

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

IURI FELIPE MANICA COLUSSI

**ÁREA DE BIORRETENÇÃO: SISTEMA DE INFRAESTRUTURA
VERDE PARA O MANEJO DE ÁGUAS PLUVIAIS URBANAS**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

TOLEDO

2017

IURI FELIPE MANICA COLUSSI

**ÁREA DE BIORRETENÇÃO: SISTEMA DE INFRAESTRUTURA
VERDE PARA O MANEJO DE ÁGUAS PLUVIAIS URBANAS**

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

Orientadora: Prof.^a Dr.^a Silmara Dias Feiber

TOLEDO
2017



Ministério da Educação
**Universidade Tecnológica Federal do
Paraná**
Câmpus Toledo
Coordenação do Curso de Engenharia Civil



TERMO DE APROVAÇÃO

Título do Trabalho de Conclusão de Curso de Nº 67

ÁREA DE BIORRETENÇÃO: SISTEMA DE INFRAESTRUTURA VERDE PARA O MANEJO DE ÁGUAS PLUVIAIS URBANAS

por

Iuri Felipe Manica Colussi

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi apresentado às 8:00 h do dia **07 de junho de 2017** como requisito parcial para a obtenção do título **Bacharel em Engenharia Civil**. Após deliberação da Banca Examinadora, composta pelos professores abaixo assinados, o trabalho foi considerado **APROVADO**.

Prof^a Dra Silmara Dias Feiber
(UTFPR – TD)
Orientadora

Prof. Dr Fúlvio Natércio Feiber
(UTFPR – TD)

Prof Prof. Me. Christian Valcir
Kniphoff de Oliveira
(FAG)

Visto da Coordenação
Prof^a. Dr^a. Silvana da Silva Ramme
Coordenadora da COECI

A Folha de Aprovação assinada encontra-se na Coordenação do Curso.

AGRADECIMENTOS

“Primeiramente á Deus, por eu estar aqui hoje, aos meus pais, Silvani Manica Colussi e Aldemir Colussi, meus irmãos Sascha I. M. C. e Joshua O. M. C. e minha vó Nair Dozolina Manica, pelo amor, incentivo, paciência e apoio incondicional.

Aos amigos e colegas da universidade, por todo apoio ao longo dessa caminhada.

A minha orientadora Prof. Dra. Silmara Dias Feiber, por toda a paciência, auxílio e disponibilidade de tempo na orientação ao longo deste Trabalho, sem a sua ajuda nada disso seria possível, e ao Felipe da empresa Braston, pela disponibilização das peças. E todos os professores da faculdade que me orientaram e compartilharam os seus conhecimentos me auxiliando para chegar onde estou.

Muito Obrigado”

RESUMO

COLUSSI, Iuri Felipe M. **Área de biorretenção: Sistema de infraestrutura verde para o manejo de águas pluviais urbanas**. 2017. 108 f. Monografia (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Toledo, 2017.

O advento da urbanização trouxe inúmeras vantagens para o ser humano: a habilidade de conseguir a verticalização na construção e ainda os inúmeros pavimentos que nos levam de um canto a outro. Contudo, esta “evolução” constante sem o devido planejamento provocou inúmeras consequências, tais como o aumento do escoamento superficial, que levou ao comprometimento do ciclo hidrológico resultando no aparecimento de enchentes. Assim sendo, foram criadas técnicas de forma a auxiliar e, em alguns casos, reparar essas problemáticas advindas do crescimento populacional desenfreado. Os sistemas de infraestrutura verde, tais como valetas de infiltração, teto verde, jardim de chuva, entre outros, chegaram através de propostas estrangeiras inspiradas no desenvolvimento de cidades planejadas (cidades modelos), que vem apresentando grande eficácia no manejo de águas pluviais urbanas. O jardim de chuva é um jardim comum, dotado de camadas de diferentes tipos de materiais, que exercem o papel de filtro natural, que adjunto a uma determinada vegetação, acresce uma segunda função: a de caráter antipoluidor, drenando os poluentes da hidrosfera. Em vista disso, comparou-se, em 3 parâmetros distintos, o jardim de chuva, o megadreno e o *paver*. Foram avaliadas as seguintes etapas: a infiltração direta da estrutura por um período de 20 minutos, seguida da quantidade de água e o tempo que a estrutura levou para evacuar todo este conteúdo líquido, e, por último, comparar os custos de implementação de cada tipologia. O Megadreno apresentou um melhor desempenho nos parâmetros de infiltração e escoamento, enquanto que o *paver* evidenciou um menor custo. Já o jardim de chuva apresentou custo mais elevado, fato este justificado pela grande movimentação de serviços para a escavação das valas e concretagem das paredes deste, entretanto, ficando em segundo lugar nas duas primeiras análises. Por fim, foi elaborada uma proposta de calçadas para a cidade de Cascavel – Paraná, com a implementação do jardim de chuva em sua estrutura.

PALAVRAS-CHAVES: Infraestrutura verde, urbanização, jardim de chuva.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Área de biorretenção para estacionamento sem meio-fio.	28
Figura 2 - Área de biorretenção para estacionamento sem meio-fio, vista superior.	29
Figura 3 – Detalhamento da tipologia sem meio-fio.	29
Figura 4 - Área de biorretenção para estacionamento com meio-fio.	30
Figura 5 – Área de biorretenção em estacionamento provida de meio-fio.	30
Figura 6 - Área de biorretenção em canteiros de rodovias.	31
Figura 7 – Área de biorretenção em declive, vista em planta.	33
Figura 8 – Área de biorretenção em declive, vista em corte.	33
Figura 9 – Esquema detalhado da tipologia de biorretenção com declividade.	33
Figura 10 – Jardim de chuva e alguns componentes.	35
Figura 11 – Representação de uma área de biorretenção “prato raso”	36
Figura 12 – Área de biorretenção em canteiros de árvores e arbustos.	37
Figura 13 – Esquemática do “jardim que chora”.	38
Figura 14 – Estrutura básica proposta para um jardim de chuva.	41
Figura 15 – Dimensões em centímetros do aparato.	42
Figura 16 – Esquemática da estrutura idealizada que recebeu o jardim de chuva.	43
Figura 17 – Esquemática da estrutura que recebeu a área de biorretenção.	44
Figura 18 – Esquemática do jardim de chuva que será construído.	45
Figura 19 – Possíveis configurações do paver.	46
Figura 20 – Estrutura do pavimento com paver.	47
Figura 21 – Penúltima etapa completa para implementação do paver.	48
Figura 22 – Protótipo com o megadreno em sua estrutura.	49
Figura 23 – Proposta genérica de calçada.	51
Figura 24 – Idealização da proposta, vista superior.	52
Figura 25 – Corte AA.	52
Figura 26 – Corte BB.	53
Figura 27 – Configuração do paver.	55
Figura 28 - Paver recebendo a precipitação.	55
Figura 29 - Configuração do megadreno.	56

Figura 30 – Configuracao do jardim de chuva.....	57
Figura 31 - Esquematisação do jardim de chuva.....	58
Figura 32 – Jardim de chuva recebendo a precipitação.....	58
Figura 33 – Cotas para adequação de calçadas de esquina com comprimento de 2,50 a 2,99 metros.....	68
Figura 34 – Simulação de implementação de um jardim de chuva em calçada de esquina de 2,50 a 2,99 metros.....	69
Figura 35 – Imagem aproximada do jardim de chuva.....	70
Figura 36 - Cotas para adequação de calçadas de esquina com comprimento de 3,00 a 3,49 metros, para uso residencial.....	71
Figura 37 - Simulação de implementação de um jardim de chuva em calçada de esquina de 3,00 a 3,49 metros, de uso residencial.....	72
Figura 38 – Imagem aproximada do jardim de chuva implementado.....	73
Figura 39 - Cotas para adequação de calçadas de esquina com comprimento de 3,00 a 3,49 metros, para uso comercial.....	74
Figura 40 - Simulação de implementação de um jardim de chuva em calçada de esquina de 3,00 a 3,49 metros, de uso comercial.....	75
Figura 41 – Imagem com zoom da implementação do jardim de chuva.....	76
Figura 42 - Cotas para adequação de calçadas de esquina com comprimento de 3,50 a 3,99 metros, para uso residencial.....	77
Figura 43 - Simulação de implementação de um jardim de chuva em calçada de esquina de 3,50 a 3,99 metros, de uso residencial.....	78
Figura 44 – Imagem ampliada do jardim de chuva.....	79
Figura 45 - Cotas para adequação de calçadas de esquina com comprimento de 3,50 a 3,99 metros, para uso comercial.....	80
Figura 46 - Simulação de implementação de um jardim de chuva em calçada de esquina de 3,50 a 3,99 metros, de uso comercial.....	81
Figura 47 – Implementacao do jardim de chuva na calccada de esquina.....	82
Figura 48 - Cotas para adequação de calçadas de esquina com comprimento de 4,00 ou maiores que 4,00 metros, para uso residencial.....	83
Figura 49 - Simulação de implementação de um jardim de chuva em calçada de esquina de 4,00 metros ou maiores que 4,00 metros, de uso residencial.....	84
Figura 50 – Imagem aproximada da instalação do jardim de chuva na calçada.....	85

Figura 51 – Vista lateral do jardim de chuva, com as especificações das tipologias de camadas que o constituem.....	86
Figura 52 - Vista frontal do jardim de chuva, com as especificações das tipologias de camadas que o constituem.....	87

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Estrutura das camadas propostas na literatura.....	42
Tabela 2 – Modelo de tabela utilizado para o cálculo do custo de implementação de cada tipologia.	50
Tabela 3 – Quantidade em litros infiltrados em cada tipo de estrutura de calçada durante o período de 20 minutos.	59
Tabela 4 – Quantidade e tempo para o tempo de “repouso” da estrutura de cada tipologia.....	61
Tabela 5 – Custo para implementação do paver.....	63
Tabela 6 – Custo para implementação do megadreno Braston.	63
Tabela 7 – Custo para a primeira fase de implantação do jardim de chuva.	64
Tabela 8 – Custo para a segunda fase de implantação do jardim de chuva.....	64
Tabela 9 – Relação das tipologias e os critérios avaliados.....	65

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANA – Agência Nacional de Águas

BMP – Best Management Practice

Cemaden – Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

IMP – Integrated Management Practice

LID – Low Impact Development

MPM – Melhores Práticas de Manejo

ONU – Organização das Nações Unidas

PDDU – Plano Diretor de Drenagem Urbana

SuDS – Sustainable Drainage Systems

TCPO – Tabela de Composições de Preços para Orçamento

Unced – United Nations Conference on Environment and Development

UTFPR – Universidade Tecnológica Federal do Paraná

WSUD – Water Sensitive Urban Design

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
1.1 JUSTIFICATIVA.....	6
1.2 OBJETIVOS	7
1.2.1 Objetivo Geral	8
1.2.2 Objetivos específicos	8
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	9
2.1 CLIMA E SUSTENTABILIDADE URBANA.....	9
2.1.1 Impacto da urbanização	11
2.1.2 Problemática do manejo da água pluvial urbana	14
2.1.3 Ciclo hidrológico	17
2.1.4 Modelo atual de drenagem urbana	19
2.2 INFRA ESTRUTURA VERDE: CONCEITO.....	22
2.2.1 Panorama da área de biorretenção no caso brasileiro	24
2.2.2 Área de biorretenção: tipologias dos “jardins de chuva”	26
2.2.2.1 Jardim de Chuva Comercial/Industrial	27
2.2.2.2 Biorretenção em estacionamento sem meio-fio	28
2.2.2.3 Biorretenção em estacionamento com meio-fio	29
2.2.2.4 Área de Biorretenção no canteiro e Biorretenção Intermediária	31
2.2.2.5 Depressão com capacidade de Biorretenção	32
2.2.2.6 Áreas de Biorretenção Residenciais	34
2.2.2.7 Jardim Paisagístico	34
2.2.2.8 Projeto “Prato Raso”	35
2.2.2.9 Canteiro de árvores e arbustos	36
2.2.2.10 “Jardim que chora” Inclinado	37
3. MATERIAIS E MÉTODOS	38
3.1 CARACTERIZAÇÃO DA PESQUISA.....	39
3.2 CARACTERIZAÇÃO DO OBJETO DE ESTUDO	40
3.2.1 Protótipo.....	40
3.2.2 Paver.....	46
3.2.3 Megadreno....	48
3.2.4 Cálculos.....	49

3.2.5 Projeto de calçadas padronizadas com área de biorretenção	50
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	54
4.1 EFICIÊNCIA ENTRE PAVER, PISO DRENANTE E JARDIM DE CHUVA.....	54
4.1.1 Paver.....	54
4.1.2 Megadreno.....	56
4.1.3 Jardim de chuva	57
4.2 RESULTADOS.....	59
4.3 MODELOS PROJETUAIS DE CALÇADAS DE ESQUINA PARA CASCAVEL - PR.....	67
4.3.1 Calçadas de esquina- DE 2,50m A 2,99m	68
4.3.2 Calçadas de esquina - DE 3,00m A 3,49m – Uso residencial.....	70
4.3.3 Calçadas de esquina - DE 3,00m A 3,49m – Uso comercial	74
4.3.4 Calçadas de esquina - DE 3,50m A 3,99m – Uso residencial.....	76
4.3.5 Calçadas de esquina - DE 3,50m A 3,99m – Uso comercial	80
4.3.6 Calçadas de esquina - DE 4,00m ou maiores QUE 4,00m – Uso residencial	83
4.3.7 Cortes e vista do substrato do jardim de chuva	85
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	88
REFERÊNCIAS.....	91

1. INTRODUÇÃO

Ao longo do desenvolvimento humano a vida coletiva mostrou-se de fundamental importância, para desenvolvimento e divisão de trabalhos, em sociedade, onde os indivíduos participam ativamente da transformação do espaço no sentido de uma organização intencional. Foram identificados vestígios do processo de urbanização desde a era paleolítica, mais especificamente no período paleolítico médio superior. O homem de neandertal desde o período pré-histórico adotou um conceito primitivo de valorização do sepultamento dos seus semelhantes, junto a seus pertences. Desse modo, como processo de ritual, estes tinham o costume de procurar uma espécie de abrigo para os que haviam falecido. A caverna era uma espécie de símbolo, que era utilizada apenas para suprir necessidades instantâneas, tais como, acasalamento, guarda de equipamentos ou ainda para se alimentar em dias chuvosos (ABIKO; MORAES, 2009).

Os mesmos autores ainda afirmam que, após este período inicial de intervenção pautada em visões cosmológicas segue o período neolítico onde a moradia fixa se mostra necessária devido ao início do processo de cultivo de sementes e criação de animais enraizando os indivíduos em um local. Porém, para o surgimento das cidades aos moldes contemporâneos, ainda se fazia necessária uma organização social. Desta maneira, podemos afirmar que as cidades surgiram devido à divisão social do trabalho e a instituições sociais. Não é possível a datação exata da primeira cidade, porém autores acreditam que seja por volta de 3500 a.C. e que se localizou na região da Mesopotâmia.

Abiko e Moraes (2009) afirmam que com a evolução dos processos de ordenamento espacial, inicialmente de forma ainda empírica, na idade feudal a segurança passou a ser um critério de preocupação devido às invasões bárbaras do período. Com esse advento, a população começou a crescer aceleradamente aumentando assim o consumo de produtos e da mesma maneira a necessidade da produção de mais recursos para saciar toda a comunidade existente. Com isso, surgiram artifícios para a troca de mercadorias, desde portos e embarcações até vilas de artesões e cidades de passagem. Desse modo, devido ao caráter mercantil dessa época, o nascimento das cidades mostrou-se indispensável.

Após este contexto inicial, a alteração mais incisiva no âmbito urbano foi a ocorrida no século XVIII, período da Revolução Industrial, posterior ainda aos descritos no início desta pesquisa. O início da era das máquinas foi marcado por intensas intervenções de cunho urbanístico devido à inserção de novas tipologias arquitetônicas, em destaque as fábricas e edifícios verticalizados, e o suprimento da demanda por habitações destinadas em especial ao público de trabalhadores fabris. Com isto houve a explosão do crescimento demográfico dos centros urbanos. A cidade passa de centro de comércio, onde era passível de se viver, para um centro marcado pelo congestionamento e condições precárias de vida. Desse modo, a falta de coleta de lixo e de um sistema de abastecimento de água potável fizeram com que surgissem epidemias e más condições de vivência.

Em decorrência deste adensamento populacional e dos exaustivos turnos de trabalho, houve a preocupação por parte do estado em se criar os parques urbanos. Estes tinham como intuito configurar áreas livres para oferecer lazer ao proletariado, bem como diminuir a poluição das cidades, sendo implementados primeiramente em cidades da Europa (LIMA; ROCHA, 2015). Os denominados Parques Urbanos possuem uma importância que se ultrapassa o simples bem-estar dos trabalhadores para alcançar contribuições importantes na sobrevivência urbana, pois atuam como um respiro dentro do caos urbano. Segundo Chiesura (2004) a presença de elementos verdes em um contexto urbano contribui na qualidade de vida, desde a purificação do ar e da água, promovendo também benefícios sociais e psicológicos, os quais são cruciais para uma boa vivência nos dias estressantes das grandes cidades.

As condições de saneamento básico no dia a dia dos trabalhadores tornaram-se cada vez mais precárias com o quadro em que a cidade se encontrava, devido ao processo de urbanização, houve a falta de recolhimento do lixo e tratamento da água, devido ao crescimento desenfreado, sem planejamento e ainda com o surgimento das indústrias, carros, entre outros. No Brasil, com o intuito de promover um ordenamento urbano das cidades e ainda extinguir e conter as consequências causadas pelo fenômeno da urbanização, foi inserido no corpo da Constituição Federal de 1988 conteúdos referentes a estas questões no Título VII – Da Ordem Econômica e Financeira, Capítulo II, Artigos 182 e 183, determinando o Plano Diretor e a regulamentação necessária das diretrizes gerais de expansão urbana e da política de desenvolvimento urbano, para centros urbanos com população acima de mil habitantes (MORAES, 2010). Com esta ação segue a

regulamentação de diretrizes gerais da política de desenvolvimento urbano e o Plano diretor, instrumento básico de ordenamento e expansão urbana e da política de desenvolvimento.

Deste modo, os núcleos urbanos foram se industrializando e crescendo cada vez mais, dessa vez de um modo mais estável e organizado, seguindo os planos pré-estabelecidos até atingirem o patamar que nos encontramos atualmente. Embora tenha havido um progresso no sentido de planejar as ações de desenvolvimento urbano, o momento atual apresenta uma nova problemática, que é a luta frente ao desenvolvimento sustentável. O crescer com equilíbrio entre as dimensões ambientais, sociais e econômicas vem à tona no Clube de Roma em 1972, sendo uma das primeiras instituições a apontar os riscos do crescimento acelerado. No mesmo ano, a ONU – Organização das Nações Unidas, realiza a Conferência de Estocolmo, que apresentou a problemática já naquele período, que eram o crescimento versus desenvolvimento, poluição do ar e crescimento populacional (MENDES, 2009).

Um dos atores responsáveis por intensificar os danos ao ambiente urbano, causados principalmente pela poluição do ar, são os automóveis. No século XIX, estes eram adquiridos apenas pelas pessoas de perfil socioeconômico elevado, ou seja, pela burguesia. Hoje, este meio de locomoção é obtido pelas várias classes sociais e ainda em número muito elevado para cada unidade familiar, contribuindo para diversos fatores, como a qualidade do ar, rios e lagos, perda da biodiversidade, entre outros. Não são exclusivamente os automóveis que contribuem para isso, o elevado número de indústrias e ainda assim o grande contingente populacional, influem diretamente para essa crise ambiental (NASCIMENTO, 2012).

Neste contexto o foco da sustentabilidade voltada para as questões ambientais ganhou escopo e destaque já em 1950 quando a bióloga Rachel Carson, em seu livro *Silent Spring*, versa sobre chuvas radiativas a quilômetros de distância dos locais onde se realizavam os testes, mostrando que a degradação ambiental não era uma consequência pontual e que deveria ser de conscientização global.

Os fatores de uso e ocupação do solo mostraram-se mais vulneráveis devido ao processo de urbanização, devido ao grande aumento das áreas impermeáveis. Conseqüentemente a drenagem natural do solo torna-se mais complexa, ampliando o volume e a velocidade do escoamento superficial, comprometendo o sistema de drenagem, devido a este excesso na demanda (NASCIMENTO, 2012).

Desse modo, se faz necessário a busca por técnicas e tecnologias para aprimorar as dificuldades presentes no sistema urbano causadas pelos reflexos da urbanização. As pesquisas no âmbito da sustentabilidade trazem exemplos de possíveis soluções que podem melhorar o quadro em que nos encontramos, onde tem-se a problemática da grande geração de resíduos sólidos, dificuldade no manejo de águas pluviais, devido ao aumento das áreas impermeáveis, entre outros. Somase a esta situação, a conscientização verde em que há o conhecimento da necessidade de melhoria do nosso modo de vida, pois existem gerações futuras que necessitarão dos recursos que nos são ofertados hoje.

No contexto das possíveis soluções para os problemas urbanos, dentre eles a drenagem urbana, existem variadas tipologias para auxiliar sua deficiência. Uma gama de sistemas possuem o foco na drenagem e propagam benefícios ao ambiente urbano são os jardins de chuva, canteiro pluvial, biovaleta, lagoa pluvial, teto verde, cisterna, grade verde, dentre outros. Cada sistema deve ser estudado e analisado visando sua potencialidade e desempenho de adequação objetivando atender as necessidades requeridas, pois estas tecnologias adaptam e assemelham-se aos ciclos naturais ocorridos na natureza (CORMIER; PELLEGRINO, 2008).

Como exemplo de uma tipologia, esta que será estudada na pesquisa, as áreas de biorretenção, consistem em escavações supridas de material com granulometria de alta permeabilidade juntamente com material orgânico, as quais favorecem os principais processos da drenagem, infiltração, retenção e filtração. Sem contar apenas com suas vantagens técnicas estes sistemas também atuam como benefício ambiental, econômico, paisagístico e ecológico. Os jardins de chuva ainda são utilizados em pequenas áreas como o caso de jardins residenciais ou ainda em locais onde haja 5% da área de superfície impermeável. Outro aspecto importante é que devido a presença de plantas, estes auxiliam no processo de remoção de poluentes trazidos pelo escoamento (MELO et al., 2014).

Encontramo-nos envoltos por uma problemática, assim como no século XVIII, onde procura-se por melhores condições de vida. Todavia, nos tempos de hoje temos o conhecimento prévio para investir em técnicas que desempenham funções infra-estruturais relacionadas ao conforto ambiental, biodiversidade, embelezamento urbano, acessibilidade entre outros (MELO et al., 2014). Porém, apesar dos investimentos em infraestrutura verde contribuir para o controle das

mudanças climáticas, manejo das águas pluviais, entre outros, há ainda a necessidade de um marco regulatório que facilite esta técnica, bem como pessoal capacitado para executar as mudanças necessárias (ECHAVARRIA et al., 2015). Todavia, ainda sofremos por esse convencionalismo, porém devemos continuar apostando no desenvolvimento sustentável que é a chave para o futuro. Assim, poderemos assegurar às futuras gerações, padrões de qualidade e quantidade de recursos para sua sobrevivência.

Este estudo buscou aprofundar a compreensão sobre as técnicas de infraestrutura verde e possuiu como foco principal a prática de implantação da área de biorretenção, ou também chamados de jardins de chuva. No início foi investigado o manejo das águas pluviais urbanas, após o advento da urbanização e consequente aumento das áreas impermeáveis forçando as águas pluviais ao escoamento por caminhos adversos e não planejados. Posteriormente, seguiu-se com a explicação dos objetivos gerais e específicos propostos para esta pesquisa. Ao que concerne ao referencial teórico, o mesmo abrangiu o clima e sustentabilidade urbana, mostrando sucintamente sobre a dificuldade das cidades para se desenvolver com a consciência verde e ainda o que isto influi nos climas dos centros urbanos. Incluiu-se também neste tópico, o desacelerado e sem planejamento crescimento urbano e suas problemáticas, assim como o que estas influenciaram no ciclo hidrológico. O modelo atual da drenagem urbana no Brasil também terá um escopo no estudo finalizando em primeira instância os assuntos abordados. Para a segunda parte, teve-se a definição de infraestrutura verde, que vem crescendo e aparecendo dentre os variados campos, devido sua multidisciplinaridade e vantagens grandiosas, trazendo o conceito verde para estruturas a céu aberto, que mantém o embelezamento do local e ainda promovem o ciclo hidrológico natural da paisagem. Para finalizar o referencial teórico teve-se os fundamentos do uso dos jardins de chuva no Brasil que ainda se mostra pouco explorado e a tipologia dos jardins de chuva, que possuem variadas aplicações. Em seguida, descreveu-se os materiais e métodos, de como foi configurado o jardim piloto para verificação da eficácia do sistema, onde o mesmo será montado e sua comparação com a técnica de *paver* e megadreno. Também foram expostos os resultados dessas comparações, nos resultados e discussões e ainda nesse item as diferentes tipologias de calçadas presentes na cidade de Cascavel, Paraná, e suas

especificações com a implementação do jardim de chuva em sua configuração. Por fim, deu-se as considerações finais juntamente com propostas para novos trabalhos.

1.1 JUSTIFICATIVA

Nos últimos 30 anos houve, segundo dados do IBGE (2010), um traslado das pessoas da área rural para a área urbana, fato que pode ser explicado devido ao inchaço das cidades. O êxodo rural pode ser explicado devido à mecanização das lavouras e a decorrente procura de serviços e empregos que, de certa maneira, se tornaram mais fáceis nas cidades, provocando assim a saturação da maioria dos núcleos urbanos brasileiros.

Desse modo, as atividades urbanas de produção e reprodução do espaço, cresceram de forma exponencial, trazendo consigo o surgimento de significativas áreas de superfícies impermeáveis, ou seja, áreas em que não há a possibilidade para infiltração da água pluvial. Sendo a taxa de impermeabilização comum nas áreas urbanas, recentemente, esta manifestou-se como um indicador ambiental (ARNOLD; GIBBONS, 2007).

Melo (2011) afirma que a maneira não planejada com que a expansão ocorre, não acontece na mesma proporção em relação à eficiência do manejo das águas pluviais das cidades. Esta falha ou ausência de planejamento acaba por comprometer e sobrecarregar os sistemas de infraestrutura, tais como drenagem urbana, resíduos sólidos, entre outros. O ciclo hidrológico é alterado diretamente, devido a este processo, tratando-se de uma problemática que envolve vários aspectos do sistema natural e do sistema construído no território urbano (RIBEIRO, 2006).

Para geração de possíveis soluções aos problemas relacionados as áreas impermeáveis, a engenharia civil é um dos segmentos que contribui de forma efetiva, ainda auxiliam no desenvolvimento das cidades. Todavia, este setor se torna objeto de preocupação pela mutação que submete à natureza ainda com o enorme montante de resíduos gerados e também com o grande consumo de recursos naturais e energéticos (GARÉ, 2011).

A partir dessa idéia de busca na geração de ambientes com melhor equilíbrio ambiental, a drenagem urbana passou a ser o foco desta pesquisa que objetiva tratar este fato como uma forma de problemática ambiental a qual necessita de soluções urgentes. A discussão no ponto de vista da sustentabilidade deve ser analisada em três critérios sendo eles o econômico, social e ecológico. Isto significa que nenhuma proposta modelo ou estrutura será eficaz caso a sustentabilidade não seja pensada em primeiro plano sobre processos multissetoriais (POMPEO, 2000).

As técnicas e sistemas compensatórios ou alternativos estão se difundindo para ajudar a diminuir ou compensar a repercussão do processo de urbanização no ciclo hidrológico (NASCIMENTO; BAPTISTA, 2009). Sendo assim, essas propostas estão sendo desenvolvidas para manter-se os fluxos naturais de infiltração e escoamento superficial sem prejudicar os sistemas de drenagem conseguindo assim, controlar as vazões e ainda mitigar os impactos ambientais.

A técnica compensatória que foi desenvolvida nesse trabalho foi a denominada de jardim de chuva ou área de biorretenção. Vem sendo implantado em países desenvolvidos tais como Estados Unidos e Austrália. Este sistema vem apresentando um desempenho satisfatório no auxílio da retenção, infiltração e tratamento de água provenientes das áreas impermeáveis sendo utilizados como uma ferramenta para a drenagem urbana.

Por fim, este trabalho apresentou uma proposta projetual para o bairro Jardim La Salle na cidade de Toledo – PR e posteriormente um estudo piloto para verificação da eficiência do jardim de chuva comparando-o com o *paver* e o megadreno. Busca-se verificar o sistema como técnica compensatória no manejo de águas pluviais apresentando as vantagens e desvantagens dessa ferramenta utilizada no exterior das edificações e que ainda se mostra pouco investigada por estudos nacionais.

1.2 OBJETIVOS

Esta pesquisa encontra-se vinculada a temática da sustentabilidade urbana e para trabalhar neste contexto foca seus esforços no sistema denominado de

“jardins de chuva”. Para isto define seus objetivos em Geral e Específicos que serão elencados a seguir.

1.2.1 Objetivo Geral

Este trabalho tem como objetivo geral a análise da eficiência do jardim de chuva avaliando-o como técnica compensatória no manejo das águas pluviais urbanas.

1.2.2 Objetivos específicos

Os objetivos específicos deste trabalho que deram suporte ao alcance do objetivo geral são:

- Contextualizar a problemática do manejo das águas superficiais urbanas;
- Investigar as tipologias existentes dos jardins de biorretenção;
- Avaliar a eficácia de infiltração e orçamento, comparando-se o revestimento *paver* , megadreno da empresa Braston e jardim de chuva;
- Elaborar proposta de projeto para implementação do jardim de chuva com parâmetros genéricos nas calçadas da cidade de Cascavel, Paraná;

Com a organização destes objetivos específicos pretende-se demonstrar a eficácia do sistema denominado de jardim de chuva e contribuir para a geração do conhecimento na área da engenharia civil focada no ambiente urbano. A seguir se insere a revisão de literatura referente a temática da sustentabilidade urbana que dará o suporte as futuras análises e propostas.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Esta etapa da pesquisa visa contemplar as teorias e conceitos necessários para dar suporte à ação projetual bem como as análises necessárias sobre a eficácia do sistema do jardim de biorretenção.

