos pela natureza.
Fonte: adaptado de Assesment (2005).



O Plano Fortaleza 2040 foi lançado na gestão do prefeito Roberto Cláudio e consiste num planejamento para a cidade com estratégias a serem implementadas em diferentes prazos ao longo de 24 anos (FORTALEZA 2040, 2015). O Instituto de Planejamento de Fortaleza- IPLANFOR foi reestruturado para viabilizar o desenvolvimento de um plano participativo, abrindo espaço para que diversos setores da sociedade pudessem oferecer sua contribuição (SILVEIRA, 2015). Dentre os eixos temáticos que vêm discutir propostas para uma cidade mais justa e sustentável, existem sugestões para tentar remediar a carência de áreas verdes na cidade.

O IPLANFOR diagnosticou que ao longo de um século, a cidade teve um decréscimo significativo de suas áreas verdes (Figura 3). A presença desses espaços nos centros urbanos é fundamental para a realização dos serviços ecológicos, tais como a amenização da poluição atmosférica, visual e sonora, além do aumento significativo da qualidade de vida dos habitantes (GONDIM; ROCHA; FURTADO, 2009).

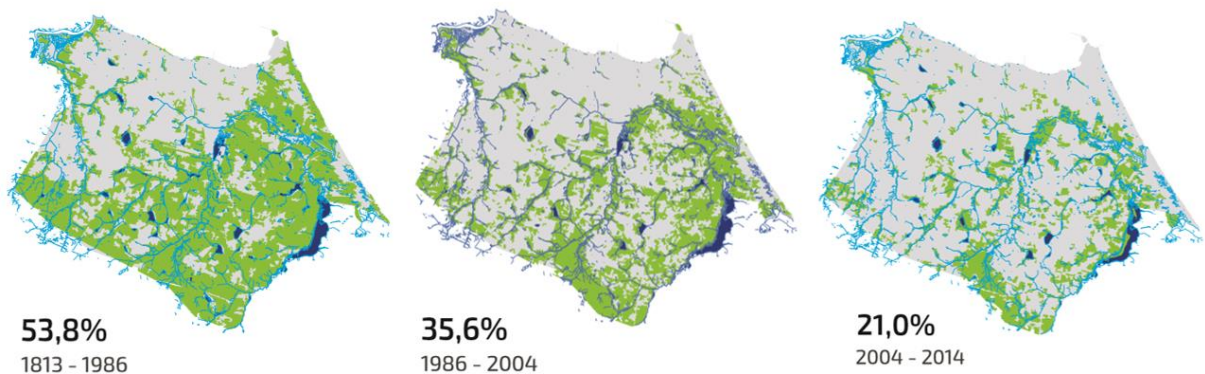


Figura 3 - Supressão das áreas verdes na cidade Fortaleza durante um século
Fonte: Fortaleza, 2040 (2016)

Tende em vista esse cenário, o Fortaleza 2040 estabelece várias estratégias para o desenvolvimento da cidade e tem seu arcabouço composto por objetivos estratégicos, dentre os quais estão a resiliência urbana e a recuperação dos recursos naturais:

“Objetivo: Recursos naturais recuperados, conservados, com gestão sustentável:

- Recuperação e conservação dos recursos naturais;
- Fortalecimento da resiliência da cidade;
- Redução das emissões de carbono;
- Aproveitamento sustentável dos recursos naturais;
- População com educação ambiental. ”

(FORTALEZA 2040, 2016 p. 34)

Sendo assim, o plano em questão inclui diversas diretrizes voltadas para o desenvolvimento urbano, e os padrões ambientais almejados dedicam uma atenção especial aos recursos hídricos. Uma das questões discutidas é a impermeabilização do solo que bloqueia a infiltração de águas pluviais para o abastecimento das águas subterrâneas, fundamentais para o equilíbrio e resiliência da paisagem urbana (FORTALEZA 2040, 2015).

O eixo temático que aborda a qualidade do meio ambiente e dos recursos naturais tem como um dos objetivos estratégicos “Incorporar nos processos de planejamento e gestão urbano-ambiental conceitos e práticas de sustentabilidade, adaptação e resiliência ambiental, tomando como referência as práticas de valoração de serviços ecossistêmicos e economia circular” (FORTALEZA 2040, 2016 p. 69). A estratégia do Fortaleza 2040 para o desenvolvimento de corredores de transporte de massa como diretriz fundamental para o crescimento ordenado (FORTALEZA 2040, 2015), está associada à compatibilização das vias com um desenho urbano adequado para promover o conforto ambiental através de corredores arborizados (Figura 4).

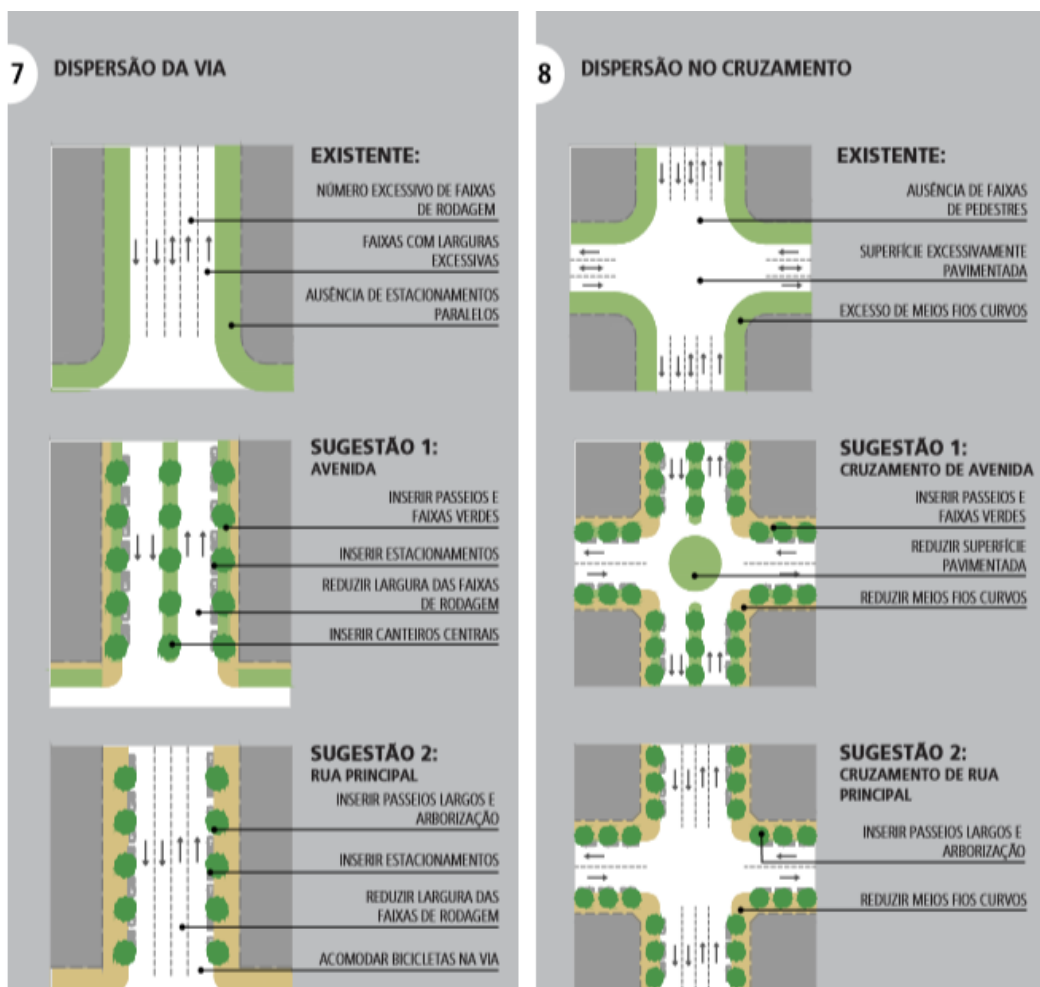


Figura 4 - Técnicas de qualificação urbana
Fonte: Galina Tachieva (2010) apud Fortaleza 2040 (2015 p. 103)



O presente trabalho coaduna com os objetivos estabelecidos no Fortaleza 2040, tendo em vista que o plano propõe a implantação das técnicas de qualificação urbana para os corredores de mobilidade da cidade de Fortaleza. O objetivo é tomar como base as referências apresentadas no plano e investigar uma situação real através do desenvolvimento de um estudo de caso na Avenida Aguanambi para verificar a aplicabilidade desse conceito “verde” e demonstrar sua função infraestrutural nos corredores de mobilidade.

1.2 Metodologia

A modalidade de pesquisa exploratória foi identificada como a mais propícia para o trabalho, visto que de acordo com Gil (2007) procura trazer à tona um problema, promover seu entendimento e possibilitar a construção de hipóteses para buscar soluções (Figura 5). Nesse tipo de pesquisa existe um objeto de estudo a ser compreendido e é necessário realizar algumas etapas para obter informações acerca do fenômeno investigado. A pesquisa bibliográfica foi feita a partir do levantamento de referências teóricas, publicadas por meios escritos e eletrônicos, como livros, artigos científicos, páginas de web e sites. O conjunto de informações investigadas permitiu o entendimento sobre o que já foi estudado e proposto sobre a IEV e seus temas correlatos. A pesquisa de campo foi aplicada para coletar dados sobre o cenário investigado, a Avenida Aguanambi, reunindo informações técnicas importantes para a proposição de soluções. E, para completar a metodologia de pesquisa exploratória, levantamentos foram realizados no local para identificar as transformações realizadas pela obra de implantação do corredor de BRT (*Bus rapid transit*), e para caracterizar espacialmente trechos da área de estudo.



Figura 5 - Tipos de pesquisas a serem adotadas
Fonte: elaborado pela autora

1.3 Objetivos geral e específicos

O objetivo geral é propor uma intervenção adaptativa para a integração da Infraestrutura Verde à infraestrutura cinza na Avenida Aguanambi e seu entorno, vislumbrando a resiliência urbana e a provisão de serviços ambientais no local através da constituição de um Corredor Verde.

Os objetivos específicos são os seguintes:

- Investigar a história sobre a ocupação no entorno do canal da Av. Aguanambi e analisar qual das categorias de intervenção (recuperação, adaptação ou transformação) para resiliência urbana poderia ser aplicada no local.
- Desenvolver um estudo de caso no canal e entorno da Avenida Aguanambi através de diretrizes para a localização e o dimensionamento das Melhores Práticas de Manejo e avaliar os resultados.
- Estabelecer diretrizes a serem integradas ao Fortaleza 2040 para a aplicação das MPM no sistema viário da cidade de Fortaleza considerando a hierarquia das vias estabelecida pela LUOS.

1.4 Questões

Partindo da hipótese principal que as Melhores Práticas de Manejo podem complementar a infraestrutura convencional e promover a resiliência urbana, a recuperação dos serviços ambientais e a otimização da drenagem na Avenida Aguanambi, foram investigadas as seguintes questões:

- A avaliação do desempenho das MPM pode ser aferida através de métricas como a capacidade de retenção e área de aplicação?
- As soluções para integração das MPM à infraestrutura cinza podem variar conforme os padrões de uso e ocupação do solo?
- Para constituir Corredores Verdes nos corredores de mobilidade de Fortaleza, as Melhores Práticas de Manejo podem ser integradas ao sistema viário proposto pela Lei de Uso e Ocupação do solo?

1.5 Etapas da Pesquisa

Após a definição do problema e a compreensão da estrutura geral da pesquisa, o trabalho foi estruturado em etapas (Figura 6) para que fosse possível alcançar os objetivos determinados. Para cada fase foram indicadas ações específicas essenciais para a construção deste trabalho.

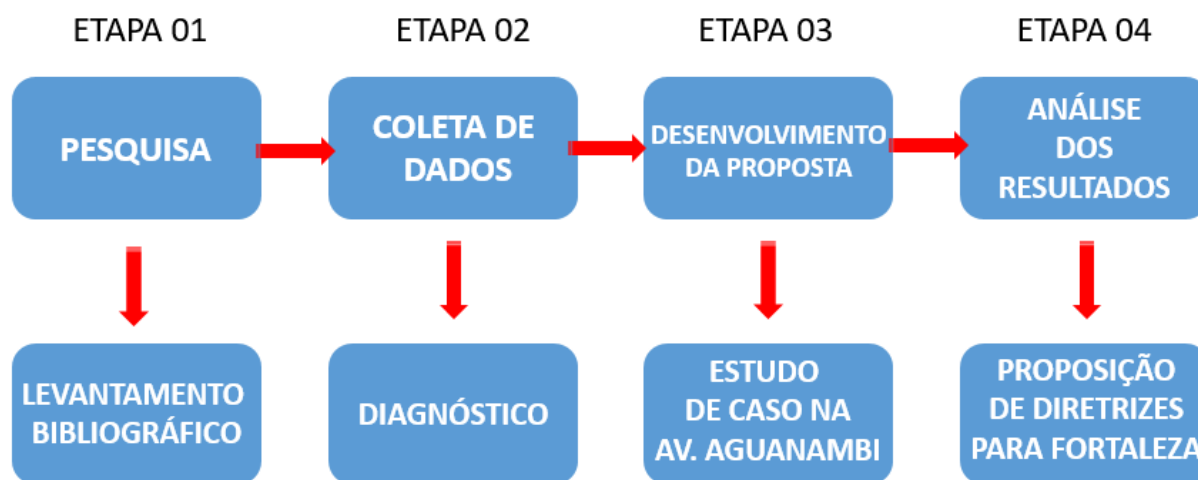
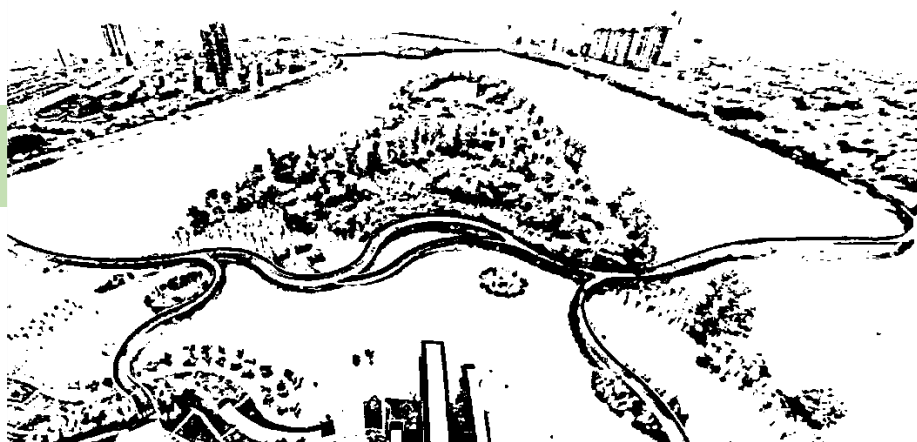


Figura 6 - Etapas da Pesquisa
Fonte: elaborado pela autora

- A primeira etapa consistiu no desenvolvimento de uma pesquisa bibliográfica sobre o arcabouço temático dos conceitos discutidos na literatura e aplicados no mundo para a efetivação da resiliência urbana e recuperação dos serviços ambientais.
- A segunda etapa se baseou no desenvolvimento do diagnóstico do cenário onde foi identificado o problema. Essa análise trouxe dados e informações importantes para a definição do tipo de proposta a ser desenvolvida no estudo de caso da Avenida Aguanambi.
- O estudo de caso foi fundamentado pela aplicação de dados coletados e na proposição de parâmetros para constituir a proposta de aplicação das MPM na área de estudo.
- A quarta etapa foi a realização da análise dos resultados para a compreensão da aplicabilidade da proposta e proposição de novas diretrizes para constituição de Corredores Verdes em corredores de mobilidade.



DA INFRAESTRUTURA CINZA À INFRAESTRUTURA VERDE: CONCEITOS PARA ALCANÇAR A RESILIÊNCIA URBANA

É importante discutir nesse item o arcabouço que compõe o conceito de Infraestrutura Verde (IEV), tendo em vista que a ideia deste trabalho é propor uma intervenção, baseada na IEV, para a resiliência e provimento dos serviços ambientais na Avenida Aguanambi. Aqui serão abordados os seguintes temas derivados do campo temático principal, a IEV: Corredores Verdes associados a corredores de mobilidade e o Desenvolvimento de Baixo Impacto (LID) aplicado a partir das Melhores Práticas de Manejo (MPM). Dois exemplos internacionais são apresentados para expor que os assuntos discutidos estão associados a novas práticas voltadas para a retomada das funções ecológicas atribuídas à paisagem e que se perderam nos processos de expansão urbana.

2.1 Os princípios que definem o conceito de Infraestrutura Verde (IEV)

O termo “Infraestrutura Verde” (IEV) foi mencionado pela primeira vez na Flórida em 1994, em um relatório ao governador da época sobre estratégias de conservação da paisagem. O documento trouxe uma reflexão sobre a noção de que os sistemas naturais são os componentes mais importantes de nossa infraestrutura (FIREHOCK, 2010). A Infraestrutura Verde tem uma função restauradora desse sistema de infraestruturas cinzas, na tentativa de minimizar os efeitos degradadores do alto tráfego de veículos, das enchentes e da poluição entre outros. Benedict e McMahon (2006) foram pioneiros na definição da IEV:

“A infraestrutura verde consiste em redes multifuncionais de fragmentos permeáveis e vegetados, preferencialmente arborizados (inclui ruas e propriedades públicas e privadas), interconectados que reestruturam o mosaico da paisagem. Visa manter ou restabelecer os processos naturais e culturais que asseguram a qualidade de vida urbana.” (BENEDICT e MCMAHON, 2006 p.3).



A IEV existe desde o século XIX, não com essa nomenclatura, e sofreu uma evolução através das décadas (BENEDICT; MCMAHON, 2006). Para mostrar esse progresso, foram indicados os fatos mais importantes de cada período, os quais contribuíram para a composição deste conceito (Tabela 1).

1850-1900
<ul style="list-style-type: none">- Frederick Law Olmsted criou o conceito de sistemas conectados de parques e vias paisagísticas;- Introdução da ideia de “cinturão verde” na Inglaterra para evitar a conurbação das cidades;- Finalização da primeira rede de espaços livres urbana, o sistema metropolitano de parques Minneapolis-St. Paul. <p>Princípios: As características da paisagem podem orientar o seu uso.</p>
1900-1920
<ul style="list-style-type: none">- Primeira via paisagística voltada para recreação (<i>The Bronx River Parkway</i>);- <i>Theodore Roosevelt</i>, presidente dos EEUU, incluiu na agenda nacional a conservação de áreas naturais;- Integração do Parque <i>Yellowstone</i> ao sistema nacional de parques dos EEUU. <p>Princípios: Realizar experiências em larga escala e conservar áreas naturais</p>
1930-1950
<ul style="list-style-type: none">- <i>Victor Shelford</i>, biólogo e ecologista, ressalta a importância da preservação de áreas naturais e zonas de amortecimento.- Como parte dos objetivos do <i>New Deal</i>, várias comunidades em cinturões verdes foram planejadas com ênfase na inclusão do espaço verde no design urbano e na proteção da comunidade contra os impactos adjacentes. <p>Princípios: Conexão entre ecologia e design; princípios éticos no uso da terra; preservação da natureza em seu estado selvagem.</p>
1960
<ul style="list-style-type: none">- <i>William H. Whyte</i> introduz o termo e o conceito de <i>Greenway</i> (Corredor Verde);- <i>Ian Mcharg</i>, governante e arquiteto da paisagem, argumenta que a ecologia serve como base para o design;- Rachel Carson publica o livro “Primavera Silenciosa”, chamando a atenção para os impactos causados na natureza pelo homem. <p>Princípios: Análise da paisagem e sua adequação; definição de um processo científico para o planejamento do uso do solo;</p>
1970-1980
<ul style="list-style-type: none">- Estabelecimento do Programa Americano de <i>Greenways</i> (Corredores verdes), para criar um sistema desses espaços através dos EEUU.- Introdução do georreferenciamento como ferramenta para o planejamento regional;- A Comissão mundial da Organização das Nações Unidas (ONU) para Meio Ambiente e Desenvolvimento concluiu que o desenvolvimento sustentável exige que o tamanho e o crescimento da população devem estar em harmonia com a mudança do potencial produtivo dos ecossistemas. <p>Princípios: Ciência e processos são necessários para orientar o planejamento da paisagem, constituído por fatores ecológicos.</p> <ul style="list-style-type: none">- Preservar áreas naturais isoladamente não é o suficiente para a preservação da biodiversidade.- Conexões entre áreas naturais são importantes.
1990-2006
<ul style="list-style-type: none">- Identificação da infraestrutura verde como uma das principais estratégias para o desenvolvimento sustentável das comunidades;- Crescimento do interesse na infraestrutura verde como ferramenta para a preservação e o desenvolvimento da paisagem. <p>Princípios: Enfoque na escala da paisagem, compreensão dos padrões e processos inerentes a ela;</p> <ul style="list-style-type: none">- O planejamento da infraestrutura verde requer a identificação e conexão entre áreas de preservação;- Planejamento baseado em tomadas de decisão participativa e baseadas em um consenso coletivo.

Tabela 1 - Marcos históricos do desenvolvimento da Infraestrutura Verde.

Fonte: adaptado de Benedict e McMahon (2006).

A partir da análise desse histórico, percebe-se a Infraestrutura Verde como uma solução aplicada para conciliação entre os sistemas naturais e construídos através da conexão entre as áreas verdes de uma cidade.

De acordo com Benedict e McMahon (2006), a IEV é planejada a partir de três estruturas chave: *hub*, *link* e *site*, ou seja, polo, conexão e fragmentos (Figura 7).

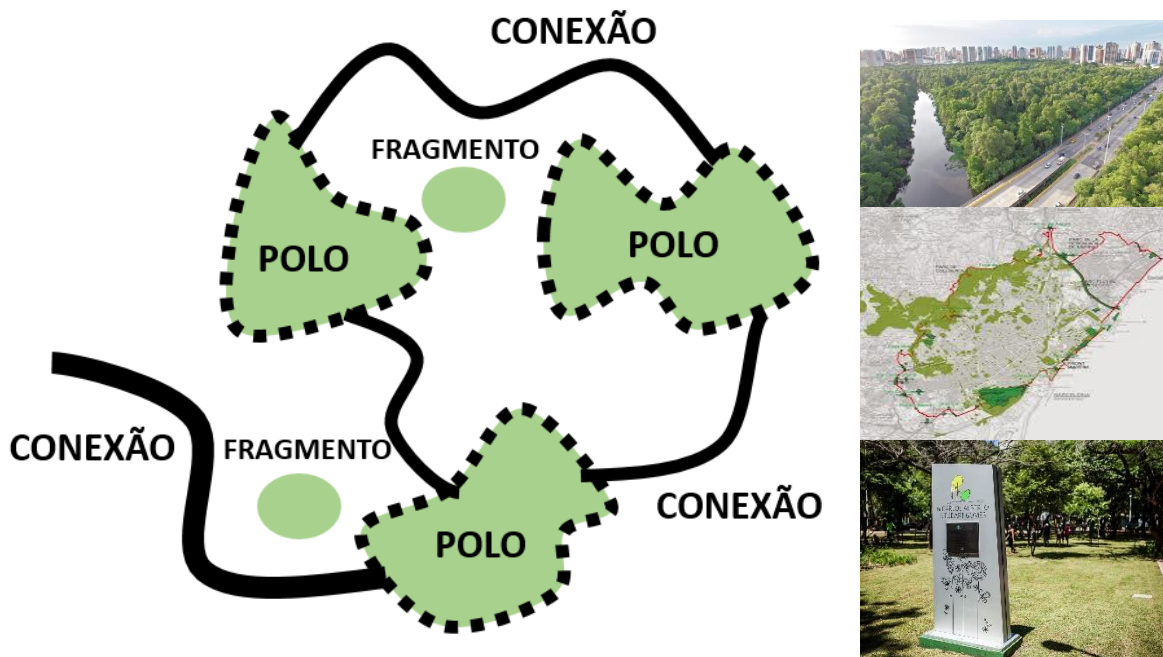


Figura 7 - Conceitos chave da Infraestrutura Verde – Polo (Parque Estadual do Cocó), Conexão (Anel Verde de Barcelona) e Fragmento (Praça Dr. Carlos Alberto Studart em Fortaleza – CE).
Fonte: adaptado de Benedict e McMahon (2006)

Significar os conceitos estruturantes (Tabela 2) apresentados na Figura 7 é fundamental para o desenvolvimento deste trabalho, tendo em vista que a Avenida Aguanambi promove a conexão entre regiões distintas da cidade que reúnem importantes espaços verdes e áreas naturais, consistindo num elo em potencial a partir da sua adaptação a um Corredor Verde, elemento chave que compõe uma IEV.



Polos	Funcionam como âncoras que mantêm o papel exercido pela infraestrutura verde. Consiste em extensas áreas verdes como parques e áreas de preservação que dão suporte à flora e fauna e beneficiam a região onde estão inseridos com serviços ambientais. Existem em diversos tamanhos e formas. Parques nacionais ou estaduais, reservas ambientais, florestas e fazendas são considerados polos. (BENEDICT e MCMAHON, 2006).
Conexões	São corredores que conectam polos e proporcionam as trocas de energia e matéria para a sobrevivência de diversas espécies, protegendo e mantendo os ecossistemas naturais. Atuam também como suporte à vida social e cultural, através da preservação de sítios históricos e criação de espaços de recreação. Corredores Verdes, Cinturões Verdes e corredores naturais ao longo de rios são exemplos de conexões (op. cit.).
Fragmentos	São menores que os polos e não se conectam com estes necessariamente, mas também exercem um papel fundamental para a conservação da vida selvagem e proporcionam espaços de lazer e relaxamento para as pessoas. Pequenos parques e praças exemplificam este conceito (op. cit.).

