



**TELHADOS VERDES ASSOCIADOS COM SISTEMA DE  
APROVEITAMENTO DE ÁGUA DE CHUVA: PROJETO DE DOIS  
PROTÓTIPOS PARA FUTUROS ESTUDOS SOBRE ESTA TÉCNICA  
COMPENSATÓRIA EM DRENAGEM URBANA E PRÁTICA  
SUSTENTÁVEL NA CONSTRUÇÃO CIVIL**

Pedro de Souza Garrido Neto

Projeto de Graduação apresentado ao  
Curso de Engenharia Civil da Escola  
Politécnica, Universidade Federal do Rio  
de Janeiro, como parte dos requisitos  
necessários à obtenção do título de  
Engenheiro Civil.

Orientador: Prof. Elaine Garrido Vazquez

Coorientador: Prof. Theophilo B. O. Filho

RIO DE JANEIRO  
AGOSTO DE 2012

**TELHADOS VERDES ASSOCIADOS COM SISTEMA DE  
APROVEITAMENTO DE ÁGUA DE CHUVA: PROJETO DE DOIS  
PROTÓTIPOS PARA FUTUROS ESTUDOS SOBRE ESTA TÉCNICA  
COMPENSATÓRIA EM DRENAGEM URBANA E PRÁTICA  
SUSTENTÁVEL NA CONSTRUÇÃO CIVIL**

Pedro de Souza Garrido Neto

PROJETO DE GRADUAÇÃO SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE DO CURSO DE ENGENHARIA CIVIL DA ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE ENGENHEIRO CIVIL.

Examinado por:

---

Elaine Garrido Vazquez

Prof. Adjunta, D. Sc., EP/UFRJ (Orientadora)

---

Theophilo Benedicto Ottoni Filho

Prof. Adjunto, Ph.D., EP/UFRJ (Coorientador)

---

Jorge Henrique Alves Prodanoff

Prof. Adjunto, D. Sc., EP/UFRJ

---

Marcelo Gomes Miguez

Prof. Adjunto, D. Sc., EP/UFRJ

RIO DE JANEIRO, RJ – BRASIL

AGOSTO DE 2012

Garrido Neto, Pedro de Souza

Telhados verdes associados com sistema de aproveitamento de água de chuva: Elaboração de dois projetos para futuros estudos sobre esta técnica compensatória em drenagem urbana e prática sustentável na construção civil/ Pedro de Souza Garrido Neto – Rio de Janeiro: UFRJ / Escola Politécnica, 2012.

IX, 168f: il.; 29,7 cm.

Orientadora: Elaine Garrido Vazquez.

Coorientador: Theophilo Benedicto Ottoni Filho.

Projeto de Graduação – UFRJ / Poli / Engenharia Civil, 2012.

Referências Bibliográficas: p 152-155.

1. Introdução. 2. Os Sistemas de Drenagem Urbana. 3. Coberturas Verdes. 4. Aproveitamento de Água de Chuva. 5. Concepção e Projeto de dois Protótipos de Coberturas Verdes. 6. Conclusões e Considerações Finais.

I. Vazquez, Elaine Garrido. II. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Escola Politécnica, Curso de Engenharia Civil. III. Título.

## DEDICATÓRIA

*Aos meus pais, ao meu irmão, à minha avó,  
à minha namorada e aos meus tios,  
Que estavam sempre ao meu lado para me apoiar nas  
dificuldades e para comemorar as minhas vitórias durante o  
meu processo de formação como Engenheiro.  
Muito obrigado pela educação, paciência e motivação.*

## AGRADECIMENTOS

À minha mãe Andrea, em especial, por sempre ter se preocupado com a minha educação. Sem o apoio dela, seria difícil estar aqui me tornando um engenheiro civil.

Ao meu pai e irmão, Pedro e Gabriel, por todo carinho e paciência que tiveram comigo durante todos esses anos.

À minha avó Neuza, por toda preocupação comigo durante a minha graduação. Sempre me lembrarei dos “cafezinhos” que a senhora fazia quando eu tinha que passar a noite estudando.

Aos meus tios, Paulo e Fátima, eu só tenho a agradecer tudo que vocês fizeram por mim durante esses anos. Nunca irei me esquecer das nossas conversas e de toda força e motivação.

À minha namorada, Jéssica, por entender minha falta de tempo, por ter me ajudado em algumas matérias e por estar sempre ao meu lado, me incentivando.

À minha orientadora Elaine Garrido Vazquez, por todo apoio dado durante o curso e pela orientação e dedicação dada nesta monografia.