2.1 CLIMA E SUSTENTABILIDADE URBANA

A cidade não é um processo cíclico e sim um processo aberto onde troca-se energia e materiais com outros ambientes para saciar as necessidades do homem, produzindo assim resíduos que são lançados, geralmente na própria área urbana, resultando em problemas ambientais (ABIKO; MORAES, 2009). Há quem creia que o aquecimento global venha a se confirmar, gerando uma ameaça às condições de vida atuais. Caso haja uma continuação no ritmo de crescimento econômico do último século, alcançar-se-á 120 milhões de pessoas buscando por recursos para consumo próprio, sobrevivência, trazendo um prenúncio em relação ao montante dos dias atuais (NASCIMENTO, 2012).

As oportunidades oferecidas nos centros urbanos afirmam-se como espaços próprios para criação de empregos e riquezas, lugares inovadores, criativos e locais onde há grandes acontecimentos econômicos e políticos (SAETA, 2012). Em conformidade com o Relatório da Situação Mundial das Cidades 2006/07 do Programa das Nações Unidas, houve pela primeira vez na história um êxodo rural, havendo mais pessoas nas cidades que no campo (MORAES, 2010). Sendo assim, o contingente populacional vivendo nas áreas urbanas já superou o das áreas rurais, e nas próximas três décadas estima-se que 75% da população mundial viva nas cidades (SAETA, 2012).

A partir das premissas apresentadas por Malthus em 1798, acredita-se que a população cresça em uma progressão geométrica enquanto a produção de alimentos em uma progressão aritmética, implicando que futuramente haverá tempos de penúria (KIMPORA, 2010). Por conseguinte, o processo de urbanização aumenta com o crescimento econômico, quando há uma inversão da agricultura

para os serviços e indústria, gerando uma diminuição na taxa de natalidade devido a variados fatores sociais (COLET, 2012). Deste modo, visto que as cidades passam a ser o cenário da sociedade atual, o homem e o ambiente passam a fazer parte das discussões quando estas relacionam-se à conglomerados urbanos, aflorando o conceito de desenvolvimento sustentável (SAETA, 2012).

A sustentabilidade vem ganhando espaço e atenção crescente em debates sobre desenvolvimento desde 1992, quando ocorreu a United Nations Conference on Environment and Development – Unced (ACSERALD, 1999). Esta postura se mostrou necessária devido ao caráter de excessiva valorização da parte material, do individual, da economia, da tecnologia, do produto, contribuindo para ressaltar os pontos negativos dessa exploração, como poluição do meio ambiente natural, extinção de recursos naturais e conseqüente deterioração da qualidade de vida, entre outros (ABIKO; MORAES, 2009).

Segundo Machado (2000), em princípio pode-se apontar três ideologias de como as questões ambientais tem sido historicamente incorporadas para a formação do pensamento nacional. Primeiramente como natureza, depois como recurso natural e capital natural. Isto mostra como vêm-se utilizando os recursos sem a ideologia de que seria necessário conservá-los para futuras gerações e apenas utilizados para desenvolvimento atual do país. Devido a essa intensa e predominante ação do homem, provocando mudanças rápidas e intensas nos cenários urbanos, faz com que o homem tenha o poder de orientar as ações utilizando o meio ambiente como fonte de matéria prima, ou ainda, como forma receptora dos produtos e resíduos (ABIKO; MORAES, 2009).

As inversões térmicas em áreas urbanas-industriais assim como o efeito-estufa, mostram como a sociedade e a natureza podem ter uma relação negativa, bem como a criação de situações de impacto ambiental climático e de risco decorrentes da influência dos hábitos humanos na dinâmica climática (MENDONÇA, 2000). Souza (2013) acredita que há a criação de um ambiente artificial devido as alterações no ambiente causadas pela presença humana e com característica cada vez mais acentuada nas cidades. Em decorrência disso, fatores como elevada concentração de construções e densidade demográfica, assim como a área pavimentada do solo e ao conglomerado industrial, podem provocar alterações no clima local, principalmente na temperatura do ar, item este, bastante sensível para os moradores das grandes cidades.

Os principais fatores que diferenciam os microclimas urbanos das áreas rurais são a produção antropogênica de calor, aumento na poluição do ar, minimização das correntes de ar e umidade, e áreas construídas (YANNAS, 2001). Isto pode ser presenciado nas cidades, pelo fenômeno chamado ilhas urbanas de calor, em que a camada superficial dos centros urbanos é geralmente mais quente que as áreas que as cercam. Estes efeitos são mais fortes sob céu sem nuvens e ventos leves durante o período da noite (KUSAKA et al., 2012).

Mendonça (2000) afirma que a climatologia urbana é o estudo dos seus estados atmosféricos mais frequentes devendo contribuir para as ramificações da sustentabilidade urbana, qualidade de vida e diminuição dos impactos ambientais.

Por fim, pode-se notar que o aumento do conglomerado populacional acarretou á diversificadas consequências, tais como o aumento no consumo de recursos naturais. O grande contingente começou a criar fenômenos, que até então não eram conhecidos, como ilhas de calor, produção de resíduos em massa, entre outros, exemplificando como a sustentabilidade mostra-se usual e necessária para os dias de hoje. Em conseguinte, será estudada a questão do impacto da urbanização para com as questões ambientais, como nos ciclos naturais da natureza.

2.1.1 Impacto da urbanização

Segundo Santos (2008) crescimento urbano ou das cidades, desenvolvimento das cidades ou urbano e ainda expansão urbana, são todos conceitos relacionados ao mesmo procedimento: o crescimento físico das cidades. Nas últimas décadas, ocorreu um intenso processo de urbanização, um fenômeno vigente mundo a fora, conduzindo para impactos ambientais significantes em áreas urbanas (BAPTISTA; et al, 2007). O desenvolvimento urbano leva em consideração, dentre outros fatores, a limpeza pública, drenagem urbana, a implantação de uma infraestrutura de coleta, disposição final e tratamento de resíduos sólidos e de esgoto, e abastecimento de água, acarretando, se houver um mau gerenciamento dessas práticas, à problemas ambientais nas cidades (NEVES; TUCCI, 2011). As formas de desenvolvimento e os meios pelos quais estas são conciliadas,

apresentam um desacordo com a preservação ambiental, exigindo-se uma necessidade de concordância do crescimento do contingente populacional, devido a necessidade de conter o crescimento exponencial da população a medida de uma existência finita de recursos disponíveis, ao ritmo que a população cresce indefinidamente (KIMPARA, 2010). O advento do desenvolvimento trouxe inúmeros benefícios para a sociedade, porém como toda ação possui uma reação, este avanço também alterou a paisagem natural, aumentando a porcentagem de áreas cobertas por superfícies impermeáveis (ARNOLD; GIBBONS, 2007).

Um peculiaridade pode ser vista em muitas cidades que não possuem uma infraestrutura adequada para conter uma taxa populacional elevada. Fato decorrido, devido à falta de programação integrada entre as bases que compõe a cidade, legislações vigentes e profissionais especializados (MELO, 2011). O documento “Consulta Nacional sobre a Gestão do Saneamento e do Meio Ambiente Urbano”, mostrado pelo Instituto Brasileiro de Administração Municipal aponta que em nossas cidades a coleta de esgoto cobre apenas 35% da população, os serviços de abastecimento deixam de fora 12% da população das cidades e apenas 8% do esgoto tem o tratamento adequado, ainda que 76% dos resíduos sólidos são armazenados em lixões a céu aberto.

O censo de 1904, mostrou que, ainda quando os carros não eram utilizados com grande frequência, a América possuía 93% das rodovias não pavimentadas, porém, com o advento automobilístico houve uma ascensão da construção de estradas. Desde então, a impermeabilidade se tornou sinônimo de presença humana (ARNOLD; GIBBONS, 2007). Colet (2012) afirma que o processo de aumento de uso do espaço urbano também foi determinado pelo crescimento populacional que, conseqüentemente, ajudou para a intensificação da impermeabilização do solo devido as construções, acarretando a degradação ambiental dos cursos de água devido ao maior escoamento superficial.

Apesar das áreas impermeáveis não contribuírem de forma efetiva para o aumento da poluição, elas são um contribuinte crítico para as mudanças hidrológicas que degradam os canais de água e contribuem indiretamente para poluição pelo grande componente do uso intensivo do solo (ARNOLD; GIBBONS, 2007). Isto pode também ser explicado, devido a não haver uma conscientização da população frente a esses parâmetros, ou ainda a ineficácia das entidades fiscalizadoras, favorecendo assim, o aparecimento de conglomerados urbanos e construções em áreas

desfavoráveis diante das diretrizes predefinidas por leis urbanísticas. Estas ações contribuem assim para o aumento da taxa de impermeabilização e, conseguinte para o sobrecarregamento do sistema de drenagem urbana (COLET, 2012).

Segundo o Estatuto da Cidade (BRASIL, 2001),

A propriedade urbana cumpre sua função social quando atende às exigências fundamentais de ordenação da cidade expressas no Plano Diretor, assegurando o atendimento das necessidades dos cidadãos quanto à qualidade de vida, à justiça social e ao desenvolvimento das atividades econômicas (BRASIL, 2001, cap. III, Art. 39).

Sendo plano diretor municipal “o instrumento básico da política de desenvolvimento e da expansão urbana” (Brasil, 1988, Art. 182.º, parágrafo 1º).

Superfícies impermeáveis aumentam diretamente proporcionais à velocidade e volume de escoamento havendo uma correspondente diminuição na infiltração (ARNOLD; GIBBONS, 2007). O território brasileiro possui uma vasta rede de bacias hidrográficas e teve um processo de ocupação das cidades derivado às margens dos rios, devendo-se a isso a alteração da paisagem (COLET, 2012). O planejamento ambiental neste sentido, é fundamental para a organização do futuro visando a melhoria na qualidade de vida e a sobrevivência humana voltada ao estudo da cidade (SANTOS, 2008). Superfícies impermeáveis não indicam apenas urbanização, mas são também as maiores contribuintes para os impactos da urbanização (ARNOLD; GIBBONS, 2007).

A problemática vivida hoje, devido à má ocupação das terras e à vivência em áreas de risco, pode ser explicada devido aos tempos do início da urbanização. Devido ao preço elevado das terras no espaço urbano há o surgimento de assentamentos em áreas perigosas, ou ainda áreas de preservação, sem o mínimo de infra-estrutura ou conhecimento básico (COLET, 2012). Em países desenvolvidos a urbanização ocorreu gradativamente, durante o século XIX, permitindo que houvesse o planejamento e uma certa organização de onde o conglomerado de migrantes iria se dirigir. Houve também um certo “êxodo forçado” para outros países, sendo o Brasil um deles, o que possibilitou ao processo industrial, um desenvolvimento descentralizado geograficamente, havendo também, uma pressão menor sobre os espaços urbanos, ocorrendo assim nos países não desenvolvidos, a urbanização sem planejamento. Acarretou-se diante destes fatos, condições

precárias de saneamento básico resultando em um verdadeiro caos para as cidades (SANTOS, 2008).

Ribeiro (2006) alerta para a necessidade de haver uma relação entre o ambiente natural e a dinâmica urbana, pois atualmente, há uma preocupação das entidades e legislações, indo desde um escopo federal até um municipal, que considere um desenvolvimento urbano levando em prestígio as condicionantes ambientais. Esta é, segundo o autor, uma condição urgente para uma adequada organização dos centros urbanos.

Sendo assim, a seguir insere-se a discussão sobre a problemática do manejo das águas pluviais, devido ao aumento das áreas impermeáveis, tornando o solo, que deveria realizar a infiltração, em uma massa de concreto, fazendo com que a água escoe por áreas que não deveriam, ou ainda ocorra uma extrapolação do volume de água no sistema de drenagem existente. Vê-se que a urbanização sem planejamento no Brasil, trouxe problemas que ainda se buscam por soluções, e tenta-se achar técnicas e tecnologias para sanar os problemas da drenagem urbana, mostrando-se com grande destaque, novas técnicas sustentáveis, elaboradas em países desenvolvidas e que são a aposta para ajudar no remanejo e reconstituição dos sistemas naturais do ciclo hidrológico, e outros aspectos deteriorados pelo uso e ocupação desordenado do homem na natureza.

2.1.2 Problemática do manejo da água pluvial urbana

A lei nº 11.445/2007, art. 2º e 3º, estabelece que os serviços públicos de saneamento básico que devam ser prestados tendo como base os princípios fundamentais de disponibilidade, em todas as áreas urbanas, de serviços de drenagem e manejo das águas pluviais, limpeza e fiscalização preventiva das respectivas redes. Estes devem ser adequados à saúde pública e à segurança da vida e do patrimônio público e privado. Para efeito dessa lei considera-se drenagem e manejo das águas pluviais, limpeza e fiscalização preventiva das respectivas redes urbanas: o conjunto de atividades, infraestruturas e instalações operacionais de drenagem urbana de águas pluviais, de transporte, detenção ou retenção para o amortecimento de vazões de cheias, tratamento e disposição final das águas

pluviais drenadas nas áreas urbanas. A ocupação, não levando em consideração as limitações urbanísticas, tem causado efeitos sobre os recursos hídricos no meio ambiente “do homem”, ou seja, antrópico (RIGHETTO, 2009). A administração das ações dentro da área urbana pode ser determinada por uma jurisdição da Nação, Estadual ou municipal. Visto que os municípios, geralmente, não possuem tal capacidade para determinação desses parâmetros, os problemas são direcionados a jusante, dentro da bacia hidrográfica. Para consolidar as medidas sustentáveis e ajustar os procedimentos de forma a minimizar os problemas atuais criou-se o PDDU, Plano Diretor de Drenagem Urbana (TUCCI, 2008).

Conforme Melo (2011) o processo de urbanização, geralmente mal planejado, acarreta à variados problemas envolvendo as águas pluviais no meio urbano e desenvolve-se ao longo dos centros urbanos através do relevo local, grau de impermeabilização das superfícies ou ainda através do processo natural dado pelas linhas de escoamento. Desse modo, com a problemática advinda desses processos, a conscientização da necessidade de um alinhamento, entre a esfera ambiental e o espaço urbano começou a ganhar mais destaque. Esta necessidade foi ainda reforçada devido às catástrofes vivenciadas, tais como, enchentes, inundações e deslizamentos de encostas. Righetto (2009) afirma que:

O desmatamento, a substituição da cobertura vegetal natural, a instalação de redes de drenagem artificial, a ocupação das áreas de inundação, a impermeabilização das superfícies, a redução dos tempos de concentração e o aumento dos deflúvios superficiais, vistos sob um enfoque “imediatista” da ocupação do solo, refletem-se diretamente sobre o processo hidrológico urbano. (RIGHETTO, 2009, pág. 47)

Estes fatos resultam em alterações drásticas de funcionamento dos sistemas de drenagem urbanos.

A definição e maneira com que o desenvolvimento vinha sendo desenhado pela sociedade não era aconselhado continuar no mesmo ritmo, devido a isso, criou-se uma nova idealização do movimento, tal como a LID (*Low Impact Development*), nos Estados Unidos, no começo de 1970, na Village Homes em Davis, California (HINMAN, 2005), por exemplo, assim como em outros países desenvolvidos, como Austrália, entre outros.

Os princípios e aplicações do Desenvolvimento de Baixo Impacto (LID), apresentam uma mudança conceitual significativa a partir de uma abordagem

puramente estrutural. É um “manejador” de águas pluviais e de uso estratégico do solo aplicado à parcela e a escala de subdivisão que enfatiza a conservação e uso “in-loco” de características integradas com engenharia, e controles hidrológicos em pequena escala, para imitar as funções hidrológicas naturais mantendo as taxas de escoamento a níveis de pré-desenvolvimento. De outra maneira, esse desenvolvimento se dá através da instalação de dispositivos de infiltração e retenção, que irão controlar os volumes gerados no próprio lote, evitando que esse volume seja transferido para outras áreas, causando uma extrapolação do sistema de drenagem existente (HINMAN, 2005). As influências das ações do homem sob os processos naturais, tais como percolação e transpiração, entre outros, desempenhados pela cobertura vegetal uma vez existente, compõem-se num dos fatores que interferem na produção de água na bacia hidrográfica (RIGHETTO, 2009).

As LID's trazem vantagens imensuráveis para o precário sistema de drenagem atual, maximizando e melhorando as propriedades do ciclo natural, como a infiltração e evapotranspiração, não deterioração da flora do local e criação de uma área verde ainda maior, surgimento de zonas transitórias e de biorretenção, e diminui o escoamento artificial (MELO, 2011).

Sendo essa técnica mais difundida nos países desenvolvidos, criou-se no Brasil, o selo AQUA é uma referência brasileira, porém reconhecido mundo a fora, para construções sustentáveis. Este concedido pela Fundação Vanzolini. Mostra-se assim como um elemento atraente para construtoras, incorporadoras, entre outros que vai intensificar o compromisso do incorporador com a sociedade.

Com a característica expansionista das áreas urbanas, estas demarcadas principalmente pela impermeabilização superficial, delimitam uma diminuição na capacidade de infiltração, por conseguinte, geram um aumento do escoamento artificial, sendo um dos fatores de grande influência para a ocorrência de enchentes no meio urbano (RIGHETTO, 2009). Deste modo, se faz necessário o uso das técnicas propostas pelo desenvolvimento de baixo impacto, que melhoram o manejo das águas urbanas de uma forma sustentável, diminuindo os impactos advindos do escoamento artificial. Sem contar com os benefícios à infraestrutura local, garantindo um tipo de suporte ao sistema de drenagem existente, devido às tecnologias implantadas e valorizando esteticamente, ambientalmente e economicamente o local (MELO, 2011).

O citado ciclo hidrológico será apresentado a seguir e fornecerá o entendimento necessário para justificar a causa da necessidade de inserção, no quadro urbano, dos modelos de áreas de biorretenção.

2.1.3 Ciclo hidrológico

Nas últimas décadas, um intenso processo de urbanização se mostrou presente, este fenômeno atual mundial gerou um significativo impacto em áreas urbanas. Esses impactos são relacionados às variáveis qualidade e quantidade do ciclo hidrológico (BAPTISTA et al., 2007). Segundo a Agência de Proteção ao Meio Ambiente dos Estados Unidos, em 1999, os principais impactos da urbanização no ciclo hidrológico eram devidos as modificações nas áreas impermeáveis. Esta ação provoca mudanças nos processos de evapotranspiração, escoamento e infiltração superficial e profunda. A qualidade da água também se mostra afetada, devido às contaminações com as águas residuais e aos grandes volumes de águas pluviais.

Segundo Aravena e Dussailant (2009) especialmente em novas áreas suburbanas em crescimento, há uma preocupação que as práticas tradicionais de águas pluviais não tenham êxito na diminuição do impacto na alteração hidrológica que implica numa diminuição na recarga dos lençóis freáticos e no aumento dos encanamentos. Os lençóis freáticos são uma parte essencial do ciclo hidrológico, e são importantes também para sustentar o fluxo da água, lagos, pântanos e comunidades aquáticas (ALLEY et al, 2002). O fato apresentado mostra a necessidade da procura e implantação de novas práticas e tecnologias.

Já era percebida a necessidade de implantação de novas estratégias para um melhoramento das condições na década de 1970, quando um novo conceito surgiu: as BMP's (*Best Management Practices*). As melhores práticas de gestão, BPM, foram primeiramente implantadas nos países desenvolvidos, com o objetivo de compensar os efeitos do progressivo processo de urbanização no ciclo hidrológico sem restringir a urbanização. Estes processos têm como base a estocagem e infiltração das águas pluviais com artifícios como, valas, calçadas porosas, entre outros. Tinham como propósito também, uma melhoria na qualidade de vida e a preservação ambiental (BAPTISTA et al., 2007).

O crescimento desordenado dos centros urbanos, sem diretrizes ocupacionais, gera um impacto grave no ciclo hidrológico, devido às drásticas alterações na drenagem, aumentando a possibilidade de ocorrência de deslizamentos e enchentes promovendo um risco desnecessário à vida humana (BENINI; MANDIONDO, 2015). Há o censo comum em se dizer que as cheias são apenas catástrofes da natureza decorrentes dos processos antropogênicos. Porém, há dois tipos delas. As inundações ribeirinhas, que ocorrem pelo processo natural do corpo hídrico, no qual ocorre extrapolação do volume do corpo d'água ocupando o seu leito maior, devido aos períodos de chuva extremos, ocorrendo apenas em bacias com área maior que 500 quilômetros quadrados. É a inundação devida ao processo de urbanização, não sendo um processo natural, pois ocorre a alteração da camada vegetal superficial alterando diretamente o ciclo hidrológico. Gerando um aumento dos pavimentos impermeáveis, há um maior escoamento superficial e uma diminuição na infiltração, com isso há uma falta de recarga do lençol freático e também alteração no processo de evapotranspiração, para uma diminuição considerável, minimizando a evapotranspiração da fauna (TUCCI, 1999). Ou seja, as enchentes são resultantes devido a chuvas com grande intensidade, derivadas de fenômenos naturais. As origens são variadas, podendo ser desde o processo de urbanização, ou ainda decorrentes de chuvas com elevada magnitude com elevado tempo de retorno, ou também pelo transbordamento dos rios provocados pela alteração no ciclo natural hidrológico, sendo geralmente em regiões à montante das áreas urbanas (PÔMPEO, 2000).

Para que haja um crescimento adequado das cidades, há a necessidade de criação de programas de apoio federais e estaduais para atender às necessidades municipais na assistência de incentivar programas de planejamento de prevenção, concepção de programas que direcionem o financiamento de sistemas sanitários e de controle de inundações nas cidades e a capacitação de uma equipe para implantação dessas técnicas, para que haja assim, uma gestão adequada dos problemas existentes (TUCCI; HESPANHOL; NETTO, 2000).

Após a obtenção do conhecimento à respeito das consequências da urbanização no ciclo hidrológico e já algumas noções básicas de técnicas compensatórias para saciar tais implicações, vê-se a seguir, como encontra-se o modelo atual de drenagem urbana no Brasil.

2.1.4 Modelo atual de drenagem urbana

O Brasil possui o Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais (Cemaden/MCTI), discute-se muito a respeito da ligação entre os alagamentos nas áreas urbanas e a impermeabilização do solo na geração de prejuízos à sociedade. Fatos que estão diretamente ligados às inundações ribeirinhas com os riscos para com a sociedade, a degradação dos cursos de água, entre outros assuntos. O que também é levado em consideração, há mais de duas décadas, são as soluções e técnicas compensatórias para diminuição desses impactos, para que consiga haver uma convivência harmoniosa entre o processo de urbanização e os processos naturais (SOUZA, 2013). Todo esse diagnóstico é decorrente do crescimento urbano que foi demarcado pela expansão territorial irregular havendo pouca ou nenhuma averiguação das leis urbanas relacionadas ao Plano Diretor ou as normas de loteamento. Ainda tendo como agente complicador as ocupações irregulares de áreas públicas por população de renda baixa (TUCCI, 2002).

Segundo a Lei 11.445/2007 houve um novo conceito que entrou em vigor: a chamada gestão de demanda. Seu preceito é a compensação dos efeitos da urbanização causados sobre o ciclo hidrológico. Sendo assim, o conceito se torna mais técnico e mais complexo fazendo com que a nova definição entre em conglomeração com outras áreas, não apenas técnica de engenharia, porém também ganha escopo em outras áreas, tais como ambiental e socioambiental, levando em consideração fatores como os de uso e ocupação do solo ou ainda de gestão e planejamento da cidade (SOUZA, 2013). Hoje o desenvolvimento organizacional encontra-se em fase de mudança. A lei de recursos hídricos foi aceita apenas em 1997, assim como a Agência Nacional de Águas (ANA), sendo que ambas possuem suas regulamentações em andamento. Há ainda grandes passos a serem concretizados, pois os comitês ainda não podem responder às decisões, que são os órgãos para execução e as agências para implementação (TUCCI; HESPANHOL; NETTO, 2003).

Um erro que ainda habita entre os projetistas de drenagem urbana é que, estes ainda possuem pensamento de que o melhor é conduzir a água para longe, e

o mais depressa possível, gerando uma maior capacidade condutiva do sistema. Todavia, esta premissa vem sendo derrubada diante da calamidade de inundações que se vem presenciando ultimamente, e que ainda possui caráter custoso. Esta ideologia acarreta apenas á uma projeção do alagamento e não a solução do mesmo, fazendo com que futuramente haja a necessidade de projetos para solução destes problemas, sendo estes ainda mais caros e complexos (CRUZ; SOUZA; TUCCI, 2007). O planejamento das atividades urbanas relacionadas a água devem se integrar ao próprio planejamento urbano com uma integração do saneamento ambiental e a gestão de recursos hídricos (POMPEO, 2000).

Souza (2013) afirma que há uma necessidade da troca da abordagem da infraestrutura urbana brasileira, uma mudança de gestão de oferta, para a de demanda, ou seja, de uma inversão de pensamentos saindo da solução tradicional e indo para técnicas sustentáveis/compensatórias. Desse modo, podemos inferir que para a drenagem urbana há a necessidade de aumentar os condutos, visto que a eficiência dos mesmos não se encontra em patamares agradáveis visando num aumento do escoamento.

Há problemas ainda na falta de coleta e tratamento de esgotos, como na maioria dos países em desenvolvimento, porém, o abastecimento de água no Brasil vem melhorando nos últimos tempos. A partir da década de 1980 houve um aumento de mais de 10% em água tratada e coleta de esgoto e quase 10% no tratamento do mesmo (TUCCI, 2002). Isto pode ser explicado devido ao sistema de drenagem no Brasil ser do tipo combinado misturando as contribuições do esgoto domiciliar cloacal além das águas pluviais o que aumenta ainda mais a preocupação com os alagamentos perante questões de saúde pública (CRUZ; SOUZA; TUCCI, 2007).

Quando ainda havia uma baixa densidade demográfica nas cidades, não havia um sistema de tratamento de esgoto, pois era necessário apenas fossa séptica. Com o aumento dos centros urbanos houve a necessidade de construção dos canais de drenagem e centros de tratamento. Porém, as casas mais antigas muitas vezes faziam a ligação diretamente na rede de esgotamento pluvial, sem haver o tratamento, realizando o despejo direto nos corpos hídricos, gerando os impactos enfrentados atualmente da qualidade da água (TUCCI, 2002). O alto grau de degradação e deterioração dos rios urbanos fazem com que os mesmos troquem totalmente suas identidades não sendo mais tratados como rios, mas sim como

canais de esgotos. Isto se explica devido ao lançamento de esgotos e lixos nos cursos d'água contaminando as águas pluviais pela lavagem superficial e da própria canalização (SOUZA, 2013).

O Brasil enfrenta a problemática de resíduos sólidos em suas canalizações. Com a remoção da camada de cobertura vegetal da superfície, quando há a precipitação, a mesma passa pelo solo levando consigo esses sedimentos, pela abstinência da camada que reteria os mesmos. Este processo provoca o assoreamento dos tubos, reduzindo assim a capacidade de escoamento dos mesmos podendo inclusive ser levado em consideração o transporte de poluentes agregados à essa massa de sedimentos (TUCCI, 2002).

A conservação dos sistemas naturais juntamente com o desenvolvimento dos recursos hídricos, constituem um desafio para a sociedade brasileira atual, quando há a necessidade de uma interação social e econômica do país (TUCCI; HESPANHOL; NETTO, 2003). Sendo assim, as técnicas compensatórias vêm ganhando espaço, tais como as LID's (HINMAN, 2005), que são as técnicas de desenvolvimentos de baixo impacto, ou ainda WSUD (*Water Sensitive Urban Design*) ou SuDS (*Sustainable Drainage Systems*). A sustentabilidade mostra-se como a opção para o futuro, e vem sendo implantada até mesmo em países em desenvolvimento, como no caso do Brasil, onde pode-se presenciar este exemplo, no Programa 1138 dos Ministérios de Integração Nacional e das Cidades – “Drenagem Urbana e Controle da Erosão Marítima e Fluvial: manual para apresentação de propostas” (BRASIL, 2009;2010), onde encontram-se técnicas LID, que tem como cuidado principal o planejamento integrado da bacia, que era desconsiderado nos anos anteriores.

Vendo-se que o quadro atual de modelo de drenagem urbana no Brasil não se encontra em um parâmetro de exemplo, mostrando vários aspectos que se mostram precários e necessitam de melhorias, as técnicas compensatórias, como as infra-estruturas verdes, serão exemplificadas nos itens que seguem.

2.2 INFRA ESTRUTURA VERDE: CONCEITO

O termo “infra-estrutura verde”, apesar de não ser muito ouvido, foi citado pela primeira vez na Flórida, em 1994, em um relatório conhecido como *Florida Greenways Comission*, com o objetivo de mostrar que os sistemas naturais deveriam ser igualmente, se não mais importantes, componentes de nossa infra-estrutura (FIREHOCK, 2010). O autor ainda afirma, que geralmente há apenas um plano para uma infra-estrutura “cinza” (convencional), mostrando a ideia de haver também, um planejamento que conserve ou restaure nossos recursos naturais, por isso o pensamento verde, ajudaria as pessoas a reconhecer a necessidade disso para o planejamento comunitário.

A infraestrutura verde nasce como uma nova técnica para intervir na paisagem. Seu conceito está fortemente ligado aos estudos do território e da inter-relação da natureza com o homem. É baseada em várias disciplinas, desde biologia até planejamento urbano, arquitetura, engenharia civil e geografia, colaborando assim, com suas idealizações e estratégias para implantação em qualquer que seja o ambiente, rural, urbano, ou ainda a escala de projeto (SOUZA, 2009). É definido por Cormier & Pellegrino (2008) como estratégias de inserção de espaços abertos nas cidades, paisagisticamente tratados para desempenharem funções infra-estruturais ligadas aos processos naturais do manejo de águas pluviais, que foram obstruídas pela ação do homem, levando em consideração ainda o embelezamento urbanístico. Ainda proporcionam biodiversidade, conforto ambiental, acessibilidades, imagem local e rotas de circulação.