Tabela 2 - Conceitos estruturantes da IEV
Fonte: adaptado de Benedict e McMahon (2006)

Considerando o sentido amplo do conceito de IEV e a fim de evitar distorções do mesmo, Benedict e McMahon (2006) definem também o que a Infraestrutura Verde não é (Quadro 2).

- 1 – Um programa – é uma filosofia ou estratégia de organização para prover ferramentas, e planejar a conservação e o desenvolvimento;
- 2 – Uma panaceia – a Infraestrutura Verde não pode ser tudo para todos, requer a consideração de prioridades para ser aplicada;
- 3 – Uma solução a curto prazo – o planejamento e a gestão requerem um longo prazo;
- 4 – Um esforço isolado – requer uma coordenação multidisciplinar, há muitas pessoas envolvidas;
- 5 – Um programa de governo – a Infraestrutura Verde depende de vários setores da sociedade, inclusive de empresários;
- 6 – Contra o crescimento e o desenvolvimento – ao contrário disso, ela busca orientar o padrão de crescimento e auxiliar nas mudanças do uso do solo;
- 7 – Elitista – pois atinge todas as classes sociais inseridas na comunidade beneficiada com as mudanças promovidas pela Infraestrutura Verde;
- 8 – Um sistema de Corredores Verdes – são um componente importante da Infraestrutura Verde, mas esta tem objetivos ecológicos mais amplos;
- 9 – Jardins ou playgrounds; podem ser parte da Infraestrutura Verde, porém não necessariamente compartilham os mesmos objetivos ecológicos e ambientais.

Quadro 2 - O que a infraestrutura verde não é.
Fonte: adaptado de Benedict e McMahon (2006)

Dentre os princípios da Infraestrutura Verde apresentados no Quadro 2, está a possibilidade de trazer serviços ambientais ou ecológicos para a natureza e às pessoas. Com o intuito de compreender melhor esses serviços, foi investigado quais vantagens os sistemas naturais proporcionam à vida das pessoas e ao meio ambiente. Huber et al. (2010) dividem os serviços ecológicos em quatro categorias de que se desdobram em 17 serviços ambientais ou ecológicos; três das quatro categorias apresentadas também foram indicadas pelo programa da ONU (ASSESSMENT, 2005), serviços de provisão, culturais e de purificação ou regulação (Quadro 3).

Serviços de provisão	Serviços culturais
1. Abastecimento de água 2. Produção de alimentos 3. Produção de matéria-prima	9. Recreação 10. Enriquecimento cultural
Serviço de apoio	Serviços de purificação
4. Formação de solo 5. Ciclagem de nutrientes 6. Polinização 7. Recursos genéticos 8. Refúgio / Habitat	11. Regulação atmosférica 12. Regulação climática 13. Regulação de distúrbios 14. Regulação da água 15. Tratamento de resíduos 16. Controle de espécies 17. Controle da erosão e retenção de sedimentos

Quadro 3 - Serviços ambientais propostos pelo LID.
 Fonte: adaptado de Huber et al. (2010)

Conforme explanado anteriormente, os componentes da Infraestrutura Verde podem assumir dimensões diferentes, por isso sua abordagem envolve múltiplas escalas (local, regional e inter-regional), segue as considerações de Benedict e McMahon (2006) a respeito disso:

“O princípio da infraestrutura verde pode ser implementado em qualquer escala: no lote, na comunidade local, na regional ou mesmo inter-regional. Na escala do lote, a Infraestrutura Verde visa projetar casas e comércios rodeados de espaço verde. O desenvolvimento de espaços que incorporam áreas verdes e incluem trilhas para caminhada estão se tornando cada vez mais populares. No nível da comunidade, a Infraestrutura Verde pode estabelecer vias verdes para vincular parques públicos existentes. A nível estadual ou regional, promove uma rede de conexões da paisagem que ligam florestas, pradarias e outras áreas naturais, proporcionando habitat para os animais.” (BENEDICT e MCMAHON, 2006 p. 14, tradução minha).



Ou seja, a implantação da IEV para promover serviços ambientais pode começar em um lote, através de um simples sistema de captação de águas pluviais, por exemplo, e se expandir até a escala do município, como na “cidade esponja” (Yu et al, 2015), partindo da abrangência dos benefícios ecossistêmicos de um nível comunitário até o nível regional através das conexões (BENEDICT; MCMAHON, 2006). Tendo em vista que a IEV é consolidada através dos Corredores Verdes, as estratégias para sua aplicação em Fortaleza podem ser elaboradas com base num estudo inicial em pequena escala.

2.2 As principais funções dos Corredores Verdes e sua relação com os corredores de mobilidade urbana

Trata-se neste item de um dos conceitos chave de uma Infraestrutura Verde, a “conexão” ou “corredor verde” (BENEDICT; MCMAHON, 2006), o qual é muito importante para o desenvolvimento deste estudo sobre a adaptação de corredores de mobilidade a Corredores Verdes. O termo original é conhecido na literatura pesquisada como *Greenway*, porém será adotado o termo traduzido “Corredor Verde”.

De acordo com Little (1990) e Yu, Li e Li (2006), Corredor Verde é um espaço livre linear arborizado que acontece ao longo de um corredor natural, ou seja, ao longo de rios, da costa marítima, de um vale ou ao longo de estradas ou vias convertidas em áreas para recreação e lazer, como uma via paisagística ou rio canalizado. Little (1990) também define o conceito em análise como um corredor de mobilidade arborizado voltado para a circulação de pedestres e ciclistas, atuando como um conector entre praças, parques, reservas naturais e sítios históricos.

Essas conexões verdes são peças fundamentais do planejamento urbano; a disseminação dessa solução representa um grande potencial para a recuperação dos recursos naturais nas cidades, estados ou países (FABOS, 1995). Esses corredores podem ter diferentes larguras e se comportam como uma rede conectada e direcional, assim como ruas, avenidas ou estradas. A principal diferença entre os Corredores Verdes naturais e os artificiais é que nos primeiros a natureza é a principal infraestrutura e a sua rede de conexões é considerada pré-existente (FABOS, 1995).

Conforme Yu, Li e Li (2006), corredores verdes ao longo de rios, canais ou córregos vêm provando a importância da implantação da arborização nas margens desses recursos hídricos como uma forma eficaz para a prevenção de alagamentos. Os chineses, assim como outros povos ao redor do mundo, sofrem bastante por causa dos transbordamentos dos rios, por isso surgiu o movimento de criação e preservação de áreas verdes nas margens ribeirinhas com o objetivo de melhorar o sistema de drenagem no entorno desses locais.

Nesta pesquisa foi elaborado um levantamento das funções atribuídas aos Corredores Verdes pelos principais autores que discutiram o tema nas duas últimas décadas (Tabela 3).

AUTORES	FUNÇÕES DOS CORREDORES VERDES
Little (1990)	<ul style="list-style-type: none"> - Recuperação de espaços livres com a criação dos Corredores Verdes ao longo de recursos hídricos negligenciados como rios ou as frentes marítimas. - Recreação através de caminhos e trilhas ao longo de vias férreas desativadas ou rios canalizados. - Preservação de corredores naturais para garantir a conectividade entre as espécies, a manutenção da fauna e flora, o desenvolvimento de estudo e atividades físicas para população como caminhadas. - Facilitar o acesso de pedestres às rotas históricas e culturais. - Oportunidade para viabilizar a implantação de Infraestrutura Verde em escala municipal ou regional.
FABOS (1995)	<ul style="list-style-type: none"> - Criação de corredores ecológicos e sistemas ao longo de rios e da costa marítima, para a preservação de fauna e flora - Estabelecimento de corredores voltados para o lazer e recreação, através da valorização da paisagem em áreas urbanas ou rurais e com diferentes escalas de aplicação (local, regional, nacional ou internacional) - Valorização histórica e cultural voltados para o turismo com o objetivo de promover atividades educativas, de lazer e desenvolvimento econômico e social.
Yu, Li e Li, (2006)	<ul style="list-style-type: none"> - Prevenção de enchentes ao longo de rios e canais. - Criação de áreas sombreadas, de abrigo e de melhoria da drenagem ao longo de ruas, estradas e rodovias.
Benedict e Macmahon (2006)	<ul style="list-style-type: none"> - Recreação e saúde para as pessoas. - Realçar o valor histórico e cultural nas comunidades. - Permite o estabelecimento de uma rede de Infraestrutura Verde através da conexão de fazendas, ranchos e florestas.

Tabela 3 - Estudo comparativo de funções atribuídas aos Corredores verdes
Fonte: elaborado pela autora

A Tabela 03 mostra que dois dos autores listados descrevem os Corredores Verdes como elementos fundamentais para a composição de uma Infraestrutura Verde; e segundo Benedict e Macmahon (2006) a IEV se compõe pela conexão entre polos e fragmentos. Yu, Li e Li (2006) e Little (1990) estabelecem uma relação entre os Corredores Verdes e os eixos de transporte e mobilidade, representados por ruas, avenidas e estradas. Considerando o objetivo deste trabalho de propor corredores verdes em um sistema viário, é necessário introduzir alguns conceitos sobre mobilidade urbana porque seus elementos estruturantes representam o cenário onde o estudo de caso será realizado.



2.2.1 Elementos estruturantes da Mobilidade Urbana em Fortaleza-CE

Tendo em vista que o cenário investigado é um importante corredor de mobilidade, cabe trazer algumas definições e discussões a respeito da mobilidade e seus elementos estruturantes. Primeiramente seguem abaixo algumas definições do Código de Trânsito Brasileiro a respeito dos principais espaços que compõem um sistema viário (Tabela 4).

Espaços	Definição de acordo com o Código de Trânsito Brasileiro
Calçada	“Parte da via, normalmente segregada e em nível diferente, não destinada à circulação de veículos, reservada ao trânsito de pedestres e, quando possível, à implantação de mobiliário urbano, sinalização, vegetação e outros fins”.
Ciclofaixa	“Parte da pista de rolamento destinada à circulação exclusiva de ciclos, delimitada por sinalização específica”.
Ciclovia	“Pista própria destinada à circulação de ciclos, separada fisicamente do tráfego”.
Passeio	“Parte da calçada ou da pista de rolamento, neste último caso, separada por pintura ou elemento físico separador, livre de interferências, destinada à circulação exclusiva de pedestres e, excepcionalmente, de ciclistas”.
Via	“Superfície por onde transitam veículos, pessoas e animais, compreendendo a pista, a calçada, o acostamento, ilha e canteiro central”.
Via arterial	“Aquela caracterizada por interseções em nível, geralmente controlada por semáforo, com acessibilidade aos lotes lindeiros e às vias secundárias e locais, possibilitando o trânsito entre as regiões da cidade”.
Via coletora	“...destinada a coletar e distribuir o trânsito que tenha necessidade de entrar ou sair das vias de trânsito rápido ou arteriais, possibilitando o trânsito dentro das regiões da cidade”.
Via local	“Aquela caracterizada por interseções em nível não semaforizadas, destinada apenas ao acesso local ou a áreas restritas”.
Pista	“Parte da via normalmente utilizada para a circulação de veículos, identificada por elementos separadores ou por diferença de nível em relação às calçadas, ilhas ou aos canteiros centrais”.

Tabela 4 - Definição dos espaços estruturantes dos corredores de mobilidade.
Fonte: Código de Trânsito Brasileiro (Brasil, 2010).

De acordo com o Ministério das Cidades (2015), a mobilidade é uma capacidade importante que permite a circulação e deslocamento das pessoas para desempenharem diversos tipos de atividades como trabalhar, estudar e recrear. Sem uma mobilidade eficiente nas cidades, as relações de troca de bens e serviços, o convívio social, e o acesso à cultura e lazer são prejudicados.

A mobilidade sustentável se aplica com a diminuição das viagens em veículos particulares e com o aumento do número de usuários dos modais não motorizados (bicicletas ou a pé) e do transporte público coletivo (MINISTÉRIO DAS CIDADES, 2015). Sendo assim, cidades como Fortaleza estão aplicando as ações determinadas pelo Plano Nacional de Mobilidade elaborado pelo Ministério das Cidades (2015):

“Aliado ao uso de instrumentos de controle de demanda por viagens de automóveis é importante aumentar a oferta de serviços e infraestruturas com qualidade, segurança, acessibilidade e modicidade tarifária. Como exemplo, pode-se citar a oferta de rede cicloviária segura e bem sinalizada, calçadas acessíveis, transporte público confortável, confiável, acessível e com baixo custo aos usuários.” (MINISTÉRIO DAS CIDADES, 2015 p. 18).

Para atender as demandas determinadas pelo Plano Nacional de Mobilidade, as obras de mobilidade nas avenidas de Fortaleza estão promovendo a implantação de ciclovias, ciclofaixas, binários, faixas exclusivas para ônibus e corredores de BRT. O Bus rapid transit (BRT), que está sendo implantado na Avenida Aguanambi, é “um modo de trânsito rápido, flexível e de alto desempenho que combina uma variedade de elementos físicos e operacionais integrados permanentemente em um sistema caracterizado pela qualidade e exclusividade” (Levinson et al apud Federal Transit Administration, 2009 p. 1). O BRT promove a circulação mais rápida de ônibus nas avenidas de grande fluxo e é baseado numa infraestrutura composta por estações de parada denominadas plataformas.

Com essas intervenções para melhorar a mobilidade urbana de Fortaleza, não tem sobrado espaço para áreas verdes e arborização em diversas avenidas (G1 CE, 2014; G1 CE, 2015). Portanto o entendimento desses novos elementos estruturantes do sistema viário é mister para elaboração de uma proposta de intervenção mais próxima da realidade e adaptada à infraestrutura viária existente. A conexão entre polos naturais é a condição *sine qua non* para a efetivação de uma IEV, por isso compreender como Corredores Verdes podem ser implantados nos eixos de mobilidade na cidade de Fortaleza é um dos principais propósitos desta pesquisa.



2.3 O Desenvolvimento de Baixo Impacto (LID) e as Melhores Práticas de Manejo (MPM).

Considerando que a IEV pode atuar em três escalas, local, regional e inter-regional (BENEDICT e MCMAHON, 2006), essa seção deve apresentar o que é o conceito do Desenvolvimento de Baixo Impacto (DBI), mostrar suas técnicas compensatórias conhecidas como Melhores Práticas de Manejo (traduzido de *Best Practice Management*) e esclarecer como elas podem promover a adaptação da infraestrutura cinza à uma Infraestrutura Verde numa escala local.

O Desenvolvimento de Baixo Impacto (tradução de *Low Impact Development - LID*) foi desenvolvido nos EEUU, assim como o conceito de IEV. Huber et al. (2010) definem como uma abordagem de gerenciamento de águas pluviais baseada na ecologia e que favorece a engenharia para gerenciar o impacto das chuvas através de uma rede de tratamento das águas pluviais que utiliza a vegetação. De acordo com Pellegrino (2017):

“Como uma alternativa para tratar o problema da condução e tratamento das águas pluviais urbanas, o termo geral LID passou a ser usado para descrever um conjunto de princípios e práticas desenvolvidas para melhor manter ou restaurar o regime hidrológico em uma bacia.” (PAULO PELLEGRINO, 2017 p. 31)

O Quadro 4 apresenta os princípios do DBI de acordo com PGCO (1999a) e DOD (2004):

Princípios do DBI
1- Integrar as estratégias de gerenciamento de águas pluviais na fase inicial de planejamento e projeto para a área de intervenção;
2- Gerenciar as águas pluviais tão perto da fonte quanto possível com técnicas distribuídas em uma micro escala;
3- Desenvolver projetos baseados na dinâmica ambiental do lugar;
4- Criar uma paisagem hidrológicamente multifuncional através da manutenção das funções do ciclo natural da água;
5- Focar principalmente na prevenção em vez da remediação;
6- Reduzir custos com a construção e manutenção da infraestrutura cinza de manejo das águas pluviais;
7- Capacitar as comunidades para proteção ambiental através da educação pública e participação da população.

Quadro 4 - Princípios do LID
Fonte: PGCO (1999a), DOD (2004)

Assim, o objetivo geral do DBI é sustentar o regime hidrológico natural usando técnicas de infiltração, filtragem, armazenamento e evaporação do escoamento de águas pluviais. Este conceito propõe o manejo do escoamento poluído através de uma rede de paisagens de tratamento (Figura 8), opostamente à infraestrutura convencional de transporte (tubulações e galerias) que canalizam o escoamento para outros lugares (HUBER et al. 2010).

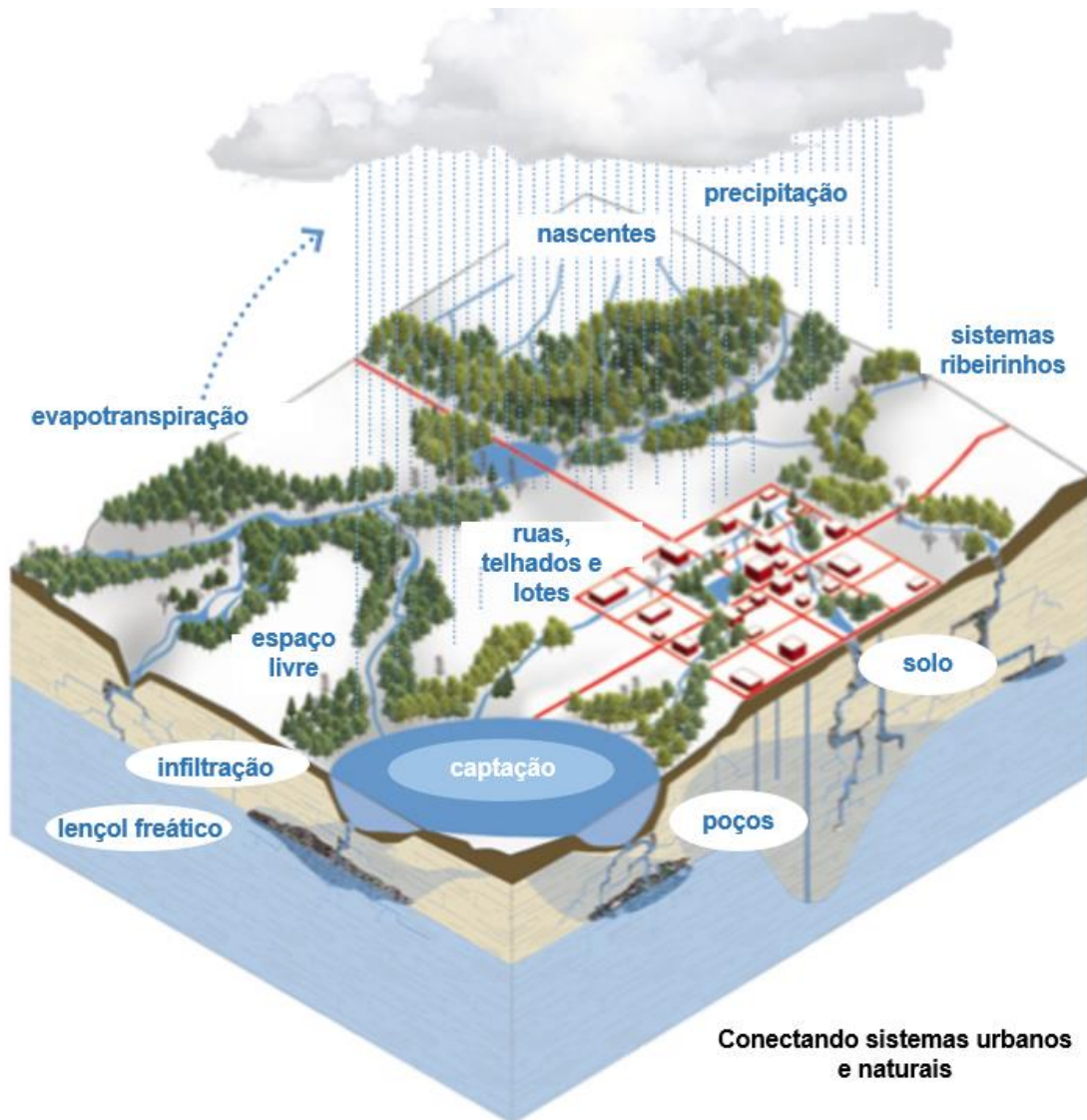


Figura 8 - A conexão entre sistemas naturais e urbanos
Fonte: adaptado de Huber et al. (2010)

A relação entre a água e a urbanização é uma das principais discussões trazidas pelo DBI, a falta de integração dos sistemas naturais e urbanos vêm provocando a degradação dos recursos hídricos e influenciando o escoamento das águas pluviais. O Desenvolvimento de Baixo Impacto defende diretrizes de projetos para edificações, lotes e ruas que venham

manter o ciclo da água equilibrado (SEMCOG, 2008). O coeficiente de escoamento de águas superficiais (*runoff*) tem uma relação direta com o nível de impermeabilização do solo; florestas podem ter 0% de *runoff*, enquanto as áreas urbanizadas tem um *runoff* de no mínimo 55% conforme FISRWG (1998) apud Araújo (2005) (Figura 9).

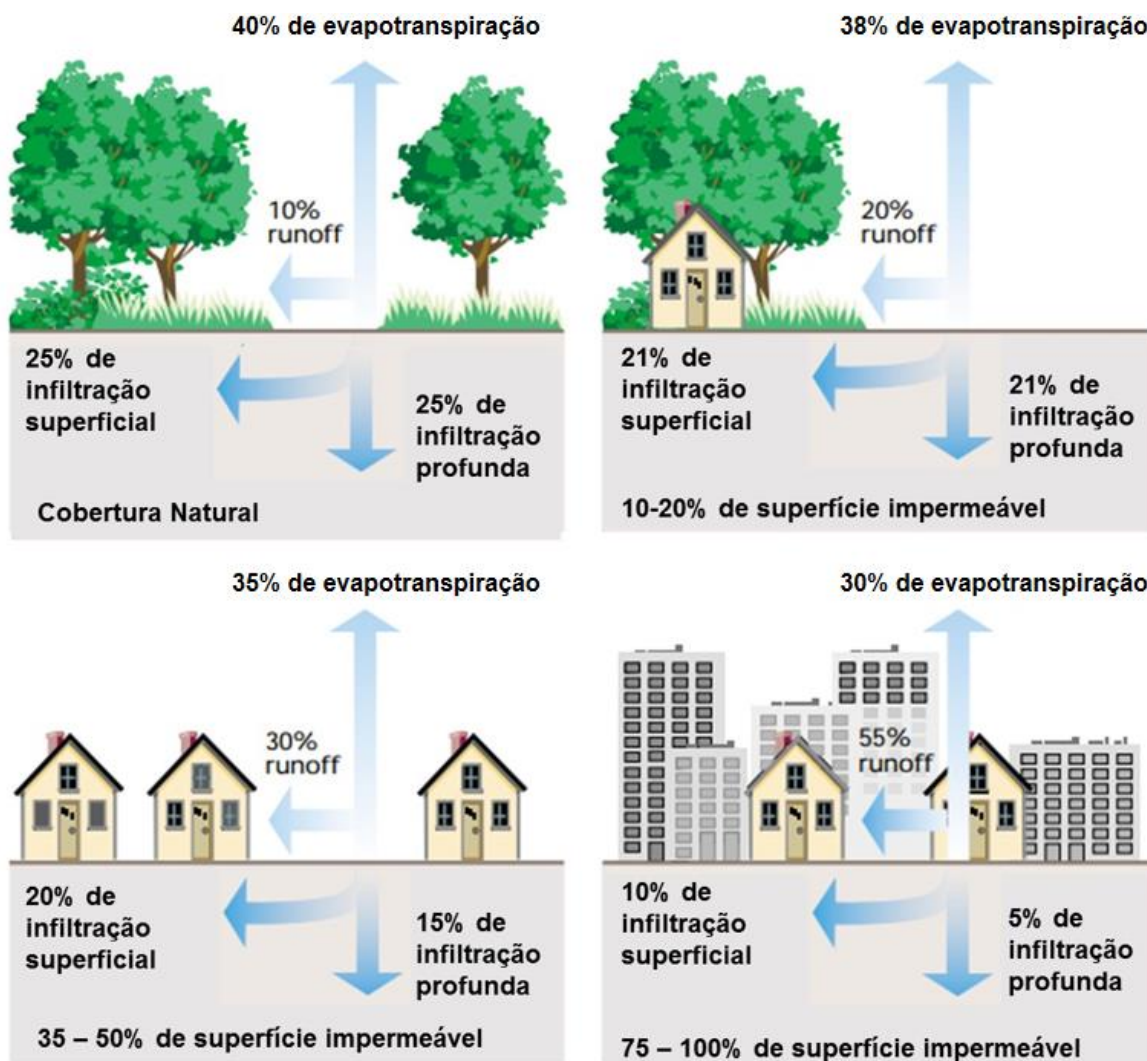


Figura 9 - A relação entre o runoff e a impermeabilização do solo.
 Fonte: adaptado de FISRWG (1998) apud Araújo (2005).

O escoamento de água superficial (*runoff*) é tóxico, caracterizado pela poluição difusa, pois concentra resíduos de hidrocarbonetos de produtos químicos como óleo, gasolina, fluidos de automóveis, produtos asfálticos oriundos das vias, resíduos de telhados e metais pesados (PINHEIRO, 2017). A infraestrutura convencional drena e direciona o escoamento não tratado de um lugar para outro, ou seja, transfere o problema desse tipo de poluição de uma região da cidade para outra (HUBER et al., 2010). Com isso, os poluentes são depositados nas bacias hidrográficas (PELLEGRINO, 2017). De acordo com PGCO (1999b) a abordagem do

DBI difere da infraestrutura cinza promovendo o tratamento da água contaminada, além de outros benefícios (Quadro 5).