Benedict & McMahon (2006) afirmam que o termo esta aparecendo cada vez mais em relação a conservação de solo e em discussões de desenvolvimento. Muitas pessoas conceituam como sendo as vegetações em áreas urbanas como infra-estrutura verde, devido à presença “verde” no ambiente, assim como outras pessoas ainda a definem como estruturas de engenharia, como telhado verde ou artifícios para tratamento de água.

As áreas consistem em redes multifuncionais com pedaços vegetados e com alta permeabilidade, interconectados, geralmente arborizados que remontam o mosaico da paisagem, desse modo, tentam manter o ciclo natural hidrológico. A

presença das árvores mantém o nível de assoreamento baixo dos corpos hídricos, ajudando a prevenir também a erosão do solo (HERZOG; ROSA, 2010).

A infra-estrutura verde é uma maneira ou estratégia sustentável para atingir objetivos culturais, bióticos e abióticos, ou seja, uma rede de drenagem, híbrida e hidrológica, que realiza a ligação com a infra-estrutura cinza e áreas verdes existentes (AHERN, 2007).

O Plano de Infraestrutura Verde promove uma assistência na visualização das oportunidades pertinentes, para ajudar no desenvolvimento de planos urbanos e paisagísticos, procurando organizar a ocupação do solo, analisando como este poderia ter sua potencialidade aumentada, levando em consideração suas limitações paisagísticas. Pode-se citar ainda que reparar os recursos naturais se torna muito mais dispendioso do que proteger e planejar a ocupação do solo, ou seja, um planejamento adequado com um tempo prévio pode acarretar em vantagens incontáveis, iniciando pela preservação do meio ambiente (SOUZA, 2009). As áreas verdes são uma combinação de espaços abertos com áreas naturais que mantem a essência dos ecossistemas e suas funções naturais, como regulação climática, recreação e lazer, entre outros, promovendo uma gama imensa de benefícios para a sociedade (CORMIER; PELLEGRINO, 2008).

As origens do planejamento das áreas verdes estão ligadas a ações e ideias de preservação da natureza através de refúgios de vida selvagem, parques nacionais municipais e estaduais; áreas úmidas e rios, florestas; planos de desenvolvimento relacionados à natureza em áreas de planejamento urbano, planejamento de paisagem e desenvolvimento ambientalmente sensível (FRANCO, 2010).

A infra-estrutura verde tem como uma de suas finalidades identificar processos ecológicos os quais os espaços abertos podem oferecer criando paisagens hidrológicamente funcionais, imitando desempenhos hidrológicos e ecológicos naturais (SOUZA, 2009). São tecnologias com eficiência elevada e que adaptam e transcrevem os ciclos e processos ocorridos na natureza (CORMIER; PELLEGRINO, 2008).

Admitindo os métodos, conceitos e definições utilizadas, a infra-estrutura verde é sinônimo de estrutura ecológica da paisagem ou do território. Esta pretende constituir um conceito de “*Continuum Naturale*”, que seria um sistema natural constante que promove o desenvolvimento e funcionamento de sistemas naturais

promovendo a biodiversidade. Estes darão suporte aos ecossistemas primitivos e possuirão função de corredor ecológico ao rearranjar o habitat para a fauna e flora, funções culturais e sociais, filtro de água e ar, promovendo o equilíbrio estético entre a selva de pedra e um ambiente verde, oferecendo á população espaços para educação ambiental, lazer e recreio (FERREIRA; MACHADO, 2010).

A infraestrutura verde é uma alternativa que incorpora variados significados, desde a vegetação até o manejo das águas pluviais. Tem por conceito a relação entre as áreas naturais e espaços abertos construídos, conservando o fluxo natural da água e mantendo o ciclo da flora e fauna, beneficiando ainda as pessoas. Esse sistema é planejado e construído e tem como base a natureza na área urbana (RIBEIRO, 2010).

Visto que a terminologia pode ser interpretada de várias maneiras, mostra-se claramente que a infra-estrutura verde ao conectar espaços naturais coopera com processos ecológicos, ajudando tanto na preservação dos recursos naturais quanto na qualidade de vida nas cidades (SANTOS, 2014).

Após apresentação do conceito de infra-estrutura verde, o trabalho aprofundar-se-á em uma técnica, a área de biorretenção, que terá o seu conhecimento mais aprofundado nos itens que seguem, mostrando que ainda há necessidade de mais estudos em países não desenvolvidos, como no caso do Brasil, havendo um grande volume bibliográfico em casos de países desenvolvidos, locais onde há maior uso dessas técnicas compensatórias.

2.2.1 Panorama da área de biorretenção no caso brasileiro

Desde o seu desenvolvimento inicial e primeiros testes, há mais de uma década atrás, o sistema de biorretenção, também conhecido como jardins de chuva, bio-infiltração ou ainda outras terminologias, rapidamente se tornou um dos mais versáteis e amplamente utilizados sistemas de melhor gestão (BPM – *Best Management Practice*, em inglês) de águas pluviais, pelos Estados Unidos e outros países do mundo (DAVIS et al., 2009). Esse sistema filtra poluentes da água da chuva através de processos biológicos das plantas e solo, desse modo, removendo os contaminantes da água (TROWSDALE; SIMCOCK, 2011). A maioria dos

processos abrangidos no sistema de biorretenção ajudam no progresso na agricultura, através desse processo de tratamento de água do sistema, onde há a transformação de poluentes em nutrientes e no melhoramento do ciclo natural das águas pluviais através dos processos de evapotranspiração e infiltração (MELO, 2011).

No Brasil, ainda há uma carência nos estudos para fornecer dados precisos de funcionamento e dimensionamento em longo prazo das estruturas verdes (JUNIOR, 2013). Um jardim piloto foi instalado na cidade de Recife, e apresentou resultados satisfatórios, segundo a autora, Melo et al., 2014, os jardins de chuva podem ser reconhecidos como soluções com potencial para cidades que buscam um desenvolvimento sustentável, e que buscam minimizar os impactos causados pela urbanização mal planejada, ajudando na reconstrução de ecossistemas e processos naturais hidrológicos.

Há alguns estudos sobre estruturas de infiltração no Brasil, tais como, Reis, Oliveira & Sales (2008) onde foram estudados parâmetros de projeto para concepção de poços de infiltração da água da chuva, Caramori (2002), também realizou um estudo onde o mesmo avaliou a eficiência de trincheiras de infiltração localizadas no campus do Vale da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). Galbiati (2009) avaliou o tratamento domiciliar de águas negras através de tanque de evapotranspiração, ou também conhecidos como fossa bananeira.

No estudo de Moura (2013) foi definido que a biorretenção constitui uma alternativa que solucionaria tanto técnica quanto esteticamente o local, ainda sendo viável para ampliar o estoque de retenção das águas pluviais em áreas urbanas. Definiu ainda que as MPM, Melhor Práticas de Manejo, além de proporcionar um aumento na capacidade de retenção dos reservatórios ainda auxilia na redução nos impactos no sistema de drenagem existente, ajudando ainda no combate a poluição difusa, devido a presença de vegetais, contribuindo assim para o embelezamento do local juntamente com a melhora do ambiente, ajudando a consolidação da técnica de Infraestrutura Verde.

Por fim, a implementação dessas técnicas no Brasil ainda é um pensamento acadêmico, porém acredita-se que a instalação efetiva de tais soluções, deverá provocar uma adequação da drenagem urbana com o ciclo hidrológico mais próximo às condições pré-urbanas (MOURA, 2013). Em países desenvolvidos como EUA e Canadá, mais especificamente na região do Noroeste Pacífico, a presença dessas

técnicas já se mostra bem difundida e eficiente. Devido ao estudo e trabalho realizado nessa região desde décadas atrás, quando houveram a implementação de guias para as áreas de biorretenção, tal qual, um exemplo que segue de base é o Prince George's County, de 2007. Sendo assim, devemos nos aprofundar nessas técnicas, procurando o conhecimento em outros países, em que essas técnicas estão mais comuns, para que possamos nos inserir no quadro de “desenvolvimento verde”, que demarcará o futuro de nossa nação.

As áreas de biorretenção mostram-se como técnicas efetivas no manejo de águas pluviais, por estarem auxiliando na infiltração da água no lençol freático. Todavia, esta técnica mostra-se bastante disseminada em países desenvolvidos, mostrando-se poucos estudos em países não desenvolvidos, como no caso do Brasil. Há, porém, varias tipologias de áreas de biorretenção que podem ser verificadas á seguir, indo desde o uso industrial até o uso domiciliar.

2.2.2 Área de biorretenção: tipologias dos “jardins de chuva”

Jardim de chuva, são sistemas de biorretenção que possuem uma área escavada ocupada por material orgânico e solo com alta capacidade de infiltração (MELO, 2011). É uma pratica controladora de qualidade e quantidade de água, que utiliza propriedades química, biológica e física das plantas, micróbios, e solos, para remoção de poluentes do escoamento de águas pluviais. Alguns dos processos que são levados em consideração na área de biorretenção são, sedimentação, filtração, volatilização, troca de íons, decomposição, fito remediação, bioremediação e capacidade de estocagem (PRINCE GEORGE'S COUNTY, 2007).

O sequestro de carbono, tratamento de águas pluviais e o melhoramento do microclima, são melhorados com esses sistemas naturais, oferecendo esses serviços necessários para a sociedade. Esses sistemas originários da Escandinávia e Alemanha vem mostrando destaque em cidades como, Vancouver, Seattle e Portland, mostrando uma maneira de efetivar os serviços mostrados pela natureza que foram “apagados” pelas ações do homem. Sendo assim, a estrutura pode ser vista como uma tapeçaria verde formada por espaços abertos dentro dos centros

urbanos que funcionam como uma esponja sugando a água devido ao solo com alta porosidade sob estes (CORMIER, PELLEGRINO, 2008).

A biorretenção foi desenvolvida para ter uma variada gama de utilização, necessitando uma análise prévia das condições do sítio de implantação, para haver uma ligação entre as condições já existentes do local com as necessidades da técnica compensatória, para que haja o embelezamento do local, juntamente com as funções básicas do jardim de chuva. Tais condições podem ser descritas como, condições e restrições do local, umidade do solo, drenagem adequada, poluentes das águas pluviais, recarga de lençóis freáticos, inundações, tipo de vegetação e solo e propostas de utilização do solo. Desse modo, elas também são chamadas de IMP (*Integrated Management Practice*) que seriam as práticas de gestão integrada (PRINCE GEORGE'S COUNTY, 2007).

A vantagem desse tipo de tecnologia é que não leva em consideração apenas a vazão de pico, esta pode ser desenvolvida para reproduzir as condições hidrológicas preexistentes controlando os volumes de escoamento, desse modo, foi com essa ideia que foram criadas as LID's, já citadas anteriormente (PRINCE GEORGE'S COUNTY, 2007). Entretanto, há variados designs e tipos de dimensionamento, de acordo com a tipologia do jardim de chuva, como poderá ser visto nos itens que seguem.

2.2.2.1 Jardim de Chuva Comercial/Industrial

Devido a este método ser inserido em uma área industrial, as áreas verdes são delimitadas. Isso pode gerar uma oportunidade para o projetista de ajudar o usuário a obter créditos na paisagem, como áreas verdes e gestão de águas pluviais. Entretanto, mesmo em áreas industriais, as áreas de biorretenção tem a capacidade de combinar o embelezamento do local com o manejo das águas de chuva, gerando um impacto positivo (PRINCE GEORGE'S COUNTY, 2007).

Porém, há diferenças entre projetar uma área de biorretenção residencial e industrial, tendo para o critério comercial/industrial, o projeto de etapas necessárias, não importando a escala do projeto. Diferentes implicações e responsabilidades acontecem em cada fase do desenvolvimento do dispositivo da área de

biorretenção. Estes são específicos e tem como critérios; o conceito, design e engenharia, revisão do plano de engenharia, pré-construção, construção, encerramento definitivo e manutenção. O contrário acontece para áreas de biorretenção residenciais, onde os passos são muito mais simples (MARYLAND, 2012).

2.2.2.2 Biorretenção em estacionamento sem meio-fio

A área de biorretenção junto a área de estacionamento sem meio-fio, é a que tem o menor preço de construção devido a inexistência do meio fio, e a drenagem a ser realizada é através do escoamento superficial. Em uma área pavimentada sem meio-fio, um aparato pré-moldado para impedir o avanço dos carros, pode ser montado para proteger a área de biorretenção. Esta aplicação será aplicada somente onde permitam-se condições de graus baixos de escoamento sobre o nível das áreas de entrada. (PRINCE GEORGE'S COUNTY, 2007).

Uma esquematização pode ser vista na Figura 1 e Figura 2 que seguem:



Figura 1 – Área de biorretenção para estacionamento sem meio-fio.
Fonte: The Prince George's County (2007).

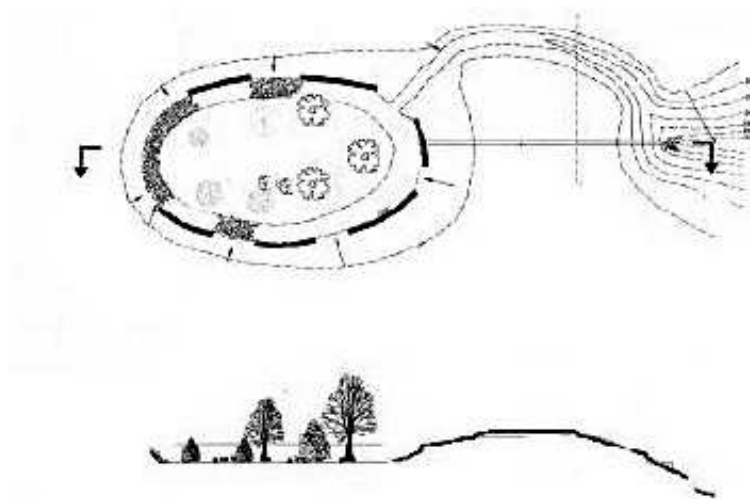


Figura 2 - Área de biorretenção para estacionamento sem meio-fio, vista superior.
Fonte: The Prince George's County (2007).

Um esquema mais detalhado pode ser visto na Figura 3 abaixo:

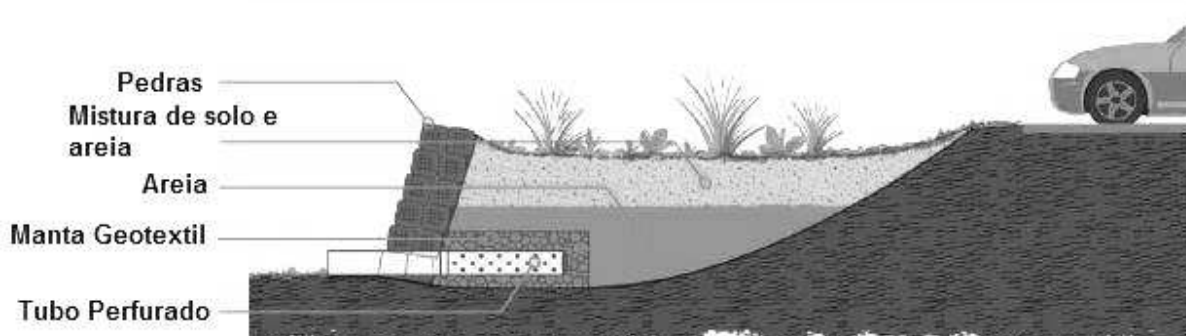


Figura 3 – Detalhamento da tipologia sem meio-fio.
Fonte: Adaptado, The Prince George's County (2007).

Desse modo, pode-se notar que a área de biorretenção pode ser utilizada nesse caso, porém terá maior desempenho se a mesma tiver uma proteção, muitas vezes de concreto, para mantê-la em perfeito estado de funcionamento evitando a deterioração da mesma. O processo para a mesma, com o meio-fio será tratado no item que segue.

2.2.2.3 Biorretenção em estacionamento com meio-fio

A área de biorretenção favorável para um estacionamento ou para uma rotatória pode ser visto na Figura 4 e Figura 5. Para as entradas, recortes no meio fio, a água é desviada para dentro da área de biorretenção através de um bloco deflector de entrada, mais comumente conhecido como guias do meio-fio, que possui canteiros que dirigirão a água de escoamento para dentro da área de biorretenção (PRINCE GEORGE'S COUNTY, 2007).



Figura 4 - Área de biorretenção para estacionamento com meio-fio.
Fonte: Davis, et al. (2009).



Figura 5 - Área de biorretenção em estacionamento provida de meio-fio.
Fonte: Maryland (2012).

Este caso é o mais utilizado em estacionamentos, onde há o meio fio que funciona como uma espécie de barreira para água que circula ao redor do mesmo, tendo orifícios estratégicos para entrada da água. Uma outra maneira de utilização, como nos canteiros de rodovia será vista a seguir.

2.2.2.4 Área de Biorretenção no canteiro e Biorretenção Intermediária

Uma área de biorretenção em canteiro, pode ser vista na Figura 6. Não há largura mínima recomendada para os canteiros, de meio-fio a meio-fio. Entretanto, larguras mínimas são recomendadas, tais como aproximadamente 60 centímetros do meio-fio para minimizar a possibilidade de percolação da drenagem sob o pavimento. Uma outra alternativa, é a instalação de uma manta geotêxtil no perímetro da área de biorretenção, que implicará no mesmo resultado. Os canteiros com capacidade de biorretenção projetados com um sistema de drenagem subterrâneo e solos de elevada porosidade, podem demonstrar uma capacidade hidráulica elevada. Ainda mesmo que a taxa de infiltração seja elevada, aproximadamente 11 centímetros por hora, ainda consegue-se atingir uma melhoria na qualidade da água (PRINCE GEORGE'S COUNTY, 2007).



Figura 6 - Área de biorretenção em canteiros de rodovias.
Fonte: The Prince George's County (2007).

O uso de canteiros como áreas de biorretenção é uma técnica que seria de muita utilidade no dia-a-dia, visto que a presença de canteiros nas rodovias é inevitável. Desse modo, haveria uma ajuda no manejo das águas, sem necessidade de construção de uma nova estrutura, mas sim com a já existente. A declividade muitas vezes se torna elemento problemático para certas estruturas, porém no próximo item será estudado como a mesma pode ser utilizada como uma área de biorretenção.

2.2.2.5 Depressão com capacidade de Biorretenção

Esse arranjo de solo em declive, com capacidade de biorretenção opera da seguinte maneira: primeiramente com a vegetação superficial na declinação do terreno, realiza uma primeira filtração da água pluvial e posteriormente percola para uma área de filtração, formando a área de biorretenção, componente que fornece através de uma fina filtragem, um processo prolongado de retenção e uma absorção biológica devido á presença de plantas, como pode ser visto em planta na Figura 7, e em corte na Figura 8. A área de biorretenção deve ser o mais horizontal possível para promover uma filtração uniforme e uma temporária estocagem do fluxo para um tratamento antes que o mesmo siga em frente (GOLD COAST CITY COUNCIL, 2005).

O que torna o local propício para instalação da área de biorretenção, é quando o terreno possui uma diferença de altura de aproximadamente 30 centímetros, e uma declividade de aproximadamente 4%, entre o equipamento e o início da declividade do terreno. O lugar para locação do equipamento dependerá de inúmeros fatores, incluindo área disponível para a filtração média e a declividade do relevo. Estas áreas são relativamente rasas, e podem possuir um esquema de sub drenagem, onde a água seria descarregada dentro da linha adjacente da declividade (PRINCE GEORGE'S COUNTY, 2007). A espessura fina dessa tipologia resulta da funcionalidade da mesma, devido que esta não trabalha muito bem com o processo de infiltração, para ser direcionada para os solos do local, a mesma possui um sistema de sub-drenagem que irá direcionar a água para estocagem para potencial reutilização (GOLD COAST CITY COUNCIL, 2005).

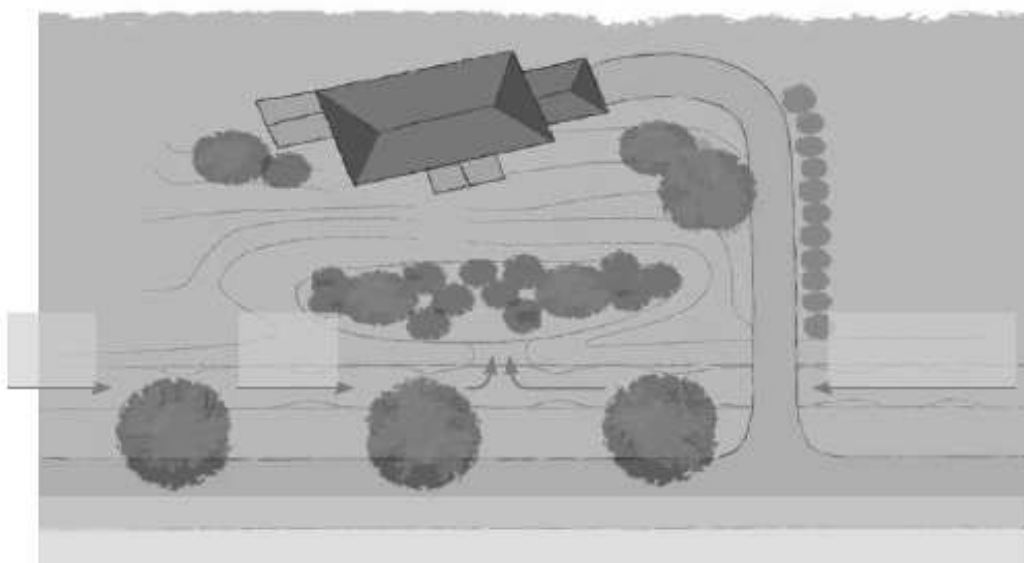


Figura 7 – Área de biorretenção em declive, vista em planta.
Fonte: The Prince George's County (2007).

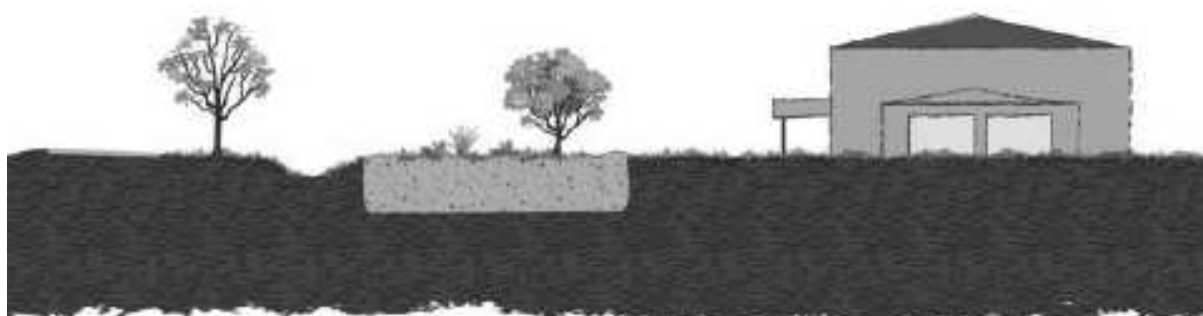


Figura 8 – Área de biorretenção em declive, vista em corte.
Fonte: The Prince George's County (2007).

Um exemplo dessa tipologia, mais detalhada pode ser visto na Figura 9:

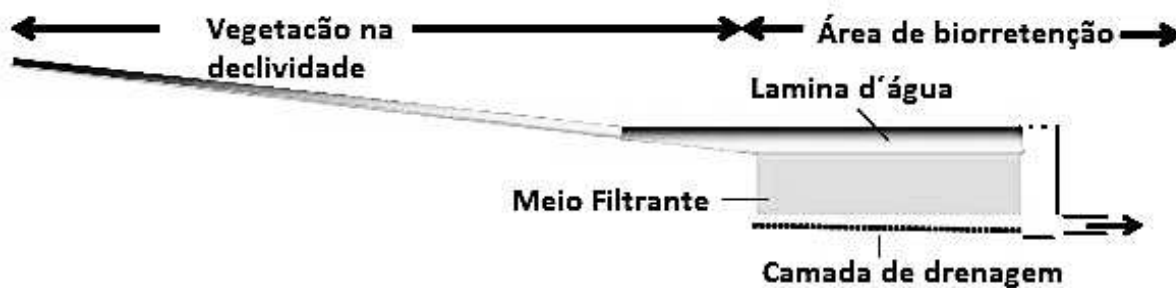


Figura 9 – Esquema detalhado da tipologia de biorretenção com declividade.
Fonte: Adaptado, Gold Coast City Council (2005).

Essa tipologia pode ser vantajosa em terrenos onde pode-se haver o aproveitamento da declividade com essa técnica compensatória, pois além de conseguir-se aproveitar essa inclinação, haveria ainda a economia do usuário com terraplanagem, para nivelamento do terreno, por exemplo. O item que segue, mostrará como são utilizados os jardins de chuva em áreas residenciais.

2.2.2.6 Áreas de Biorretenção Residenciais

A principal preocupação na locação das áreas de biorretenção em áreas residenciais é a visibilidade e estética. Apesar de que o sistema de drenagem irá assegurar que o aparato drene o escoamento no tempo previsto, uma análise do solo é recomendada para evitar problemas futuros. As restrições podem limitar bastante a aplicabilidade das áreas, nesse tipo de localidade. Entretanto, com uma nova ideologia para essas tecnologias, obedecendo sempre os códigos civis, as áreas de biorretenção podem ser utilizadas em qualquer tipo de residência (PRINCE GEORGE'S COUNTY, 2007).

2.2.2.7 Jardim Paisagístico

Provavelmente um dos projetos mais simples, um jardim de biorretenção paisagístico, mais usualmente conhecido como jardim de chuva, implica ao uso de flores normais de jardim e arranjos de plantio, como pode ser visto na Figura 10. Ao invés da área ser amontoada, ocorre um rebaixamento da mesma. Esses canteiros, ou ainda outros adornos paisagísticos devem possuir uma depressão de aproximadamente 8 centímetros, proporcionando o escoamento para permitir a infiltração dentro do canteiro (PRINCE GEORGE'S COUNTY, 2007).

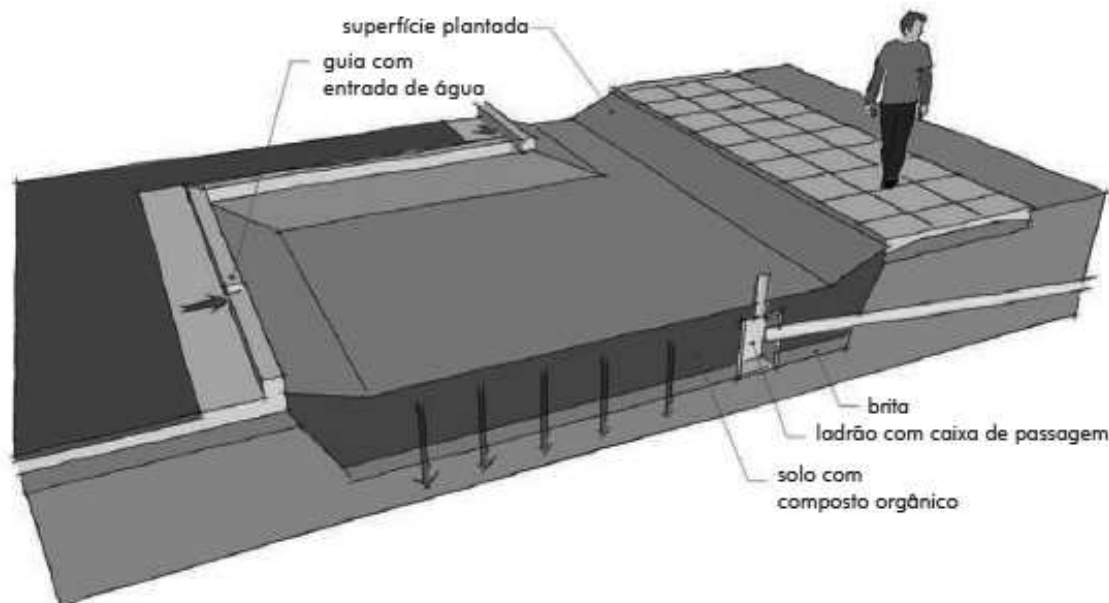


Figura 10 – Jardim de chuva e alguns componentes.
Fonte: Cormier & Pellegrino (2008).

O jardim paisagístico é uma técnica que representa muito bem a ideologia do jardim de chuva, onde a implantação do mesmo ocorre em locais em meio a áreas impermeáveis, fazendo com que aquela área se torne permeável, trazendo ainda uma presença verde para o local, e ajudando ainda a restaurar o ciclo natural da água. Muitas vezes a técnica deve ser adaptada para o local, pois o mesmo não se encontra em condições propícias para técnicas usuais, como pode ser visto a seguir.

2.2.2.8 Projeto “Prato Raso”

Para locais com pequena área de drenagem, menos que 2000 metros quadrados, o projetista pode usar um método para obter um design arredondado, como visto na Figura 11. Esse método pode ser incorporado ao nível final do terreno, ajudando a minimizar tanto o mesmo, quanto os custos de escavação. Essa tipologia pode ser implementada em locais que necessitam de técnicas de bioremediação e fitoremediação (PRINCE GEORGE’S COUNTY, 2007).

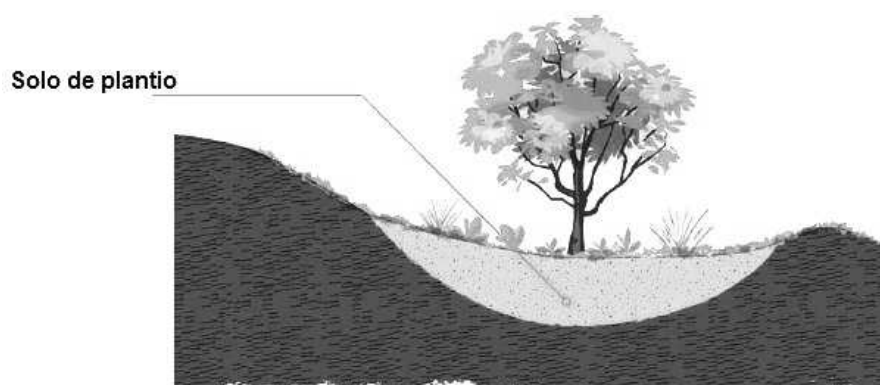
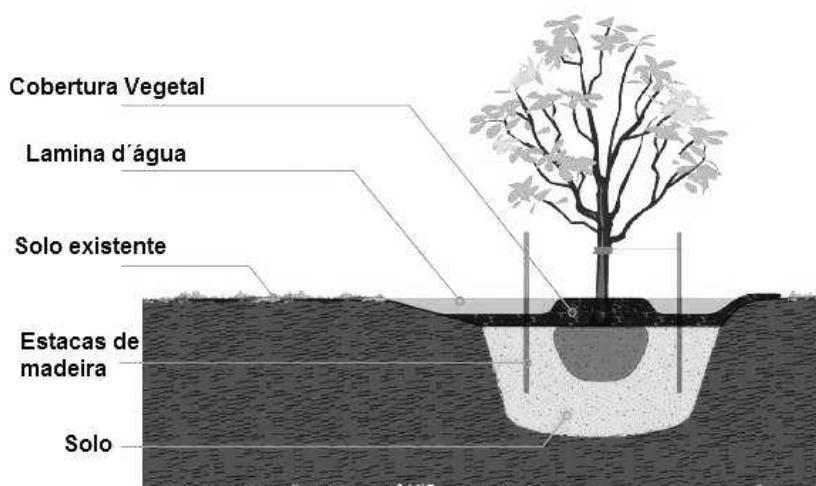


Figura 11 – Representação de uma área de biorretenção “prato raso”.
Fonte: Adaptado, The Prince George’s County (2007).

A técnica do “prato raso” não é muito utilizada, pois a mesma é usada quando o terreno não comporta as técnicas usuais de jardim de chuva. Uma técnica um pouco mais utilizada é a de canteiro de árvores e arbustos que pode ser vista á seguir.

2.2.2.9 Canteiro de árvores e arbustos

Canteiros de árvores e arbustos podem ser utilizados para biorretenção para locais onde há uma interrupção na drenagem. Essa técnica fornece uma lâmina de água rasa em uma cobertura vegetal côncava ao redor da árvore. Geralmente, as áreas côncavas estendem-se até a linha de gotejamento da árvore e é similar as práticas convencionais de cobertura vegetal, com a exceção de que é necessária uma depressão dessa camada vegetal de pelo menos 8 centímetro ao invés de um amontoamento em volta do arbusto (PRINCE GEORGE’S COUNTY, 2007), como pode ser visto na Figura 12:



**Figura 12 – Área de biorretenção em canteiros de árvores e arbustos.
Fonte: Adaptado, The Prince George's County (2007).**

Uma técnica muito usual, é de aproveitar os “caminhos” já existentes dos canteiros, para proporcionar uma área de biorretenção. Mostrando-se que a aplicação dos jardins de chuva pode ser muito ampla, como no item a seguir, onde há uma espécie de represa de pedras para propiciar a técnica compensatória.

2.2.2.10 “Jardim que chora” Inclinado

Áreas de biorretenção podem ser locadas em terrenos inclinados, se estes possuem capacidade de acomodar tais condições. Usa-se um conglomerado de pedras á jusante do jardim, funcionando como uma parede, permitindo que a água filtrada pelo solo possa vagorosamente infiltrar entre a estrutura, devido a isso, o nome de “jardim que chora”, como visto na Figura 13. A altura da parede deverá ser menor que 1 metro para áreas de drenagem menores que 1 acre (PRINCE GEORGE'S COUNTY, 2007).

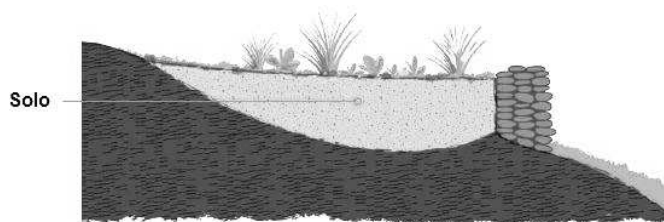


Figura 13 – Esquematização do “jardim que chora”.
Fonte: Adaptado, The Prince George’s County (2007).

O “jardim que chora” classifica-se como o “prato raso”, cujo terreno desnivelado e com características próprias faz com que essas técnicas não usuais, sejam utilizadas.

Após apresentação das tipologias de jardim de chuva, para realização do protótipo optou-se por uma técnica mais utilizada e que proporciona uma noção de como este se comportaria em condições normais, visto que o mesmo será desenvolvido em laboratório. Deste modo, o jardim paisagístico, conforme item 2.2.2.7, será executado. A tipologia de materiais em suas camadas e suas respectivas espessuras serão comentadas nos itens que seguem.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

Esta pesquisa se baseia na fundamentação teórica que foi o alicerce da proposta de um padrão de calçada que traga a implementação de um jardim de chuva em sua configuração. Por conseguinte, avaliou-se a eficiência entre três tipos de áreas permeáveis, o *paver*, o jardim de chuva e o Megadreno, piso drenante da marca Braston. O experimento foi desenvolvido em laboratório na Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), campus de Toledo no dia 13 de abril de 2017. Com a pesquisa aliada à confecção de um protótipo e ainda levantamento do custo de cada tipologia, foi possível avaliar e identificar os fatores associados à eficiência do aparato e sua viabilidade de implantação.

Este capítulo apresenta os procedimentos que foram adotados para a realização do experimento que forneceu a base dos dados para a avaliação dos diferentes tipos de revestimento em relação à sua capacidade drenante. Em um

primeiro momento será determinado o local para implementação do jardim piloto e se definirá uma referência que norteie a adoção de espessuras e tipos de solo que serão implementados no jardim de chuva e, em seguida apresenta-se o *paver* e o megadreno e suas características específicas.

3.1 CARACTERIZAÇÃO DA PESQUISA

Esta pesquisa utiliza o estudo experimental seguido de uma pesquisa ação, pois alia a teoria com a pesquisa prática por meio da confecção de um protótipo e, posteriormente uma proposta projetual de jardim de chuva na cidade de Cascavel, Paraná. Busca-se comparar a eficiência do *paver* enquanto revestimento permeável em relação ao jardim de chuva e o megadreno. Assim, será gerada uma análise dos parâmetros difundidos para a eficiência satisfatória da técnica compensatória. Esta avaliação será a base para a elaboração da proposta de modelo de calçada.

Segundo Gil (2010), o estudo de caso experimental representa de forma efetiva a pesquisa científica. Constitui o meio mais valorizado no âmbito acadêmico por estreitar a relação entre teoria e prática. Basicamente consiste na determinação de um objeto de estudo, nesse caso o jardim de chuva, a seleção das variáveis capazes de influenciá-lo e definir as maneiras de observação e controle das causas que a variável produz no objeto. Caracterizando o autor da pesquisa como um agente ativo e não como um observador passivo.

Quanto a finalidade da pesquisa é definida como de caráter quantitativo e qualitativo, tendo em vista que serão obtidas informações que permitirão julgar os dados obtidos, analisando se o protótipo é eficiente ou não na retenção e infiltração da água pluvial. E, a partir desta avaliação realizar a proposta de modelo de calçada que contemple em seu desenho o jardim de chuva.

3.2 CARACTERIZAÇÃO DO OBJETO DE ESTUDO

Para realização do estudo foi realizado um protótipo no campus de Toledo, Paraná, da UTFPR, onde se analisou a característica de infiltração do jardim de chuva comparando com outros dois tipos de pisos que são adotados em revestimento de calçadas urbanas e que possuem características específicas e particulares: o *paver* e o Megadreno. Foi aplicada uma simulação de precipitação para que houvesse a possibilidade de comparação entre as técnicas de revestimento utilizadas. Foi possível após o experimento avaliar qual técnica foi mais eficiente em relação à precipitação proposta. Em seguida, realizou-se um levantamento de custo para a implementação de cada tipologia, em uma área de 2,00 m².

A etapa seguinte baseada no experimento realizado trata da elaboração de uma proposta de projeto de modelo de calçada que contemple o uso do jardim de chuva em sua estrutura.

3.2.1 Protótipo

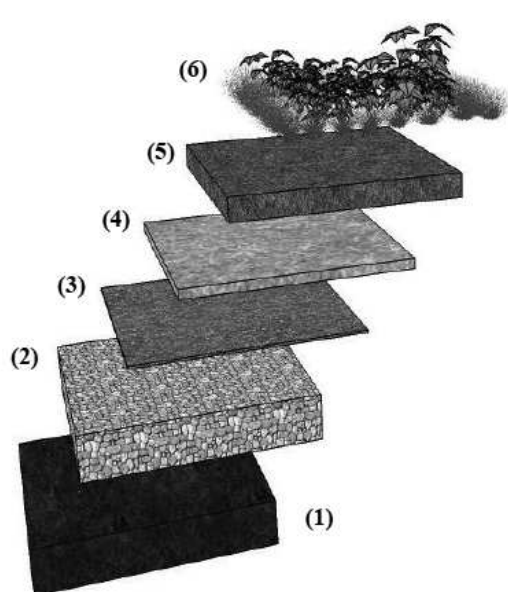
Para determinação da taxa de infiltração do jardim de chuva, foi realizada a construção de um jardim de chuva no laboratório de materiais de construção civil da UTFPR – Câmpus Toledo. A partir dos dados obtidos realizaram-se cálculos para análise da eficiência da estrutura, baseando-se em dados de infiltração do jardim piloto.

O solo de Cascavel é do tipo latossolo roxo, como também é o de municípios circunvizinhos. Estes possuem grande fertilidade e, assim, extremamente favorável à exploração agrícola. Sendo assim a inserção do jardim de chuva será favorecida pela própria constituição do solo.

A cidade de Cascavel localiza-se no estado do Paraná, com latitude de 24° 57' 21" S, 53° 27' 18" W e altitude média de 781 metros a cima do nível do mar.

Cascavel possui uma precipitação média anual de 1822 mm e 175 a 200 mm de média mensal, classificada segundo Koppen (1948), como um centro urbano de clima temperado úmido com verões quentes.

Há variadas maneiras para determinação dos componentes do jardim de chuva. Porém, a estrutura básica proposta para um jardim de chuva, pode ser vista na Figura 14:



(6) Camada superficial onde são dispostas as vegetações do jardim de chuva, recomendando-se a utilização de gramíneas, plantas rasteiras, arbustivas e de espécies nativas, por se adaptarem melhor ao clima da região.

(5) Local que contém todos os nutrientes que darão suporte à cobertura vegetal utilizada.

(4) Camada formada, em sua maioria, por areia, para estimular a infiltração e a redistribuição da água no solo.

(3) Camada constituída por uma manta geotêxtil, destinada à retenção de finos carreados no processo de infiltração.

(2) Camada formada por brita ou cascalho, onde a água é temporariamente abrigada antes de ser destinada ao solo natural.

(1) Local onde a água infiltrada pode ser utilizada para recarga subterrânea, armazenamento ou ambos – sistema combinado.

Figura 14 – Estrutura básica proposta para um jardim de chuva.
Fonte: Adaptado Dunett e Clayden (2007).

Os tipos de solo e suas espessuras são fatores fundamentais, que influirão diretamente na eficiência da área de biorretenção. Algumas estruturas de jardim de chuva propostas nas literaturas são vistas na Tabela 1 abaixo:

Tabela 1 – Estrutura das camadas propostas na literatura.

Referência	Estrutura das camadas propostas
Jones, Wu e Potter, 2004.	1.Subsolo urbano sem espessura definida; 2. Geotêxtil (manta filtrante); 3. Areia – 70cm; 4. Adubação – 50 cm de mistura (60% de areia e 40% de matéria orgânica); 5. Cobertura vegetal.
Aravena e Dussailant, 2009.	1.Areia – 150cm; 2. Adubação – 50 cm de mistura – 50% de areia e 50% de composto orgânico; 3. Cobertura vegetal.
Trowsdale e Simcock, 2011.	1.Areia – 15cm; 2. Calcário – 60 a 70 cm; 3. Solo misto – 30 a 40 cm – pedregulhos e solo fértil; 4. Mistura de folhas – 5 cm; 5. Cobertura vegetal.

O modelo adotado para o experimento foi o de Aravena e Dussailant (2009), devido apresentar o resultado buscado, ainda que com uma estrutura considerada simples, comparando com os outros autores, que se fazem necessários a utilização de mantas geotêxtis e calcário.

Adotou-se uma área quadrada, devido as dimensões do paver e megadreno conseguirem encaixar-se devidamente, sem necessidade de cortes, com dimensões de 1,20m x 1,20m, totalizando 1,44m², para determinação da taxa de infiltração do jardim piloto. Além das profundidades, frontal de 60 centímetros e de fundo de 40 centímetros, como pode ser visto na Figura 15:

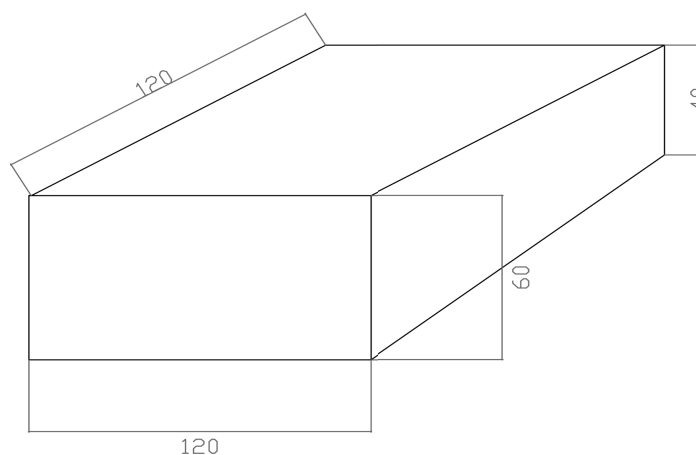
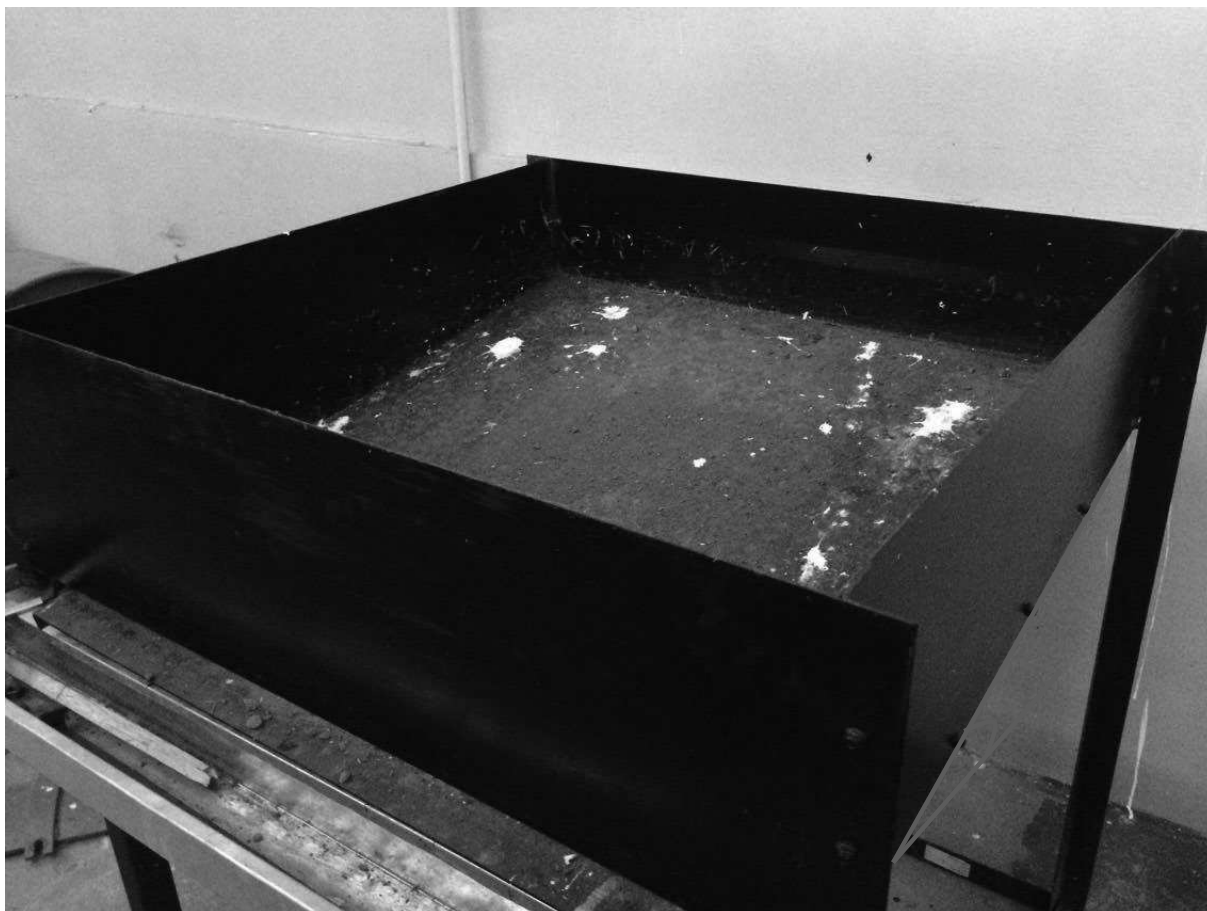


Figura 15 – Dimensões em centímetros do aparato.
Fonte: Autor, (2017).

A realização dos testes foi desenvolvida laboratorialmente. Desse modo, o sistema que consistirá no jardim de chuva tem a configuração apresentada nas Figura 17 e Figura 17:



**Figura 16 – Esquematização da estrutura idealizada que recebeu o jardim de chuva.
Fonte: Autor (2016).**

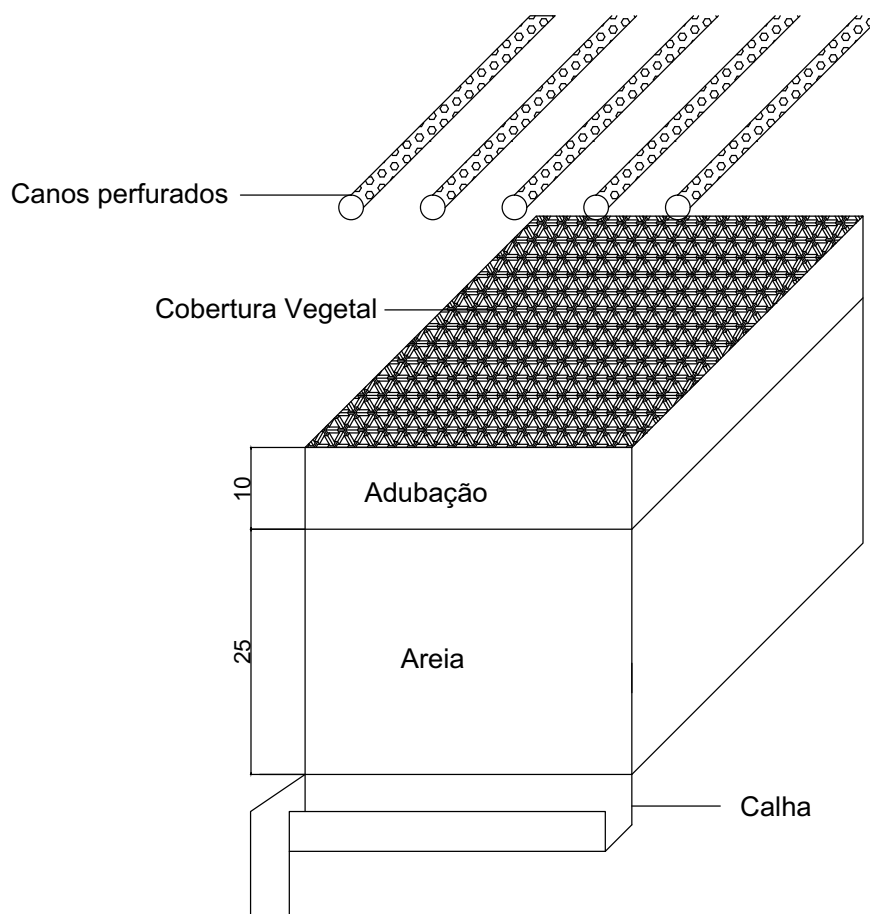


**Figura 17 – Esquemática da estrutura que recebeu a área de biorretenção.
Fonte: Autor (2016).**

Nota-se no canto inferior da Figura 17, a existência de uma leve inclinação da estrutura para que a mesma consiga obter uma taxa de escoamento da água que irá percolar pelo jardim de chuva, e há também uma pequena abertura para possibilitar a captação dessa água, ficando a critério do projetista se a mesma seguirá para o lençol freático ou ficará armazenada em galerias, quando esta é aplicada em situações reais de projeto.

O protótipo teve como configuração a estrutura definida por Aravena e Dussailant (2009), como pode ser visto na Tabela 1. Porém, como o protótipo foi realizado em laboratório, para que haja uma homogeneização da água que irá ser distribuída sob o jardim de chuva, serão desenvolvidos canos perfurados, distribuídos ao longo e sobre o jardim, outra alternativa, seria instalando-o no solo natural, não em laboratório, havendo assim a necessidade da instalação de infiltrômetros e tensiômetros, para medir a tensão do solo, que altera-se com a percolação da água em sua estrutura. Deste modo, toda a área de biorretenção

receberá a mesma quantidade de água, obtendo-se um evento mais realista. Como pode ser visto na Figura 18:



**Figura 18 –Esquemática do jardim de chuva que será construído.
Fonte: Autor (2016).**

Observa-se também, que as espessuras das camadas não são as mesmas sugeridas pela bibliografia, este fato decorre da necessidade de se obter um arranjo menor da estrutura para realização do ensaio. Para isso, foi realizada uma relação entre a metragem quadrada e as espessuras das camadas da estrutura proposta por Aravena e Dussailant (2009) e da estrutura obtida em laboratório, chegando-se aos valores, em centímetros, encontrados na Figura 18.

3.2.2 Paver

Os blocos intertravados de concreto, também conhecidos como pavers, são maciços, pré-fabricados que pavimentam a maioria das vias nos dias de hoje. Possui esta definição, devido ao encaixe que proporcionam, fazendo com que resistam a esforços tanto horizontais quanto verticais proporcionando grande resistência e durabilidade. Para a instalação, não se faz necessário o uso de aparelho e mão de obra específica, é requerido apenas um sapo mecânico para compactação do local a ser aplicado. Após a instalação, o tráfego pode ser liberado, não havendo necessidade de cura, pois se faz necessário apenas passagem de água no pavimento, para que haja o selamento. No quesito de manutenção, quando for preciso, é possível retirar as peças e realizar o serviço necessário e posteriormente recolocá-las sem nenhuma dificuldade. Dependendo da coloração a ser instalada, muitas vezes é possível haver uma economia na energia elétrica devido ao reflexo da coloração clara dos pavers. Outro fato, é o caráter estético que pode proporcionar ao local, com a difusão dessa técnica nos dias de hoje, vem sendo criadas variadas formas do paver e a montagem dos mesmos fica a critério do cliente, onde o mesmo escolhe a posição desejada, como pode ser visto na Figura 19 abaixo:

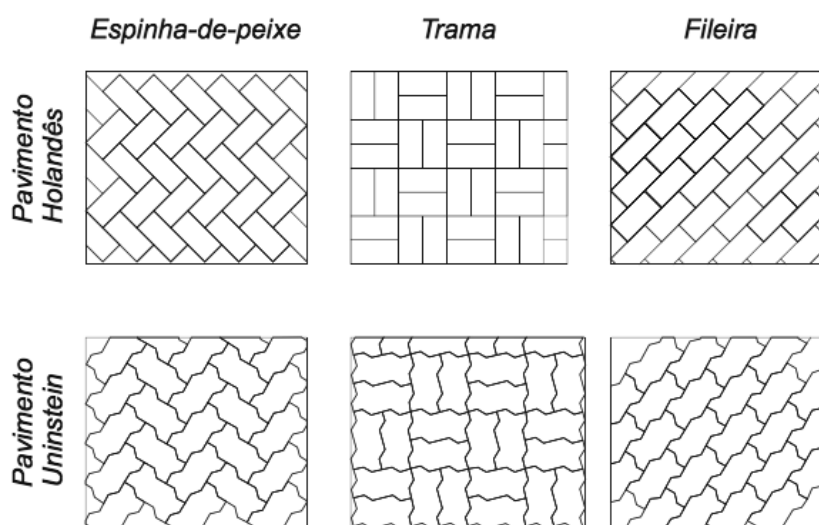


Figura 19 – Possíveis configurações do paver.

Fonte: http://www.prantomix.com.br/site/sites/default/files/downloads/manual_pavto.pdf

Para avaliar e comparar o jardim de chuva com os diferentes revestimentos foi inserido o paver na mesma área vista na Figura 16 e Figura 17. Esta foi coberta pelo material onde a técnica de “precipitação” utilizada anteriormente foi aplicada. Observou-se assim qual das 3 estruturas absorveu a água mais rapidamente. A estrutura de como se encontram os pavers pode ser vista na Figura 20:

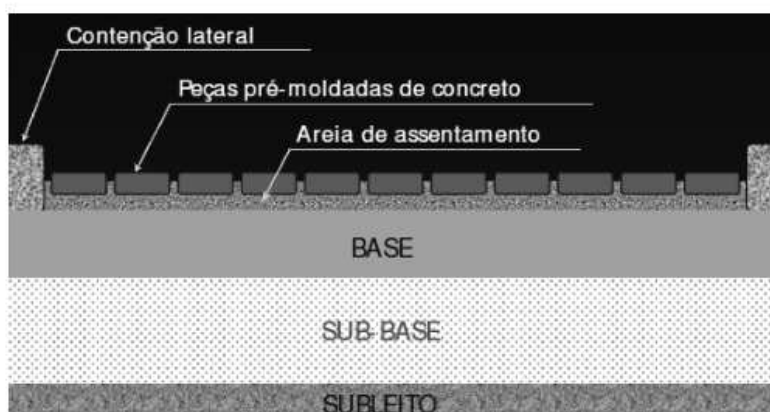


Figura 20 – Estrutura do pavimento com paver.
Fonte: ABCP (2001).

A instalação dos pavers para realização dos experimentos, seguiram técnicas e instruções gerais, onde houve a compactação de todas as bases, com posterior camada de areia seguindo de água para que houvesse o selamento. A penúltima etapa pode ser vista na Figura 21:



**Figura 21 – Penúltima etapa completa para implementação do paver.
Fonte: Autor (2017).**

3.2.3 Megadreno

O Megadreno provém da empresa Braston a qual cedeu peças para que fosse realizado o experimento. Estas peças são placas de concreto permeáveis sendo as primeiras a serem desenvolvidas no país que permitem a infiltração de água com maior conforto e segurança na passagem de pedestres. Forma uma calçada permeável que foi investigada em relação à sua permeabilidade e capacidade de drenagem. Sendo assim, os critérios para instalação destas placas foram os mesmos sugeridos pelo seu manual e foram instalados no aparato de 1,44 m² presente no laboratório conforme a Figura 22.

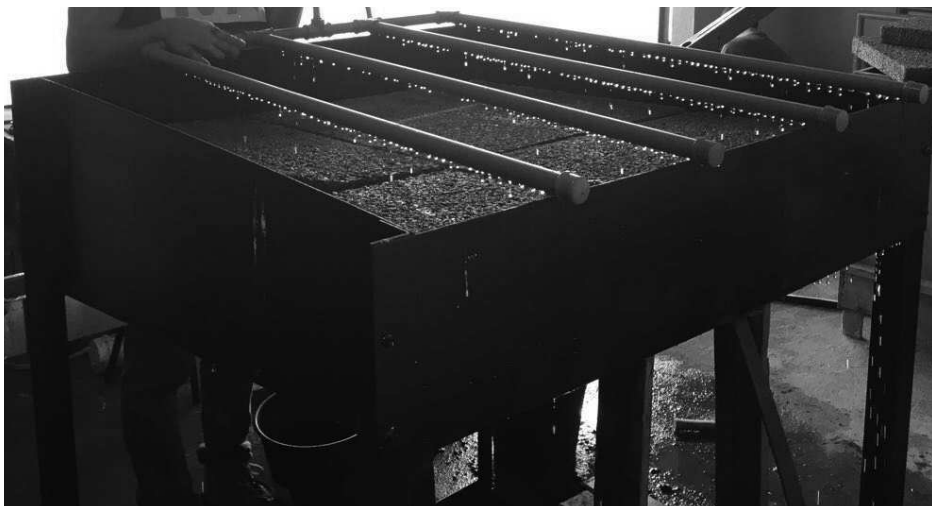


Figura 22 – Protótipo com o megadreno em sua estrutura.
Fonte: Autor (2017).

3.2.4 Cálculos

A infiltração foi determinada a partir da vazão inicial inserida na estrutura. Primeiramente, encheu-se um recipiente, medindo-se em litros, e avaliou-se quanto tempo, em segundos, demorou para que o mesmo fosse preenchido, determinando assim a vazão, através da Eq. :

$$Vazão = \frac{Volume (l)}{Tempo (s)} \quad Eq. 1$$

Em seguida, deixou-se a estrutura receber a precipitação e através da canaleta instalada á frente do aparato, conforme pode ser vista nas Figura 16 e Figura 17, conseguiu-se saber a quantidade de água que passou pela mesma, medindo-se a quantidade de litros dentro do balde colocado sob a mesma, relacionado com o tempo. Em seguida, utilizou-se a TCPO – Tabela de Composições de Preços para Orçamento, esta tabela fornece os insumos para realização de serviços, e seus respectivos consumos, quantidade que será utilizada para realização do serviço. Sendo assim, após a determinação da quantidade de

insumos para determinação do serviço, realizou-se uma procura de preços em lojas da região e internet, para uma especulação do total que cada tipologia, *paver*, jardim de chuva e megadreno, custaria para implementação em uma área de 2,00 m². A tabela utilizada para determinação do custo tem a configuração da Tabela 2:

Tabela 2 – Modelo de tabela utilizado para o cálculo do custo de implementação de cada tipologia.