Conceitos da Infraestrutura Cinza	Conceitos das técnicas de DBI
Tratamento das águas pluviais longe da fonte, próximo ao seu destino final.	As águas pluviais são tratadas na fonte ou muito próximas desta.
Sistema de coleta centralizado.	Sistema descentralizado.
Captura e destina as águas pluviais para longe da fonte de forma rápida e eficiente.	Imita o ciclo hidrológico existente pré-urbanização. O objetivo do LID é manter o volume de precipitação dentro da área.
As instalações de gerenciamento são projetadas para controlar ou atenuar o pico de vazão do escoamento superficial.	As técnicas de LID reduzem o dimensionamento das instalações de gestão das águas pluviais.

Quadro 5 - Conceituação sobre Infraestrutura Cinza e LID
Fonte: PGCO (1999b)

Os conceitos do DBI, descritos no Quadro 5, são aplicados através da Melhores Práticas de Manejo (MPM) que têm como objetivo principal promover o amortecimento, a distribuição e a absorção do escoamento superficial através de controle de fluxo, detenção, retenção, filtração, infiltração e tratamento das águas pluviais (Figura 10).

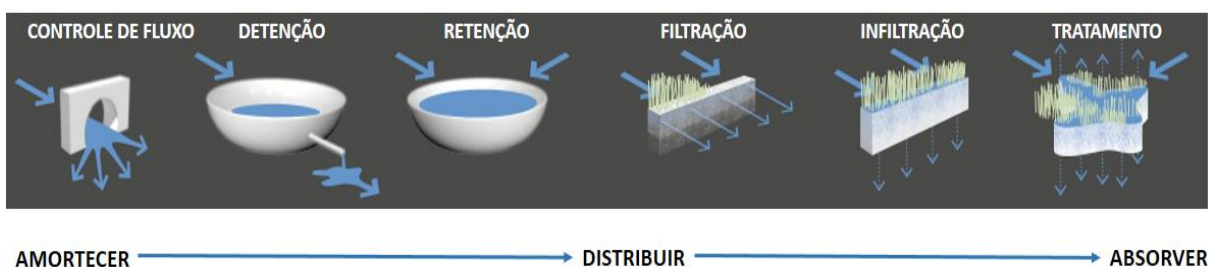


Figura 10 – Objetivos do LID (*Low Impact Development*) Fonte: traduzido de Huber et al. 2010.

As MPM têm desempenhado um papel importante na diminuição do *runoff* e tratamento das águas pluviais, diferentemente da infraestrutura convencional de acordo com DOD (2004). As performances dos dois tipos de infraestrutura no tratamento do escoamento superficial no local da precipitação e fora dele foram comparadas (Quadro 6).



Comparativo entre Infraestrutura Cinza e LID		
Parâmetros de Hidrologia	Infraestrutura Cinza	Técnicas de LID
<i>In situ</i>		
Cobertura impermeável	Instalações para uma drenagem eficaz	Minimizada para aumentar a infiltração.
Vegetação ou cobertura natural	Reduzida para fornecer ou melhorar o sistema de drenagem convencional	Maximizada para manter o ciclo hidrológico o mais próximo do existente antes da urbanização
Volume de escoamento	Não controlado	Controlado
Freqüência de escoamento superficial	Aumentada, especialmente para chuvas curtas e freqüentes	Reduzida ou minimizada
Interceptação, infiltração e armazenamento das águas pluviais	Grande redução do desempenho destas funções.	Funções mantidas baseando-se pelas condições pré-urbanização.
Recarga de água subterrânea	Redução de recarga	Mantida de acordo com as condições pré-urbanização
<i>Ex situ</i>		
Qualidade da água	Redução da qualidade da água e carreamento de poluentes	Recuperação da qualidade da água através dos processos naturais de filtração
Situação de canais e córregos	Impactos severos – erosão, degradação, deposição de sedimentos e comprometimento do habitat natural	Recuperação do máximo possível de funções ecológicas
Inundações nos pontos baixos	O controle de volume a montante reduz a inundação naquele local, mas pode acarretar inundações a jusante.	Máxima captação do volume <i>in situ</i> para evitar impactos <i>ex situ</i>

Quadro 6 - Comparativo entre Infraestrutura Cinza e LID
 Fonte: DOD (2004)

Portanto, de acordo com Becker (2017) as Melhores Práticas de Manejo (MPM) de águas pluviais são técnicas para ampliar o estoque de volume de retenção em áreas urbanas. De acordo com Huber et al. (2010), essas técnicas foram inicialmente agregadas aos sistemas de infraestrutura convencional, para melhorar a drenagem pontualmente, ou seja, na escala do lote. Após a admissão dessas práticas no DBI, as MPM assumiram outras escalas: do lote para o bairro, cidade e região. Agora estas se conectam a uma rede distribuída para reduzir e tratar o escoamento das águas pluviais urbanas antes de chegar aos corpos d'água de

acordo com os dados comparativos apresentados no Quadro 6. A seguir são listados os principais exemplos de MPM que efetivam os objetivos do DBI, através do controle do *runoff* (Quadro 7).

Soluções adotadas pelas Melhores Práticas de Manejo - MPM	
<p>JARDIM DE CHUVA: é uma instalação de bioretenção. A mitigação dos poluentes das águas pluviais é realizada através de processos de fitorremediação, já que o escoamento passa pelas plantas e solo. Os jardins de chuva combinam camadas de solo arenoso orgânico para infiltração, e estabilizadores como fibra de coco para promover a atividade microbiana. Os jardins de chuva são melhor aplicados em uma escala relativamente pequena. Eles funcionam bem ao longo de calçadas e em áreas baixas de uma propriedade. (HUBER ET AL. 2010 p. 178)</p>	
<p>BIOVALETA: é um dispositivo também para a mitigação de poluentes através da fitorremediação por vegetação. Combinam serviços de tratamento e transporte. São geralmente localizadas ao longo de estradas, residências ou estacionamentos onde a área de contribuição é inferior a cinco hectares (50.000m²). (HUBER et al., 2010 p. 182)</p>	
<p>LAGOAS PLUVIAIS: são pântanos artificiais que oferecem uma gama completa de serviços ecossistêmicos para o tratamento de águas pluviais poluídas. (HUBER et al. 2010, p. 186)</p> <p>Uma parte da água captada permanece retida entre os eventos de precipitação das chuvas. São como alagados construídos, mas não são destinadas ao tratamento de esgoto. (BECKER, 2017 p. 49)</p>	
<p>TETO VERDE: é uma técnica de redução de área impermeável que diminui os requisitos de manejo de águas pluviais no seu entorno. Também chamado de eco-telhado, é um sistema vegetativo leve composto por material impermeabilizante, meio de cultivo e plantas de baixo crescimento, tolerantes à seca. Os tetos verdes reduzem as taxas de escoamento superficial em pelo menos 50%. Também ajudam a mitigar o aquecimento, mantendo as residências com temperatura amena. (PORTLAND, 2016 p. 2-43).</p>	

Soluções adotadas pelas Melhores Práticas de Manejo - MPM (continuação)

PAVIMENTOS PERMEÁVEIS: são técnicas de redução de área impermeáveis que diminuem a necessidade de manejo de águas pluviais na área de sua instalação. Esses métodos de infiltração de águas pluviais fornecem uma superfície estável sem aumentar a área impermeável do terreno. Existem duas categorias principais de pavimentos permeáveis: concreto permeável e asfalto permeável. (PORTLAND, 2016 p. 2-49)



ARBORIZAÇÃO: as árvores captam a precipitação e fornecem vários benefícios de manejo de águas pluviais: elas mantêm a água em suas folhas e galhos e permitem sua evaporação. Embora as árvores caducifólias não sejam tão efetivas durante os meses de inverno, as árvores perenifólias são efetivas durante todo o ano para tempestades fracas e parte de tempestades fortes. Geralmente, grandes árvores com folhas pequenas são os interceptores de chuva mais eficientes. As árvores também facilitam a infiltração de águas pluviais e a recarga das águas subterrâneas. (PORTLAND, 2016 p. 2-53)



SARJETAS VERDES: são extensões de calçada tipicamente usadas em situações de adaptação para gerenciar o escoamento das águas pluviais.. Interceptam as águas pluviais da calha da rua para jardins. (PORTLAND, 2016 p. 2-70). São jardins de chuva compactados em pequenos espaços urbanos e podem promover a infiltração através de extravasor, ou simplesmente absorver naturalmente e contar com a evaporação e transbordamento (BECKER, 2017 p. 49)



Quadro 7 - Soluções adotadas nas Melhores Práticas de Manejo (MPM)
Fonte: elaborado pela autora

Sobre a adaptabilidade dessas técnicas de manejo, de acordo com Pellegrino (2017, p. 31) “A visão infraestrutural dos espaços abertos propõe que esses elementos podem ser plenamente compatibilizados e integrados aos projetos de tratamento paisagístico, como uma das suas camadas funcionais”. Para Portland (2016), as técnicas de MPM se adequam bem a uma escala local e são apropriadas para implantação em ruas e calçadas, portanto vão ao encontro do objetivo desta pesquisa de propor a integração da Infraestrutura Verde a corredores de mobilidade vislumbrando a resiliência urbana através do desempenho das MPM na prevenção de enchentes e diminuição da poluição dos recursos hídricos.

2.4 Projetos referenciais de implantação de infraestrutura verde em escala local e regional.

A pesquisa desenvolvida traz exemplos concretos sobre a implantação de Infraestrutura Verde para o manejo das águas pluviais nos EEUU e na China, países que buscam promover a resiliência urbana e mitigar os efeitos das grandes tempestades. Definiu-se uma abordagem em diferentes escalas para compreender se a Infraestrutura Verde pode ser constituída em dimensões territoriais diferentes e se os benefícios são equivalentes.

2.4.1 Implantação de canteiros pluviais e jardins de chuva – visita ao Gowanus canal no distrito do Brooklin em Nova Iorque (EEUU)

Em visita ao distrito do Brooklin na cidade de Nova Iorque em junho de 2017, foi possível conhecer o projeto de implantação de IEV no entorno do Canal Gowanus, que se encontra com a baía de Nova Iorque, caracterizada pela proximidade com o Porto e, por isso, com o grande fluxo de embarcações. As margens do canal são caracterizadas pela presença de armazéns e estacionamentos (EPA, 2017).

O projeto foi elaborado através de uma parceria entre o poder público do Estado de Nova York e diversas agências. Para amenizar a poluição do canal e ao mesmo tempo criar um parque público ao longo do Gowanus, foram propostas estratégias para desviar o excesso de escoamento de águas pluviais e reduzir a entrada de água da chuva no sistema de esgoto (DLANSTUDIO, 2012).

A construção de um “*Sponge Park*” promoveu a implantação de canteiros pluviais e áreas verdes ao longo do canal (Figura 11), essa intervenção potencializou a capacidade de drenagem e mitigou os impactos das inundações na região, pois adotou o conceito de LID com a inserção das Melhores Práticas de Manejo (MPM). Com isso, os serviços ambientais promovidos por esse modelo de intervenção foram a purificação do ar e da água pela vegetação, a regulação de distúrbios como enchentes, e a criação de áreas verdes para a recreação da população.

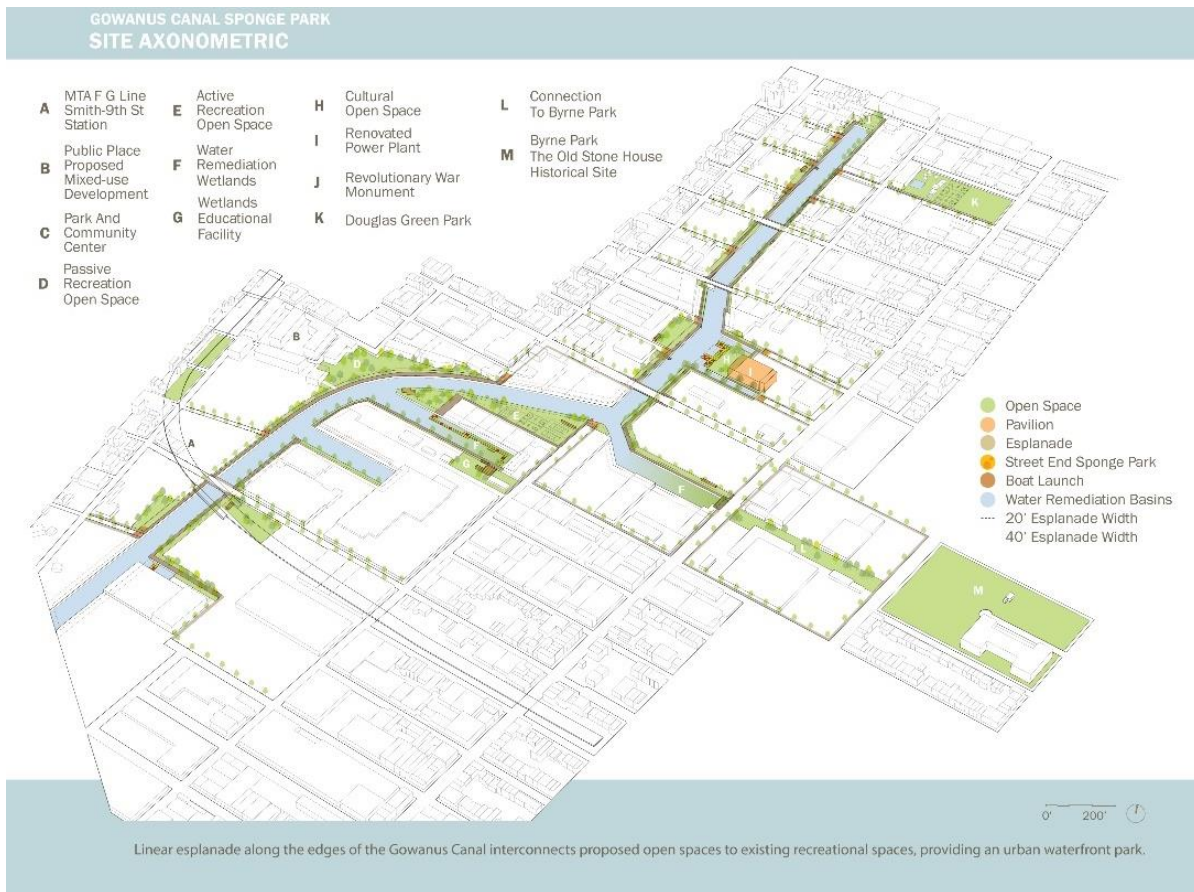


Figura 11 - Gowanus Canal Sponge Park
Fonte: ASLA (2010)

Foi possível identificar a presença edificações que não se comunicam com o recurso hídrico; as margens foram ocupadas por construções segregadas do canal pelas grades (Figura 12), isso sugere uma condição de esquecimento do recurso hídrico.



Figura 12 - Canal Gowanus no Brooklin (Nova Iorque).
Fonte: acervo pessoal da autora

O trecho que compreende a proposta do *Sponge Park*, com a implantação de um empreendimento imobiliário residencial, recebeu as MPM que possibilitaram a integração do canal à paisagem, promovendo uma comunicação dos futuros moradores com o recurso hídrico através de caminhos vegetados e arborizados nas suas margens (Figura 13)



Figura 13 - Caminho construído nas margens do Canal Gowanus.
Fonte: acervo pessoal da autora

Houve uma integração dos sistemas de biorretenção aos locais de contemplação, lazer, passagem e encontro. Dessa forma, promoveu-se o enriquecimento da paisagem, mas principalmente uma função infraestrutural, atribuída aos canteiros pluviais instalados nas calçadas e às margens do canal Gowanus (Figura 14).



Figura 14 - Canteiros pluviais no Canal Gowanus – Brooklin – NY
Fonte: acervo pessoal da autora

A implantação do *Sponge Park Gowanus* está em andamento, mas no pequeno trecho visitado foi possível perceber a eficácia da proposta em integrar um recurso hídrico à paisagem urbana. A aplicação das Melhores Práticas de Manejo vem contribuir para a filtração do escoamento superficial e assim amenizar a quantidade de poluentes que afetam a qualidade da água do canal. Foi interessante perceber a preocupação do poder público com a despoluição do canal Gowanus e a valorização do seu entorno. Enquanto isso, em Fortaleza, acontece um movimento contrário, possivelmente pela falta de visão dos governantes e do mercado imobiliário também.

2.4.2 O conceito de “Cidade esponja”, soluções para o manejo das águas pluviais na China

A filosofia da Cidade Esponja (traduzido de *Sponge City*) nasceu nesse século, e significa aproveitar a infraestrutura ecológica da cidade para promover uma nova gestão das águas pluviais e dos sistemas de controle de inundações (Yu et al, 2015), assim sua proposta tem um caráter multifuncional e apresenta soluções integradas e diretrizes de projeto (Tabela 5).

Soluções aplicadas	<ul style="list-style-type: none"> • Gestão de águas pluviais. • Controle de enchentes. • Purificação da água. • Recarga de águas subterrâneas. • Restauração de áreas degradadas. • Regulação do microclima.
Diretrizes para os projetos	<ul style="list-style-type: none"> • Compreender a complexidade dos ecossistemas. • Resolver os problemas locais, sem transmiti-los para outra área. • Aplicar soluções de engenharia descentralizadas e intervenções de menor porte. • Promover o armazenamento e retenção das águas pluviais para desacelerar o seu fluxo. • A resposta aos eventos climáticos deve ser elástica e não rígida, através da suavidade e flexibilidade proposta pelo projeto para o enfrentamento das inundações.

Tabela 5 - Soluções aplicadas e diretrizes para os projetos *Sponge City*
 Fonte: Yu et al, 2015

Yu et al, 2015 explicam que os recursos hídricos representados por riachos, lagoas e rios, dentre outros, são um importante patrimônio natural e paisagístico para a paisagem urbana. A canalização de rios para permitir a ocupação de áreas alagáveis contribuiu para a extinção da vida natural nos centros urbanos, e assim, conseqüentemente, a perda de seus valores estético, cultural e econômico (op. cit.).

O processo de urbanização intenso nas cidades chinesas acarretou sérios problemas aos seus mananciais. A intensa poluição dos rios e a escassez de água potável são os grandes desafios enfrentados por esse país (op. cit.). Além dos danos irreparáveis aos recursos naturais, a China tem que lidar com os prejuízos causados pelas enchentes nas suas grandes cidades.



O fenômeno dos alagamentos está diretamente relacionado com a alta taxa de impermeabilização do solo que vem ocorrendo ao longo das últimas décadas por causa da expansão urbana, por isso cidades chinesas passaram a buscar maneiras de mitigar esse problema investindo em novas infraestruturas.

A poluição dos recursos hídricos na China atingiu as águas subterrâneas e superficiais, gerando uma reação em cadeia com a devastação de rios, lagos e pântanos. Habitats desapareceram e as atividades recreativas nesses locais tornaram-se mais difíceis (YU et al, 2015). O processo de industrialização nas grandes cidades produziu efeitos bastante semelhantes que contribuíram para a degradação dos seus mananciais (Tabela 6).

Fatores para a degradação dos Recursos Hídricos na China	
1-	Avanço da infraestrutura cinza e aumento da impermeabilização do solo;
2-	Redução da cobertura vegetal;
3-	Erosão do solo;
4-	Fragmentação do sistema hídrico;
5-	Desconexão das águas superficiais e subterrâneas;
6-	Problemas com a drenagem;
7-	Formação de Ilhas de Calor e pontos de alagamentos.

Tabela 6 - Fatores responsáveis pela degradação dos recursos hídricos
Fonte: Yu et al, 2015.

Ao longo dos últimos séculos os chineses aplicaram a infraestrutura cinza para disciplinar seus rios, com a construção de canais, diques e barragens; soluções bastante dispendiosas e incompatíveis com os ecossistemas existentes. A tentativa de reencontro com as áreas naturais perdidas gerou um movimento de implantação de jardins e áreas verdes para embelezamento das cidades, acarretando mais custos e problemas com manutenção (Yu et al, 2015). Diante desse cenário, o arquiteto e urbanista chinês *Kongjian Yu*, professor da Universidade de Pequim, idealizou o conceito de Cidade Esponja (*Sponge City*) baseado em estudos sobre o ciclo da água e a importância de sua manutenção nos centros urbanos através da proteção, da integridade e continuidade dos ecossistemas aquáticos afim de manter e melhorar seus serviços ecossistêmicos (Yu et al, 2015).

Esse conceito foi incorporado pelas políticas públicas de desenvolvimento urbano em várias cidades chinesas. A Cidade Esponja diz respeito à capacidade de absorção e armazenamento de água; quando aplicado à escala da cidade, significa o controle e armazenamento das águas pluviais, proporcionando resiliência aos espaços livres vulneráveis.

AVENIDAS JARDINS ESTRATÉGIAS PARA IMPLANTAÇÃO DE
CORREDORES VERDES NO SISTEMA VIÁRIO DE FORTALEZA-CE

O escritório chinês de planejamento e design denominado *Turenscape*, coordenado pelo arquiteto *Kongjian Yu*, vem conquistando diversos prêmios pelos seus projetos de planejamento da paisagem em várias cidades da China; de acordo com o site Turenscape (2017) um desses projetos foi um parque bastante emblemático. O Parque Jinhua Yan Wu Chau (Figura 15) foi planejado para oferecer espaços de recreação e contemplação para a população, e ao mesmo tempo se adaptar ao sítio alagável onde está inserido (TURENSCAPE, 2014).



Figura 15 - Jinhua Swallowtail Island Park
Fonte: Turenscape (2014)



Situada na confluência de dois rios, a área foi transformada para promover a resiliência ecológica de sua paisagem natural e ter a capacidade de se regenerar naturalmente às enchentes que ocorrem na região. Os espaços foram adaptados para abrigar áreas de lazer e de estar, permitindo à população um contato direto com o local (Figura 16).

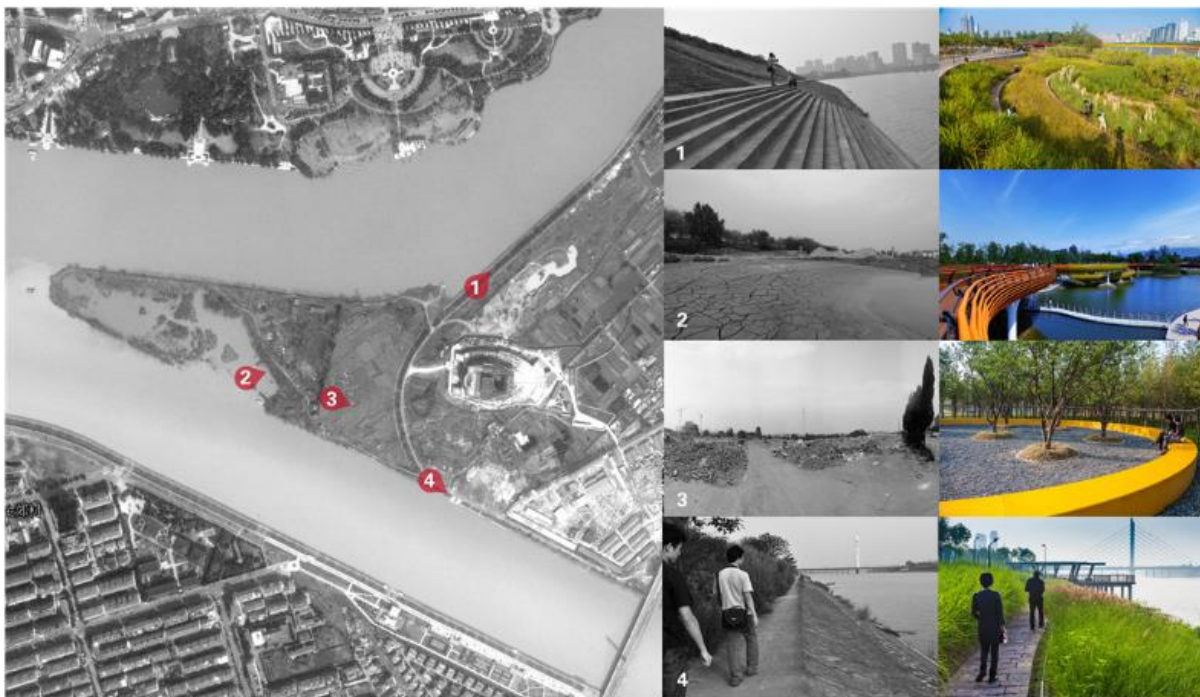


Figura 16 - Jinhua Swallowtail Island Park
Fonte: Turenscape (2014)

O Parque Minghu (Figura 17), outro projeto do Turenscape, foi projetado no entorno de um rio canalizado cujas margens estavam degradadas. Foi criado um parque alagável com a recuperação das áreas naturais em suas margens e o desenvolvimento do manejo das águas pluviais, promovendo assim a melhoria da qualidade da água através a despoluição do rio (ARCHDAILY BRASIL, 2015).

AVENIDAS JARDINS ESTRATÉGIAS PARA IMPLANTAÇÃO DE
CORREDORES VERDES NO SISTEMA VIÁRIO DE FORTALEZA-CE



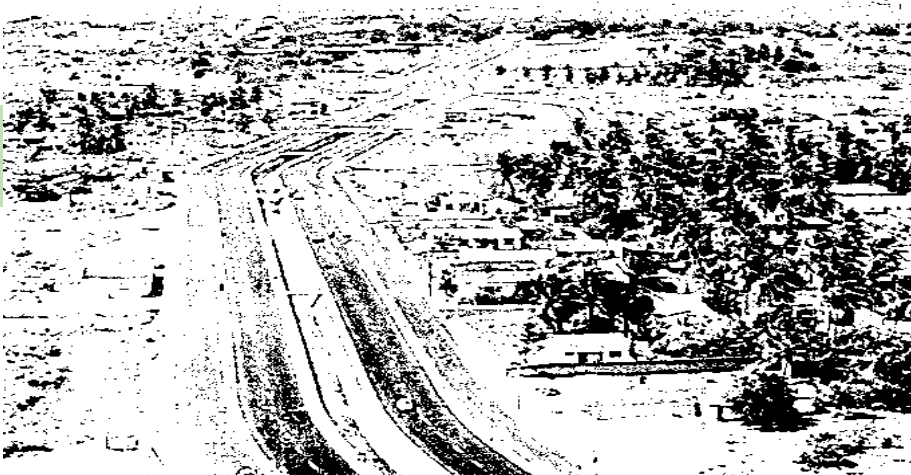
Figura 17 - Parque Minghu / Turenscape
Fonte: Archdaily (2015)

O projeto em escala municipal, além de oferecer mais um espaço livre para recreação, promoveu diversas transformações e estabeleceu a constituição de áreas esteticamente ricas e que desempenham um papel fundamental no resgate dos serviços ecológicos proporcionados pelo ecossistema da região. A presença de pequenas lagoas nas margens forma um desenho orgânico (Figura 18), sua função é promover os princípios determinados pelo LID de amortecimento, distribuição, tratamento e absorção do escoamento das águas pluviais.