1	2	3	4	5	6
Serviço	Unidade	Consumos	Quantidade	Preço (R\$)	Total (R\$)

A Tabela 2 pode ser entendida a partir das colunas, estas enumeradas de 1 a 6. Dando-se início à coluna 1, temos ali a identificação do serviço que será executado. Em seguida, no número 2, temos a unidade que o serviço é representado na TCPO. Em 3, tem-se o consumo, ou seja, quanto será utilizado daquele determinado serviço. Vendo-se então, que de 1 a 3, são dados obtidos na TCPO, a partir do número 4, são dados obtidos em lojas da região ou internet. No número 4 é inserida a quantidade, a partir da unidade de medida do serviço, variando de m² ou m³. Na coluna 5 é o preço. Por fim, em 6, é multiplicado a coluna 4 e 5, quantidade e preço, respectivamente obtendo por fim 6. Para saber-se o valor total final, realizou-se a soma de todos os serviços da coluna 6.

3.2.5 Projeto de calçadas padronizadas com área de biorretenção

Para que haja uma facilidade na implantação dos jardins de chuva em calçadas, foi realizada uma proposta com diretrizes genéricas para instalação da área de biorretenção. Na cidade de Cascavel-PR, a prefeitura disponibiliza modelos genéricos para implementação de calçadas, um exemplo disso pode ser visto na Figura 23:

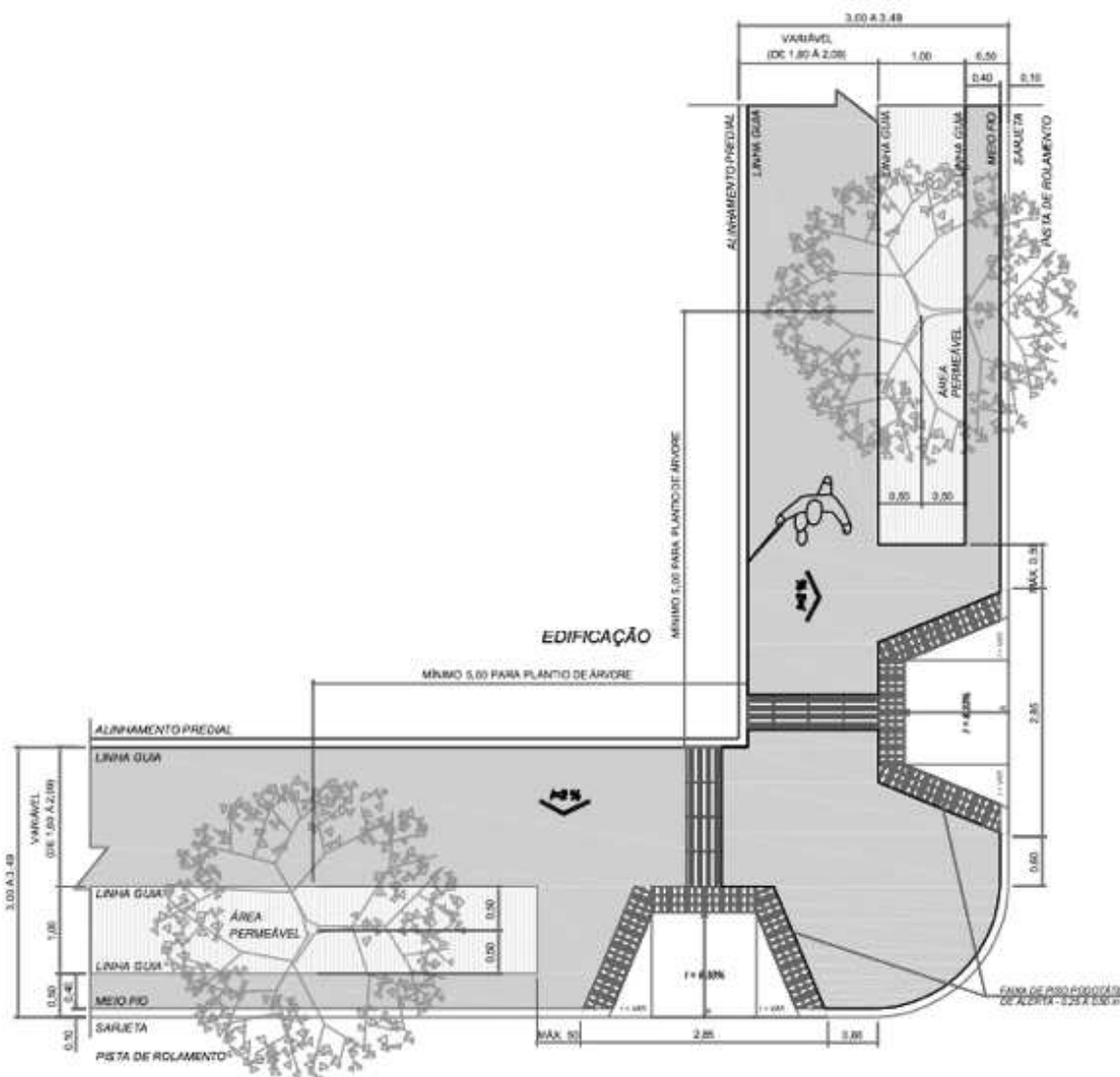


Figura 23 – Proposta genérica de calçada.
 Fonte: <http://www.cascavel.pr.gov.br/calçadas-cascavel.php>

Uma exemplificação de uma calçada que possui área de biorretenção junto a sua configuração normal, pode ser vista Figura 24:

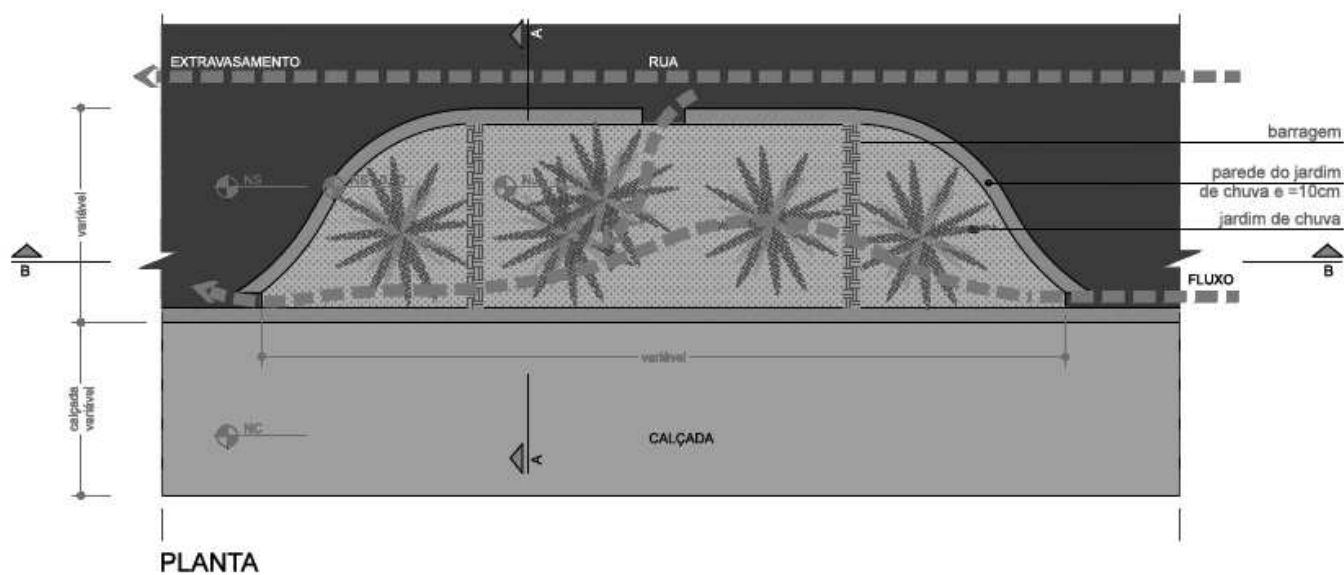


Figura 24 – Idealização da proposta, vista superior.

Fonte: <http://solucoesparacidades.com.br/saneamento/4-projetos-saneamento/jardins-de-chuva/>

A linha em azul representa o fluxo da água.

A representação dos corte AA e BB, pode ser vista na Figura 26 e Figura 26, respectivamente, em seguida:

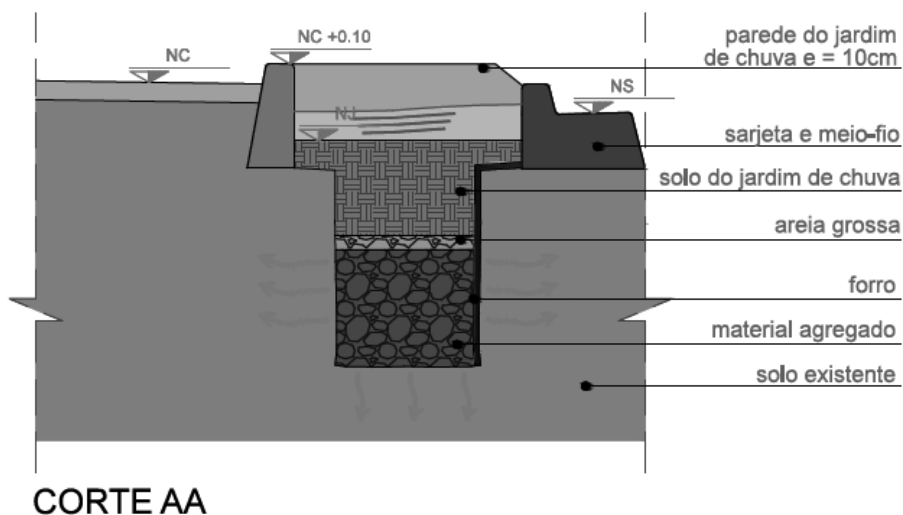
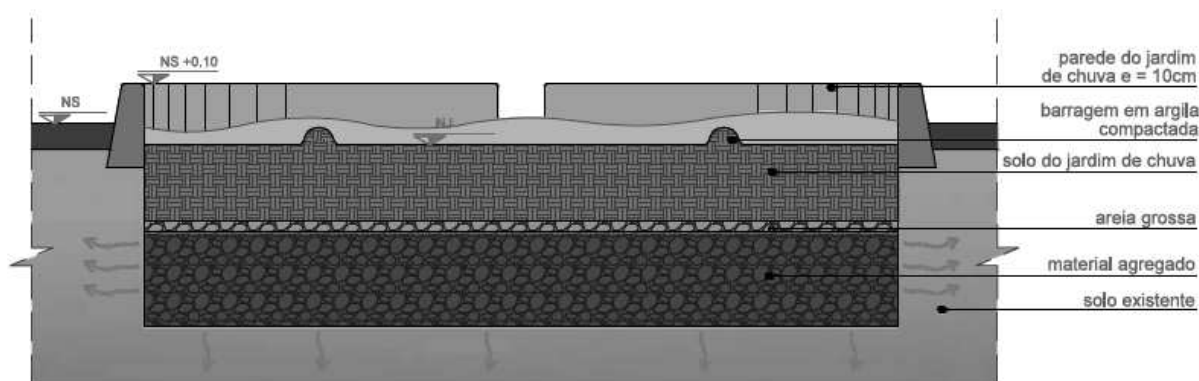


Figura 25 – Corte AA.

Fonte: <http://solucoesparacidades.com.br/saneamento/4-projetos-saneamento/jardins-de-chuva/>



CORTE BB

Figura 26 – Corte BB.

Fonte: <http://solucoesparacidades.com.br/saneamento/4-projetos-saneamento/jardins-de-chuva/>

Após apresentação de algumas das propriedades que a estrutura pode obter perante a construção do jardim de chuva, irá ser apresentada, no item que segue, a proposta instalada em um aparato, fazendo-se medições e análises, e a comparação com o piso drenante e o *paver*.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Esse segmento da pesquisa visa abranger os resultados obtidos após as experimentações realizadas com as 3 tipologias de áreas permeáveis, tais como, o jardim de chuva, área de biorretenção e *paver*, e também o custo para uma implementação de 2,00 m². Assim como, a apresentação da proposta projetual das vias públicas para a cidade de Cascavel, Paraná.

4.1 EFICIÊNCIA ENTRE PAVES, PISO DRENANTE E JARDIM DE CHUVA

Visando verificar a eficácia do jardim de chuva, foi realizado o estudo comparativo entre o jardim de chuva, o paver e o megadreno. A intenção foi investigar a capacidade de infiltração com uma vazão constante, das 3 tipologias, e compará-las elegendo qual será a mais eficaz. Analisou-se também o tempo em que a estrutura demorou até que houvesse uma diminuição significativa da vazão na saída e a mesma tivesse um valor muito pequeno, considerado insignificante. Por fim, uma análise financeira será levantada, visando calcular qual das tipologias encontra-se mais viável para implementação.

4.1.1 Paver

A implantação do paver como revestimento foi o primeiro experimento a ser realizado e obteve a configuração vista na Figura 27 com as cotas em centímetros:

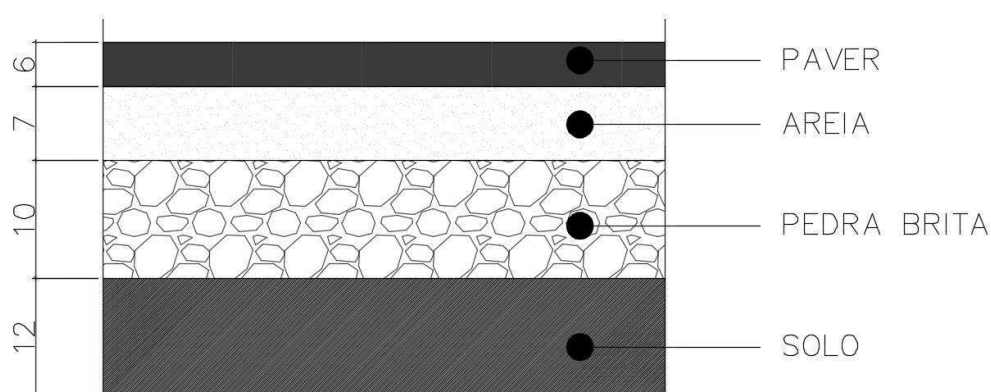


Figura 27 – Configuração do paver.
Fonte: Autor (2017).

De baixo para cima na Figura 27, tem-se 12 centímetros de solo da região, pedra brita com 10 centímetros, 7 centímetros de areia para assentamento do paver, e os pavers com espessura de 6 centímetros. As camadas foram compactadas conforme as especificações para o assentamento dessa tipologia de calçada.

A vista superior da estrutura instalada com os pavers pode ser vista na Figura 21, página 48.

Para a simulação de uma precipitação foram-se utilizados canos perfurados, homogeneizando a distribuição de água no aparato, como pode ser visto na Figura 28.



Figura 28 - Paver recebendo a precipitação.
Fonte: Autor (2017).

4.1.2 Megadreno

O megadreno da marca BRASTON possui uma variada gama de peças, sendo que podem ser encontradas tanto nas mesmas dimensões do paver, 10 x 20 x 6 centímetros, até peças maiores, como as utilizadas nesse trabalho, que foram peças de 60x60 cm. Pode-se ver como foi configurado essa tipologia de calçada conforme a Figura 29 abaixo, com cotas em centímetros:

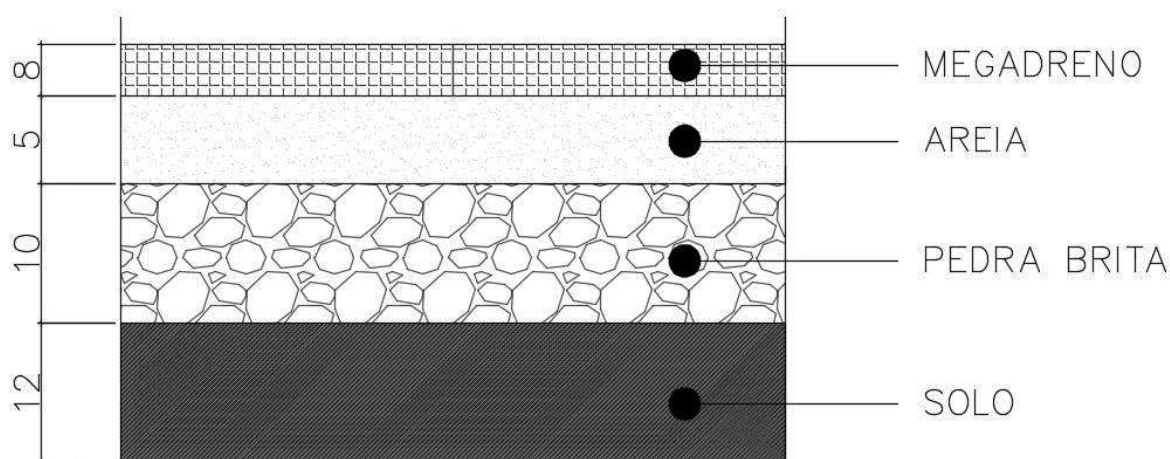


Figura 29 - Configuração do megadreno.
Fonte: Autor (2017).

De baixo para cima, na **Error! Reference source not found.**, tem-se 12 centímetros de solo da região, 10 centímetros de pedra brita número 2, 5 centímetros de areia, com uma fina camada de pó de pedra, e sob isso o megadreno, com uma espessura de 8 centímetros.

Esteticamente o megadreno toma a configuração da Figura 22, página 49.

4.1.3 Jardim de chuva

O jardim de chuva pode ter os componentes variando de acordo com cada região, pois se aconselha o plantio de espécies rasteiras, gramíneas e outras vegetações que se adaptem bem a região. Para este trabalho foi escolhido a grama preta (*Ophiopogon japonicus*) e Kalanchoe (*Kalanchoe blossfeldiana*) uma espécie de flor de estação, ou seja, espécie não perene. Primeiramente será apresentado o “interior” do solo, como o mesmo foi constituído para realização dos experimentos, vistos na Figura 30:

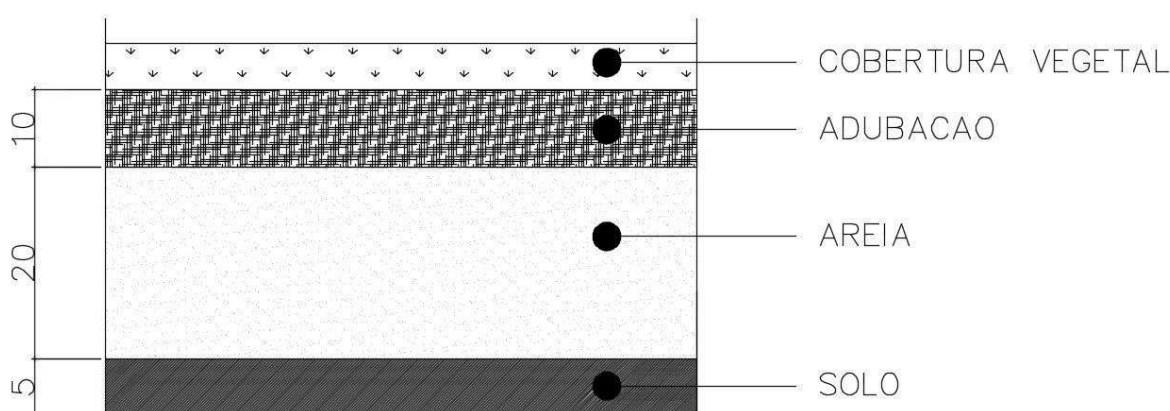
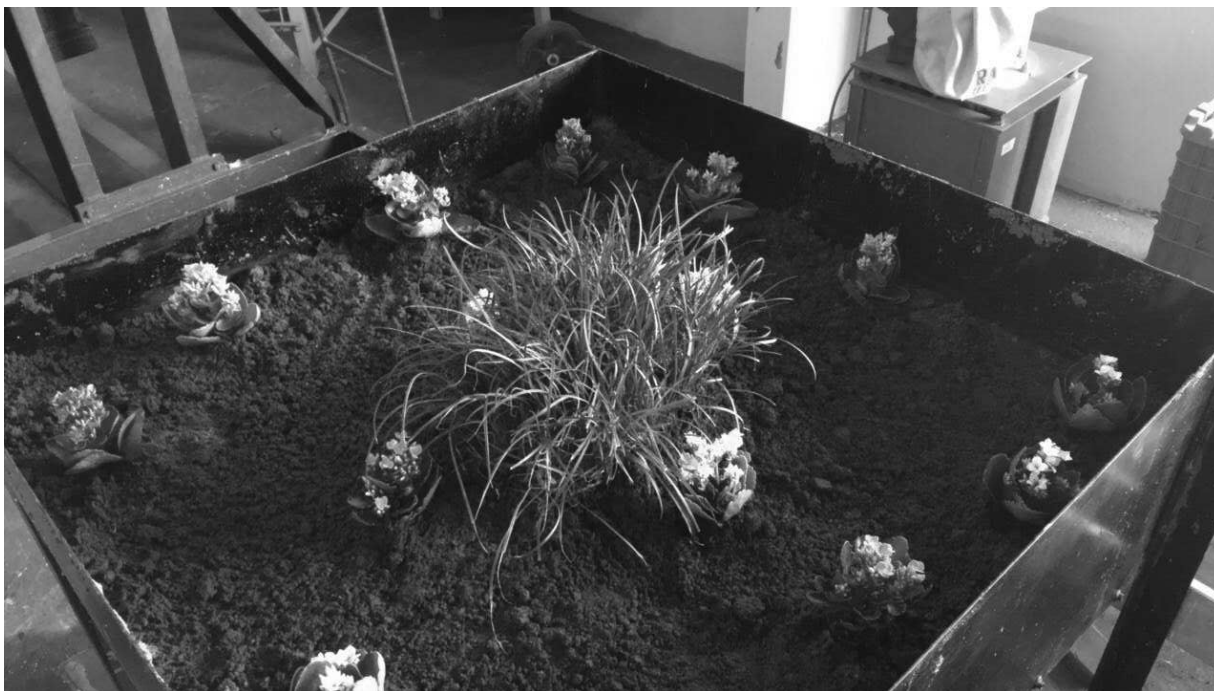


Figura 30 – Configuração do jardim de chuva.
Fonte: Autor (2017).

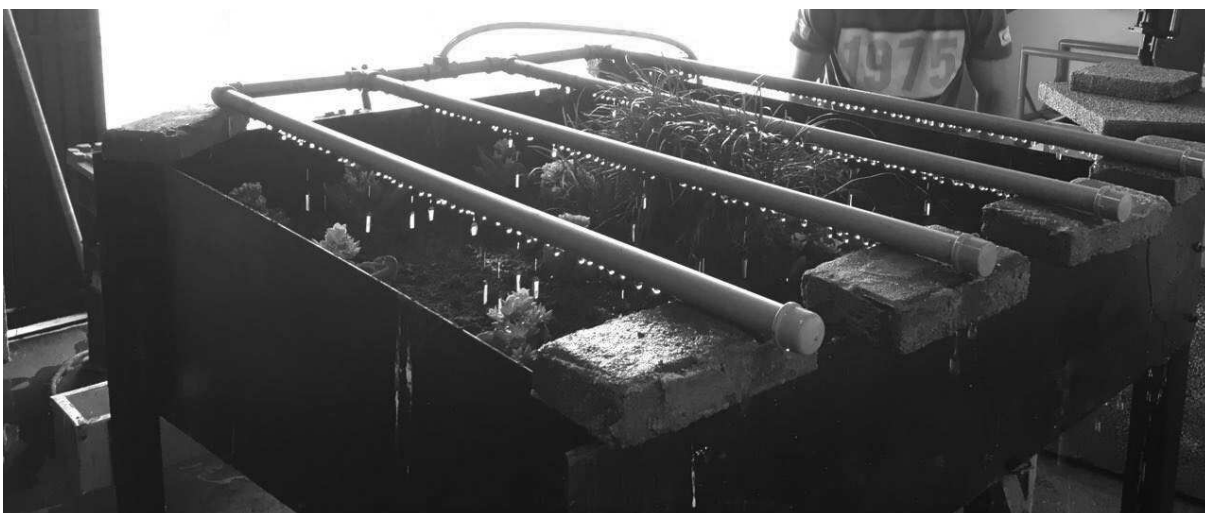
De baixo para cima, na **Error! Reference source not found.**, tem-se 5 centímetros de solo da região, 20 centímetros de areia, 10 centímetros de adubação, com 50% de areia e 50% de composto orgânico, e uma cobertura vegetal, com a presença das gramíneas e flores.

A estética é muito levada em consideração na construção do jardim de chuva, pois em muitos casos, os mesmos ficam em vias públicas, obrigando-os a obter um caráter embelezador de certos ambientes. Desse modo, pode-se notar como na Figura 31, que o mesmo, consegue trabalhar a funcionalidade da estrutura com o embelezamento do local por meio da adoção de espécies que tragam um apelo visual consistente.



**Figura 31 - Esquematização do jardim de chuva.
Fonte: Autor (2017).**

Na prática, colocou-se os canos perfurados sob o jardim, para se obter a imitação da precipitação, conforme pode ser visto na Figura 32 abaixo:



**Figura 32 – Jardim de chuva recebendo a precipitação.
Fonte: Autor (2017).**

Os experimentos foram realizados no laboratório de Estruturas, da UTFPR – Campus Toledo.

4.2 RESULTADOS

Para a análise da eficiência das estruturas foram realizados os experimentos com um tempo de duração de 20 minutos com uma vazão de 3,03 l/min (litros por minuto). Sendo precipitação, em milímetros de chuva, determinada pela quantidade de água sobre a área do local, tem-se a Eq. 2 abaixo:

$$P_{mm} = \frac{\text{Quantidade de água (l)}}{\text{Área (m}^2\text{)}} \quad \text{Eq. 2}$$

Colocando-se a quantidade de água em litros (l), e a área em metros quadrados (m²), obtém-se uma precipitação de chuva em milímetros (mm). Com os dados obtidos em campo de 10l em uma área de 1,44 m², obtém-se uma precipitação de 6,94mm. Admitindo que essa seria uma chuva diária, ocorrendo no período de 30 dias, teríamos uma precipitação média mensal de 208,2 mm, um pouco acima da média mensal da cidade de Cascavel, que é de no máximo 200 mm mensais.

Após a simulação receber essa quantidade de chuva, durante os 20 minutos, aguardou-se mais um tempo extra, particular para cada caso, como pode ser visto na Tabela 4, como se fosse o quanto a estrutura ainda iria trabalhar após o término de uma chuva, por exemplo. Esperou-se então, até que houvesse uma vazão considerada insignificante, a critério do autor. A quantidade de água que infiltrou na estrutura pode ser vista na Tabela 3:

Tabela 3 – Quantidade em litros infiltrados em cada tipo de estrutura de calçada durante o período de 20 minutos.

Tipologia de Calçada	Quantidade (litros)
Paver	19
Megadreno	32
Jardim de Chuva	28

Como pode ser visto na Tabela 3, o:

- Paver classifica-se como o menos drenante, 19l, apesar de ser o mais utilizado para pavimentos permeáveis, visto o seu baixo custo. Este é considerado permeável pois há a passagem da água entre as peças do pavimento intertravado, sendo assim, a água deve escoar pelo paver até achar uma fresta entre as peças, direcionando a a água para o interior do solo, este “caminho” levado pela água juntamente com a compactação das camadas subjacente ao paver, podem ser considerados como um dos fatores que direcionaram o paver, como um material não muito eficiente no sistema de infiltração, quando comparado com o megadreno e jardim de chuva.
- Megadreno, obteve uma infiltração de 32l em 20 minutos, sendo o material que mais permitiu o processo de infiltração. O piso drenante, é assim chamado porque permite que a água escoe por meio dos poros existentes no material de que é composto, ou seja, a área permeável não é limitada apenas aos espaços entre as peças, quando comparado com o paver, mas se estende por toda a área do piso.
- Jardim de chuva, que se encontra em segundo lugar dentre os três revestimentos, com 28l, possui uma característica semelhante ao do megadreno, justificando sua colocação. Sua estrutura possui uma espécie de filtro natural, devido aos diferentes tipos de solo e materiais sob o mesmo. Sendo assim, possui também uma infiltração por toda a sua estrutura, não havendo a presença de materiais obstruindo a passagem da água. Uma proposta para o melhoramento dessa estrutura seria a implantação de espécies com maior biomassa e com mais enraizamento do substrato, acarretando á mitigação das cargas difusas ocasionadas pelo escoamento superficial. O plantio de diferentes tipos de vegetação também auxilia, devido ao atrelamento de uma espécie a outra, ou seja, há um trabalho conjunto das variadas espécies compensando muitas vezes características faltantes no canteiro, mas que em conjunto conseguem abster das

necessidades. Sendo que se houvesse apenas a presença de uma, essa troca não existiria.

Para o tempo de “repouso” da estrutura, foram também coletados dados para uma análise. Estes dados podem ser observados na Tabela 4.

Tabela 4 – Quantidade e tempo para o tempo de “repouso” da estrutura de cada tipologia.

Tipo	Quantidade (litros)	Tempo (min)
Paver	19	15'
Megadreno	32	4'40"
Jardim de chuva	28	6'05"

Podemos observar, que a eficiência continua com as mesmas prioridades, como as apresentadas na Tabela 4.

- O paver encontra-se em último, devido a compactação das camadas para assentamento dos mesmos. Pode-se citar ainda que o paver não possui um canal para a água seguir para o interior do solo, pois as peças são encaixadas com quase nenhum espaço entre elas, e ainda após o travamento das mesmas é jogado areia, e em seguida, coloca-se água para que haja um selamento do mesmo. Sendo assim, o paver possui uma infiltração até um determinado tempo, após sua saturação, a água começa a escoar ao invés de infiltrar, explicando assim o porque do tempo maior para a estagnação da estrutura á uma vazão insignificante, ficando em último lugar nessa comparação. Mostrando assim, que apesar de haver um menor custo para a implementação, não esteja ajudando em 100% nos impactos trazidos pela urbanização. O aumento do escoamento superficial devido a presença de prédios e construções deveria ser solucionado e não apenas contornado. Como já citado, os pavers, comparando com o jardim de chuva e megadreno, possui uma inferioridade na eficiência dando continuidade a problemática do manejo das águas pluviais urbanas, que são os grandes contingentes de água, que não tendo

para onde escoar acabam extrapolando os sistemas de drenagem existente acarretando a enchentes, entre outras causas.

- Megadreno: possui uma quantidade maior de água ainda infiltrando na estrutura e menor tempo, comparando com as outras duas tipologias, tanto em quantidade de água quanto em tempo. O megadreno possui essa eficiência devido à suas peças possuírem uma permeabilidade que se aproxima de 90%. Devido a essa elevada porcentagem de permeabilidade, o ciclo hidrológico mantém quase que o período normatizado, devido haver a passagem de água quase que direta, ou seja, como se não houvesse pavimento, para a bacia, havendo a reposição da água no ciclo, não havendo bruscas alterações.
- O jardim de chuva vem em segundo lugar, quando comparado com as outras duas tipologias, pois possui uma estrutura que absorve a água devido a mistura de areia e composto orgânico, seguido da brita, configurando um filtro natural. Porém os sistemas de biorretenção ainda não são difundidos pela nossa sociedade no Brasil, já existem trabalhos a respeito desse assunto, porém a implementação dessa técnica na ajuda do manejo das águas pluviais urbanas, ainda é baixo. Essas técnicas são utilizadas em países como EUA, e vem mostrando grande eficácia, pois já houve a criação de uma apostila geral de implementação dessa técnica juntamente com as variadas tipologias existentes e suas especificidades.

Após realizada as análises, tanto da infiltração direta das estruturas, quantidade de água infiltrada dentro dos 20 minutos, quanto da indireta, medição da quantidade de água infiltrada após os 20 minutos até que houvesse uma diminuição significativa da vazão, far-se-á a análise da questão do custo das tipologias para uma área de 2,00 m², como se as mesmas estivessem sendo implantadas nas vias da cidade de Cascavel, onde em alguns casos a área permeável chega a 2,00 m².

Para o paver, foram determinados os seguintes serviços e custos, vistos na Tabela 5:

Tabela 5 – Custo para implementação do paver.

Serviço	un.	Consumos	Quantidade	Preço (R\$)	Total (R\$)
Calceteiro	h	0,23	0,46	23,2	10,672
Servente	h	0,46	0,92	21,26	19,5592
Areia lavada tipo fina	M ³	0,005	0,01	62	0,62
Areia lavada tipo média	M ³	0,05	0,1	60	6
Bloco de Concreto para pavimentação intertravado (comprimento: 100mm/espessura: 60mm/ largura: 200mm)	un.	48	96	0,99	95,04
Compactador de placa vibratória, diesel, potencia 10 HP (7,5 kW) - vida útil 8.000h	h prod.	0,03	0,06	28,86	1,7316
					133,62

Considerando que o local para instalação, estivesse devidamente limpo. Após levantamento de todos os serviços necessários para colocação do paver, montou-se a Tabela 5, obtendo-se um custo aproximado de R\$ 133,62.

Para a tipologia do megadreno, foram calculados os seguintes dados visíveis na Tabela 6:

Tabela 6 – Custo para implementação do megadreno Braston.

Serviço	un.	Consumos	Quantidade	Preço (R\$)	Total (R\$)
Calceteiro	h	0,23	0,46	23,2	10,672
Servente	h	0,46	0,92	21,26	19,5592
Brita tipo 2	M ³	0,06	0,12	72,6	8,712
Bloco de piso drenante Braston (comprimento: 500mm/espessura: 60mm/ largura: 500mm)	M ²	1	2	85	170
Compactador de placa vibratória, diesel, potencia 10 HP (7,5 kW) - vida útil 8.000h	h prod.	0,03	0,06	28,86	1,7316
Pedrisco	M ³	0,06	0,12	72,9	8,748
Areia Grossa	M ³	0,06	0,12	58	6,96
					226,38

A colocação do piso drenante se assemelha muito ao paver, em relação ao processo de instalação, apesar de haver alguns requisitos a mais. Se vê também uma grande diferença no custo da metragem quadrada entre ambos. Sendo assim, esta tipologia apresenta um valor de R\$ 226,38.

Por conseguinte, tem-se o jardim de chuva, que pode ser dividido em 2 etapas, primeiramente a fase de preparo do solo para posterior implantação do mesmo. Sendo assim, para a primeira instancia tem-se a Tabela 7 apresentando os seguintes dados:

Tabela 7 – Custo para a primeira fase de implantação do jardim de chuva.

Serviço	un.	Consumos	Quantidade	Preço (R\$)	Total (R\$)
Escavação manual em solo de primeira categoria	m3	1	2	4,36	8,72
Servente	H	10	9	21,26	191,34
Areia lavada tipo média	m3	0,778	0,7002	60	42,01
Pedra brita tipo 1	m3	0,289	0,2601	66,85	17,39
Pedra brita tipo 2	m3	0,677	0,6093	72,6	44,24
Cimento Portland CP-E-32 (resistência: 32 Mpa)	T	0,18	0,162	387,4	62,76
					366,45

Nota-se que o custo apenas inicial do jardim de chuva, já bem elevado, ultrapassando as duas tipologias quase que em 100%. A Tabela 8, em seguida, descreve os serviços que levam em consideração a preparação do solo e o embelezamento do local, como segue:

Tabela 8 – Custo para a segunda fase de implantação do jardim de chuva.

Serviço	un.	Consumos	Quantidade	Preço (R\$)	Total (R\$)
Jardineiro	H	0,08	0,16	17,56	2,8096
Servente	H	0,08	0,16	21,26	3,4016
Fosfato de Rochas	Kg	0,1	0,2	0,71	0,142
Gramma Preta em placas	m2	0,5	1	30	30
Adubo mineral - NPK (formulação 10-10-10)	Kg	0,1	0,2	9,44	1,888

Tabela 8 – Custo para a segunda fase de implantação do jardim de chuva.

Adubo orgânico curtido - esterco	m3	0,005	0,01	142	1,42
Areia seca tipo fina	m3	0,0064	0,0128	62	0,7936
Arbusto (Podocarpus)	un.	1	2	30	60
Flores (Kalanchoe)	un.	1	10	2,5	25

Por conseguinte, somando-se os valores finais da Tabela 7 e Tabela 8, obtém-se R\$ 491,91. Valor um tanto quanto mais elevado que as outras tipologias. Fato que pode ser explicado devido ao processo de preparo do local, a escavação e concretagem, fazem-se necessárias grande demanda horária de servente, fato que mais eleva o custo do mesmo.

Por fim, pode-se analisar as estruturas em 3 critérios, infiltração, tempo de “repouso” e custo. Em vista que, em licitações e obras maiores, o critério mais levado em consideração é o valor e, não muitas vezes a qualidade, o *paver* mostra destaque, apresentando o menor custo dentre as 3. Apesar disso, o megadreno, apresentando um valor quase que 60% maior que o *paver*, ganha destaque em 2 de 3 critérios, apresentando a longo prazo, grandes vantagens para o sistema de drenagem urbana. Este fato é devido ao material conseguir manter uma infiltração elevada e constante e, ainda após o término da precipitação, conseguir evacuar a água existente em sua estrutura rapidamente fazendo com que a estrutura fique pronta para a próxima chuva. Neste caso não correndo o risco de uma saturação, como seria o caso do *paver* que é o mais demorado para tal atividade. Por fim, tem-se o jardim de chuva, ficando no intermédio de 2 critérios e em último no custo. Obtém características e vantagens já mencionadas que auxiliariam na drenagem urbana, porém, para a estrutura idealizada, o valor ficou muito acima dos outros comparados.

Um resumo da ordem das 3 tipologias para os 3 critérios pode ser visto na Tabela 9:

Tabela 9 – Relação das tipologias e os critérios avaliados.

Tipologia	Infiltração	Tempo de "repouso"	Custo
Jardim de chuva	2	2	3
Megadreno	1	1	2
Paver	3	3	1

Avaliando-se em critérios de qual ficou em primeiro lugar mais vezes, seria o megadreno, porém, ainda é o *paver* o pavimento mais utilizado nas vias públicas das cidades brasileiras, que não leva em consideração o critério da ajuda ambiental, fato que se faz necessário pois o meio ambiente vem sofrendo transformações que não estão sendo controladas, acarretando a uma certa preocupação devido á certos fatores não serem renováveis, que, uma vez acabados, podem ser escassos. O jardim de chuva, se torna uma técnica que tem como consciência essa propagação desse ideal, mostrando que além de trabalhar muito bem no manejo das águas pluviais o mesmo ainda complemente no aumento de áreas permeáveis, se tornando uma alternativa passível de implantação, mesmo que sendo nova, pela administração pública das cidades. Por fim, pode-se dizer que há a falta de procura por novas técnicas no mercado que podem estar ajudando a solucionar problemas encontrados nos dias de hoje, um exemplo de tal, é o jardim de chuva.

4.3 MODELOS PROJETUAIS DE CALÇADAS DE ESQUINA PARA CASCAVEL - PR

As calçadas podem ter variadas dimensões para atender variadas necessidades. Assim como as dimensões variam, o padrão construtivo também varia na cidade de Cascavel/PR, em intervalos de comprimento das mesmas, como poderá ser visto nos itens que seguem. Através de pranchas modelo disponibilizadas no site da cidade de Cascavel – Paraná, houve a proposta de implementação dos jardins de chuva nas calçadas cascavelenses, havendo a adaptação e rearranjo das mesmas. Os desenhos encontram-se todos na escala de centímetros - 1:100.

A tipologia de calçadas elenca as seguintes propostas que serão detalhadas

- Calçadas de esquina – de 2,50m a 2,99m;
- Calçadas de esquina – de 3,00m a 3,49m - uso residencial;
- Calçadas de esquina – de 3,00m a 3,49m - uso comercial;
- Calçadas de esquina – de 3,49m a 3,99m - uso residencial;
- Calçadas de esquina – de 3,49m a 3,99m - uso comercial;
- Calçadas de esquina – de 3,00m a 3,49m - uso residencial;
- Calçadas de esquina – de 4,00m ou maiores que 4,00m – uso residencial.

4.3.1 Calçadas de esquina- DE 2,50m A 2,99m

As especificações para implantação dessa tipologia podem ser visualizadas na Figura 33 abaixo:

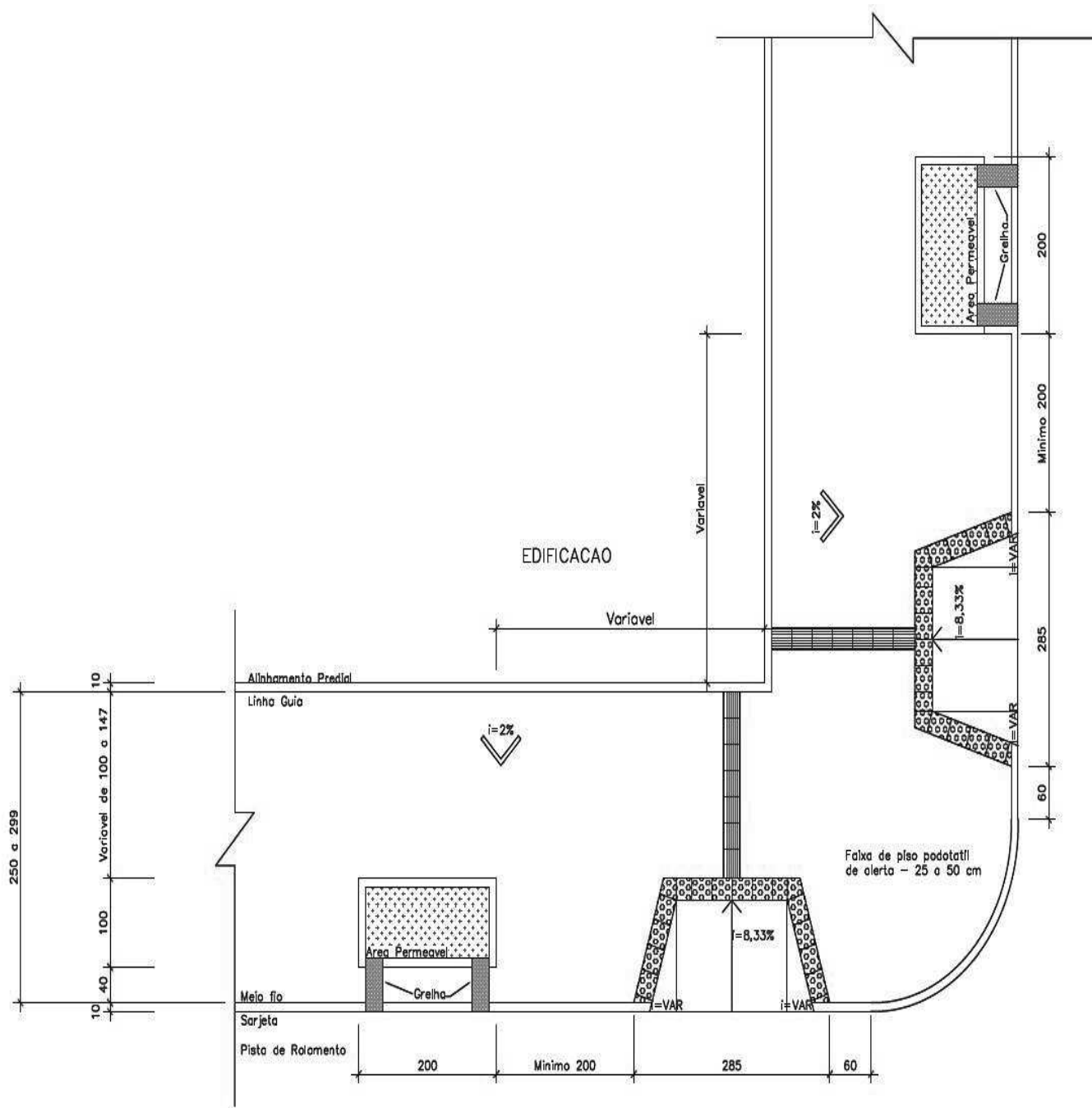


Figura 33 – Cotas para adequação de calçadas de esquina com comprimento de 2,50 a 2,99 metros.

Fonte: Autor (2017).

Nota-se a presença de grelhas na parte inferior da Figura 33, para a entrada e saída de água, pois não é apropriado que entre mais água do que o jardim de chuva consiga absorver, desse modo, há a existência desse canal para que consiga realizar essa manobra, devolvendo a água da chuva para o sistema de drenagem convencional no meio fio.

Uma ideia mais realista pode ser visualizada na Figura 34 abaixo, onde há a implementação em uma calçada residencial.



**Figura 34 – Simulação de implementação de um jardim de chuva em calçada de esquina de 2,50 a 2,99 metros.
Fonte: Autor (2017).**

Nota-se que não há nenhuma interferência do jardim de chuva no paisagismo do local, ajudando ainda no embelezamento do mesmo. Uma imagem mais aproximada do jardim na calçada pode ser visto na Figura 35.



**Figura 35 – Imagem aproximada do jardim de chuva.
Fonte: Autor (2017).**

A presença de flores e plantas da região mostram o paisagismo que pode ser trabalho no jardim. Ainda assim, é visível a presença das grelhas para a entrada de água.

4.3.2 Calçadas de esquina - DE 3,00m A 3,49m – Uso residencial

Para as calçadas de esquina com dimensões de 3,00 a 3,49m, uso residencial, temos as seguintes instruções, que podem ser vistas na Figura 36:

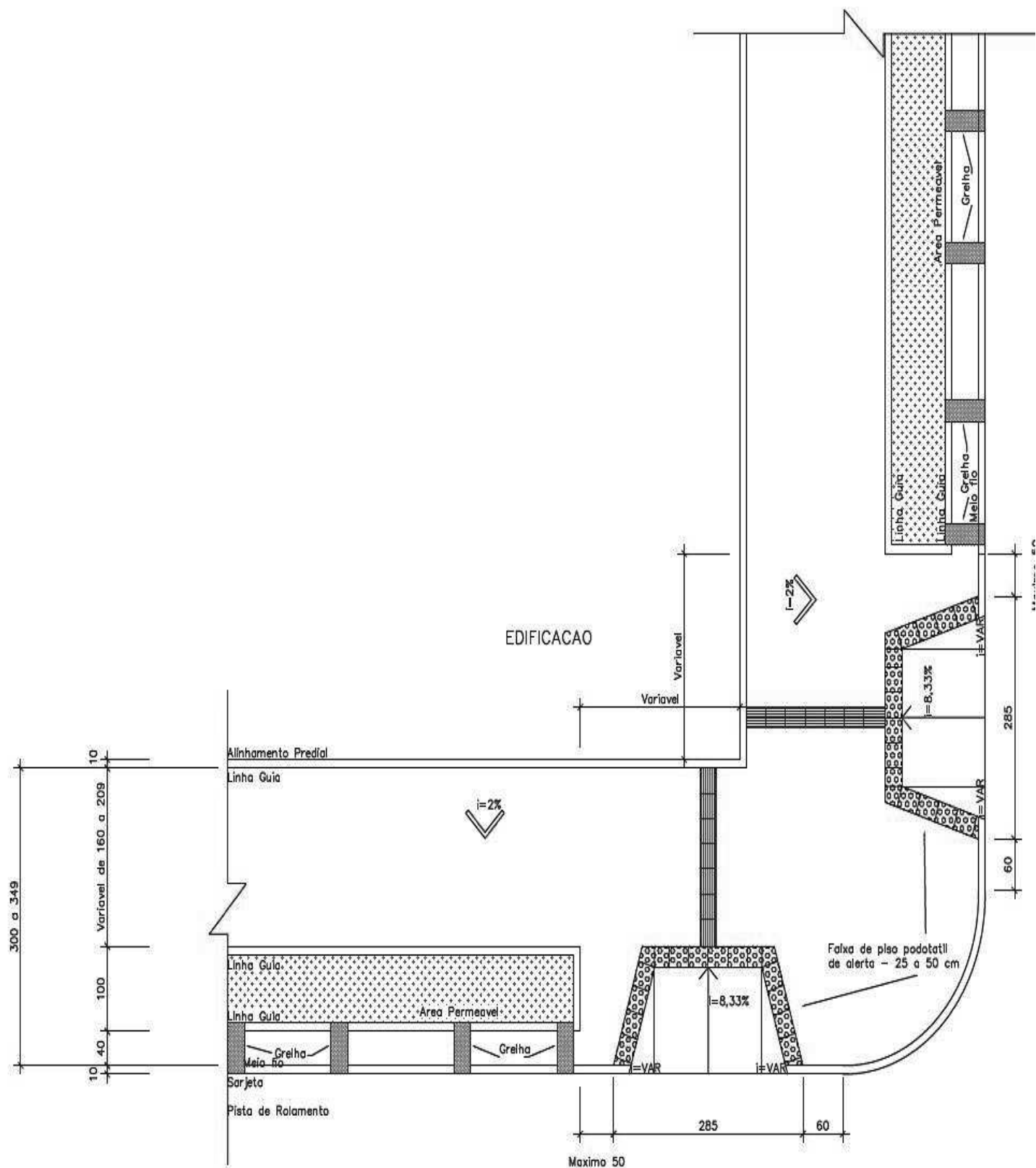


Figura 36 - Cotas para adequação de calçadas de esquina com comprimento de 3,00 a 3,49 metros, para uso residencial.

Fonte: Autor (2017).

A presença das grelhas poderá ser vista em todas as tipologias, pois só desse modo há a possibilidade de entrada de água no jardim de chuva, para o auxílio na drenagem urbana. Para este modelo, pode-se notar que há um prolongamento do canteiro de área permeável podendo se estender por toda a calçada, desde que obedeça ao limite máximo de distanciamento do canteiro até a rampa de acesso para cadeirantes, de 50 cm, como pode ser visto na Figura 36.

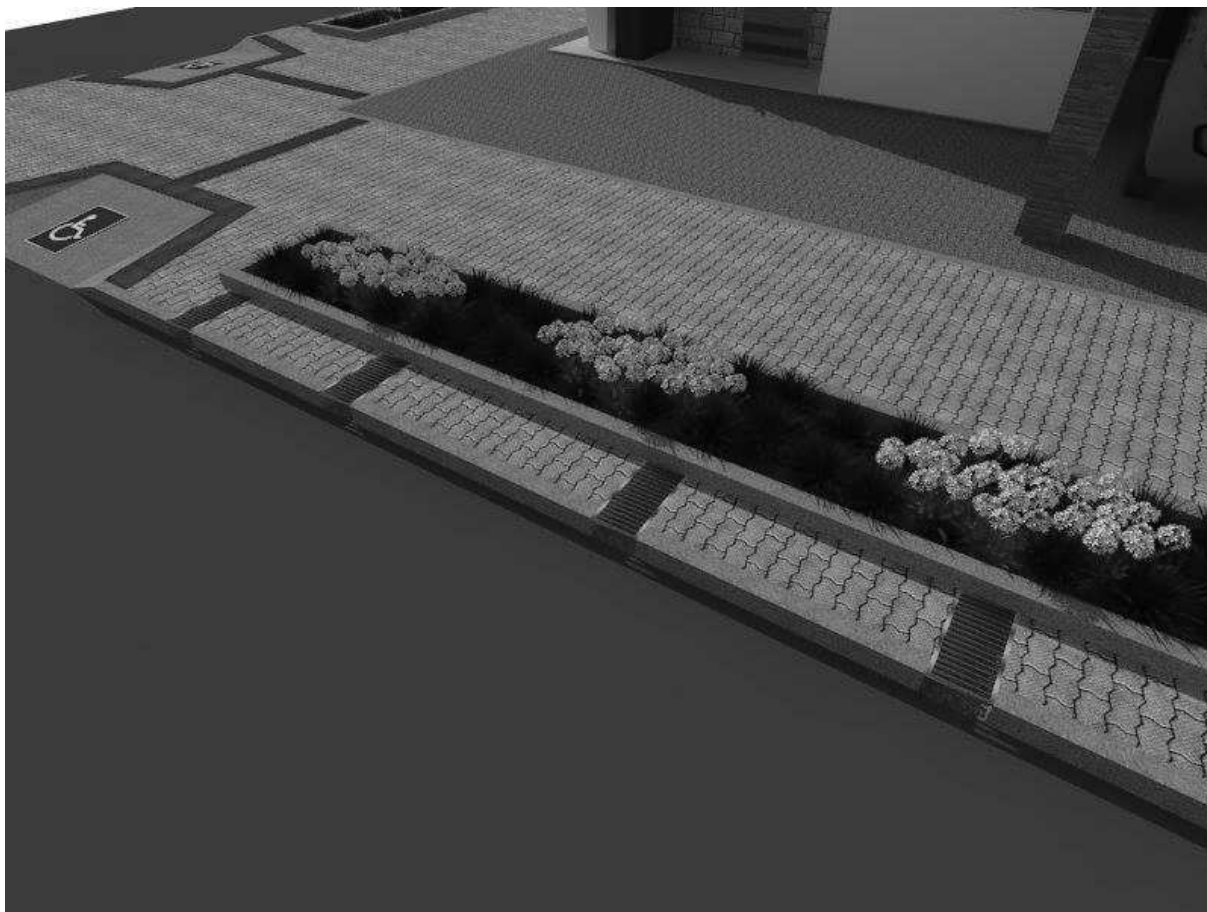
A representação real da implementação pode ser acompanhada na Figura 37:



Figura 37 - Simulação de implementação de um jardim de chuva em calçada de esquina de 3,00 a 3,49 metros, de uso residencial.

Fonte: Autor (2017).

Uma imagem mais aproximada apenas do jardim de chuva, com a presença da grelha para a entrada e saída de água pode ser vista na Figura 38:



**Figura 38 – Imagem aproximada do jardim de chuva implementado.
Fonte: Autor (2017).**

Essa extensão de calçada mostra a ampliação do jardim de chuva, ou área permeável, fato antes que era apenas preenchido com grama, agora se torna um filtro natural, ajudando nos parâmetros de drenagem urbana e ainda na estética local.

4.3.3 Calçadas de esquina - DE 3,00m A 3,49m – Uso comercial

Para as calçadas de esquina com dimensões de 3,00 a 3,49m, uso comercial, temos as seguintes instruções, que podem ser vistas na Figura 39:

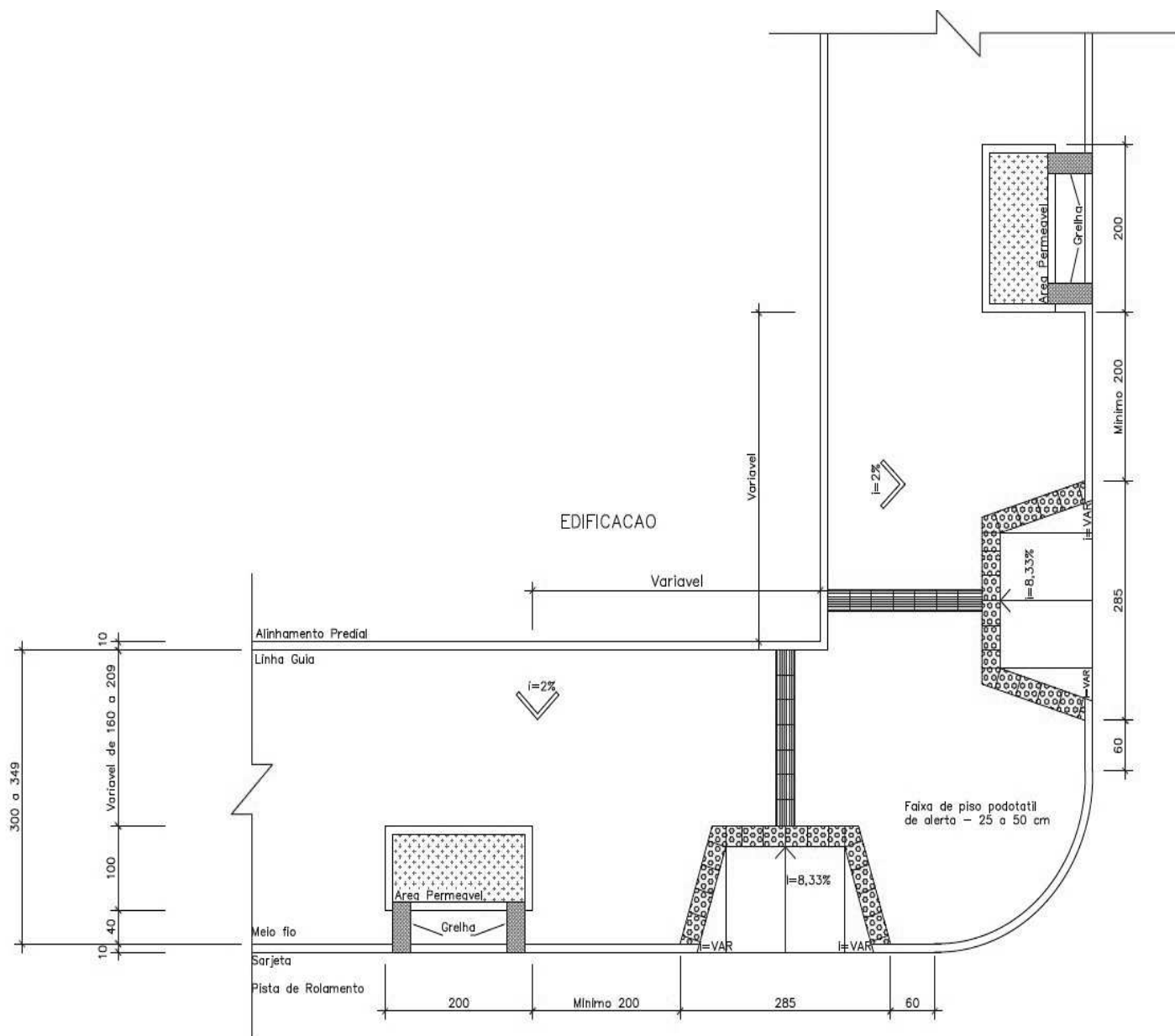


Figura 39 - Cotas para adequação de calçadas de esquina com comprimento de 3,00 a 3,49 metros, para uso comercial.

Fonte: Autor (2017).

A única diferença entre as calçadas residenciais e comerciais é a diminuição do canteiro de área permeável, limitando a dois metros, e a distância entre o canteiro e a rampa de acesso para cadeirantes deve ser de no mínimo dois metros, como pode ser visto na Figura 39 acima.