Figura 18 - Parque Minghu / Turenscape
Fonte: Archdaily (2015)

Os exemplos chineses discutidos têm um impacto significativo que extrapola a escala local, pois atuam na recuperação de recursos hídricos, atingindo outras regiões. De acordo com os tipos de intervenções para promoção da resiliência urbana discutidos por Chelleri et al. (2015), as duas amostras internacionais, nos EEUU e na China, se enquadram nas intervenções de médio prazo voltadas para a adaptação do sistema e a recuperação efetiva dos serviços ambientais com a regulação da qualidade da água, do solo, do ar e a constituição de áreas verdes públicas disponíveis ao usufruto da população. As informações encontradas nos dois exemplos respaldam a aplicabilidade da IEV em diferentes escalas e, por isso, devem contribuir para a idealização das propostas a serem desenvolvidas neste trabalho.



A MOBILIDADE COMO PRIORIDADE NA AVENIDA AGUANAMBI: PASSADO, PRESENTE...E O FUTURO?

Tendo em vista o objetivo geral desta pesquisa, alguns fatores foram determinantes na escolha da área em questão para o desenvolvimento de um estudo de caso:

- A posição da Avenida Aguanambi como um importante corredor de mobilidade na cidade de Fortaleza – CE.
- A presença de um recurso hídrico, o riacho Água Nambi, canalizado na década de 70.
- A vulnerabilidade da região a enchentes nos períodos chuvosos.
- A adequação da atual Avenida ao BRT através de uma intervenção urbana baseada na infraestrutura cinza para mitigar os alagamentos.

3.1 Um breve histórico das intervenções

A área do estudo de caso localiza-se no bairro de Fátima, fundado na década de 30 com o nome de Redenção. A área de estudo, onde está situado o canal da Avenida Aguanambi, encontra-se na microbacia B1.7, pertencente à maior bacia hidrográfica de Fortaleza, a do Rio Cocó (Figura 19).

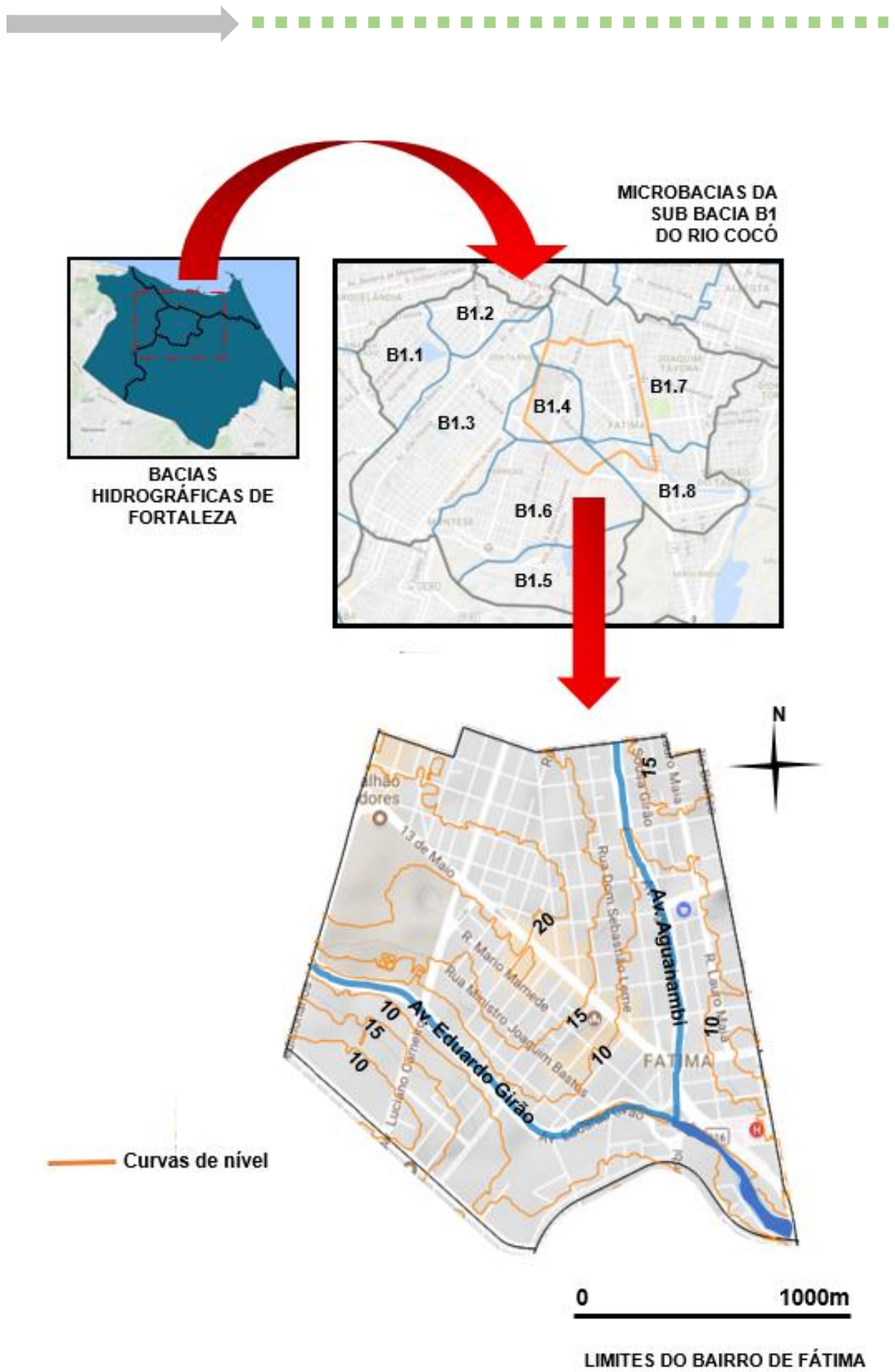


Figura 19 - Mapa microbacias hidrográficas e altimetria do bairro de Fátima, Fortaleza – CE, 2010. Fonte: elaborado pela autora

A Avenida Aguanambi adquiriu nas últimas décadas bastante destaque dentro da malha urbana de Fortaleza. Antes de sua inauguração na década de 70, o local era pouco habitado e abrigava um riacho denominado Água Nambi, local de caça, pesca e transporte de canoas (ANDRADE, 2016) (Figura 20).



Figura 20- Detalhe da Carta da Cidade de Fortaleza e arredores. Levantada, desenhada e impressa pelo Serviço Geográfico do Exército, 1945. Vê-se o Riacho Água Nambi antes de sua canalização (acima) e foto aérea registrada em 2017 (abaixo).

Fonte: mapa editado do original da Biblioteca da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo UFC (acima) e mapa editado pela autora (abaixo).

Em 11 de março de 1981 foi inaugurado o trecho da BR 116 que liga os bairros Centro e Messejana, e é conhecido como o Km zero da principal rodovia federal que corta o Brasil de norte a sul. Diante desses acontecimentos, percebe-se a crescente representatividade da Avenida Aguanambi na história do desenvolvimento urbano da capital cearense. O local

sofreu intervenções importantes ao longo da sua história em nome de uma modernidade automobilística; após a canalização do riacho e inauguração da avenida em 1972, foi implantado um viaduto para agilizar o acesso à Avenida 13 de maio. Atualmente um novo viaduto foi construído com o intuito de amenizar os congestionamentos e promover a conexão direta entre a Av. Aguanambi e a BR 116 (Figura 21).



v. Aguanambi no ano de sua inauguração em 1972, ao fundo o cruzamento com a Av. 13 de Maio, ainda sem o viaduto.



Viaduto da Av. 13 de Maio, e Av. Aguanambi pouco antes do início das obras de implantação do sistema de BRT em 2016.



Viaduto de conexão entre a Av. Aguanambi e a BR 116, concluído em 2017.

Figura 21- As transformações na Avenida Aguanambi
Fonte: Arquivo Nirez (em cima), Google Earth (centro) e G1 CE (em baixo).

3.2 Condicionantes físicos e ambientais

De acordo com Araújo (2012) a canal da Aguanambi é uma APP (Área de Preservação Permanente) conforme a resolução do CONAMA nº 303/2002, com faixa de preservação de 30 metros de cada lado do curso d'água canalizado. A Prefeitura Municipal de Fortaleza define na Lei de Uso e Ocupação do Solo (2017) essa área como uma ZPA (Zona de Proteção Ambiental) categoria 1 na qual “ZPA 1 - Faixa de Preservação Permanente dos Recursos Hídricos” (LUOS, 2017 p. 2) (Figura 22). Assim, o canal é declarado legalmente como um recurso natural que deve ser protegido, de acordo com a definição de que a APP consiste em “área protegida, coberta ou não por vegetação nativa, com a função ambiental de preservar os recursos hídricos, a paisagem, [...], facilitar o fluxo gênico de fauna e flora, proteger o solo e assegurar o bem-estar das populações humanas” (BRASIL, 2012 p. 1)

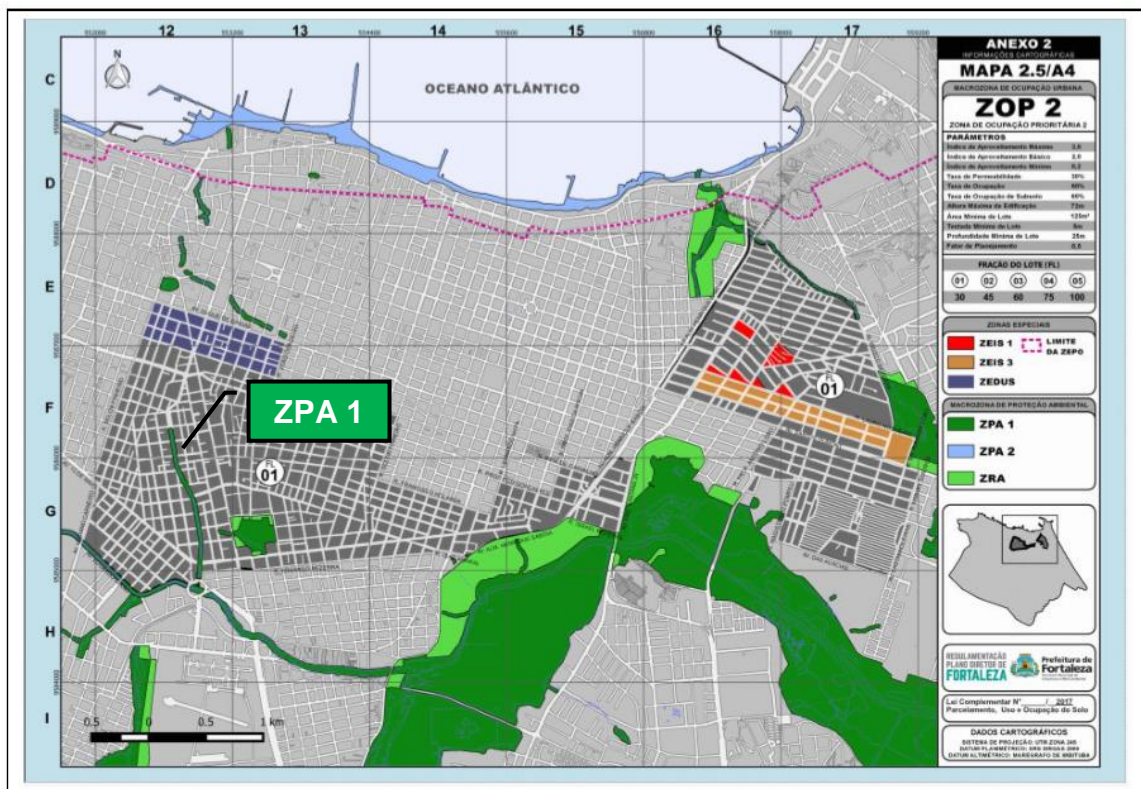


Figura 22- Mapa 2.5/A4 - Zona de Ocupação Preferencial 2
Fonte: Lei de Uso e Ocupação do Solo (2017)



A intensa impermeabilização no entorno da Aguanambi é um fator que intensifica a vulnerabilidade do canal à poluição difusa. A Tabela 7 comprova a presença mínima de áreas verdes e permeáveis no entorno do canal Aguanambi (ARAÚJO, 2012), na área da APP descrita acima.

IMPERMEABILIZAÇÃO DO SOLO							
APP	APP Conama	Superfície Impermeabilizada		Superfície com Recurso Hídrico		Superfície com Vegetação	
	ÁREA (m ²)	ÁREA (m ²)	%	ÁREA (m ²)	%	ÁREA (m ²)	%
Canal Aguanambi	93.988	85.529	91	6.579	7	1.880	2

Tabela 7 - Valores da avaliação da superfície do solo, no tocante a sua impermeabilização, da APP da microbacia B1.7 do Canal da Aguanambi, Fortaleza – CE, 2010.

Fonte: Adaptado de ARAÚJO (2012)

O recorte definido está dentro dos limites Bairro de Fátima, por isso foi desenvolvida uma breve análise morfológica sobre o comportamento da malha viária em relação à topografia e aos recursos hídricos que atravessam o bairro. O traçado ortogonal, presente desde os primeiros planos de desenvolvimento urbano da cidade prevalece na região, mas apresenta variações relacionadas às características do seu sítio geográfico. A Figura 23 mostra três tipos de orientação da malha viária; a malha 3 segue a mesma direção do traçado do centro histórico da cidade e as malhas 1 e 2 seguem a topografia que naturalmente têm declives em direção aos dois riachos canalizados que atravessam as Avenidas Aguanambi e Eduardo Girão. As setas em azul representam a diminuição da cota das curvas de nível conforme aproximação dos recursos hídricos; essa morfologia favorece o escoamento das águas pluviais em direção aos canais através das ruas perpendiculares a eles (Figura 23).

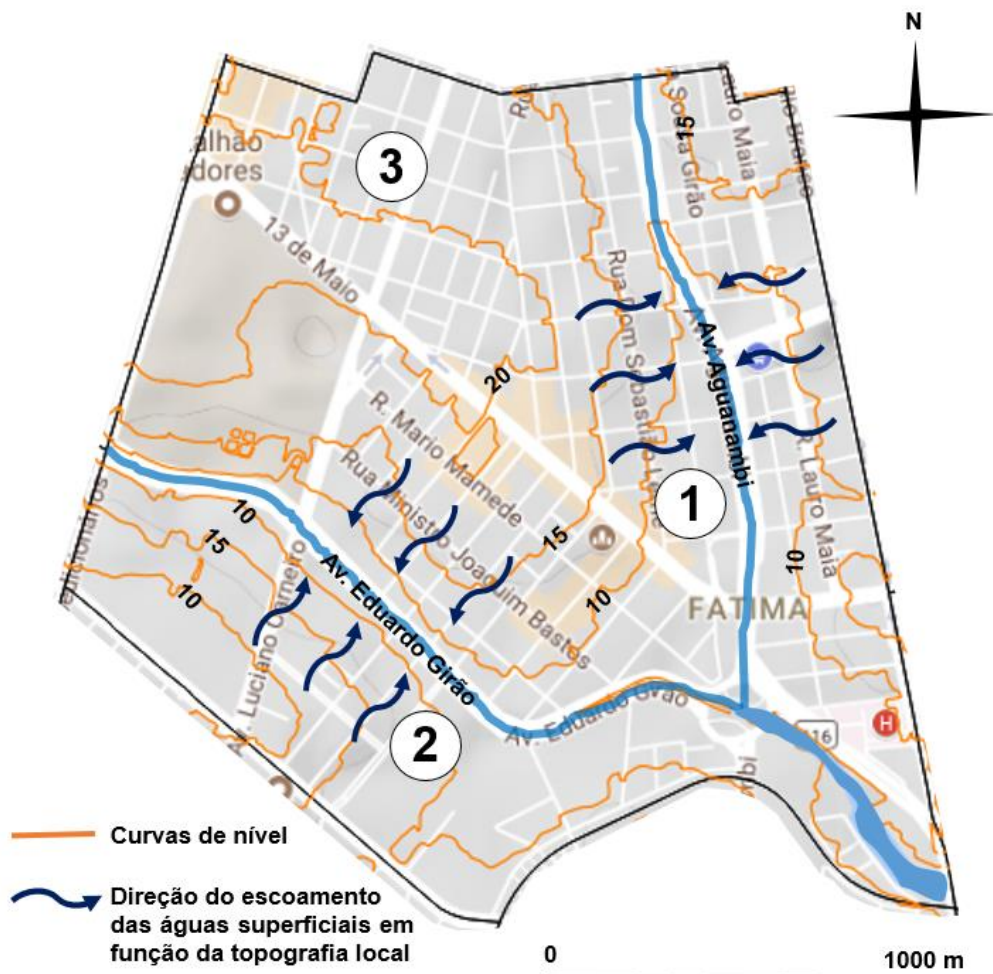


Figura 23 – Morfologia da malha viária no entorno dos recursos hídricos do bairro de Fátima
Fonte: elaborado pela autora

O sistema de drenagem implantado nessa região não tem suportado chuvas mais intensas, provavelmente por causa de uma conjunção de fatores relacionados à falta de manutenção e defasagem da dimensão das galerias subterrâneas. O acúmulo de lixo e sedimentos nas tubulações pode provocar seu assoreamento (BECKER, 2017) e consequentemente contribuir para a diminuição de sua capacidade. A drenagem ineficiente das águas pluviais torna bastante comum os alagamentos nas principais avenidas da região, causando diversos transtornos e prejuízos às pessoas que circulam nesses corredores. Muitos cidadãos já tiveram seus veículos danificados e pedestres arriscaram sua saúde ao entrar em contato com a água poluída (Figura 24).



Figura 24 - Alagamentos nas Avenidas Aguanambi e Eduardo Girão
Fonte: G1 CE (2017) e Diário do Nordeste (2016)

A readequação de um sistema de drenagem pode controlar os alagamentos, mas não reduz a quantidade de poluentes e lixo que afetam diretamente os processos naturais inerentes à uma bacia hidrográfica (BECKER, 2017). Esse impacto negativo sobre as águas se deve à poluição difusa, que consiste no conjunto de poluentes oriundos de diversas fontes depositados dispersamente sobre a área de contribuição de uma bacia hidrográfica. De acordo com AESABESP (2008) a poluição difusa tem origem no escoamento superficial sobre as áreas impermeabilizadas:

“...é formada por resíduos de origem bastante diversificada, como os provocados pelo desgaste do asfalto pelos veículos, o lixo acumulado nas ruas e calçadas, as decomposições orgânicas, as sobras de materiais das atividades de construção, os restos de combustíveis, óleos e graxas deixados por veículos, poluentes do ar, etc.” (AESABESP, 2008 p. 17).

A impermeabilização do solo potencializa a produção do escoamento superficial na área da bacia hidrográfica e aumenta a velocidade das águas, potencializando a capacidade de carreamento dos poluentes para o sistema de drenagem, e com isso provocando a degradação dos mananciais (PINHEIRO, 2017).

A partir dessas informações, fica evidente que o adensamento urbano nas últimas décadas no entorno do Água Nambi não preservou as áreas verdes presentes nas suas margens.

3.3 O projeto de implantação do corredor de BRT

Com as obras parcialmente concluídas, o canal da Aguanambi conta com nova galeria artificial, planejada no projeto de macrodrenagem dimensionado com base em uma

precipitação com período de retorno de 25 anos (Anexo 01). Para potencializar a vazão e mitigar as enchentes na Avenida, a tubulação subterrânea foi construída na pista da direita (sentido centro), paralela ao recurso hídrico, com 830 metros de extensão e dimensionada para aumentar em 50% a vazão do canal (Anexo 01).

O novo sistema de drenagem se deve à construção de plataformas acima do recurso hídrico para a implantação do BRT (*Bus rapid transit*) ao longo de toda avenida. A localização dessas estações acima do canal tornou necessária a ampliação da infraestrutura de drenagem para evitar novas enchentes que causariam um transtorno maior, considerando que os usuários do BRT poderiam ficar ilhados nas plataformas. Em alguns trechos da estrutura foi proposta a criação de ilhas verdes, caracterizadas por áreas gramadas sobre a laje de concreto construída em cima do canal (Figura 25). De acordo com O Povo Online (2017) “Samuel Dias, titular da Secretaria Municipal de Infraestrutura (Seinf), diz que 42 árvores serão retiradas e outras 765 serão plantadas ao longo da avenida e na rotatória. É um projeto paisagístico todo novo, e todas as árvores plantadas são de grande porte”.

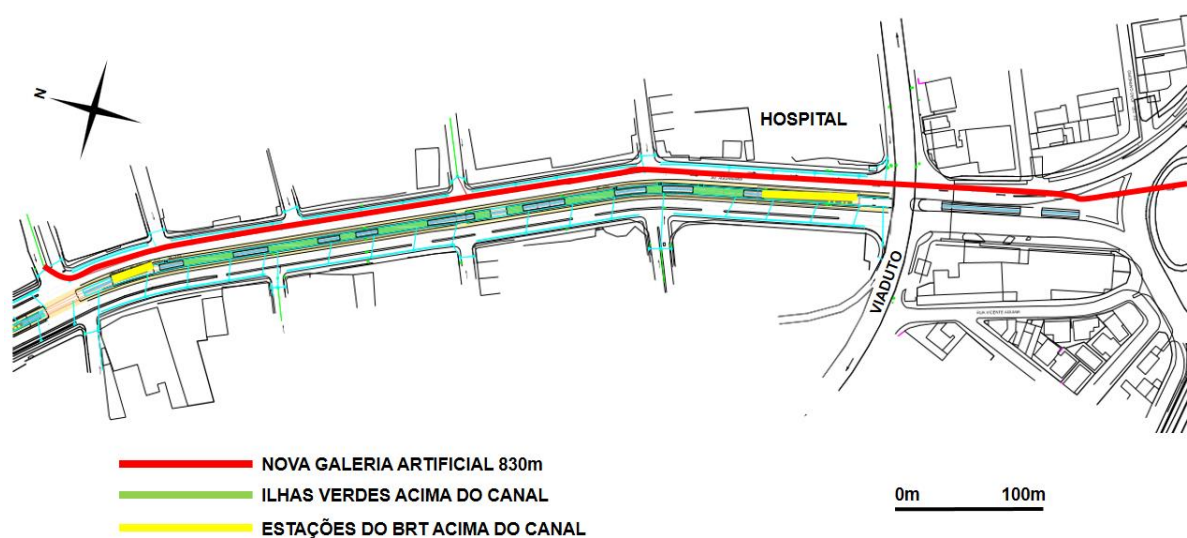


Figura 25 - Galeria artificial paralela ao canal da Av. Aguanambi.
Fonte: adaptado de Prefeitura de Fortaleza (2015)

O sistema de drenagem construído pode ser eficiente no controle de vazão das águas pluviais, mas permanecerá como veículo de contaminantes e poluentes para o recurso hídrico. As plataformas construídas sobre o Água Nambi cobriram o seu curso e encerraram definitivamente seu aspecto natural, deixando somente algumas aberturas (Figura 26).



Figura 26 – Execução da obra para implantação do sistema BRT na Avenida Aguanambi
Fonte: acervo pessoal

Compreende-se com esses dados que o projeto busca mitigar as enchentes e tornar esse corredor de mobilidade mais propício à circulação de pedestres e ciclistas através da implantação de árvores, reforma das calçadas e inserção de sinalização. Entretanto, na prática, não é possível ver ainda essa proposta finalizada. O fato concreto é que o projeto intervém somente no corredor e não prevê os mesmos benefícios para as ruas do entorno, considerando apenas o fundo de vale e não a microbacia por completo e tampouco as áreas de captação à montante do riacho.

3.4 Um novo cenário para a Avenida Aguanambi

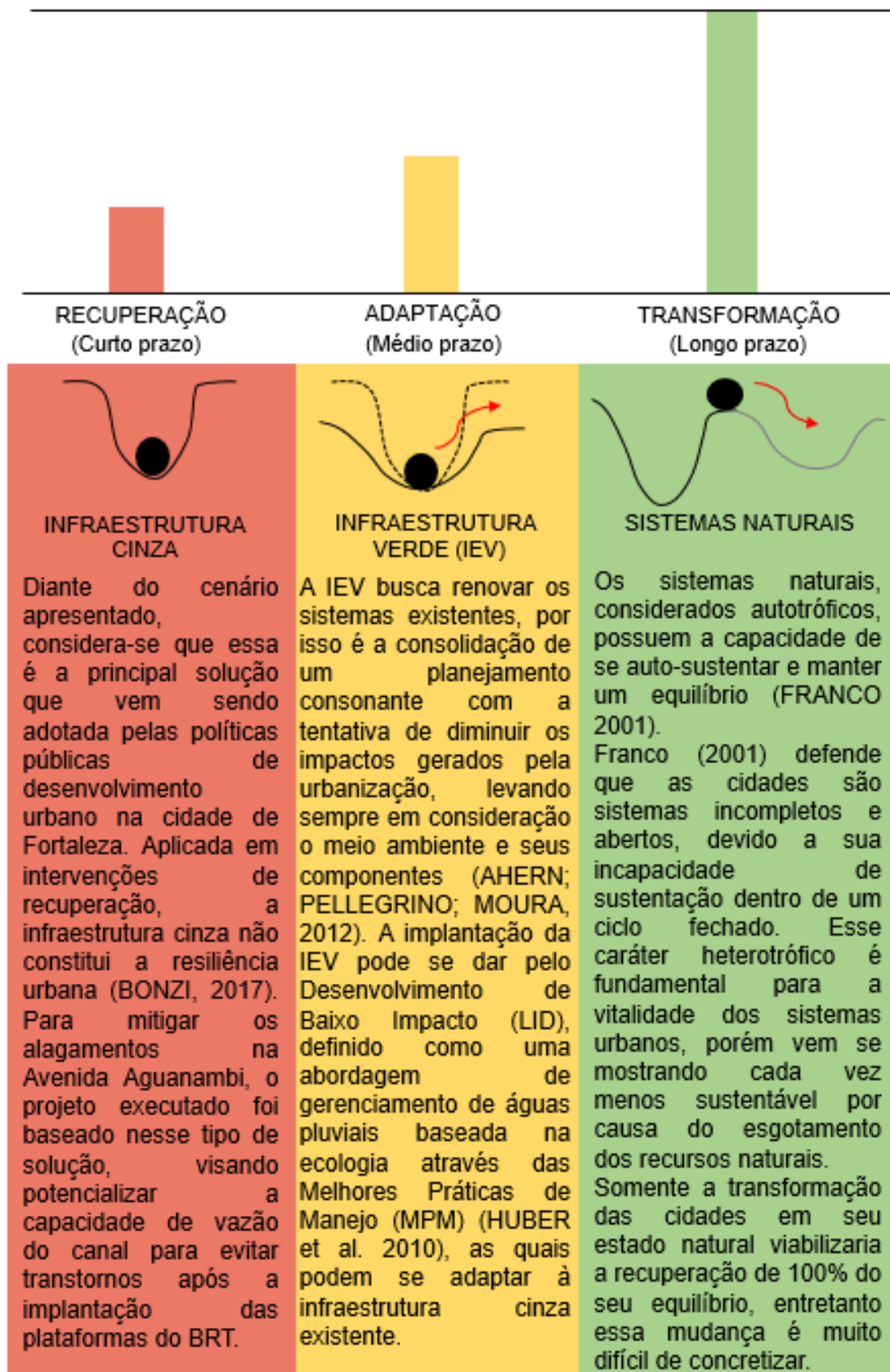
Através da compreensão das sucessivas mudanças e do novo projeto na avenida em questão, serão apresentadas tipologias de intervenções voltadas para a resiliência urbana (CHELLERI; OLAZABAL, 2012). A viabilidade de aplicação dessas diferentes abordagens na área de estudo será discutida para corroborar a proposta desenvolvida no estudo de caso. Chelleri e Olazabal (2012) classificam três categorias de intervenções voltadas para promover a resiliência:

- A recuperação, definida como uma ação imediata para que o sistema volte a se estabelecer; pode ser consolidada por uma infraestrutura cinza;
- A adaptação, baseada na ecologia para promover uma flexibilização do sistema existente e prevenir possíveis distúrbios. A Infraestrutura Verde vem efetivando essa prevenção.
- A transformação, intervenção baseada em mudanças mais profundas, através da renaturalização do sistema.

A partir das definições de Chelleri e Olazabal (2012), o Quadro 8 discute sucintamente alguns conceitos intrínsecos às soluções adotadas nas propostas de recuperação, adaptação e transformação para a constituição de sistemas urbanos resilientes.



TEMPO



Quadro 8 - Soluções adotadas para constituição de sistemas urbanos resilientes
Fonte: adaptado de Chelleri e Olazabal (2012)

3.4.1 A Recuperação

Considerando o Quadro 8 apresentado, a obra em andamento na Avenida Aguanambi se enquadra na intervenção do tipo recuperação, pois consiste numa ação de curto prazo, baseada numa infraestrutura cinza, para resolver os problemas relacionados principalmente à drenagem e à mobilidade (Figura 27). A construção de galerias artificiais pode atender a vazão da água, mas não impede que o recurso hídrico receba e carregue diversos tipos de poluentes. Por isso Bonzi (2017) argumenta:

“A eficiência e a otimização são objetivos perseguidos pelas infraestruturas convencionais. Ao contrário do que poderia se imaginar, eles também constituem aspectos problemáticos já que limitam a resiliência urbana, isto é, a capacidade que a cidade tem de se adaptar a condições imprevistas.” (BONZI, 2017 p. 8)



Figura 27 - Obra do BRT na Avenida Aguanambi em Fortaleza- CE
Fonte: acervo pessoal da autora

A recuperação baseada nesse tipo de solução não coaduna com os objetivos propostos por esta pesquisa, baseados na consolidação da resiliência urbana e provimento de serviços ecológicos que podem contribuir para a prevenção dos problemas ambientais da região relatados anteriormente.

3.4.2 A Adaptação

A Infraestrutura Verde, indicada para intervenções de adaptação (CHELLERI; OLAZABAL 2012), é “uma maneira de reconhecer e aproveitar os serviços que a natureza pode realizar no ambiente urbano” (CORMIER; PELLEGRINO, 2008 p. 128). A IEV é constituída a partir da aplicação de tecnologias de alto desempenho que podem contribuir com a drenagem, purificação das águas pluviais, biodiversidade e conforto ambiental entre outros, constituindo um ambiente urbano saudável (CORMIER; PELLEGRINO, 2008). Essas tecnologias baseadas nas IEV, conhecidas como Melhores Práticas de Manejo (MPM) têm se adaptado bem à infraestrutura cinza e promovido diversos benefícios através de sua aplicação em ruas e avenidas (Figura 28) para formação de corredores verdes (HUBER et al. 2010).



Figura 28 - Corredores Verdes em ruas e avenidas
Fonte: Huber et al (2010 p. 102 e 127)

O desenvolvimento de uma proposta de aplicação das MPM para a Avenida Aguanambi objetiva complementar o sistema de drenagem existente e constituir uma nova paisagem com a implantação de jardins, arborização e aplicação de materiais permeáveis que contribuirão com a formação de um microclima, a redução do escoamento superficial e a filtração das águas pluviais, além do embelezamento paisagístico. Portanto, justifica-se a intervenção adaptativa através das Melhores Práticas de Manejo visto que estas promovem serviços ecológicos importantes que contribuem para a resiliência urbana (HUBER et al, 2010).

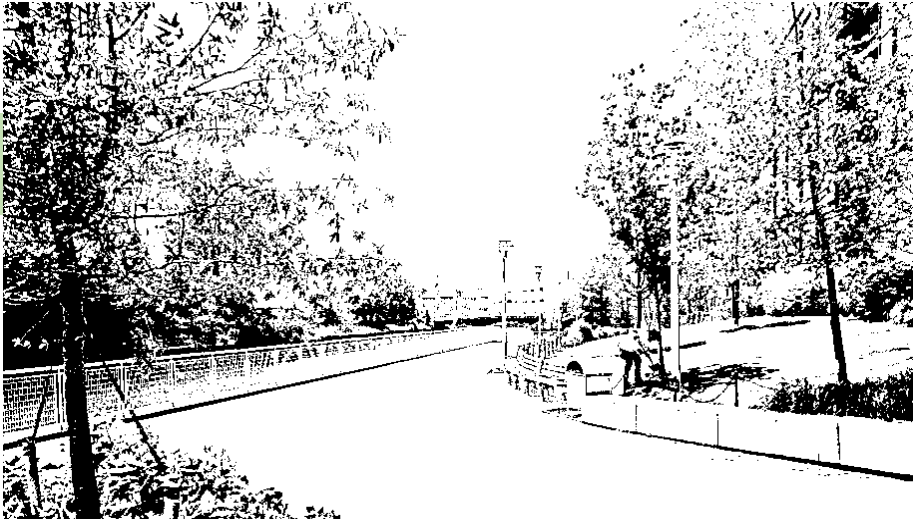
3.4.3 A Transformação

A transformação baseia-se em mudanças mais profundas, a partir da reestruturação de um sistema urbano afetado pela degradação ambiental e perda dos serviços ecológicos. De acordo com Ahern (2016), o crescimento da população nas grandes cidades, principalmente nos países em desenvolvimento, vem provocando impactos na saúde e qualidade de vida das pessoas por causa das alterações do clima, da água, do ar e do solo. A constituição de um novo ecossistema nas cidades (AHERN, 2016) vem propor a recuperação dos serviços ambientais ou ecológicos definidos como os benefícios oferecidos pela natureza ao bem-estar humano (ASSESSMENT, 2005). A Figura 29 apresenta o cenário ideal para a Avenida Aguanambi com a criação de um novo ecossistema, onde o canal seria novamente um riacho, com sua várzea e traçado restituídos através da eliminação da avenida e da criação de um parque linear.



Figura 29 - Transformação da Aguanambi num parque linear
Fonte: elaborado pela autora

As conquistas para o meio ambiente seriam bastante positivas, entretanto o uso e ocupação do entorno sofreriam um grande impacto com essa mudança drástica, além disso a Aguanambi é um corredor de mobilidade planejado (PLAMOB, 2015) que conecta as regiões norte e sul de Fortaleza. Vislumbrando que num futuro mais distante isso poderia ser concretizado, o cenário adaptativo baseado no Desenvolvimento de Baixo Impacto (LID) representa o primeiro passo para a recuperação das funções naturais que existiam antes da urbanização, mitigando a poluição difusa e os problemas de drenagem. Por isso a intervenção adaptativa é definida neste trabalho como a opção viável para complementar a infraestrutura cinza e contribuir para a resiliência urbana na Avenida Aguanambi.



PROCEDIMENTOS PARA O DESENVOLVIMENTO DO ESTUDO DE CASO

Os procedimentos metodológicos da pesquisa foram definindo a cada etapa uma base de informações essencial para alcançar os principais objetivos deste trabalho (Figura 30). Nesta seção são apresentados os esclarecimentos sobre como os dados encontrados na etapa do diagnóstico serão utilizados no desenvolvimento do estudo de caso para propor uma intervenção adaptativa na Avenida Aguanambi e seu entorno. A primeira parte traz os dados adotados para estimar do volume de chuva, na segunda parte são definidos os parâmetros para o dimensionamento e distribuição das Melhores Práticas de Manejo na área de estudo.

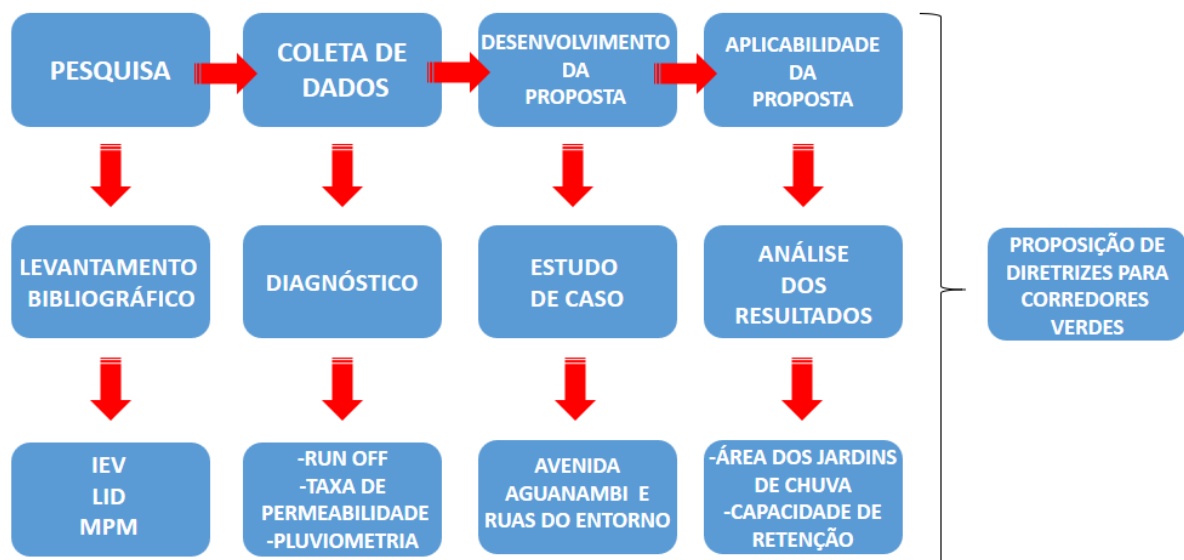


Figura 30 - Definição das últimas etapas
Fonte: elaborado pela autora



4.1 Definição das métricas

A realização de uma proposta de aplicação das Melhores Práticas de Manejo para a configuração de Corredores Verdes no sistema viário exige o estabelecimento de procedimentos para obtenção de resultados mensuráveis. As informações coletadas no diagnóstico tornaram viável a definição de métricas e parâmetros para o desenvolvimento do estudo de caso.

Para identificar o desempenho dos serviços ecológicos em uma determinada área, existem métricas e indicadores que podem ser medidos para efeito de análise (AHERN; PELLEGRINO; MOURA, 2012). Neste trabalho, um dos indicadores listados abaixo foi identificado na área de estudo e servirá como subsidio para o desenvolvimento da proposta (Tabela 8).

Serviços Ambientais Urbanos	Indicadores e Métricas
Diminuição do escoamento de águas pluviais e aumento da infiltração.	% de cobertura impermeável, medições das vazões de pico e de base.
Melhoria da qualidade da água	Indicadores de qualidade da água, tais como: Nitrogênio (N) e Fósforo (P) totais, Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), Turbidez e pH.
Melhoria do habitat	Índice de Integridade Biótica (IBI), IBI para peixes, Índices de Diversidade (ID).
Melhoria da qualidade do ar	Total de particulados.
Redução do efeito de ilha de calor urbano	% de cobertura por dossel arbóreo, temperatura máxima do ar, fluxo de calor diurno, albedo médio.
Recreação pública/Paisagem	Visitação de parques, mapeamento de atividades recreativas, fluxo de pedestres.

Tabela 8 - Serviços Ecológicos Urbanos - Quadro de referência para avaliação.
Fonte: Adaptado de Ahern, Pellegrino e Moura (2012)

O primeiro serviço ambiental listado na Tabela 8, a respeito do escoamento de águas pluviais (*runoff*), foi definido para esse estudo visto que seus indicadores e variáveis (Tabela 9) foram levantados no desenvolvimento do diagnóstico e demonstram objetivamente as condições que contribuem para o alto coeficiente de escoamento superficial existente na região.

Run off	Indicador	Descrição	Variáveis	Tipo de medição
	Taxa de permeabilidade	Pontos de alagamento	Perímetro de cobertura impermeável e de áreas verdes	Medição do volume de chuva

Tabela 9 - Indicadores básicos para implantação de infraestrutura verde nos corredores.

Fonte: elaborado pela autora

A cobertura impermeável e a cobertura verde na APP da Aguanambi são de 91% e 2% respectivamente (ARAÚJO, 2012). Portanto, esses valores serão admitidos como parâmetro para o restante da área, tendo em vista a impossibilidade de medir com precisão a taxa de permeabilidade no recorte espacial definido para esse estudo.

4.2 Parâmetros adotados para desenvolvimento da proposta de implantação das MPM no entorno da microbacia do canal da Avenida Aguanambi.

Para encontrar o volume de chuva, dimensionar e distribuir as Melhores Práticas de Manejo, e definir o seu volume de retenção, foi necessário coletar e indicar alguns dados:

- Tempo de retorno em anos a ser aplicado;
- Intensidade da maior precipitação;
- Coeficiente de escoamento superficial (*runoff*);
- Recorte espacial, dimensões e localização das MPM;
- Volume de retenção das MPM;

4.2.1 Definição do tempo de retorno e da maior intensidade de chuva

O tempo de retorno é o espaço temporal determinado para o dimensionamento de obras de microdrenagem e macrodrenagem (SILVA; PALÁCIO JÚNIOR; CAMPOS, 2013); consiste na previsão da maior chuva que pode ocorrer dentro de um período que geralmente varia de 5 a 100 anos. Para alcançar os resultados a respeito da eficiência das MPM, foi fundamental encontrar o volume de chuva precipitado na área de estudo, esse volume depende do tempo de retorno estabelecido para projetos de implantação dessas técnicas de manejo, que conforme Portland (2016) é de 10 anos, de acordo com as categorias 1 e 2 descritas abaixo (Tabela 10). Esse período é indicado para garantir a eficiência dos projetos em curto, médio e longo prazos.



REQUISITOS DE GERENCIAMENTO DE ÁGUAS PLUVIAIS	
Tipos de técnicas de manejo das águas pluviais	Requisito de gerenciamento de águas pluviais baseado no tempo de retorno (TR)
Redução de área impermeável com tetos verdes, pisos permeáveis e arborização.	Não há requisitos adicionais para esse tipo de técnica de manejo
Categoria 1: Drenagem através de jardins de chuva sem extravasão	Precipitação para um tempo de retorno de 10 anos.
Categoria 2: Drenagem através de jardins de chuva ou pavimento permeável com extravasão e instalação para infiltração (tubulação subterrânea).	Precipitação para um tempo de retorno de 10 anos e atendimento dos requisitos de controle da infiltração subterrânea.
Categoria 3: Drenagem através de jardins de chuva com extravasão para rede de drenagem existente ou recurso hídrico	Precipitação para um tempo de retorno que pode variar entre 2 e 25 anos.
Categoria 4: Drenagem através de jardins de chuva com extravasão para sistema combinado de esgoto e drenagem	Precipitação para um tempo de retorno que pode variar entre 10 e 25 anos.

Tabela 10 - Indicação do tempo de retorno a ser adotado para a implantação de jardins de chuva.
Fonte: Portland (2016)

Portanto, 10 anos será o valor indicado do tempo de retorno para o cálculo da intensidade da chuva. Vale ressaltar que esse tempo e o índice pluviométrico adotados são recomendados para projetos de obras de microdrenagem urbana em pequenas bacias de drenagem (inferior a 2,5 km²) na cidade de Fortaleza e sua região metropolitana (SILVA; PALÁCIO JÚNIOR; CAMPOS, 2013). Segue os valores estimados da intensidade máxima provável de chuva (mm/h) para a capital cearense durante 60 minutos, com tempo de retorno de 5 a 100 anos (Tabela 11).

INTENSIDADE MÁXIMA PROVÁVEL (MM/H)							
Duração (min)	Período de Retorno						
	5 anos	10 anos	15 anos	20 anos	25 anos	50 anos	100 anos
60	55,4	65,2	70,6	74,5	77,5	86,6	95,6

Tabela 11 - Intensidade máxima provável para uma chuva de 60 minutos em Fortaleza e região Metropolitana.
Fonte: Silva, Palácio Júnior e Campos (2013)

O valor de 65,2 mm/h será multiplicado pela área definida e pelo seu escoamento superficial com o objetivo de definir o volume de chuva através do método racional $V = A \times \Delta p \times \text{runoff}$ (LIMA, 2016)

Onde:

V é o volume de chuva a ser encontrado

Δp = intensidade pluviométrica de 65,2mm/h (SILVA; PALÁCIO JÚNIOR; CAMPOS, 2013).

Runoff é o coeficiente de escoamento superficial que pode variar de 0 a 1 (ARAÚJO, 2005). O coeficiente adotado será de 0,9; mesmo valor indicado no projeto do novo sistema de drenagem da Avenida Aguanambi (Anexo 01).

4.2.2 Definição da área, dimensões, localização e volume de retenção das Melhores Práticas de Manejo

A área definida para o cálculo do volume extrapola a área da APP (Área de Preservação Permanente) do canal pois a área de contribuição do recurso hídrico possui maior abrangência. O sistema de biorretenção proposto, representado por sarjetas verdes, jardins de chuva, biovaletas e piso permeável, foi dimensionado para ruas perpendiculares ao Canal da Aguanambi, considerando a topografia do local e o escoamento de águas pluviais em direção ao recurso hídrico (Figura 31). A área definida como base de cálculo do volume de chuva, indicada em amarelo, possui 791.901m².



BAIRRO DE FÁTIMA



RECORTE ESPACIAL DA ÁREA DE ESTUDO = 791.901m²




-  **VIA ARTERIAL – AV. AGUANAMBI**
-  **VIA COLETORA – AV. CEL. PERGENTINO FERREIRA**
-  **VIA LOCAL - RUA ARTUR TIMÓTEO (TRECHO PILOTO PARA O ESTUDO DE CASO)**

Figura 31 - Definição da área e localização das MPM.
Fonte: elaborado pela autora através do Google Earth

AVENIDAS JARDINS ESTRATÉGIAS PARA IMPLANTAÇÃO DE
CORREDORES VERDES NO SISTEMA VIÁRIO DE FORTALEZA-CE

Para propor a distribuição e o dimensionamento das MPM nas ruas locais perpendiculares, foi elaborada uma análise por amostragem da Rua Artur Timóteo, sinalizada em vermelho na Figura 31. A proposição das sarjetas verdes no leito carroçável das ruas locais foi devido à dimensão reduzida das calçadas; e sua distribuição foi influenciada pela localização das garagens de acesso de veículos aos lotes (Quadro 9).

PADRÕES DE LOCALIZAÇÃO DAS ENTRADAS DE GARAGEM NOS LOTES DA RUA ARTUR TIMÓTEO	
SITUAÇÃO A	<p>Lote com aproximadamente 12m de frente, possuindo um acesso para veículos e outro para pedestres, existe espaço para propor a sarjeta verde sem atrapalhar a entrada de carros.</p> 
SITUAÇÃO B	<p>Lotes fracionados com mais de um acesso para veículos, não há como propor a sarjeta verde.</p> 
SITUAÇÃO C	<p>Lotes situados nas esquinas, com acesso de veículos voltado para a própria Rua Artur Timóteo ou para a outra via. Nessa situação existe mais espaço liberado possibilitando a implantação de sarjetas verdes com maior extensão.</p> 

Quadro 9 - Identificação do padrão de acessos aos lotes na Rua Artur Timóteo
 Fonte: elaborado pela autora



A largura da via analisada é de aproximadamente 12m, incluindo as calçadas com 1,80m de largura em média. As sarjetas verdes foram dimensionadas com largura máxima de 2,50m, ocupando espaços utilizados como estacionamento e deixando seis metros livres para a circulação dos veículos (Figura 32).

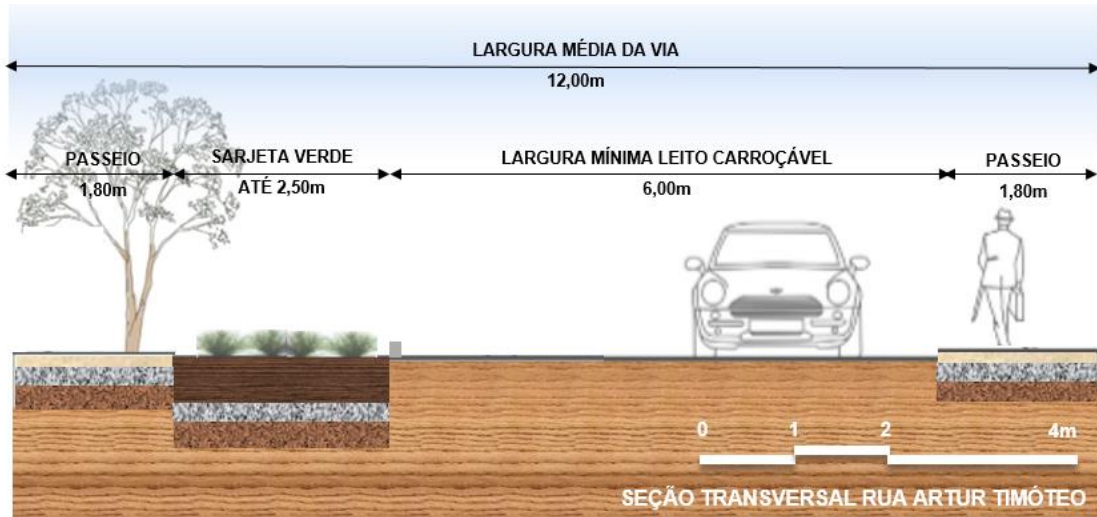
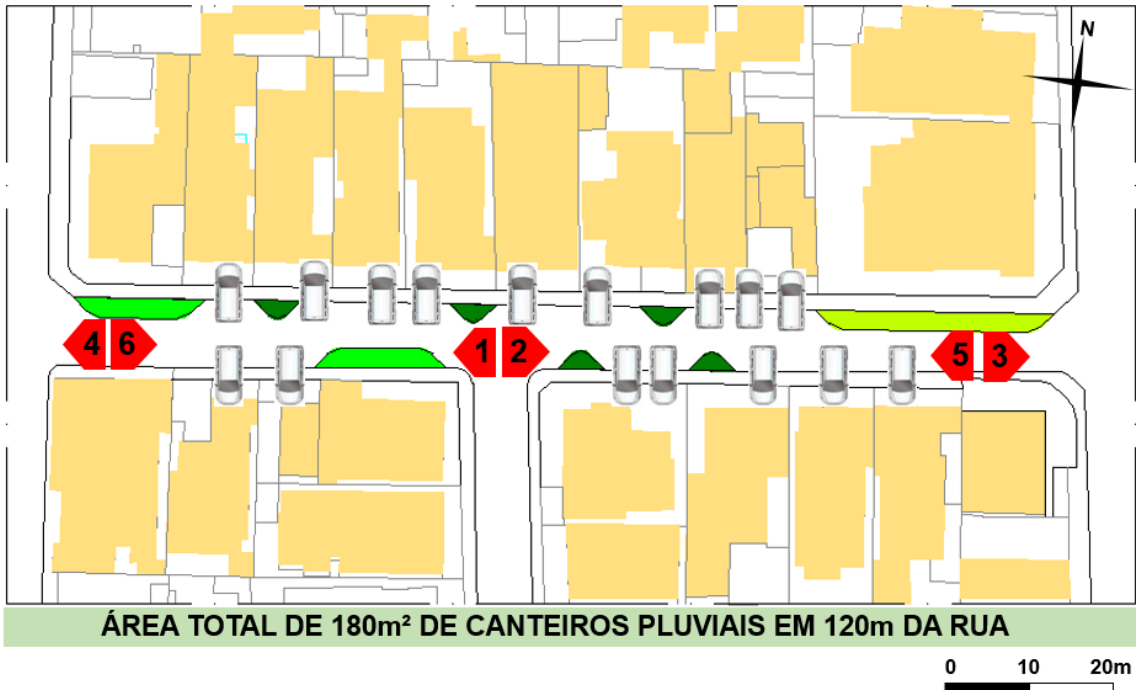


Figura 32 - Seção transversal no trecho piloto da Rua Artur Timóteo
Fonte: elaborado pela autora

Os jardins propostos ficaram com 8, 35 e 70m² de área, conforme a sua extensão. Dessa forma foi encontrada a área total de 180m² de sarjetas verdes no trecho de 120m da Rua Artur Timóteo. A partir desse resultado definiu-se que a cada 1,00 metro seria possível implantar 1,50m² da MPM indicada (Figura 33). Além da distribuição das sarjetas verdes no trecho piloto, também foi proposto piso permeável nas calçadas, totalizando 3,60m² a cada 1,00m da rua, considerando a largura média de 1,80m dos passeios. O volume de retenção de 1,00m² desse tipo de piso é de 0,0945m³ (Vr/m²) (BECKER 2017)

TRECHO PILOTO RUA ARTUR TIMÓTEO



LEGENDAS

- ÁREA SARJETA VERDE= 8m²
- ÁREA SARJETA VERDE= 35m²

- ÁREA SARJETA VERDE= 70m²
- ACESSO LIVRE À GARAGEM



Figura 33 - Distribuição das sarjetas verdes na rua Artur Timóteo próximo à Avenida Aguanambi. Fonte: elaborado pela autora.