Uma simulação de como ficaria o resultado final, para essa tipologia, pode ser visto na Figura 40:

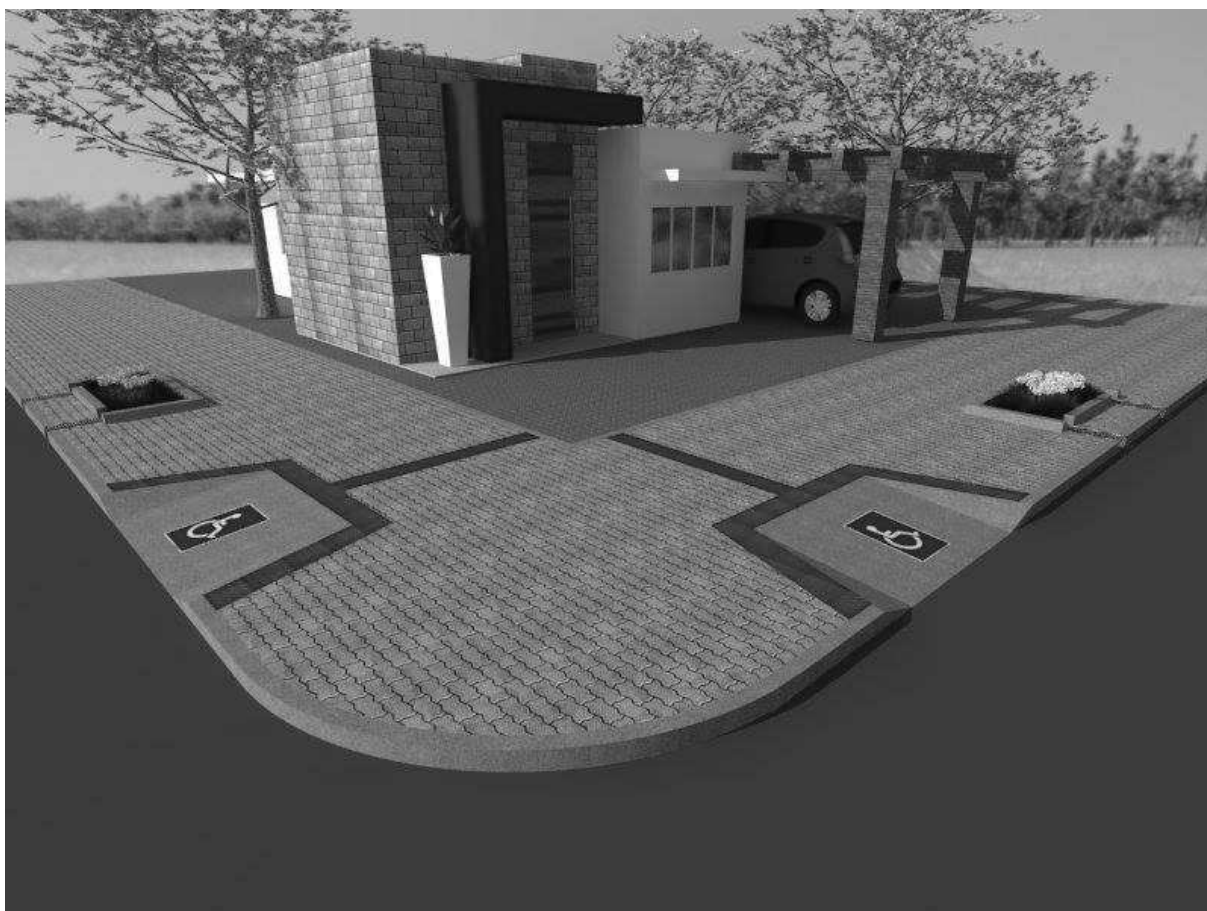
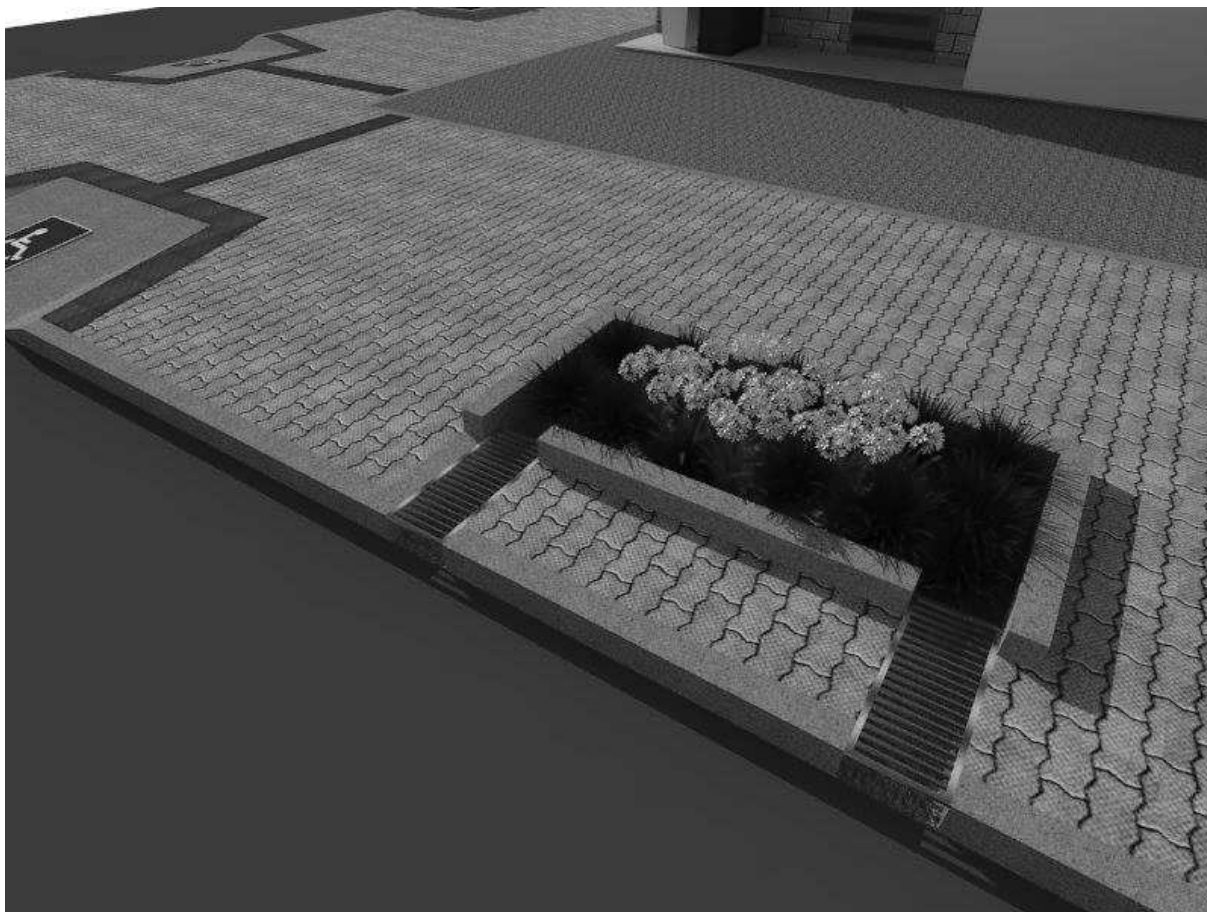


Figura 40 - Simulação de implementação de um jardim de chuva em calçada de esquina de 3,00 a 3,49 metros, de uso comercial.
Fonte: Autor (2017).

A imagem aproximada do jardim de chuva pode ser acompanhada na Figura 41:



**Figura 41 – Imagem com zoom da implementação do jardim de chuva
Fonte: Autor (2017).**

Aqui voltamos a obter as mesmas dimensões da primeira tipologia, onde há uma restrição na dimensão do jardim, à 2,00 m².

4.3.4 Calçadas de esquina - DE 3,50m A 3,99m – Uso residencial

Para as calçadas de esquina com dimensões de 3,50 a 3,99m, uso residencial, temos as seguintes instruções, que podem ser vistas na Figura 42:

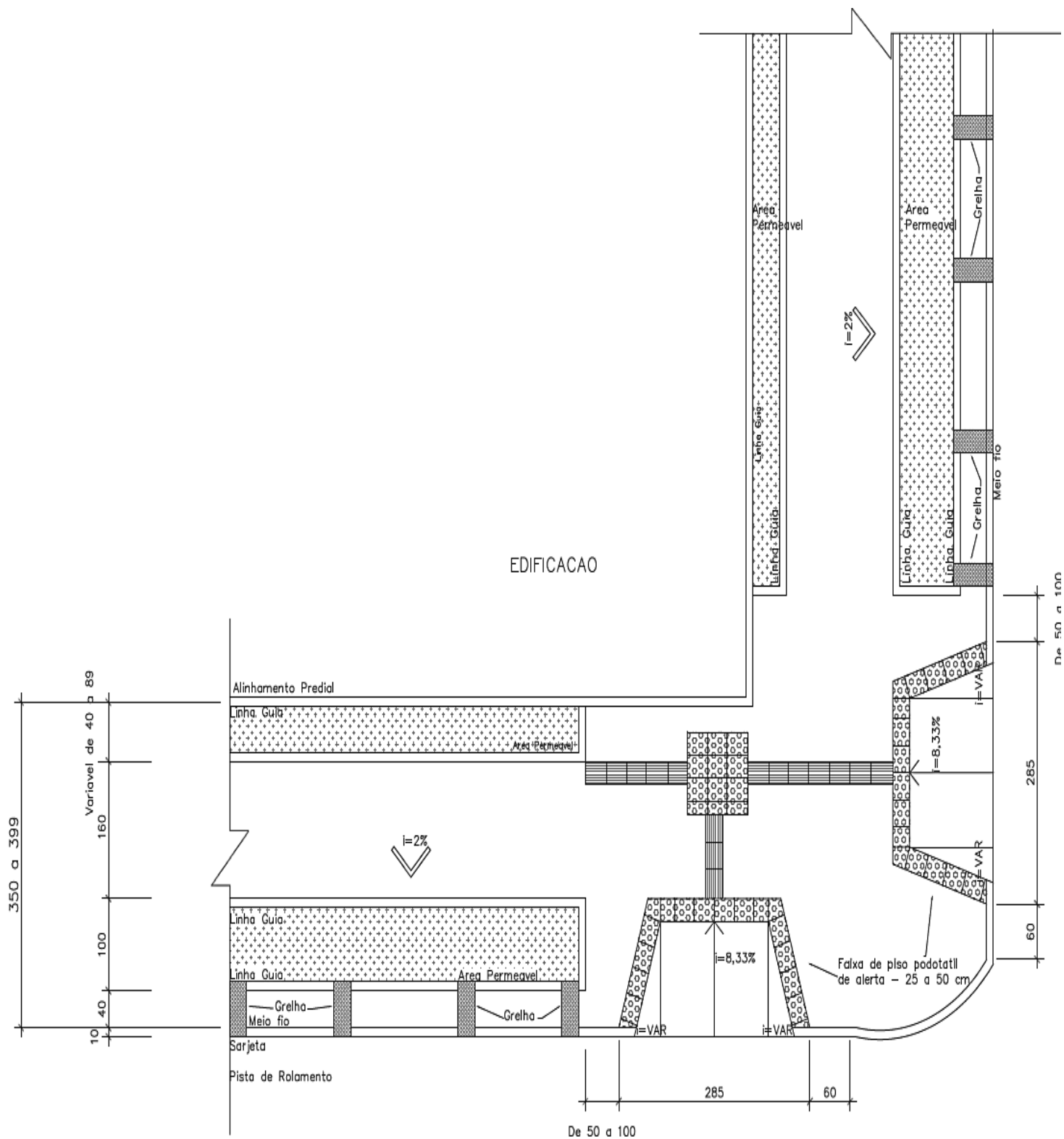


Figura 42 - Cotas para adequação de calçadas de esquina com comprimento de 3,50 a 3,99 metros, para uso residencial.

Fonte: Autor (2017).

Desta vez, nota-se a presença de dois canteiros, não possuindo delimitação de comprimento, apenas com uma largura de 100 centímetros, de área permeável, sendo que apenas o primeiro possui a ligação da grelha com o meio fio, caracterizando-o como jardim de chuva. A área permeável superior não possui uma conexão com a área inferior, pois ficaria de extrema dificuldade fazer com que a água fluísse entre os dois canteiros, sem interferir uma a outra no fluxo da água. Pode ser visto também uma nova limitação entre o canteiro e a rampa para cadeirantes, de 50 a 100 centímetros e uma nova configuração para os *pavers* para deficientes visuais, onde há uma criação de uma “ilha central”, não vista anteriormente.

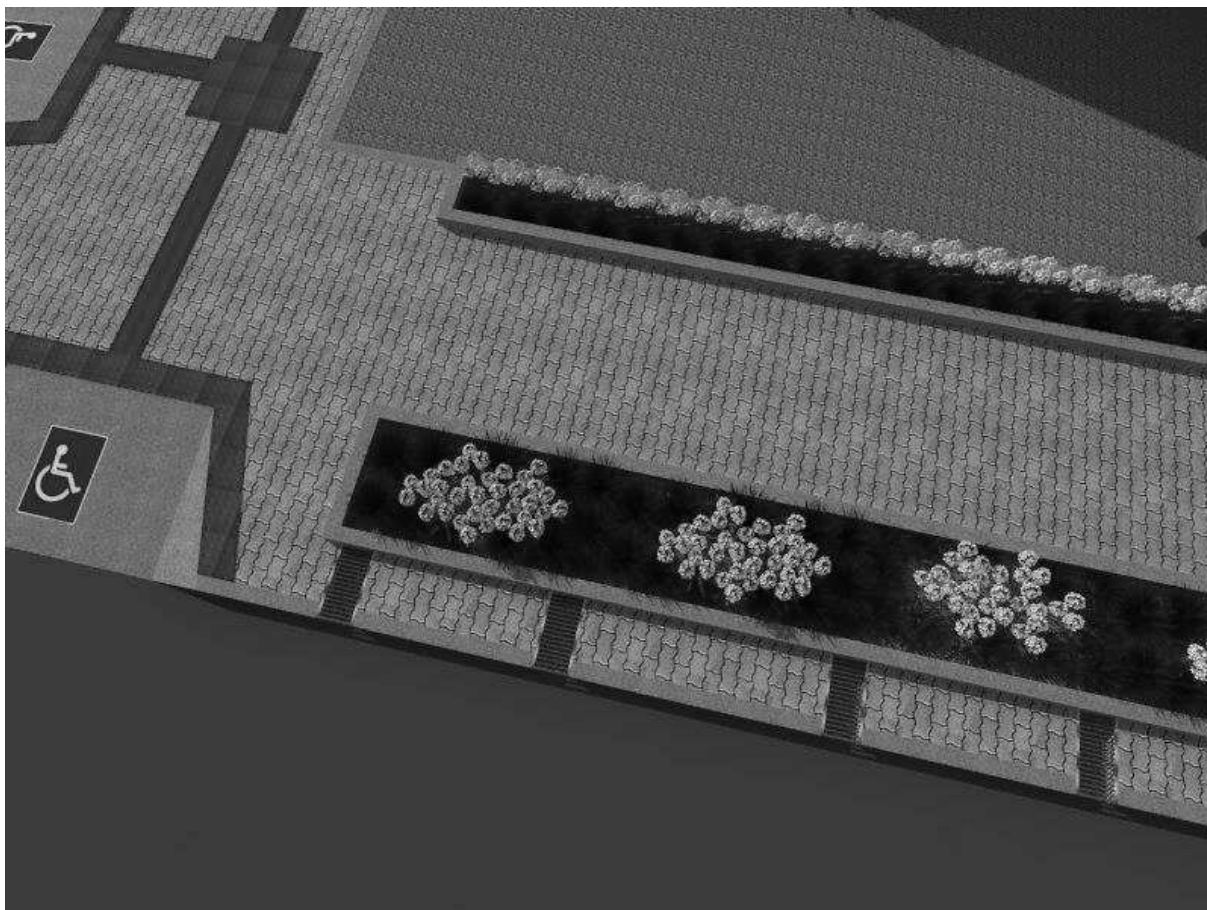
Agora os canteiros começam a tomar diferentes formatos, podendo se estender por todo o prolongamento da via, como pode ser visto Figura 43:



Figura 43 - Simulação de implementação de um jardim de chuva em calçada de esquina de 3,50 a 3,99 metros, de uso residencial.

Fonte: Autor (2017).

Uma imagem superior do jardim de chuva nessa tipologia pode ser visto na Figura 44:



**Figura 44 – Imagem ampliada do jardim de chuva.
Fonte: Autor (2017).**

Há agora, uma grande diferenciação, não vista até então, onde há uma duplicidade no jardim, não com as mesmas dimensões, porém há tanto na parte inferior quanto na parte superior. Deste modo, há a presença das grelhas na parte inferior da via, para a entrada e saída de água.

4.3.5 Calçadas de esquina - DE 3,50m A 3,99m – Uso comercial

Para as calçadas de esquina com dimensões de 3,50 a 3,99m, uso comercial, temos as seguintes instruções, que podem ser vistas na Figura 45:

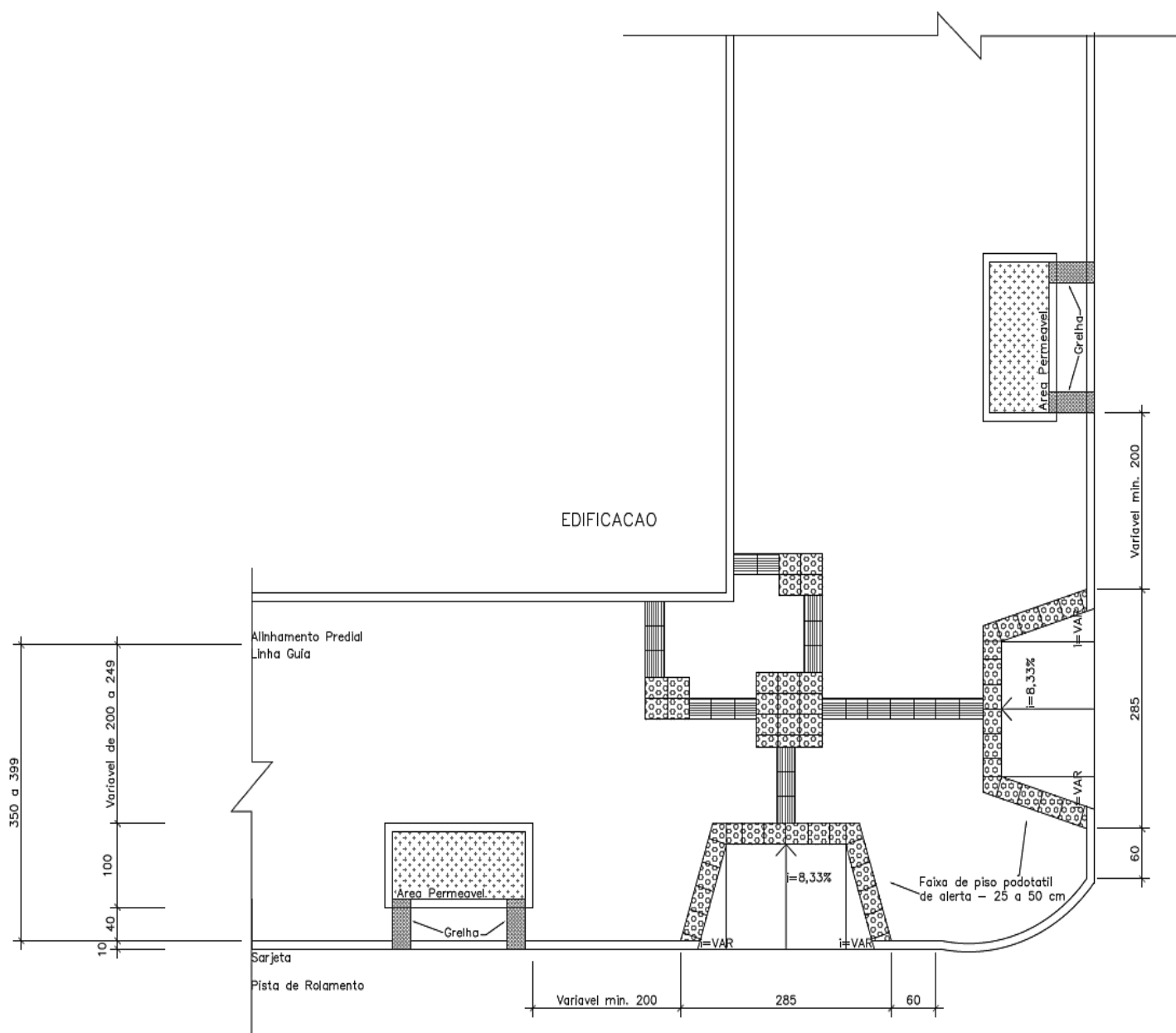


Figura 45 - Cotas para adequação de calçadas de esquina com comprimento de 3,50 a 3,99 metros, para uso comercial.

Fonte: Autor (2017).

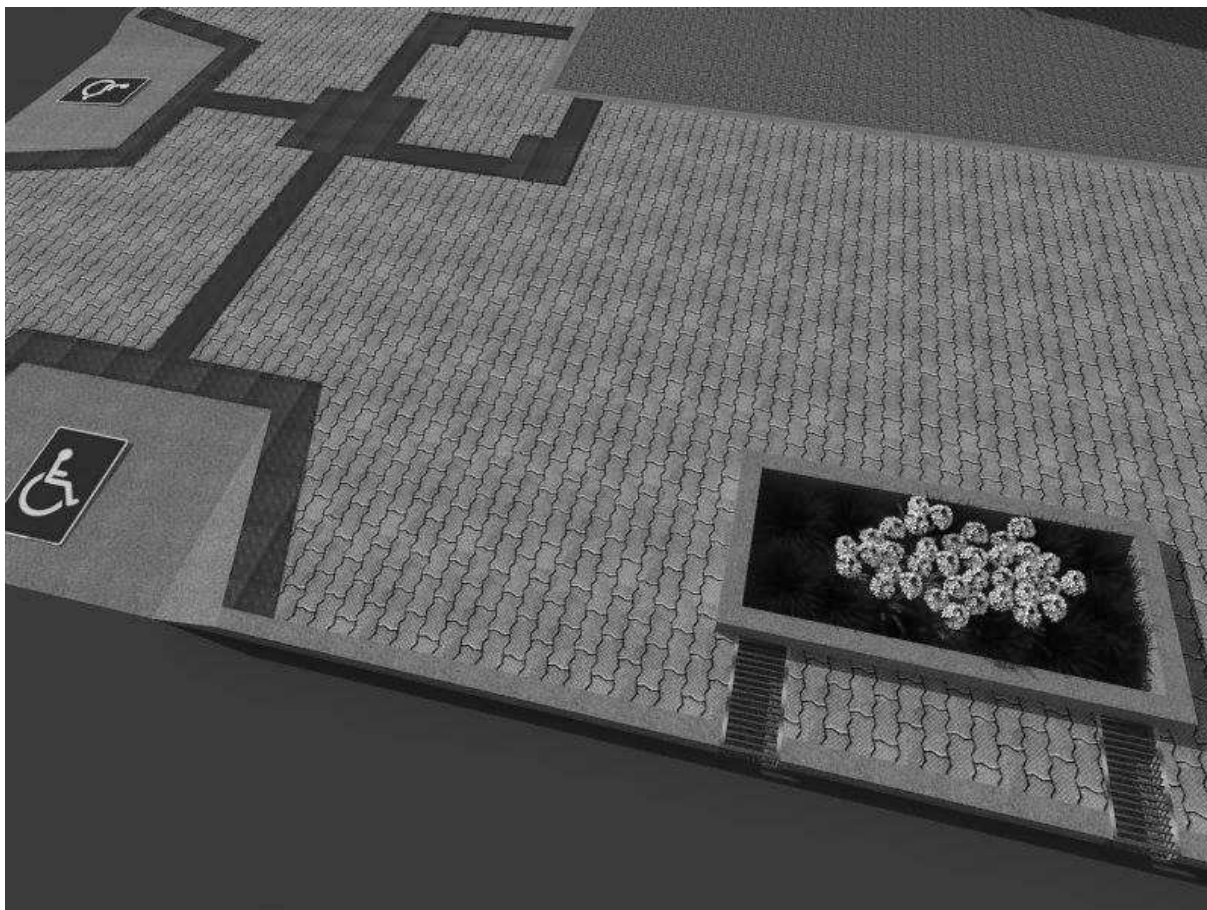
Para esta última tipologia comercial, pode-se averiguar novamente a delimitação do jardim de chuva, de 1 metro de largura por 2 metros de comprimento, assim como, uma delimitação mínima de 2 metros entre a área permeável e a rampa de acesso para cadeirantes.

Uma tentativa de simulação, para se aproximar da realidade, pode ser vista na Figura 46:



**Figura 46 - Simulação de implementação de um jardim de chuva em calçada de esquina de 3,50 a 3,99 metros, de uso comercial.
Fonte: Autor (2017).**

Uma imagem mais aproximada apenas do jardim, pode ser vista na Figura 47.



**Figura 47 – Implementação do jardim de chuva na calçada de esquina.
Fonte: Autor (2017).**

A presença dos *pavers* para os deficientes visuais, toma uma configuração de “ilha central”, havendo a possibilidade de mais de uma direção em que o mesmo possa seguir. Em relação ao jardim de chuva, o mesmo volta a possuir as dimensões retangulares de 1,00 x 2,00 metros.

4.3.6 Calçadas de esquina - DE 4,00m ou maiores QUE 4,00m – Uso residencial

Para as calçadas de esquina com dimensões de 4,00 ou maiores que 4,00m, uso residencial, temos as seguintes instruções, que podem ser vistas na Figura 48:

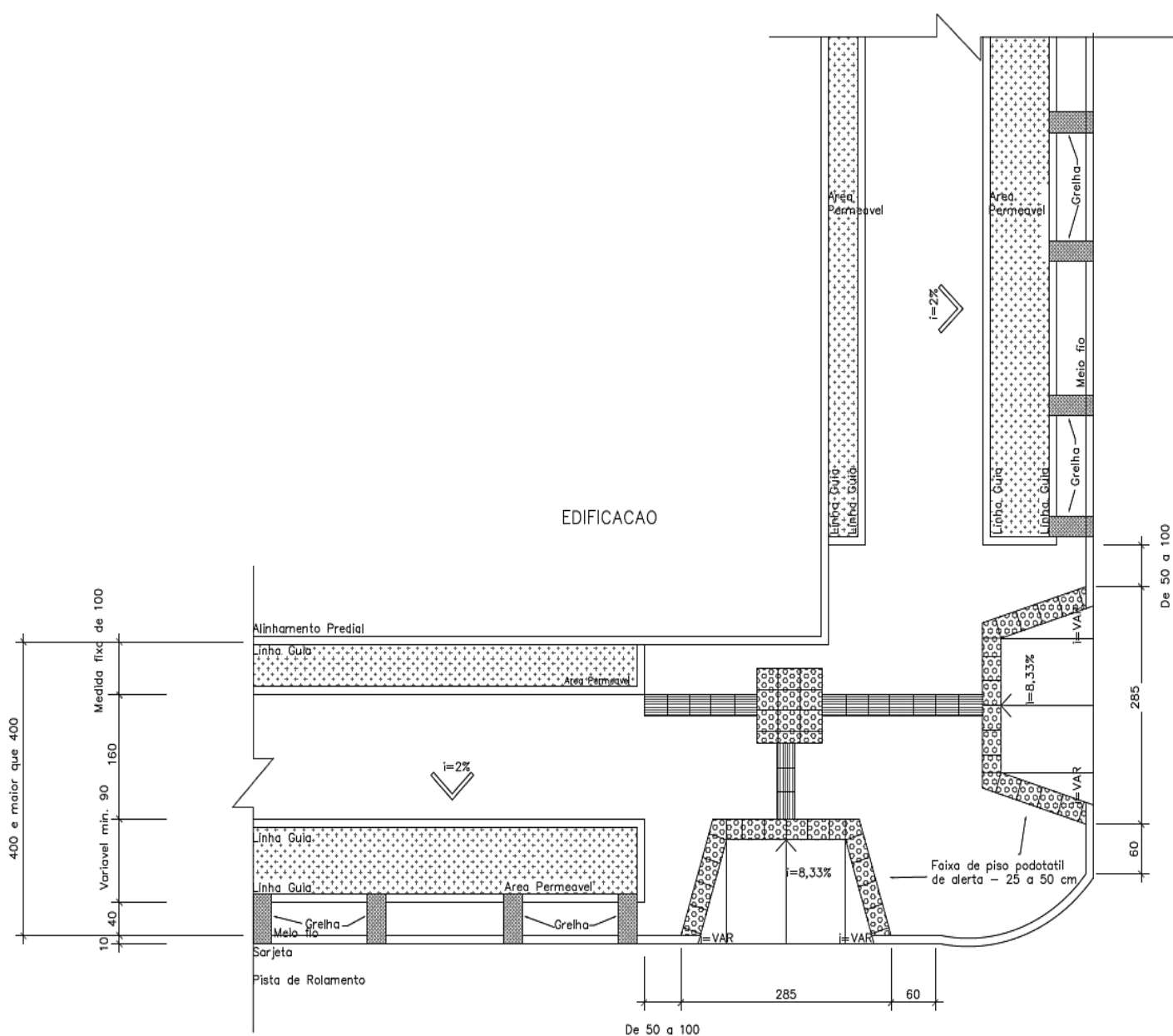


Figura 48 - Cotas para adequação de calçadas de esquina com comprimento de 4,00 ou maiores que 4,00 metros, para uso residencial.

Fonte: Autor (2017).

Não há uma grande diferença entre as calçadas de 3,50 a 3,99m e as de 4,00 ou maiores que 4,00 metros. A única diferença é a largura da via, as especificações e regras são as mesmas, como podem ser vistas nas Figura 45 e Figura 48, respectivamente.

A simulação de uma calçada pode ser vista na Figura 49:



Figura 49 - Simulação de implementação de um jardim de chuva em calçada de esquina de 4,00 metros ou maiores que 4,00 metros, de uso residencial.

Fonte: Autor (2017).