Moura (2013) indica que a capacidade de retenção de 1,00m² de jardim de chuva equivale a um volume de 0,487m³ (Vr/m²), esse número é baseado nos valores da porosidade da brita zero e do macadame hidráulico para um jardim de chuva de 1,00m² com as alturas indicadas (Figura 34).

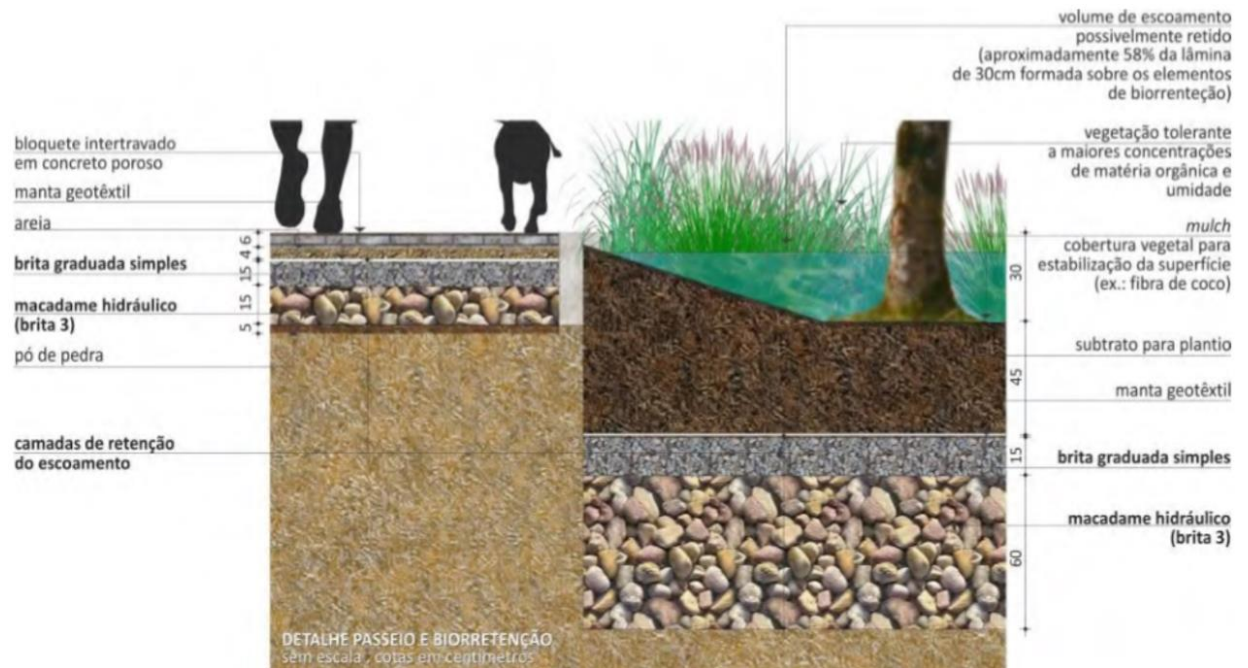


Figura 34 - Seção longitudinal de preenchimento das sarjetas verdes.
Fonte: Moura (2013 p. 156).

A partir desses dados desenvolveu-se o seguinte cálculo (Becker, 2017).

$V_b = A_j \times V_r/m^2$ onde:

V_b é o volume de biorretenção da sarjeta verde ou do piso permeável;

A_j é a área total das sarjetas verdes e piso permeável no trecho piloto;

V_r/m² é o volume de retenção para 1,00m² no valor de 0,487m³.

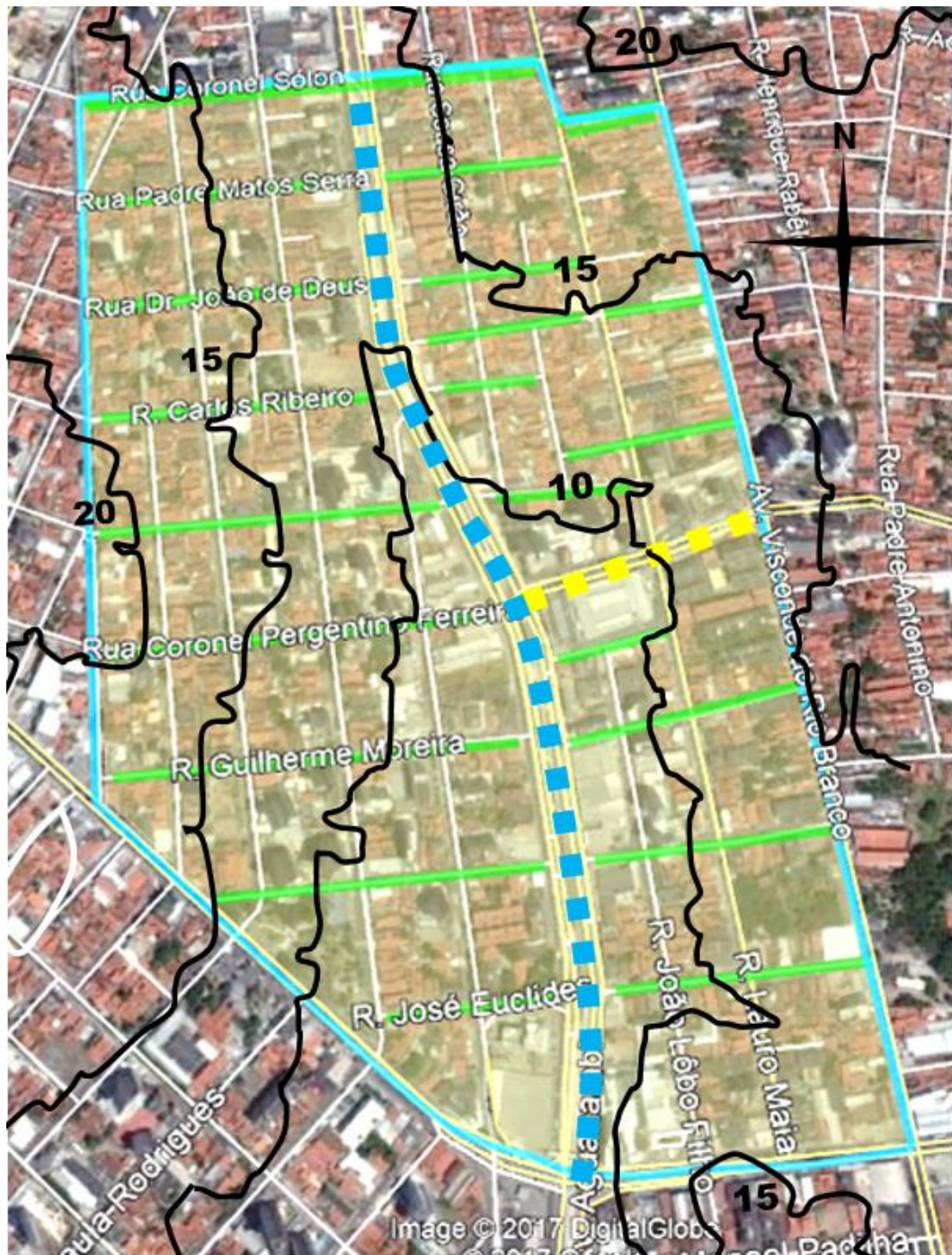
V_b/m é o volume de biorretenção a cada metro de rua

A tabela 12 apresenta os resultados encontrados para o trecho piloto na rua Artur Timóteo:

MPM	V _r /m ²	A _j	V _b	Comprimento da rua	V _b /m
Sarjeta verde	0,487m ³	180m ²	87,66m ³	120m	0,7305m ³
Piso permeável	0,0945m ³	432m ²	40,82m ³	120m	0,3402m ³

Tabela 12 – Volume de biorretenção das sarjetas verdes e do piso permeável

A partir dos resultados encontrados no dimensionamento das sarjetas verdes para o trecho piloto, o método foi replicado para as outras vias locais perpendiculares ao canal. Os comprimentos lineares das vias locais e avenidas foram somados para contabilizar a área das MPM propostas. Outros tipos de técnicas de manejo foram propostos para as Avenidas Aguanambi e Cel. Pergentino Ferreira de acordo com os espaços disponíveis para sua distribuição (Figura 34).



- AVENIDA AGUANAMBI (1.250m)**
 3m² DE JARDIM DE CHUVA E 4m² DE PISO PERMEÁVEL
 A CADA 1m
- AVENIDA CEL. PERGENTINO FERREIRA (264m)**
 1.5m² DE BIOVALETA E 4m² DE PISO PERMEÁVEL
 A CADA 1m
- VIAS LOCAIS PERPENDICULARES (5.019m)**
 1.5m² DE SARJETAS VERDES A CADA 1m

Figura 35 - Distribuição das MPM na área de estudo
 Fonte: elaborado pela autora

AVENIDAS JARDINS ESTRATÉGIAS PARA IMPLANTAÇÃO DE CORREDORES VERDES NO SISTEMA VIÁRIO DE FORTALEZA-CE

A Avenida Cel. Pergentino Ferreira possui calçadas com 2m de largura no máximo, por isso foi sugerido biovaletas no canteiro central existente e piso permeável nos passeios. Para a Avenida Aguanambi foi indicada a implantação de jardins de chuva com 1,50m de largura e piso permeável nas calçadas, que possuem uma largura generosa de 3,50m em média (Figura 36).

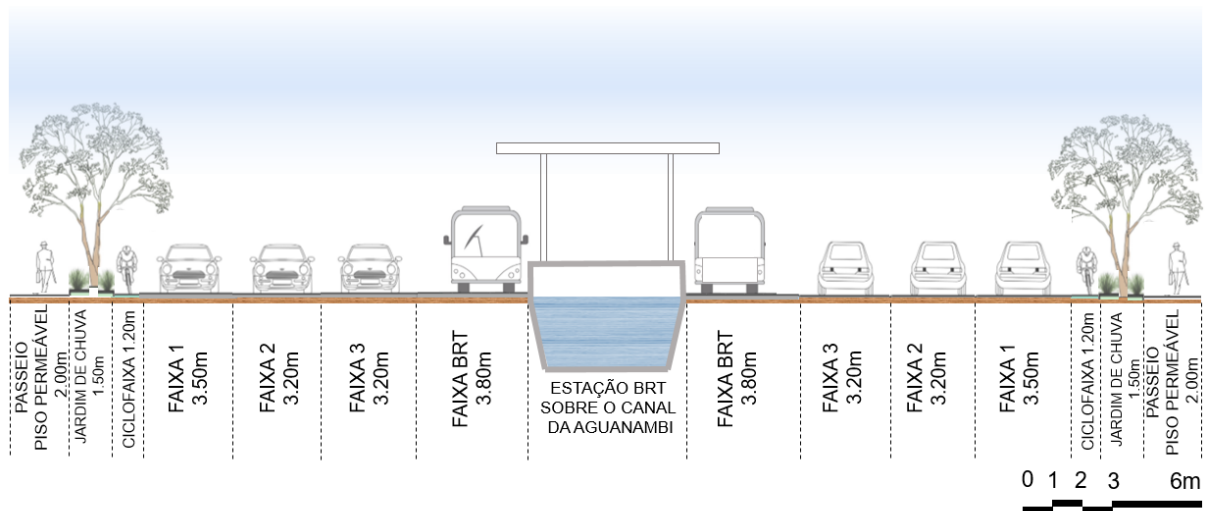


Figura 36 - Seção Avenida Aguanambi
Fonte: acervo pessoal da autora

A partir da definição das áreas ocupadas pelas Melhores Práticas de Manejo, o próximo passo consiste no desfecho principal desta pesquisa que é avaliar a capacidade de retenção desses elementos em relação ao volume de chuva estimado para a o recorte espacial definido na região da Aguanambi.



CAPÍTULO 5

CAPACIDADE DE RETENÇÃO DAS MELHORES PRÁTICAS DE MANEJO PROPOSTAS PARA O ENTORNO DA AVENIDA AGUANAMBI.

Com o intuito de apresentar os resultados encontrados a partir da proposta de implantação das MPM na Avenida Aguanambi e seu entorno, este capítulo desenvolve a aplicação dos cálculos para avaliação da capacidade de retenção das técnicas de manejo de águas pluviais e análise da sua aptidão para constituir um “Corredor Verde”.

5.1 Cálculo do volume de chuva precipitado na área

Conforme explicado anteriormente, o escoamento de água superficial C (runoff), representado pela razão entre o volume total escoado e o volume total precipitado será igual a 0,9; fator adotado pela Prefeitura de Fortaleza (Anexo 01) e que pode ser corroborado por Araújo (2012) através da indicação que a área em questão se encontra 91% impermeabilizada.

O volume calculado incide sobre a área total de 791.901 m² (Tabela 13), onde:

$$V = A \times \Delta p \times \text{Runoff (LIMA, 2016)}$$

Sendo:

$$A = 791.901 \text{m}^2 \text{ (área),}$$

$$\Delta p = 65,2 \text{mm/h (precipitação para um período de 10 anos em Fortaleza)}$$

$$\text{Runoff} = 0,9 \text{ (coeficiente de escoamento de água superficial).}$$

$$V = 46.468.750,68 \text{ litros ou } 46.468,75 \text{m}^3$$

VOLUME DO ESCOAMENTO SUPERFICIAL DE ÁGUAS PLUVIAIS (M³)	
Área total (m²)	791,901 m²
Volume para runoff de 0,9 (m³)	46.468,75m³

Tabela 13 - Dimensionamento do volume do escoamento superficial de águas pluviais

Fonte: elaborado pela autora

5.2 Resultados

Para o volume previsto de 46.468,75m³ com tempo de retorno estabelecido em 10 anos, o sistema realizaria a retenção 7.965,22m³ com a transformação de 35.798,9m² da área total em área permeável através das Melhores Práticas de Manejo (Tabela 14).

QUANTITATIVO DE ÁREAS E VOLUME DE RETENÇÃO DAS MPM		
1.250m de comprimento linear da Avenida Aguanambi com 3m² de jardim de chuva a cada 1m	Área de biorretenção 3.750m²	Volume de retenção 1.826,25m³
1.250m de comprimento linear da Avenida com 4m² de piso permeável a cada 1 m	Área permeável 5.000m²	Volume de retenção 472,5m³
264m de comprimento linear do da Av. Cel. Pergentino Ferreira com 1.5m² de biovaletas no canteiro central a cada 1m	Área de biorretenção 396m²	Volume de retenção 192,85m³
264m de comprimento linear da Av. Cel. Pergentino Ferreira com 4m² de piso permeável a cada 1m	Área permeável 1.056m²	Volume de retenção 99,79m³
5.019m de comprimento linear das ruas locais perpendiculares, com 1.5m² de sarjetas verdes a cada 1m	Área de biorretenção 7.528,5m²	Volume de retenção 3.666,37m³
5.019m de comprimento linear das ruas locais perpendiculares, com 3.6m² de sarjetas verdes a cada 1m	Área permeável 18.068,4m²	Volume de retenção 1.707,46m³
Área e Volume Totais	Área Total 35.798,9m²	Volume Total 7.965,22m³

Tabela 14 - Quantitativo de área das MPM e do volume de biorretenção.

Fonte: elaborado pela autora



Em dados percentuais, para o volume previsto de 46.468,75m³; o sistema realizaria a retenção de 17,14% com a transformação de 4,52% da área total em área de retenção (Gráfico 1).

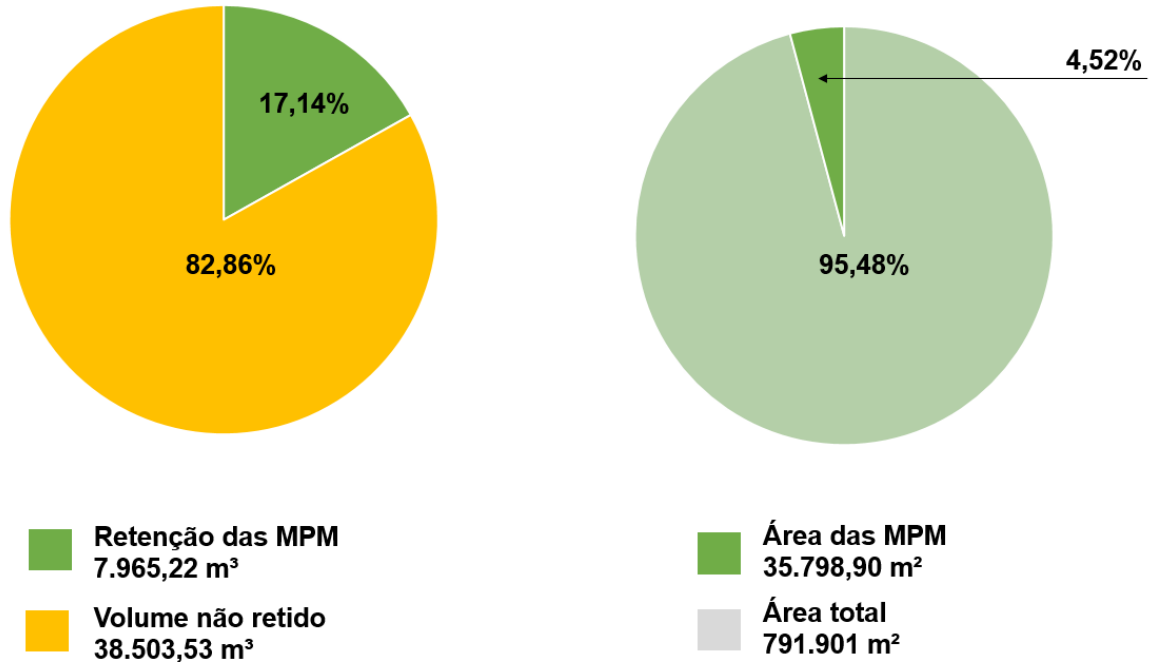


Gráfico 1 - Percentual comparativo entre a área dos jardins de chuva e o volume de biorretenção.
Fonte: elaborado pela autora

Com o intuito de realizar uma análise comparativa, a proposta foi estendida às ruas paralelas para avaliar quanto a capacidade de retenção poderia aumentar. O volume de retenção teria 12,7% acrescidos ao valor original e a área de retenção praticamente duplicaria (Tabela 15).

Localização MPM	Área (m ²)	Volume (m ³)	Retenção das MPM	Área de retenção total
Somente ruas perpendiculares	791.901	46.468,75	17,14%	4,52%
Ruas perpendiculares e ruas paralelas	791.901	46.468,75	29,91%	8,16%

Tabela 15 - Estimativa de retenção para diferentes coeficientes de escoamento superficial.
Fonte: elaborado pela autora

5.3 Considerações sobre o estudo de caso

Para atingir 100% da capacidade de retenção, a quantidade das MPM e suas dimensões poderiam aumentar, para isso seria necessário um estudo mais aprofundado da área. A captação das águas pluviais dentro dos lotes poderia ser efetivada a partir de políticas públicas que incentivassem a sua reutilização. O programa “Fator Verde”, recém implantado pela prefeitura de Fortaleza, incentiva a aplicação de diversas tecnologias para certificação de construções sustentáveis, dentre elas estão a captação e o aproveitamento das águas pluviais (VERDE, 2017). Essas medidas diminuiriam o volume do escoamento superficial direcionado ao sistema de drenagem existente.

A solução proposta não corresponde a uma eficácia de 100%, porém percebe-se que uma área irrisória de sistemas de biorretenção em relação à total (menos de 5%) pode contribuir para a captação de uma parte representativa do volume de chuva gerado, atuando em conjunto com a infraestrutura cinza existente. Além da contribuição de retenção das águas pluviais, a presença dos jardins de chuva, biovaletas e sarjetas verdes pode promover diversos serviços ambientais, como a diminuição dos poluentes presentes na água (MOURA, 2013) e a melhoria do conforto ambiental para atividades recreativas e cotidianas (BENEDICT; MACMAHON, 2006).

Concluindo que a Avenida Aguanambi pode ser adaptada às MPM para constituir um Corredor Verde, é importante ressaltar que a aplicação das técnicas de manejo de águas pluviais nas ruas do entorno ultrapassa o limite do corredor principal e amplia a área de abrangência dos serviços ecológicos para parte da microbacia B1.7.

E, para finalizar, a constituição de um Corredor Verde no eixo Aguanambi (Figura 37) pode promover a conexão entre fragmentos (Parque Branco e Parque Pajeú) e polos (Frente marítima e Parque estadual do Cocó) constituindo uma IEV de acordo com Benedict e McMahon (2006). Os parques e áreas naturais citados estão associados a importantes recursos hídricos e nascentes (situadas no Parque Rio Branco), proporcionando serviços ecológicos fundamentais (BENEDICT; MCMAHON, 2006, GONDIM; ROCHA; FURTADO, 2009 e MOURA, 2013) tais como a proteção do habitat de espécies animais e vegetais, a regulação do ar com a captura de gás carbônico pela vegetação, a diminuição da temperatura através da arborização, a captação das águas pluviais para abastecimento do lençol freático e a valorização da paisagem proporcionando atividades de lazer e contemplação à população fortalezense e turistas.



1 Praia de Iracema



2 Parque Pajeú



3 Parque Rio Branco



4 Parque do Cocó

Figura 37 - Conexão entre polos e fragmentos a partir da Avenida Aguanambi
Fonte: elaborado pela autora



RECOMENDAÇÕES PARA APLICAÇÃO DAS MELHORES PRÁTICAS DE MANEJO NO SISTEMA VIÁRIO DE FORTALEZA VISANDO A CONSTITUIÇÃO DE CORREDORES VERDES

A partir do estudo de caso realizado na Avenida Aguanambi, foi possível compreender que além de complementar a infraestrutura cinza, a consolidação de Corredores Verdes no sistema viário através das MPM pode promover a conexão entre os polos ecológicos configurando uma IEV, a qual desempenha um papel importante na efetivação dos serviços ambientais de provisão, apoio e purificação (HUBER et al. 2010).

A contribuição final deste trabalho consiste no desenvolvimento de diretrizes para orientar a formação de uma rede de Corredores Verdes através dos corredores de mobilidade de Fortaleza, com a ampliação da distribuição das técnicas de manejo de águas pluviais de uma escala local para a escala municipal (Figura 38). Essas orientações vêm complementar as propostas de qualificação urbana sugeridas pelo plano “Fortaleza 2040” e se adequam aos parâmetros estabelecidos pela nova LUOS para o sistema viário da cidade, considerado um componente fundamental no desenvolvimento urbano da capital cearense (FORTALEZA 2040, 2015).