Uma ideia de como ficariam implantadas as grelhas e o jardim na via pode ser acompanhado na Figura 50:

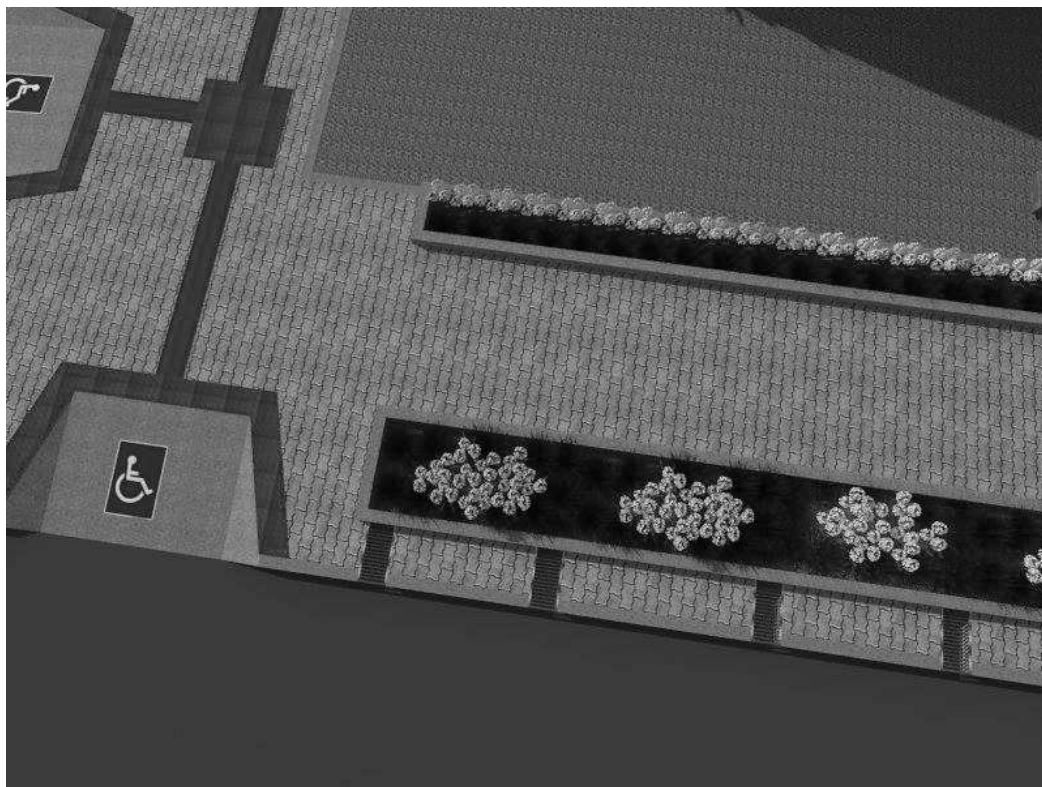


Figura 50 – Imagem aproximada da instalação do jardim de chuva na calçada.
Fonte: Autor (2017).

E por fim, para a ultima tipologia, a mais extensa de todas, volta-se a obter o modelo de 2 jardins, ressaltando a existência da área de biorretenção apenas na parte inferior da via. Isso se deve ao caso, de que, havendo a ligação entre os 2 jardins, não se obteria certeza de que 1 jardim não prejudicasse o fluxo da água do outro. Obtendo a configuração exposta na Figura 50.

4.3.7 Cortes e vista do substrato do jardim de chuva

Para que haja a absorção da água e a mesma ajude na drenagem urbana, o jardim de chuva deve ser montado conforme uma peneira natural, ou seja, o solo é

preparado para que o mesmo consiga absorver mais quantidade e mais rapidamente do que *in natura*. Desse modo, deve-se colocar areia, material granular, tal como, britas de diferentes granulometrias, fazendo com que a água consiga “caminhar” facilmente, proporcionando uma otimização da drenagem. Uma imagem lateral do jardim de chuva pode ser vista na Figura 51:

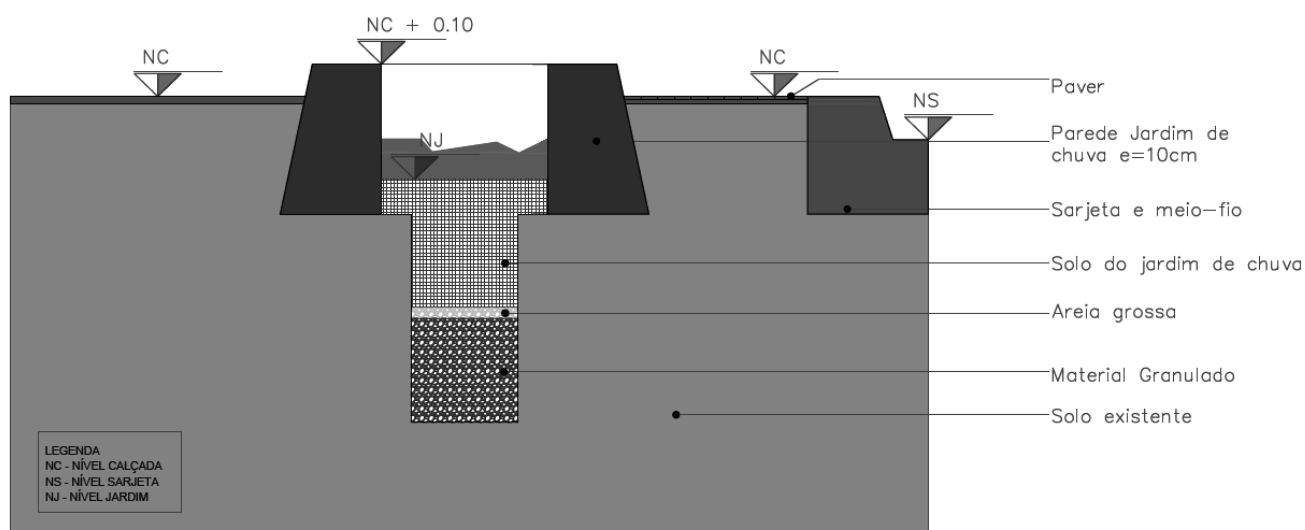


Figura 51 – Vista lateral do jardim de chuva, com as especificações das tipologias de camadas que o constituem.

Fonte: Autor (2017).

A presença da grelha, serve para que a água que está escoando na sarjeta tenha um caminho de entrada no jardim e o mesmo consiga fluir para dentro, para posterior absorção no mesmo, e também a água consiga sair quando o jardim estiver com uma demanda muito grande. Sendo assim, na imagem frontal, ainda pode ser visto as diferentes camadas que devem ser montadas para a construção do jardim. Uma melhor demonstração pode ser vista na Figura 52:

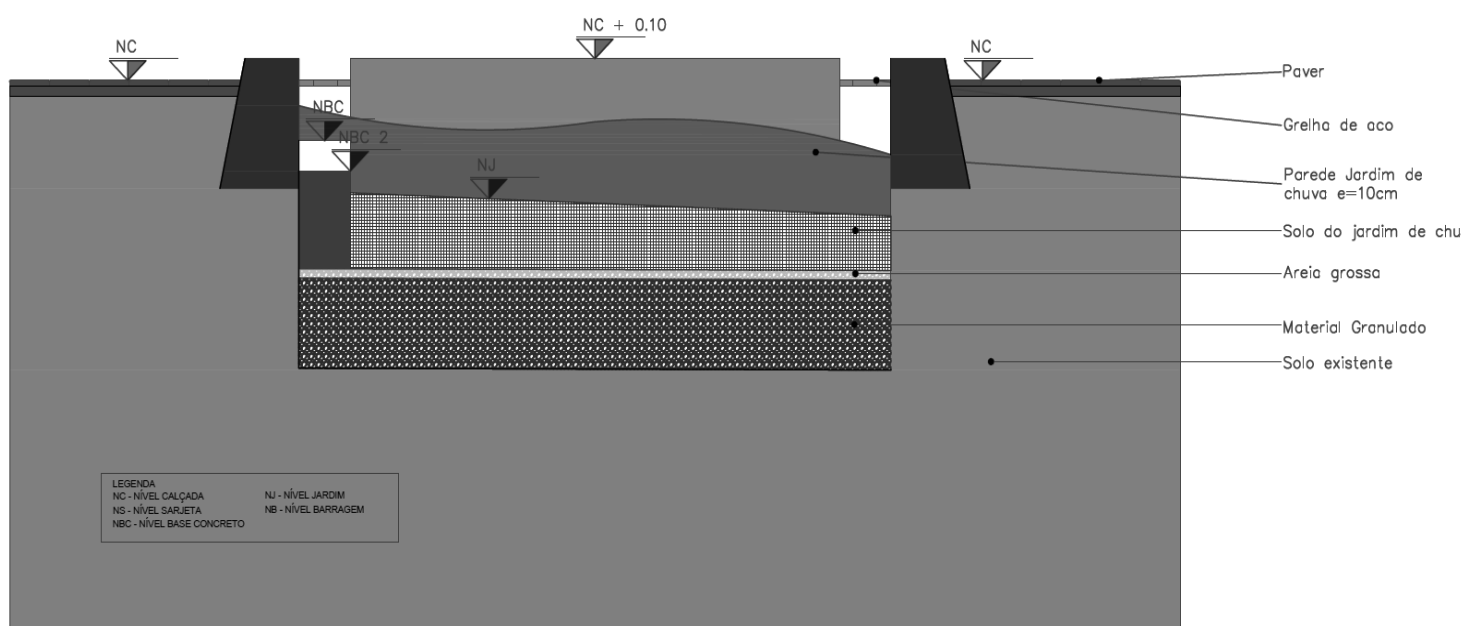


Figura 52 - Vista frontal do jardim de chuva, com as especificações das tipologias de camadas que o constituem.
Fonte: Autor (2017).

Após apresentação das propostas projetuais e seus respectivos cortes, mostrando como seria a construção sob o solo, apresentar-se-á as considerações finais, apresentando o que foi concluído com essa pesquisa, e uma sugestão para trabalhos futuros, para complementação da pesquisa realizada.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A propagação de novas técnicas para auxiliar na compensação do sistema de saneamento ambiental como, o telhado verde, trincheiras de infiltração e jardim de chuva, provaram sua eficácia na diminuição das injúrias provocadas pelo aumento do escoamento superficial em consequência do desdobramento populacional vertiginoso.

O Jardim de chuva, método muito difundido em países desenvolvidos, é uma manobra compensatória que auxilia no manejo das águas pluviais urbanas. Através de seu desempenho, comprovou-se que deve ser utilizado quando necessário e não apenas em cidades modelo. Além de ajudar no embelezamento do local, como qualquer outro jardim, este ainda presta assessoria ao sistema de drenagem urbana, infiltrando a água por sua estrutura e redistribuindo ao lençol freático, preservando o ciclo hidrológico da água. Outro fator relevante e benéfico se dá pela pluralidade da vegetação, ou seja, os variados tipos de raízes auxiliam na purificação da água proveniente das chuvas. Foi-se desenvolvido materiais que auxiliam no aumento da permeabilidade da via, para que haja uma diminuição do escoamento superficial proveniente do advento da urbanização, tais como o *paver* e o megadreno, ambos já difundidos em grandes centros.

Desta forma, o objetivo desta pesquisa apontou 3 critérios para a formação de uma opinião á respeito de qual tipologia se faz mais propicia a se utilizar atualmente. Como primeiro tópico, houve a comparação através da infiltração propriamente dita das estruturas, aconteceu a instalação das canaletas de água sob a estrutura, e após 20 minutos houve a contagem de litros que cada estrutura absorveu. Sendo assim, o megadreno teve melhores resultados, seguido do jardim de chuva e *paver*. Para a segunda análise, deixou-se que a estrutura escoasse toda a água contida em seu interior, até que houvesse uma vazão considerada insignificante, adotada pelo autor, coletando também a quantidade de líquido e o tempo em que cada uma realizou esse acontecimento. Resultando assim, na mesma colocação que o primeiro critério, primeiramente o megadreno, em seguida o jardim de chuva e o por fim o *paver*. Por fim, realizou-se um orçamento para a implantação das 3 tipologias em uma via. Sendo assim, utilizou-se dados obtidos na TCPO –

Tabela de Composições de Preços para Orçamento, realizando o levantamento quantitativo dos serviços que seriam necessários para implementação de cada tipologia. Para o levantamento financeiro foram consultados dados nos comércios da região. Assim, gerou-se o custo final de cada tipologia, obtendo-se o paver em primeiro lugar, como menos custoso, seguido do megadreno e por último o jardim de chuva.

A pesquisa ainda aliou a criação de propostas de adequação para os modelos de calçada da cidade de Cascavel – Paraná, onde através de projetos elaborados pela prefeitura da cidade, houve a introdução do jardim de chuva nas vias públicas.

Como pôde ser observado o megadreno possuiu a maior infiltração, seguido do jardim de chuva e por último o *paver*. A mesma ordem se mantém, quando nos referimos ao tempo que a estrutura demora para retirar toda a água da mesma, o tempo de “repouso”. Apesar de seu menor custo, o *paver*, de certa forma, não possui características satisfatórias para a infiltração da água em sua estrutura, fato que pode ser explicado, devido ao processo de selagem, obtendo assim uma característica maior de escoamento do que infiltração, acarretando ao que já vem acontecendo atualmente, o aumento do escoamento superficial. Embora obter um caráter drenante, o mesmo pode ser considerado baixo, visto a comparação realizada entre as outras técnicas, jardim de chuva e piso drenante. A presença mais constante dos *pavers*, do que as outras tipologias atualmente, pode ser explicada devido ao fator financeiro, terceiro tópico analisado na pesquisa, fator esse, que muitas vezes é utilizado como único e decisivo ponto em tomadas de decisões. O megadreno possui um pouco a mais que 50% do valor do *paver*, já o jardim de chuva, com a proposta de Aravena & Dussailant (2009), possuiu um preço elevado quando comparado com as outras duas tipologias, fator que pode ser explicado devido á grande movimentação de serviços para a implementação inicial da área de biorretenção, visto que a primeira fase, a inicial, ser mais custosa que a segunda fase, que é o jardim propriamente dito.

As propostas projetuais mostram que as áreas de biorretenção podem ser instaladas com grande facilidade nas vias, além de manter muitos traços dos projetos originais, mantendo o embelezamento do local e ainda trazendo as variadas vantagens, como auxílio na absorção da água da chuva, evitando a extrapolação do sistema de drenagem existente. Com a presença de drenos sob a estrutura, a água

pode ser coletada e direcionada a centros de reutilização, visto que, com a presença das raízes, estas podem absorver os possíveis poluentes que ali se encontram.

Neste sentido, a pesquisa colaborou para destacar as diversas técnicas que podem ser utilizadas para contribuir nas dificuldades encontradas nos sistemas de infraestrutura nos dias de hoje, mais especificamente o jardim de chuva, ou área de biorretenção, apresentando suas vantagens e critérios para implementação em vias públicas. A pesquisa contribuiu ainda, para vislumbrar a inclusão desta técnica verde nas vias cascavelenses e, visando a elaboração de trabalhos futuros sugere-se investigar a tentativa de uso de diferentes vazões para as diferentes tipologias, analisando como as estruturas irão se comportar. Esta ação irá complementar o estudo aqui iniciado e poderá reforçar as conclusões a que se chegaram.

REFERÊNCIAS

ABIKO A., MORAES O. B. **Desenvolvimento Urbano Sustentável**. Escola Politécnica da USP / Departamento de Engenharia de Construção Civil. São Paulo, 2009. 29p.

ABIKO, Alex Kenya; ALMEIDA, Marco Antônio Plácido de; BARREIROS, Mário Antônio Ferreira. **Urbanismo: história e desenvolvimento**. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Construção Civil. 1995.

ACSELRAD, Henri. **Discursos da sustentabilidade urbana**. Campinas. Revista Brasileira de Estudos Urbanos e Regionais, Campinas, v. 1, n. 1, p. 79-90, maio/nov. 1999.

AHERN, J. **Green Infrastructure for cities: The spatial dimension**. University of Massachusetts, USA 2007, 17 p.

ALLEY, W. M.; HEALY, R. W.; LABAUGH, J. W. Y.; REILLY, T. E. **“Flow and storage in groundwater systems.”** Science, 2965575, 2002. 1985–1990.

ARAVENA, J. E.; DUSSAILLANT, A. **Storm-Water Infiltration and Focused Recharge Modeling With Finite-Volume Two-Dimensional Richards Equation: application to an experimental rain garden**. Journal of Hydraulic Engineering, v. 135, n. 12, p. 1073-1080. 2009.

ANDRADE, Henrique. **O clima urbano – natureza, escalas de análise e aplicabilidade**. Lisboa: Finisterra – Revista portuguesa de geografia, XL, 80, p. 67-91, 2005.

ARNOLD, Chester L.; GIBBONS, C. James. **Impervious Surface Coverage: The Emergence of a Key Environmental Indicator**. Journal of the American Planning Association. Chicago, p. 243-258, 26 nov. 2007.

BAPTISTA M.; NASCIMENTO N.; CASTRO L. M. A.; FERNANDES W. **Multicriteria evaluation for urban storm drainage**. In: First SWITCH Scientific Meeting University of Birmingham, UK. Reino Unido, 2007.

BARBOSA, Gisele Silva. **O desafio do desenvolvimento sustentável**. Revista Visões, v. 1, n. 4, p. 1-11, jan/jun. 2008.

BENINI, Rubens de; MENDIONDO, Eduardo Mario. **Urbanização e Impactos no Ciclo Hidrológico na Bacia do Mineirinho**. Floresta e Ambiente. São Paulo, P. 211-222, 2015.

BENEDICT, M. A., McMAHON, E. T. **Green Infrastructure: Linking landscapes and communities**. Island Press. Washington, DC, 2006.

BRASIL. Programa 1138 – **Drenagem Urbana e Controle de Erosão Marítima e Fluvial: Manual para apresentação de proposta**. Secretaria de Infraestrutura Hídrica: Ministério da Integração Nacional, 2009.

CARAMORI, V. B. S. **Estudo experimental de trincheiras de infiltração no controle e geração do escoamento superficial**. 2002. 117 f. Dissertação (Pós-graduação em engenharia de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2002.

CARVALHO, Marcos D. **Associação Brasileira de Cimento Portland – Estudo Técnico – Pavimentação com peças pré-moldadas de concreto**. São Paulo, junho de 1998.

CHIESURA, Anna. **The role of Urban parks for the sustainable city**. Landscape and Urban Planning Magazine. n. 1, v. 68, p. 129-138. mai. 2004.

CORMIER, Nathaniel S.; PELLEGRINO, Paulo Renato Mesquita. **Infra-Estrutura Verde: Uma estratégia paisagística para a água urbana**. Paisagem Ambiente: ensaios. n.25. São Paulo, p. 127-142. 2008.

COLET, Karina Marcondes. **Avaliação do impacto da urbanização sobre o escoamento superficial na Bacia do Córrego do Barbado, Cuiabá-MT**. 2012. 124 f. Dissertação (Mestrado em Edificações e Engenharia Ambiental) – Programa de Pós-graduação, Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, 2012.

CRUZ, Marcus A S.; SOUZA, Christopher Freire e TUCCI, Carlos E. M. **Controle da drenagem urbana no Brasil: avanços e mecanismos para sua sustentabilidade**. In: Anais XVII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. São Paulo/SP. CD-ROM. 2007.

DAVIS, Allen P. Et al. **Bioretention Technology: Overview of Current Practice and Future Needs**. 2009.

ECHAVARRIA, Marta. Et al. **Infraestrutura verde no setor de água potável na América Latina e Caribe: Tendências, Desafios e Oportunidades**. f. 40. 2015.

FIREHOCK, Karen. **A short history of the term green infrastructure and selected literature**. 2010. Disponível em: <<http://www.gicin.org/pdfs/GI%20history.pdf>> Acessado em: 10 de Outubro de 2016 às 14:20.

FERREIRA, José Carlos; MACHADO, Joao Reis. **Infra-estruturas verdes para um futuro urbano sustentável. o contributo da estrutura ecológica e dos corredores verdes**. Revista Lab Verde. n.1, out., p. 69-90. 2010.

FRANCO, Maria de Assunção Ribeiro. **Infraestrutura Verde em São Paulo: o caso do Corredor Verde Ibirapuera-Villa Lobos**. Revista Lab Verde. n.1, out., p. 135-154. 2010.

GALBIATI, Adriana Farina. **Tratamento domiciliar de águas negras através de tanque de evapotranspiração**. 2009. 52 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologias Ambientais) – Programa de Pós-graduação, Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Campo Grande, 2009.

GARÉ, José C. **Contribuições da construção civil brasileira para o desenvolvimento sustentável**. 2011. 167 f. Dissertação (Mestrado em Administração) – Programa de Pós-graduação, Universidade Municipal de São Caetano do Sul, São Caetano do Sul, 2011.

GIL, Antonio Carlos. **Como elaborar projeto de pesquisa**. 5 ed. São Paulo: Atlas, 2010.

GOLD COAST CITY COUNCIL. **Gold Coast Planning Scheme 2005**. Gold Coast, Queensland. 2005.

HERZOG, C. P.; ROSA, L. Z. **Infraestrutura verde: sustentabilidade e resiliência para a paisagem urbana**. Artigo n. 5, f. 91-115. Revista LABVERDE, n. 1, Sao Paulo, p. 91-115. 2010.

HINMAN, C. **Low Impact Development Technical Guidance Manual For Puget Sound**. Puget Sound Action Team. Olympia, Washington. 247 f. 2005.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. (2010). **Censo Demográfico 1980, 1991, 2000 e 2010, e Contagem da População 1996**. Disponível em <www.ibge.com.br>. Acesso em: 17.09.2016 às 14:22.

JOHN, V.M; AGOPYAN, V. **Reciclagem de resíduo da construção**. São Paulo, 2000.13p.

JONES, Alejandro Dussailant; Wu, Chin; POTTER, Kenneth W. **Richards Equation Model of a Rain Garden**. Journal of Hydrologic Engineering. n.6, v.21, p. 219 – 225, mai.-jun. 2004.

JUNIOR, Jair Joao Daniel. **Avaliação de uma Biorretenção como estrutura sustentável de drenagem urbana**. 2013. 117 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2013.

KIMPARA, Eduardo Tomoharu Chaves. **Crescimento populacional: obstáculo ao desenvolvimento sustentável?** In: Encontro Nacional de Estudos Populacionais, 17, 2010, Caxambú. Anais... Minas Gerais: IFCH/UNICAMP,2010. p. 1-9.

KUSAKA, H; CHEN, Fei; TEWARI, Mukul; DUDHIA, Jimy; GILL , David O.; DUDA, Michael G.; WANG, Wei. **Numerical simulation of urban heat island effect by the WRF Model with 4-km grid increment: an inter-comparison study between the urban canopy model and slab model**. Journal of the Meteorologic Society of Japan. v. 90B, p. 33–45. 2012.

_____. Lei no. 11.445 de 5 de janeiro de 2007. **Estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico**; altera as Leis nos 6.766, de 19 de dezembro de 1979, 8.036, de 11 de maio de 1990, 8.666, de 21 de junho de 1993, 8.987, de 13 de fevereiro de 1995; revoga a Lei no 6.528, de 11 de maio de 1978; e dá outras providências.

LIMA, Anna Erika Ferreira; ROCHA, Nayara Maria Moura. **Dinâmica dos Parques Urbanos de Fortaleza-CE: Considerações sobre o Parque Branco**. Revista Brasileira de Gestão Urbana. v. 7, n. 1, p. 74-90, jan./abr. 2015.

MACHADO, M. H. F. **Urbanização e sustentabilidade ambiental: questões de território**. *Revista Brasileira de Estudos Urbanos e Regionais*. Recife, Norma Lacerda, n. 3, nov. de 2000, p. 81-95.

MARYLAND, Department of Natural Resources. **Bioretention: A guide for stormwater retention & water quality improvement. United States Protection Agency.** f. 25. 2012.

MELO, Tássia dos Anjos Tenório de. **Jardim de chuva: Sistema de biorretenção como técnica compensatória no manejo de águas pluviais urbanas.** 2011. 137 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2011.

MELO, Tássia dos Anjos Tenório de; COUTINHO, Artur Paiva; CABRAL, Jaime Joaquim da Silva Pereira; ANTONIMO, Antônio Celso Dantas; CIRILO, José Almir. **Jardim de chuva: sistema de biorretenção para o manejo das águas pluviais urbanas.** Revista Ambiente Construído. p. 147-165. 2014.

MENDES, J. **Dimensões da sustentabilidade.** Revista das Faculdades Santa Cruz, v. 7, n. 2, julho/dezembro 2009.

MENDONÇA, F. **Aspectos da interação clima – ambiente – saúde humana: Da relação sociedade-natureza à (in)sustentabilidade ambiental.** in: RA'E GA – O espaço geográfico em análise, v. 4, n. 4, 2000, p. 85-100.

MORAES, Isaac Ribeiro de. **O Processo de Urbanização e O Estudo De Impacto De Vizinhança – EIV.** Blog Direito Urbanístico Brasileiro, jun. 2010. Disponível em: <<http://infoecidade.blogspot.com/2010/06/estudo-previo-de-impacto-de-vizinhanca.html>>. Acesso em: 02 out. 2016 às 22:17.

MOURA, Newton Célio Becker de. **Biorretenção: tecnologia ambiental urbana para manejo das águas de chuva.** 2013. 299 f. Tese (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2013.

NASCIMENTO, Elimar Pinheiro do. **Trajetória da sustentabilidade: do ambiental ao social, do social ao econômico.** Estud. Av. São Paulo, v. 26, n. 74, 2012. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S010340142012000100005&lng=pt&nrm=iso>. Acesso em: 30 set. 2016

NASCIMENTO, N. O.; BAPTISTA, M. B. **Técnicas compensatórias em águas pluviais.** In: RIGHETTO, Antonio Marozzi (Coord.). Manejo de águas pluviais. Rio de Janeiro: ABES, Projeto PROSAB, 2009. 398 p.

NETA, Milca Vieira de Barros. et al. **Desafios para uma Urbanização Sustentável: A questão do Transporte no DF.** In: Encontro Nacional da Ecoeco, 9, 2011, Brasília – Distrito Federal. Anais. Brasília. p. 1-16.

NEVES, Marlus G.F.P. das; TUCCI, Carlos E. M. **Composição de resíduos de varrição e resíduos carreados pela rede de drenagem, em uma bacia hidrográfica urbana.** Revista Eng Sanit Ambient. n.4, v.16, out./dez. 2011. P. 331-336.

POMPÊO, C. A. **Drenagem Urbana Sustentável.** Revista Brasileira de Recursos Hídricos, ABRH, v. 5, n. 1, p. 15-23, jan./mar., 2000.

POTCHER, O. – **Climatic Aspects in the building of ancient settlements in the Land of Israel.** Abstracts of the International Conference on Urban Climate, Nov. 1989, Kyoto.

PRINCE GEORGE'S COUNTY. **Bioretention Manual.** Department of Environmental Resources, Maryland, 2007.

REIS, Ricardo Prado de Abreu; OLIVEIRA, Lúcia Helena de; SALES, Mauricio Martinés. **Sistemas de drenagem na fonte por poços de infiltração de águas pluviais.** Revista Ambiente Construído, Porto Alegre. v. 8, n. 2, p. 99-117. abr./jun. 2008.

RIBEIRO, Maria Eliana Jubé. **Infraestrutura verde, uma estratégia de conexão entre pessoas e lugares: por um planejamento urbano ecológico para Goiânia.** 2010. 178 f. Tese (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo) – Universidade de São Paulo, Goiânia, 2010.

RIBEIRO, Rochele Amorim. **Forma urbana e tipo de uso do solo como fatores determinantes para a geração de áreas urbanas impermeáveis.** 2006. 186 f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2006.

RIGHETTO, A.M. **Manejo de Águas Pluviais Urbanas.** Projeto PROSAB. Rio de Janeiro: ABES, 2009.

ROTERMUND, R. M. **Análise e planejamento da floresta urbana enquanto elemento da infraestrutura verde: estudo aplicado á bacia do córrego Judas.** 2012.

158 f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012.

SAETA, Fernanda Pereira. **Sustentabilidade Urbana: O desafio da construção de indicadores de sustentabilidade urbana**. 2012. 198 f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Universidade Presbiteriana Mackenzie, São Paulo, 2012.
SANTOS, Anelise Sempionato Souza. **Diretrizes para implantação de sistemas de infraestrutura verde em meio urbano: Estudo de caso na cidade de Ribeirão Preto – SP**. 2014. 192 f. Dissertação (Pós-graduação em Engenharia Urbana) – Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2014.

SANTOS, Douglas Gomes dos. **Qualidade ambiental urbana e ocupação periférica e percepção em área de proteção e recuperação de mananciais, Zona Sul de São Paulo**. Caminhos da Geografia, v. 9, n.27, set., p. 17-30. 2008.

SOUZA, Fabíola Bernardes de. **Uma infraestrutura verde para áreas em urbanização junto a reservatórios: o caso de Itá (SC)**. 2009. 228 f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009.

SOUZA, Nilciana Dinely de. **O processo de urbanização da cidade de Parintins (AM): Evolução e transformação**. 2013. 155 f. Dissertação (Pós-graduação em Geografia Humana) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2013.

SOUZA, Vladimir Caramori Borges de Souza. **Gestão da drenagem urbana no Brasil: Desafios para a sustentabilidade**. Revista Eletrônica de Gestão e Tecnologias Ambientais (GESTA). v.1, n.1, p. 57-72. 2013.

SPOSITO, Maria Encarnação Beltrão – **Capitalismo e Urbanização**. 10 ed. São Paulo: Contexto, 2000. 80 p.

TCPO. **Tabela de Composições de Preços para Orçamentos**. São Paulo: PINI, 2003. 441 p.

TROWSDALE, Sam A. SIMCOCK, Robyn. **Urban stormwater treatment using bioretention**. Journal of Hydrology. N. 397. P. 167-174. 2011.

TUCCI, C. E. M. **Águas urbanas. Estudos Avançados**, São Paulo, v. 22, n. 63, p. 97-112, 2008.

_____. **Aspectos Institucionais do Controle das Inundações Urbanas**. In: Seminário de Recursos Hídricos do Centro Oeste. Brasília. 1999.

_____. **Gerenciamento da Drenagem Urbana. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos***, v. 7, n.1, p 5-28. 2002.

TUCCI, Carlos E. M.; HESPANHOL, Ivanildo; NETTO, Oscar de M. Cordeiro. **A gestão da água no Brasil: Uma primeira avaliação da situação atual e das perspectivas para 2015**. 145 f. Jan. 2000.

_____. **Cenários da gestão da água no brasil: uma contribuição para a “visão mundial da água”**. Bahia análise & dados, Salvador, v. 13, n. especial, p. 357-370, 2003.

YANNAS, S. (2001). **Toward more sustainable cities**. *Solar Energy*, 70(3), 281-294.