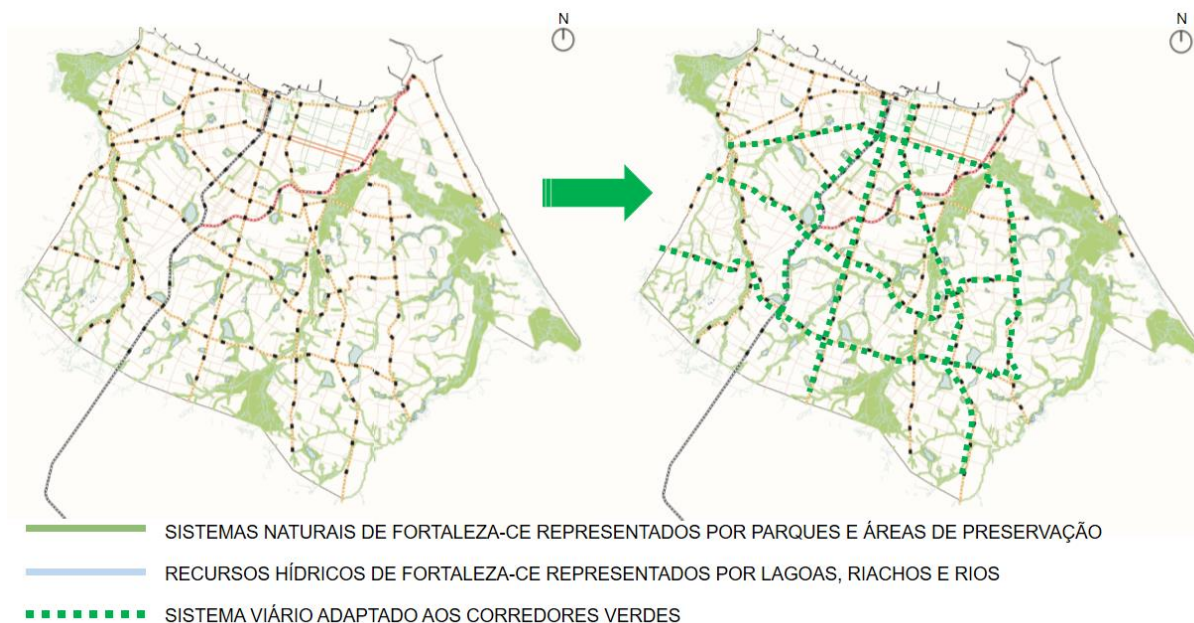


Figura 38 - Adaptação do sistema viário aos Corredores Verdes
Fonte: adaptado de Fortaleza 2040 (2015)

6.1 Estudo das propriedades e características das MPM aplicáveis em corredores de mobilidade

A constituição de Corredores Verdes no sistema viário se baseia na compatibilidade de algumas técnicas das Melhores Práticas de Manejo com os eixos de mobilidade. De acordo com Portland (2016) as seguintes MPM são mais apropriadas para aplicação em ruas, avenidas e estradas:

- Biovaletas
- Jardins de chuva
- Canteiros pluviais
- Sarjetas Verdes
- Canteiros Arborizados
- Pavimentos Permeáveis

As características e especificidades das MPM influenciam a definição de sua localização no sistema viário, pois cada uma tem dimensões mínimas e requisitos específicos para desempenhar corretamente suas funções (PGCO, 1999B; HUBER et al., 2010; PORTLAND, 2016). Uma investigação mais aprofundada apresenta as atribuições dessas composições paisagísticas para a realização dos serviços ambientais.

É importante compreender a infiltração, a evapotranspiração e a fitorremediação, três atributos essenciais no desempenho das MPM para a implementação dos serviços ecológicos:

Infiltração: é o processo de percolação da água no solo e pode acontecer de forma variável, dependendo do tipo de solo e a quantidade de umidade já existente nele. A água pode chegar até o lençol freático ou fluir horizontalmente próximo à superfície até um curso d'água. Nesse percurso, uma porção da água é absorvida pela vegetação (DOD, 2004)

Evapotranspiração: é a perda de água do solo por evaporação e transpiração. A evaporação é o retorno da umidade à atmosfera através das plantas; essa umidade é absorvida do solo pelas raízes e liberada através das folhas. A taxa de evapotranspiração depende do ar, temperatura, umidade, velocidade do vento, intensidade da luz solar, tipo de vegetação e condições do solo (DOD, 2004).

Fitorremediação: é nome da tecnologia que utiliza os processos naturais das plantas e suas interações com a microbiota na despoluição dos ambientes. Tem sido referida como o método mais rentável, não invasivo e publicamente aceito no tratamento de ambientes contaminados (RUBY; APPLETON, 2010 apud PINHEIRO, 2017).

Após a introdução dos atributos gerais das MPM, cabe apresentar as especificidades de biovaletas, jardins de chuva, canteiros pluviais, sarjetas verdes, canteiros arborizados e pisos permeáveis com o intuito de elaborar diretrizes para sua implantação no sistema viário de Fortaleza.

6.1.1 Biovaletas

Biovaletas são canais de vegetação abertos, de inclinação suave, projetados para transportar o escoamento de águas pluviais, eliminando a necessidade de sistemas de drenagem convencionais dispendiosos. A principal função da biovaleta é tratar o escoamento da água da chuva à medida que é transportado; o tratamento ocorre através da infiltração. As biovaletas geralmente são localizadas ao longo de estradas, ruas largas e estacionamentos (Figura 39). Estas requerem dispositivos de apoio para direcionarem o fluxo das águas e manejarem o volume excedente (HUBER et al. 2010).

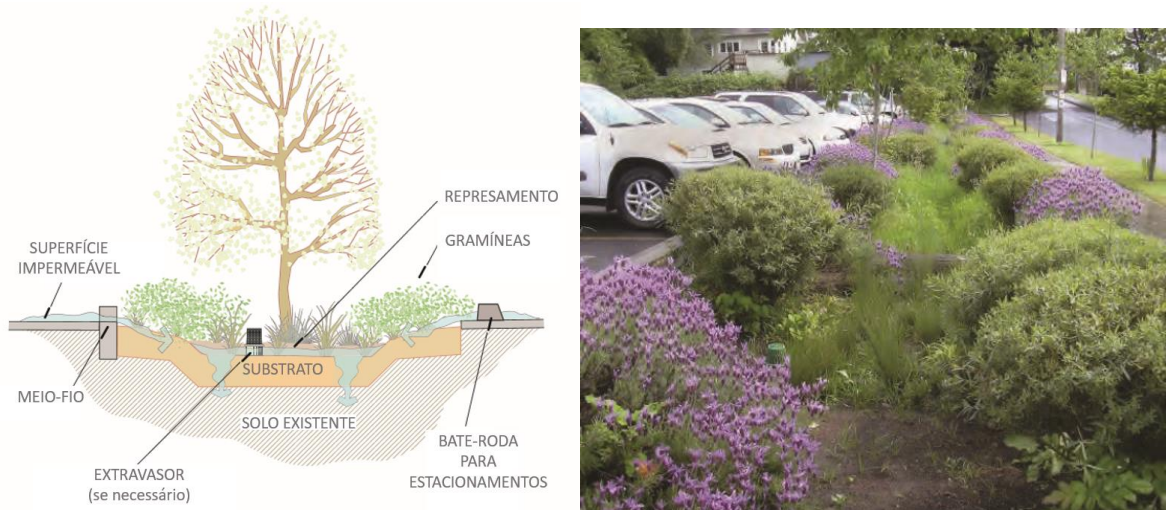


Figura 39 - Biovaletas
Fonte: adaptado de Handbook (s/d)

De acordo com Cormier e Pellegrino (2008, p. 132) “cabe aos jardins de chuva fazerem a maior parte do trabalho de infiltração no solo, mas a biovaleta também contribui, filtrando os poluentes trazidos pelo escoamento superficial ao longo de seu substrato e da vegetação implantada”. As biovaletas podem ser excelentes substitutas do sistema de drenagem convencional, principalmente quando este se torna obsoleto por causa do aumento do *runoff*, muitas vezes provocado pela intensa impermeabilização do solo. Com essas valetas naturais cumprindo seu papel, a infraestrutura convencional pode funcionar como backup das águas excedentes durante chuvas intensas (BONZI, 2015).

6.1.2 Jardins de Chuva

Um jardim de chuva é uma depressão vegetada para infiltrar, mas não reter o *runoff*, também é conhecido como um sistema de biorretenção (Huber et al, 2010). Os jardins de chuva combinam camadas de solo arenoso orgânico e substrato para infiltrar e promover a atividade microbiana respectivamente. As plantas nativas são recomendadas com base em suas sinergias intrínsecas com clima local, solo e condições de umidade sem o uso de fertilizantes e produtos químicos (op. cit.). De acordo com Bonzi (2015), esses canteiros vegetados podem promover os seguintes serviços ecológicos:

- Redução de poluentes transportados pelas águas da chuva através de processos de fitorremediação, pois o escoamento passa pela comunidade de plantas e pelo solo;
- Formação de pequenos habitats naturais;
- Aumento da umidade do ar por causa do processo de evapotranspiração relacionado ao metabolismo das plantas.

Os jardins de chuva são melhor aplicados em uma escala relativamente pequena e funcionam bem ao longo de calçadas e em áreas baixas (Figura 40). Sua localização deve ser a pelo menos 3 metros de distância das edificações para evitar infiltração de água nas fundações ou embaixo das casas, causando problemas de umidade (PGCO, 1999b). Localizá-los longe de árvores grandes permite a exposição à luz solar para que os jardins possam secar no período entre as precipitações (Huber et al. 2010).



Figura 40 - Jardins de Chuva

Fonte: adaptado de Handbook (s/d) – esquerda, e acervo pessoal da autora - direita

Sobre a implantação dessa técnica de manejo, “o correto dimensionamento de um jardim de chuva deve atender também para o fato de, algumas horas depois de um evento, não deve existir água parada em sua superfície” (CORMIER; PELLEGRINO, 2008 p.129). “Os jardins de chuva devem possuir mecanismos de extravasamento para suportar precipitações mais intensas.” (BONZI, 2015 p.108)

6.1.3 Canteiros Pluviais

Os canteiros pluviais são como jardins de chuva compactos, indicados para espaços urbanos reduzidos (Figura 41), estes não têm necessariamente a função de infiltração como os jardins de chuva, mas realizam a limpeza da água através da fitorremediação, e a evapotranspiração; extravasores de água podem auxiliar os canteiros com capacidade de infiltração (CORMIER; PELLEGRINO, 2008). Os critérios para definição da vegetação são os mesmos utilizados nos jardins de chuva, e quando não há infiltração é interessante a indicação de espécies com elevadas taxas de evapotranspiração para evitar o acúmulo de água parada (PINHEIRO, 2017).



Figura 41 - Canteiro pluvial

Fonte: adaptado de Handbook (s/d) – esquerda, e acervo pessoal da autora - direita

6.1.4 Sarjetas Verdes

As sarjetas verdes, também conhecidas como extensões de calçada (termo traduzido de *curb extension*) são tipicamente usadas em situações de adaptação para gerenciar o *runoff*. Elas podem criar locais para o manejo das águas da chuva quando o espaço da calçada existente é constrangido ou inadequado. As sarjetas verdes interceptam e enviam as águas pluviais da rua para instalações suavemente inclinadas similares a jardins de chuva. Dentro da instalação, a vegetação e as barreiras de controle retardam o escoamento, filtram, e na maioria das vezes, permitem a sua infiltração no solo (SEMCOG, 2008).

Essa tipologia de MPM pode melhorar através do seu desenho curvo, a segurança de motoristas, pedestres e ciclistas, reduzindo a distância de cruzamentos, e promovendo a redução da velocidade dos automóveis (PORTLAND, 2016). Segundo Bonzi (2015) a sinuosidade das extensões de calçadas interfere positivamente no sistema viário, criando o *traffic calming* e revertendo a prioridade dos veículos sobre os pedestres baseada na insegurança (Figura 42) (BONZI, 2015).



Figura 42 - Sarjetas verdes são áreas de paisagem do lado da rua que armazenam, filtram e infiltram o escoamento de águas pluviais.

Fonte: Portland (2016 p. 2-75, 2-70) Autor: Henry Ngan

6.1.5 Canteiros Arborizados

O canteiro arborizado consiste em um pequeno espaço cheio de solo modificado e plantado com uma árvore. As raízes da árvore tratam e absorvem o *runoff* capturado da rua para o canteiro. Arbustos resistentes e plantas herbáceas tolerantes a inundações também podem ser cultivadas nesse espaço (HUBER et al., 2010). Esses canteiros (Figura 43) podem ser incorporados em intervenções urbanas para promover diversos benefícios ambientais (HUBER et al. 2010; PORTLAND, 2016):

- Melhoria da qualidade da água;
- Redução do efeito de ilha de calor;
- Diminuição da absorção de calor pelo pavimento impermeável;
- Redução do aquecimento das águas pluviais que fluem por essa superfície.



Figura 43 - Canteiros arborizados

Fonte: adaptado de Huber et al (2010 p. 177) - esquerda e Portland (2016 p. 2-53) – direita

6.1.6 Pavimento Permeável

O sistema de pavimentação permeável é suportado por camadas subterrâneas de solo, cascalho e areia para aumentar o armazenamento e maximizar as taxas de infiltração da chuva. Consiste em técnicas de redução de áreas impermeáveis porque contribuem para a diminuição do *runoff* e promovem a absorção de parte das águas pluviais no local da precipitação (PORTLAND, 2016). Esse tipo de pavimento reduz e distribui o volume do

escoamento promovendo a remoção de poluentes e incentivando o abastecimento das camadas subterrâneas (HUBER et al, 2010).

De acordo com Portland (2016), asfalto permeável, concreto poroso e outros revestimentos permeáveis podem ser usados em praticamente todas as áreas para pedestres, bem como calçadas residenciais e estacionamentos. Para as ruas, o design e o tipo do pavimento deve ser planejado e especificado por engenheiro ou arquiteto. A redução do efeito da ilha de calor é possível ao usar materiais com superfícies que não aquecem com a irradiação solar (HUBER et al, 2010).

O piso permeável (Figura 44) é mais susceptível a dificuldades e falhas durante a construção, portanto, é importante que sua aplicação seja realizada adequadamente para prevenir problemas no futuro (SEMCOG, 2008). Para a eficácia desse tipo de material é importante definir sua localização corretamente, pois existem tipos de solo com baixa capacidade de absorção. A realização de manutenção periódica é fundamental para o seu bom desempenho (BONZI, 2015).

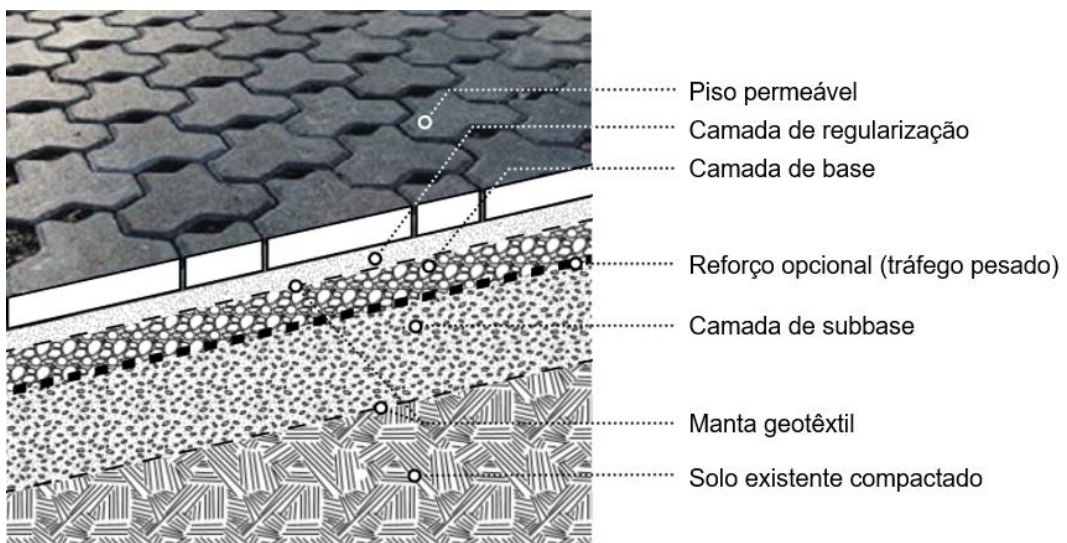


Figura 44 - Pavimento permeável
Fonte: adaptado de Huber et al (2010 p. 173)

6.2 Avaliação do desempenho das MPM a partir dos padrões estabelecidos na LUOS


Nesta seção, o desempenho das MPM aplicáveis aos corredores de mobilidade foi avaliado de acordo com os padrões das vias de circulação especificados na Lei de Uso e Ocupação do Solo (2017) do município de Fortaleza - CE. Em 2017 a LUOS foi revisada e atualizada para regulamentar novas regras de parcelamento e uso do solo de acordo com o novo cenário consolidado nos últimos anos através da expansão urbana.

De acordo com a publicação de Lei Complementar à LUOS em 2017, “o sistema viário básico de Fortaleza é formado por dois Sistemas: I – Sistema Viário Básico Estrutural; e II – Sistema Viário Básico Complementar” (LUOS, 2017, p. 20). O Estrutural é composto por vias Expressas e Arteriais I, responsáveis pela articulação viária regional e intramunicipal; o Sistema Complementar é composto por vias Arteriais II, Coletoras, Comerciais, Paisagísticas, Locais e Corredores Turísticos, as quais desempenham o papel de coletar e distribuir o trânsito desde a escala do bairro até a do município através de uma hierarquia (op. cit.) (Quadro 10).

Classificação das Vias do Sistema Viário
Vias expressas
Vias Arteriais I
Vias Arteriais II
Vias Coletoras
Vias Paisagísticas
Vias Comerciais
Corredores Turísticos
Vias Locais

Quadro 10 - Classificação das Vias do Sistema Viário pela Lei de Uso e Ocupação do Solo (2017)

Os seguintes padrões de vias dimensionados pela LUOS (2017) foram utilizados para a realização de uma análise da performance das Melhores Práticas de Manejo: via expressa, via arterial, via coletora e via local (Tabela 16).

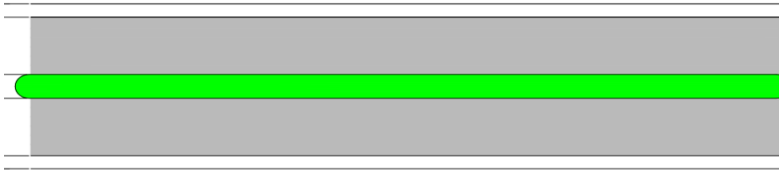
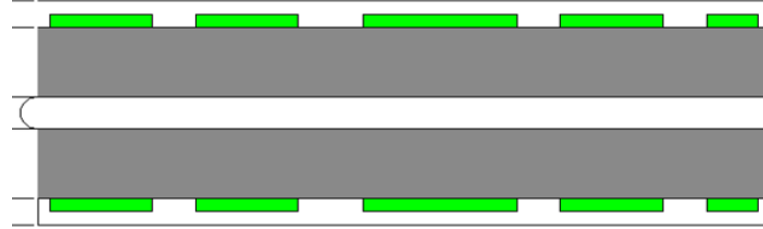
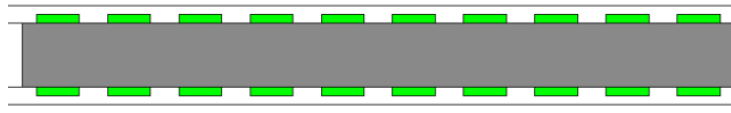
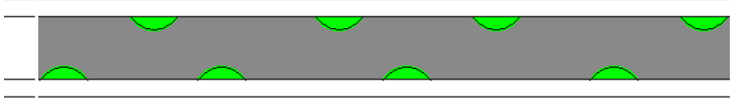


CARACTERÍSTICAS	VIAS PARA CIRCULAÇÃO DE VEÍCULOS							
	EXPRESSA		ARTERIAL		COLETORA		LOCAL	
	SEÇÃO NORMAL (1)	SEÇÃO REDUZIDA (1)	SEÇÃO NORMAL (1)	SEÇÃO REDUZIDA (1)	SEÇÃO NORMAL (1)	SEÇÃO REDUZIDA (1)	SEÇÃO NORMAL (2)	SEÇÃO REDUZIDA (2)
LARGURA MINIMA (m)	60,00	45,00	34,00	30,00	24,00	18,00	14,00	11,00
CAIXA CARROÇAVEL MINIMA (m)	37,80	33,00	21,00	19,00	16,00	12,00	9,00	7,00
CALÇADA MINIMA (m) (de cada lado da via)	5,00	3,00	4,00	3,50	3,25	3,00	2,50	2,0
CANTEIRO CENTRAL MINIMO (m)	9,00	4,00	5,00	4,00	1,50	-	-	-
DECLIVIDADE MAXIMA (m)	6%	6%	8%	8%	10%	10%	15 %	15 %
DECLIVIDADE MINIMA (m)	0,5%	0,5%	0,5%	0,5%	0,5%	0,5%	0,5 %	0,5 %

Tabela 16 - Dimensões estabelecidas para o sistema viário de Fortaleza
 Fonte: Lei de Uso e Ocupação do Solo do Município de Fortaleza (2017 p. 51)

Com base nas dimensões determinadas pela LUOS (2017) para as diferentes categorias de via, foi proposto um padrão de distribuição das MPM nos corredores de mobilidade, de acordo com o espaço disponível, sem criar impedimentos à circulação de pedestres ou veículos. A extensão de 100m foi definida para a realização de uma análise comparativa da capacidade de retenção das Melhores Práticas de Manejo nos diferentes padrões de corredor (Quadro 11).

AVENIDAS JARDINS ESTRATÉGIAS PARA IMPLANTAÇÃO DE
CORREDORES VERDES NO SISTEMA VIÁRIO DE FORTALEZA-CE

MPM APLICADA NO SISTEMA VIÁRIO	ÁREA (m ²) a cada 100m
BIOVALETA	
	<p>1500m² - via expressa 500m² - via arterial</p>
<p>Indicada para vias com canteiros generosos onde o seu desempenho é melhor, a largura mínima estabelecida foi de 3 metros e por isso, neste estudo, sua aplicação se restringe a vias expressas e arteriais.</p>	
JARDIM DE CHUVA	
	<p>280m²</p>
<p>Os jardins de chuva foram dimensionados com no mínimo 14m² (2m de largura máxima por 7m de comprimento mínimo), por isso não se inserem em ruas locais onde a calçada pode ter no mínimo 2 ou 2,50 metros (LUOS, 2017). O modelo proposto disponibiliza espaços de acesso aos lotes para veículos e pedestres.</p>	
CANTEIRO PLUVIAL	
	<p>120m²</p>
<p>Por se tratar de um jardim de chuva com dimensão reduzida, seu dimensionamento ficou em 6m² (6m de comprimento por 1m de largura máxima). O modelo proposto disponibiliza espaços de acesso aos lotes para veículos e pedestres.</p>	
SARJETA VERDE	
	<p>80m²</p>
<p>A sarjeta verde possui 10m² e se aplica somente em vias coletoras e locais, pois as vias expressas e arteriais não comportam esse tipo de controle de velocidade. O modelo proposto disponibiliza espaços de acesso aos lotes para veículos e pedestres.</p>	
PISO PERMEÁVEL	
<p>Indicado para aplicação somente nos passeios de todos os tipos de via</p>	<p>Variável</p>

Quadro 11 - Dimensionamento da área das MPM aplicadas no sistema viário
 Fonte: elaborado pela autora



A partir das áreas definidas para as MPM, foi calculado o volume precipitado no recorte espacial de cada via. Nesta análise o valor considerado para o *runoff* foi baseado no pior cenário, onde o escoamento seria de 100%. Portanto os dados utilizados foram:

- Coeficiente de escoamento superficial (*runoff*) igual a 1.
- Precipitação de 65,2 mm/h (Δp) para um tempo de retorno de 10 anos (Tr).
- Área dos corredores a cada 100m lineares.

Como as vias possuem diferentes larguras, evidentemente o volume precipitado (V) variou de acordo com cada tipologia (Tabela 17).

Via	ÁREA (m ²)	Volume Precipitado (m ³)
Local (L=14m)	1400m ² (14x100)	91,28m ³
Coletora (L=24m)	2400m ² (24x100)	156,48m ³
ARTERIAL (L=34m)	3400m ² (34x100)	221,68m ³
EXPRESSA (L=60m)	6000m ² (60x100)	391,2m ³

Tabela 17 - Área das vias a cada 100m e volume precipitado
Fonte: elaborado pela autora

A partir do cálculo do volume total precipitado e da definição das áreas de MPM a cada 100m de corredor, foi possível realizar a avaliação do desempenho de cada técnica nos diferentes corredores do sistema viário de Fortaleza. Segue os resultados da capacidade de retenção das técnicas de manejo de águas pluviais nas vias expressas, arteriais, coletoras e locais (Tabela 18).

AVENIDAS JARDINS ESTRATÉGIAS PARA IMPLANTAÇÃO DE
CORREDORES VERDES NO SISTEMA VIÁRIO DE FORTALEZA-CE

Tipo de Via	Área da MPM (m ²)	Volume de retenção (m ³)	Capacidade %
Biovaletas			
Expressa	1500	730,5	186%
Arterial	500	243,5	109%
Coletora	*	-	-
Local	*	-	-
Jardins de chuva			
Expressa	280	136,36	34%
Arterial	280	136,36	61,5%
Coletora	280	136,36	87,1%
Local	*	-	-
Canteiros pluviais			
Expressa	120	58,44	14%
Arterial	120	58,44	26%
Coletora	120	58,44	37%
Local	120	58,44	64%
Sarjetas verdes			
Expressa	**	-	-
Arterial	**	-	-
Coletora	160	77,92	49,7%
Local	80	38,96	42,7%
Piso Permeável			
Expressa	1000	94,50	24,1%
Arterial	800	75,60	34,1%
Coletora	650	61,42	39,2%
Local	500	47,25	51,7%
Canteiros arborizados			

Observação: A arborização é considerada nessa pesquisa como uma MPM versátil que pode ser integrada a todos os tipos de via. A sua capacidade de retenção depende de características botânicas que não serão discutidas nessa análise.

* As biovaletas propostas nesta análise possuem 3m de largura mínima, por isso não há espaço para aplicação nas vias coletoras e locais.

** Sarjetas verdes são aplicadas para promover o *traffic calm* (BONZI, 2015), por isso não se aplicam em vias arteriais e expressas que se caracterizam pelo fluxo intenso de veículos.

Tabela 18 - Avaliação do desempenho das MPM aplicadas no sistema viário
Fonte: elaborado pela autora



Os resultados dessa avaliação demonstram que as performances das Melhores Práticas de Manejo variam de acordo com a hierarquia das vias. Quatro das cinco técnicas apresentam melhor desempenho em corredores menores, ruas coletoras e locais (Gráfico 2).

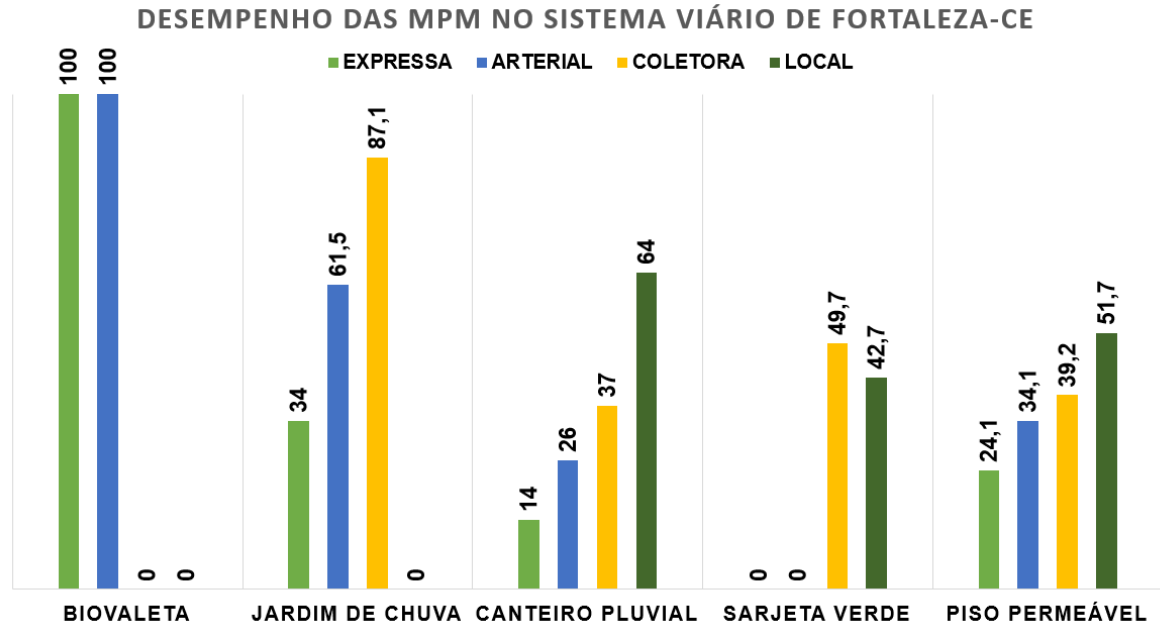


Gráfico 2 - Desempenho das MPM no Sistema Viário
Fonte: elaborado pela autora

Para classificar as melhores combinações entre MPM – Via na retenção de águas pluviais, foram sugeridos três níveis de avaliação: Regular, Regular – Satisfatório e Satisfatório – Ideal (Tabela 19).

Regular: nessa situação o desempenho da MPM é abaixo de 35%, e por isso deve ser avaliada a possibilidade de uma combinação mais eficiente se for possível.

Regular – Satisfatório: combinações onde a retenção pode chegar a 70% do volume, consideradas mais favoráveis.

Satisfatório - Ideal: cenário onde a MPM pode ultrapassar 100% de retenção do volume precipitado, funcionando como um backup para eventos atípicos, ou seja, durante uma tempestade intensa ou num momento de falha do sistema de drenagem convencional.

Classificação do desempenho das MPM aplicadas no sistema viário	
Regular	0 – 35%
Regular - Satisfatório	35,1 – 70%
Satisfatório - Ideal	Acima de 70%

Tabela 19 - Classificação do desempenho das MPM aplicadas no sistema viário
Fonte: elaborado pela autora

Vale ressaltar que qualquer uma das situações é favorável, o desempenho regular não significa que a aplicação das MPM deve ser descartada, visto que a sua presença, mesmo pequena, proporciona importantes serviços ambientais. O canteiro pluvial, por exemplo, pode ser aplicado em qualquer corredor, porém seu espaço limitado atrapalha sua performance em avenidas expressas que apresentam maior dimensão. Assim justifica-se sua aplicabilidade em ruas locais e mais estreitas, onde seu desempenho é mais eficiente na retenção do volume precipitado.

A classificação sugerida na Tabela 18 vem respaldar a definição das combinações mais eficientes entre as Melhores Práticas de Manejo e as tipologias de vias, ou seja, em quais tipos de corredores as técnicas de manejo têm maior capacidade de retenção. Portanto, aquelas que tiveram desempenho classificado como regular não foram recomendadas (Tabela 20), com exceção do piso permeável para via arterial que ficou muito próximo de 35%.

MPM	TIPOS DE VIAS			
	EXPRESSA	ARTERIAL	COLETORA	LOCAL
BIOVALETA	●	●	X	X
JARDIM DE CHUVA	X	●	●	X
CANTEIRO PLUVIAL	X	X	●	●
SARJETA VERDE	X	X	●	●
PAVIMENTO PERMEÁVEL	X	●	●	●
CANTEIRO ARBORIZADO	●	●	●	●

● Recomendável

X Não recomendável

Tabela 20 - Combinação entre as MPM e os tipos de vias discriminados pela LUOS
 Fonte: elaborado pela autora



A partir das recomendações sobre as combinações mais eficientes, é possível traçar algumas diretrizes:

- Os canteiros pluviais e sarjetas são indicados para vias de menor porte, visto que se adequam aos espaços de calçadas e ruas mais estreitas, desempenhando um papel satisfatório na retenção do *runoff* e contribuindo para o controle de tráfego em vias locais residenciais.
- Os jardins de chuva podem ser aplicados em vias coletoras e arteriais, estes devem compor projetos paisagísticos de corredores comerciais e de serviços, englobando uma área de influência maior e exercendo um papel importante no controle de pontos de alagamentos que atrapalham a mobilidade nessas avenidas.
- As biovaletas devem contribuir para a captação e transporte do escoamento superficial em vias expressas caracterizadas por calçadas e canteiro central amplos, os quais comportam esse tipo de MPM. Sua aplicação pode promover o aumento de áreas verdes criando um corredor permeável que integra diferentes bairros da cidade.
- Os pisos permeáveis constituem um complemento importante para ampliar o potencial de retenção do *runoff* principalmente nas áreas mais adensadas onde é necessário utilizar todos os meios para aumentar a taxa de permeabilidade.
- Os canteiros arborizados representam a solução mais flexível onde não há possibilidade de propor as outras técnicas de manejo de águas pluviais; as árvores têm um papel fundamental no conforto ambiental dos corredores através da composição de caminhos sombreados e agradáveis ao caminhar das pessoas.

As diretrizes acima propostas para aplicação das MPM no sistema viário possibilitam a consolidação de Corredores Verdes em múltiplas escalas, desde as ruas locais de um pequeno conjunto habitacional até a extensa avenida que atravessa a cidade. Por meio desses corredores, importantes áreas verdes da cidade podem ser conectadas consolidando uma Infraestrutura Verde. A conectividade entre parques, praças e lagoas promovida por corredores de mobilidade adaptados às Melhores Práticas de Manejo é essencial para a constituição de uma cidade resiliente e para a efetivação dos serviços ecológicos.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Realizar uma proposta de intervenção adaptativa no entorno do canal da Avenida Aguanambi, objetivo principal deste trabalho, mostrou que a aplicação das Melhores Práticas de Manejo em áreas vulneráveis à alagamentos é uma solução viável para complementar a infraestrutura cinza, representando o primeiro passo no percurso para a adaptação de espaços resilientes e, ao mesmo tempo, provedores de serviços ambientais.

Através desta pesquisa ficou compreendido que os padrões consolidados de uso e ocupação do solo influenciam a forma de distribuição das MPM nas vias locais e avenidas, visto que a implantação dessas técnicas de manejo está condicionada às dimensões das ruas, calçadas e ocupação dos lotes, conforme foi demonstrado no estudo do trecho piloto. A identificação da taxa de permeabilidade da APP, outro parâmetro de uso do solo importante, auxiliou na estimativa do coeficiente de escoamento superficial para desenvolver os cálculos sobre a capacidade de retenção das Melhores Práticas de Manejo. A partir dos resultados encontrados, foi possível comprovar a viabilidade de captação de parte do volume de águas pluviais escoado em uma área ínfima em relação à total.

As diretrizes apontadas para a aplicação das MPM no sistema viário requerem um aprofundamento sob a forma de projetos específicos consonantes com as características físicas e socioeconômicas dos corredores de mobilidade. Idealmente, essas orientações poderiam ser incorporadas à LUOS e ao Plano Fortaleza 2040, que admitem os corredores de mobilidade como peças importantes no desenvolvimento urbano da cidade.

As transformações inerentes às técnicas de manejo vão além da retenção da água e possibilitam a valorização paisagística com a criação de áreas verdes em ruas e avenidas formando corredores de integração entre praças e parques. A possibilidade de implantar jardins nas ruas incrementaria as políticas públicas de valorização dos espaços vegetados e arborizados; o programa de adoção de praças poderia ser ampliado para adoção de ruas, ou simplesmente, de um jardim.

Por fim, a Infraestrutura Verde é capaz de prevenir, através de suas propriedades regulatórias, os impactos negativos aos recursos naturais causados pelo crescimento urbano que se tornou dependente de uma infraestrutura cinza limitada e rígida. A IEV em Fortaleza, consolidada através dos Corredores Verdes efetivaria a qualidade ambiental e urbanística, com a melhoria da drenagem e a criação de microclimas, favorecendo a resiliência da cidade e oferecendo melhor qualidade de vida aos cidadãos fortalezenses.



REFERÊNCIAS

- AHERN, Jack; PELLEGRINO, Paulo R. M.; MOURA, Newton Célio Becker de. **Infraestrutura verde: desempenho, estética, custos e método**. In: Lucia Maria Sá Antunes Costa; Denise Barcellos Pinheiro Machado. (Org.). *Conectividade e resiliência: estratégias de projeto para a metrópole*. 1 ed. Rio de Janeiro, 2012, v. 1, p. 35-52.
- AHERN, Jack. **“Novel urban ecosystems: Concepts, definitions and a strategy to support urban sustainability and resilience**. *Landscape Architecture Frontiers*, vol. 4, n. 1, 2016, 12 p. Disponível em: <<http://go.galegroup.com/ps/anonymouse?id=GALE%7CA459715410&sid=googleScholar&v=2.1&it=r&linkaccess=fulltext&issn=20955405&p=AONE&sw=w&authCount=1&isAnonymousEntry=true>> Acesso em: 20 set. 2017.
- ANDRADE, 2016. **Era uma vez um rio. Diário de bordo de imersão no riacho Pajeú**. 2015. Disponível em: <<https://eraumavezumrio.wordpress.com/2016/07/02/um-novo-pajeu/>> Acesso em 18 nov. 2017
- ARAÚJO, G. H. de S.; ALMEIDA, J. R. de; GUERRA, A. J. T. **Gestão ambiental de áreas degradadas**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2005
- ARAÚJO, Laiz Hérica Siqueira de. **Diagnóstico georreferenciado do uso e ocupação do solo nas áreas de preservação permanente (APP) da sub-bacia B1, bacia do rio Cocó, Fortaleza-Ce / Laiz Hérica Siqueira de Araújo**. – 2012.145 f.: il. color., enc. ; 30 cm
- ARCHDAILY BRASIL. 21 Dez 2015. **"Parque Minghu / Turenscape" [Minghu Wetland Park / Turenscape]**. (Trad. Santiago Pedrotti, Gabriel). Disponível em: <<https://www.archdaily.com.br/br/778365/minghu-wetland-park-turenscape>> ISSN 0719-8906. Acesso em: 25 out. 2017.
- ASLA. American society of landscape architects. **“Gowanus Canal Sponge Park”**. 2010. Analysis and Planning. 2010 ASLA Professional Awards.. Disponível em: <<https://www.asla.org/2010awards/064.html>> Acesso em: 10 jul. 2017.
- ASSESSMENT, Millennium Ecosystem. **Millennium ecosystem assessment. Ecosystems and human wellbeing: a framework for assessment**. Washington, DC: Island Press, 2005. Disponível em: <<http://www.millenniumassessment.org/documents/document.354.aspx.pdf>> Acesso em: 20 out. 2017.
- ASSOCIAÇÃO DOS ENGENHEIROS DA SABESP – AESABESP. **Poluição por carga difusa: o impacto da poluição difusa nos centros urbanos**. Revista Saneas. n. 30, p. 14-25, ano IX, jul./ago./set., 2008. Disponível em: <<http://www.aesabesp.org.br/arquivos/saneas/saneas30.pdf>>. Acesso em: 28 nov. 2017
- BECKER, Newton. **Biorretenção como alternativa para manejo das águas urbanas e mudanças climáticas na Grande São Paulo**. In. Paulo Pellegrino; Newton Becker. (Org). *Estratégias para uma infraestrutura verde*. 1 ed. Barueri, SP: Manole, 2017, p. 43-62.
- BENEDICT, Mark A.; MCMAHON, Edward T. **Green Infrastructure – Linking Landscapes and Communities**. Island Press, Washington, 2006.

BONZI, Ramón S. **Andar sobre Água Preta: a aplicação da Infraestrutura Verde em áreas densamente urbanizadas**. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo). Universidade de São Paulo: FAUUSP, 2015.

Disponível em: <www.teses.usp.br/teses/disponiveis/16/16135/tde-29102015-111924/.../ramonbonzi.pdf> Acesso em: 20 nov. 2017

BONZI, Ramón Stock. **Paisagem como infraestrutura**. In. Paulo Pellegrino; Newton Becker. (Org). Estratégias para uma infraestrutura verde. 1 ed. Barueri, SP: Manole, 2017, p. 1-24.

_____. BRASIL. [Código de trânsito brasileiro (1997)]. Código de trânsito brasileiro. – 4. ed. – Brasília: Câmara dos Deputados, Edições Câmara, 2010. 297 p. – (Série legislação ; n. 26)

_____. BRASIL, Novo Código Florestal. **Lei n 12.651, de 25 de maio de 2012**. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa. 34 p. Brasília, 2012.

_____. Câmara Municipal de Fortaleza. Lei complementar nº 0236, de 11 de agosto de 2017. Dispõe sobre o **parcelamento, o uso e a ocupação do solo no Município de Fortaleza**, e adota outras providências. Fortaleza, Diário Oficial do Município 2017. 192 p.

CHELLERI, Lorenzo; OLAZABAL, Marta (Ed.). **Multidisciplinary perspectives on urban resilience: a workshop report**. BC3, Basque Centre for Climate Change, 2012. Disponível em: <http://www.bc3research.org/multidisciplinary_perspectives_on_urban_resilience> Acesso em: 20 out. 2017.

CHELLERI, Lorenzo et al. **Resilience trade-offs: addressing multiple scales and temporal aspects of urban resilience**. Environment and Urbanization, v. 27, n. 1, p. 181-198, 2015. Disponível em: <<http://journals.sagepub.com/doi/abs/10.1177/0956247814550780>> Acesso em: 20 out. 2017.

CORMIER, Nathaniel S.; PELLEGRINO, Paulo Renato Mesquita. **Infra-estrutura verde: uma estratégia paisagística para a água urbana**. Paisagem e Ambiente, n. 25, p. 127-142, 2008. Disponível em: <<http://www.revistas.usp.br/paam/article/view/105962/111750>> Acesso em: 14 nov. 2017.

DE BOER, Jonh; MUGGAH, Robert; PATEL, Ronaj. **Conceptualizing City Fragility and Resilience**. Centre for Policy Research, United Nations University, 2016.

Disponível em:

<https://i.unu.edu/media/cpr.unu.edu/attachment/2227/WP05.02_Conceptualizing_City_Fragility_and_Resilience.pdf> Acesso em: 10 mar. 2017.

DE PARIS, ACORDO. Brasília, DF: Ministério do Meio Ambiente. [2015]. 2017.

Disponível em:

<http://www.mma.gov.br/images/arquivos/clima/convencao/indc/Acordo_Paris.pdf>

Acesso em 20 out. 2017.

DLANSTUDIO, 2012. Disponível em: <http://www.dlandstudio.com/projects_gowanus.html> Acesso em: 04 nov. 2017.

DOD (Department of Defense). 2004. **The low impact development manual, UFC-3-210-10**.



Disponível em:

<https://www.wbdg.org/FFC/DOD/UFC/ARCHIVES/ufc_3_210_10_2004_c1%26c2.pdf>
Acesso em: 28 nov. 2017.

EPA, 2017. United States Environmental Protection Agency. Disponível em:
<<https://cumulis.epa.gov/supercpad/cursites/csitinfo.cfm?id=0206222>> Acesso em: 04 nov. 2017.

FABOS, Julius Gy. Introduction and overview: the greenway movement, uses and potentials of greenways. 1995. Disponível em:
<https://www.researchgate.net/publication/222590379_Introduction_and_Overview_The_Greenway_Movement_Uses_and_Potentials_of_Greenways> Acesso em 20 out. 2017

Federal Transit Administration (2009). **Characteristics of Bus Rapid Transit for Decision-Making.** Project No. FTA-FL-26-7109.2009. Federal Transit Administration, U.S. Department of Transportation. Disponível em: < <http://www.nbrti.org/CBRT.html>>. Acesso em: 28 out. 2017.

FIREHOCK, Karen. A short history of the term green infrastructure and selected literature. 2010. Disponível em: <<http://www.gicinc.org/PDFs/GI%20History.pdf>>. Acesso em: 21 out. 2017.

FORTALEZA 2040. Padrões de Urbanização. Fortaleza: Iplanfor, v. 5, n. 2, 2015. Disponível em: <<http://fortaleza2040.fortaleza.ce.gov.br/site/>>. Acesso em: 29 set. 2017.

FORTALEZA 2040. Qualidade do meio ambiente e dos recursos naturais. Fortaleza: Iplanfor, v. 6, 312 p., 2016. Disponível em: <<http://fortaleza2040.fortaleza.ce.gov.br/site/>>. Acesso em: 27 out. 2017.

FRANCO, Maria de Assuncao Ribeiro. Planejamento ambiental para a cidade sustentável. 2. ed. São Paulo: Annablume;EDIFURB, 2001.

G1 CE. 2014. Prefeitura de Fortaleza obtém licença para remoção de árvores de avenidas. Disponível em: <<http://g1.globo.com/ceara/noticia/2014/04/prefeitura-de-fortaleza-obtem-licenca-para-remocao-de-arvores-de-avenidas.html>> Acesso em 20 ago.2016

G1 CE. 2015. Obra de mobilidade exige derrubada de 148 árvores no Bairro Aerolândia. Disponível em: <<http://g1.globo.com/ceara/noticia/2015/08/obra-de-mobilidade-exige-derrubada-de-148-arvores-no-bairro-aerolandia.html>> Acesso em: 22 out. 2017.

G1 CE. 2017. Com chuva, carros boiam na Avenida Aguanambi, em Fortaleza. Disponível <<http://g1.globo.com/ceara/noticia/2017/01/com-chuva-carros-boiam-na-avenida-aguanambi-em-fortaleza.html>> Acesso em 20 mar. 2017.

GEHRELS, Hans et al. Designing green and blue infrastructure to support healthy urban living. 2016. Disponível em: <http://www.adaptivecircularcities.com/wp-content/uploads/2016/07/T02-ACC-WP3-Green-Blue-infrastructure-for-Healthy-Urban-Living-Final-report-160701.pdf> Acesso em 18 nov. 2017

GIL, A. C. Como elaborar projetos de pesquisa. 4. Ed. São Paulo: Atlas, 2007.

GONDIM, M. F.; ROCHA, B.; FURTADO, V. O verde de cada um. In: XIII ENAnpur, 2009, Florianópolis. XIII ENAnpur Encontro Nacional da Anpur Planejamento e Gestão do Território - escalas, conflitos e incertezas, 2009.

HANDBOOK, Stormwater solutions. **When it gets to the ground**. The City of Portland Oregon. <<https://www.portlandoregon.gov/bes/article/129057>> Acesso em: 24 nov. 2017.

HUBER, Jeffrey et al. **Low Impact Development: a design manual for urban areas**. Arkansas: Fayetteville, 2010.

LIMA, Gerson Amaral. **Campus da Fiocruz no Ceará: aplicação das infraestruturas verdes no contexto do semiárido** / Gerson Amaral Lima. Dissertação (Mestrado em Paisagem e Ambiente) – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo 2016. 151 p.:il. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/16/16135/tde-20122016-151518/>> Acesso em 10 set. 2017.

LITTLE, C. E., 1990. **Greenways for America**. The John Hopkins University Press, Baltimore/ London, 237 pp.

MINISTÉRIO DAS CIDADES. **Caderno de Referência para o Plano de Mobilidade Urbana – PlanMob 2015**. Secretaria Nacional de Transporte e da Mobilidade Urbana. Brasília, 2015.

MOURA, Newton Célio Becker de. **Biorretenção: tecnologia ambiental urbana para manejo das águas de chuva**. Tese. (Doutorado em Paisagem e Ambiente) Universidade de São Paulo, São Paulo, 2013 p.135. doi: 10.11606/T.16.2014.Tde-30052014-104153. Acesso em 5 jul. 2017

NETO, Lira; ALBUQUERQUE, Cláudia. **História urbana e imobiliária de Fortaleza: biografia sintética de uma cidade**. 1 ed. São Paulo. Editora Barba, 2014.

NAÇÕES UNIDAS. **Transformando Nosso Mundo: A Agenda 2030 para o desenvolvimento sustentável**. 2015 v. 15. Disponível em: <<https://nacoesunidas.org/wp-content/uploads/2015/10/agenda2030-pt-br.pdf>> Acesso em 15 nov. 2017.


O POVO ON LINE. 2017. **De 42 árvores na Aguanambi, só 6 serão transplantadas**. Disponível em: <<https://mobile.opovo.com.br/app/opovo/cotidiano/2016/06/10/noticiasjornalcotidiano,3622453/das-42-arvores-cortadas-na-aguanambi-so-6-serao-transplantadas.shtml>> Acesso em: 18 nov. 2017.

PELLEGRINO, Paulo. **Paisagem como infraestrutura hídrica**. In. Paulo Pellegrino; Newton Becker. (Org). **Estratégias para uma infraestrutura verde**. 1 ed. Barueri, SP: Manole, 2017, p. 26-41.

PGCO (Prince George's County). (1999a). **Low-impact development hydrologic analysis**. Maryland: Department of Environmental Resources, Prince George's County. Disponível em: <<https://www.princegeorgescountymd.gov/DocumentCenter/Home/View/87>> Acesso em: 28 nov. 2017

PGCO (Prince George's County, Maryland). (1999b). **Low-impact development design manual**. Maryland: Department of Environmental Resources, Prince George's County. Disponível em: <<https://www.princegeorgescountymd.gov/Document/CenterHome/View/86>> Acesso em: 28 nov. 2017.

PINHEIRO, Maitê Bueno. **Plantas para infraestrutura verde e o papel da vegetação no tratamento das águas urbanas de São Paulo: identificação de critérios para seleção**



de espécies. 2017. Dissertação (Mestrado em Paisagem e Ambiente) - Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2017. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/16/16135/tde-27062017-141958/>>. Acesso em: 1 DEZ. 2017.

PLAMOB. Plano de mobilidade de Fortaleza. Prefeitura de Fortaleza. Instituto de Planejamento de Fortaleza – IPLANFOR. 2015 p. 116 Disponível em: <http://fortaleza2040.fortaleza.ce.gov.br/site/assets/files/publications/fortaleza2040_plano_d_e_mobilidade_urbana_17-08-2015.pdf> Acesso em: 10 out. 2017

PORTLAND, CITY OF. **Stormwater Management Manual.** Revision August, 2016. Disponível em: <<https://www.portlandoregon.gov/bes/64040>> Acesso em: 25 out. 2017

PREFEITURA DE FORTALEZA. **Projeto de drenagem est. 70 até final.** Projeto de Drenagem. Secretaria Municipal de Infraestrutura TRANSFOR. Folha 03/19. 2015.

PREFEITURA DE FORTALEZA. **Prefeitura de Fortaleza divulga andamento das obras na Avenida Aguanambi.** 2017. Disponível em: <<https://www.fortaleza.ce.gov.br/noticias/prefeitura-de-fortaleza-divulga-andamento-das-obras-na-av-aguanambi>>. Acesso em 22 out. 2017

_____. Resolução CONAMA nº 303, de 20 de março de 2002: Dispõe sobre parâmetros, definições e limites de Áreas de Preservação Permanente. Brasília, 2002b.

SEMCOG. **Low Impact Development Manual for Michigan: A Design Guide for Implementors and Reviewers.** Southeast Michigan Council of Governments. Information Center, 2008. Disponível em: <<http://semcog.org/publications/category/environment>> Acesso em: 23 nov. 2017.

SILVA, Francisco Osny Enéas da; PALÁCIO JÚNIOR, Francisco Flávio Rocha; CAMPOS, José Nilson Bezerra. **Equação de chuvas para Fortaleza-CE com dados do pluviógrafo da UFC.** 2013. Disponível em: <http://revistadae.com.br/artigos/artigo_edicao_192_n_1491.pdf> Acesso em: 26 nov. 2017.

SILVEIRA, Alberto Magno Perdigão. **Comunicação pública e planejamento participativo: aspectos políticos e jurídicos do plano Fortaleza 2040.** 2015. Disponível em: <www.portalintercom.org.br/anais/nordeste2015/resumos/R47-1003-2.pdf> Acesso em: 17 fev. 2018

TURENSCAPE. “**Jinhua Swallowtail Island Park**”. 2014. Disponível em: <<https://www.turenscape.com/project/detail/4629.html>> Acesso em 3 out. 2017

VERDE, Fator. **Programa de certificação para construções sustentáveis.** Prefeitura de Fortaleza. Secretaria de Urbanismo e Meio Ambiente. 2017.

YU Kongjian; LI, Dihua; LI Nuyu. **The evolution of Greenways in China.** In: Landscape and Urban Planning, v. 76, 2006, p. 223-239. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0169204604001422>> Acesso em: 12 set. 2017.

YU, Kongjian; LI, Dihua; YUAN, Hong; FU, Wei; QIAO Qing; WWANG, Sisi. **Sponge city”: theory and practice.** City Planning Review, v. 6, 2015, p. 26-36. Disponível em: <http://en.cnki.com.cn/Article_en/CJFDTOTAL-CSGH201506009.htm> Acesso em: 20 out. 2017