A todos os professores do Departamento de Recursos Hídricos e Meio Ambiente da Escola Politécnica da UFRJ. Em especial, destaco os seguintes professores que eu tive o prazer de realizar trabalhos que foram importantes na minha formação: Isaac Volschan Jr., Theophilo Benedicto Ottoni Filho e Heloisa Teixeira Firmo.

A todos meus amigos que vivenciaram comigo essa etapa da minha vida, tanto vibrando e comemorando comigo nos momentos bons, quanto me dando força nos momentos ruins.

Resumo do Projeto de Graduação apresentado à Escola Politécnica/UFRJ como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Engenheiro Civil.

## **TELHADOS VERDES ASSOCIADOS COM SISTEMA DE APROVEITAMENTO DE ÁGUA DE CHUVA: PROJETO DE DOIS PROTÓTIPOS PARA FUTUROS ESTUDOS SOBRE ESTA TÉCNICA COMPENSATÓRIA EM DRENAGEM URBANA E PRÁTICA SUSTENTÁVEL NA CONSTRUÇÃO CIVIL**

Pedro de Souza Garrido Neto

Agosto / 2012

Orientadora: Elaine Garrido Vazquez

Coorientador: Theophilo Benedicto Ottoni Filho

Curso: Engenharia Civil

O presente trabalho apresenta uma revisão bibliográfica sobre três temas: drenagem urbana, coberturas verdes e aproveitamento de água de chuva. Para cada tema é descrito sua evolução histórica na qual todos os temas convergem para a tendência atual de adoção de práticas sustentáveis para a concepção da drenagem urbana, visando reduzir problemas causados pelas chuvas nas cidades, como as cheias. Nesse contexto, técnicas compensatórias, como os telhados verdes, passam a ser utilizadas com o intuito de reestabelecer o ciclo hidrológico que existia antes do processo de urbanização, tornando superfícies que seriam impermeáveis, como os telhados, em áreas verdes que podem ser capazes não só de armazenar parcela da água da chuva, mas também de gerar um atraso na vazão de pico da chuva. Além disso, essa técnica pode ser também considerada uma prática sustentável na construção civil, quando associada a um sistema de aproveitamento de água de chuva, uma vez que telhados verdes podem ser capazes de fazer percolar a água da chuva através de suas camadas, disponibilizando uma água com qualidade diferente que a precipitada para usos não potáveis em edificações. Esta pesquisa tem como objetivo propor o projeto de dois experimentos para a realização de estudos sobre telhados verdes, de forma que ambos propiciem duas análises que são interessantes de serem feitas acerca desta tecnologia: a quantificação da capacidade de retenção de água de chuva e a qualidade da água drenada por este tipo de coberturas.

Palavras-chave: Coberturas verdes, Sustentabilidade, Drenagem urbana, Aproveitamento de água de chuva.

Abstract of Undergraduate Project presented to POLI/UFRJ as a partial fulfillment of the requirements for the degree of Engineer.

**GREEN ROOFS ASSOCIATED WITH RAINWATER HARVESTING SYSTEM: PROJECT OS TWO PROTOTYPES FOR FUTURE STUDIES ON THIS COMPENSATING TECHNOLOGY OF URBAN DRAINAGE AND SUSTAINABLE PRACTICE IN CIVIL ENGINEERING**

Pedro de Souza Garrido Neto

August / 2012

Advisors: Elaine Garrido Vazquez

Theophilo Benedicto Ottoni Filho

Course: Civil Engineering

This paper presents a bibliographical revision on three subjects: urban drainage, green roofs and rainwater harvesting. For each subject, it is detailed its historical evolution in which all subjects converge to present tendency of acceptance of sustainable works for the conception of urban drainage, aiming to reduce problems resulting from storms in towns, such as floods. In this context, compensating technics, such as green roofs, can be used aiming to restore the hydrologic cycle which existed previous to the urbanization process, producing impermeable surfaces, such as ordinary roofs, into green areas which are able not only to store some rain water, but also to delay the drainage on rain downpours. Furthermore, such a technology can also be considered a sustainable practice in civil engineering when associated to a rainwater harvesting system, since green roofs are able to percolate rain water through its layers, resulting in a different quality of water for building, not drinkable one. This research has the aim to propose a project of two experiments for establishing the studies on green roofs, in a way that both stablish two analyses which are very interesting to be put into practice about this technological capacity of accumulating and retaining rain water and also the quality of the drained water done through this type of roof.

Keywords: Green Roof, Sustainability, Urban Drainage, Rainwater Harvesting.

# SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	1
<b>1.1. Considerações iniciais</b> .....	1
<b>1.2. Objetivo</b> .....	5
<b>1.3. Justificativa</b> .....	7
<b>1.4. Metodologia empregada</b> .....	8
<b>1.5. Estruturação do trabalho</b> .....	9
<b>2. OS SISTEMAS DE DRENAGEM URBANA</b> .....	10
<b>2.1. Introdução</b> .....	10
<b>2.2. Histórico da drenagem urbana</b> .....	14
2.2.1. No mundo.....	14
2.2.2. No Brasil .....	21
<b>2.3. Evolução urbanística e histórico de cheias da cidade do Rio de Janeiro</b> .....	27
2.3.1. Evolução urbanística da cidade do Rio de Janeiro .....	27
2.3.2. Histórico de cheias da cidade do Rio de Janeiro .....	34
<b>2.4. O ciclo hidrológico</b> .....	38
<b>2.5. Os sistemas de drenagem</b> .....	42
<b>2.6. Medidas de controle e técnicas compensatórias em drenagem urbana</b> .....	44
2.6.1. Medidas de controle em drenagem urbana.....	44
2.6.2. Técnicas compensatórias em drenagem urbana .....	45
<b>3. COBERTURAS VERDES</b> .....	52
<b>3.1. Introdução</b> .....	52
<b>3.2. Histórico da naturezação</b> .....	53
<b>3.3. Classificação dos telhados verdes</b> .....	65
<b>3.4. Vantagens da naturezação</b> .....	66
<b>3.5. Desvantagens da naturezação</b> .....	70
<b>3.6. Os sistemas de naturezação</b> .....	71
3.6.1. Descrição do sistema completo.....	71
3.6.2. Aspectos construtivos do sistema completo .....	80
3.6.3. Descrição do sistema modular .....	82
3.6.4. Aspectos construtivos do sistema modular .....	83
3.6.5. Descrição e aplicação do sistema manta vegetativa pré-cultivada.....	85
3.6.6. Descrição de outros sistemas de naturezação existentes .....	86
<b>3.7. Aspectos a serem observados na implantação dos telhados verdes</b> .....	88
3.7.1. Aspectos relativos à fase de projeto.....	88
3.7.2. Aspectos relativos à fase de execução .....	89
3.7.3. Aspectos relativos à manutenção.....	90

3.8. Telhados verdes como técnica compensatória em drenagem urbana .....	90
<b>4. APROVEITAMENTO DE ÁGUA DE CHUVA .....</b>	<b>94</b>
4.1. Introdução .....	94
4.2. Histórico do aproveitamento da água de chuva .....	95
4.2.1. No mundo.....	95
4.2.2. No Brasil .....	102
4.3. Água de chuva para diferentes usos.....	108
4.4. Sistemas de coleta e aproveitamento da água de chuva.....	109
4.5. Armazenamento da água de chuva em sistemas de aproveitamento da mesma ..	111
4.6. A qualidade da água de chuva proveniente de coberturas em áreas urbanas para fins não potáveis .....	113
4.7. Aproveitamento da água de chuva drenada por telhados verdes .....	115
4.7.1. Aspectos relativos à quantidade de água armazenada .....	115
4.7.2. Aspectos relativos à qualidade da água captada.....	116
<b>5. CONCEPÇÃO E PROJETO DE DOIS PROTÓTIPOS DE COBERTURAS VERDES .....</b>	<b>119</b>
5.1. Introdução .....	119
5.2.1. Revisão bibliográfica .....	122
5.2.2. Localização dos protótipos .....	122
5.2.3. Concepção dos protótipos .....	124
5.3. Equipamentos utilizados na operação da bancada experimental do CESA/UFRJ	130
5.3.1. Simulador de água de chuva .....	130
5.3.2. Caixa pluviômetro.....	131
5.4. Projeto da bancada experimental e dos protótipos de cobertura verde .....	132
5.4.1. Cobertura verde associada com um sistema de captação e armazenamento da casa módulo no IVIG/UFRJ.....	132
5.4.2. Bancada experimental e protótipo de cobertura verde no CESA/UFRJ .....	137
5.4.3. Lista de material e serviços para construção da bancada experimental e dos protótipos.....	147
<b>6. CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>149</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>152</b>
<b>REFERÊNCIAS ELETRÔNICAS.....</b>	<b>156</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>163</b>
<b>Anexo I – Projeto do simulador de água de chuva (duplo).....</b>	<b>163</b>
<b>Anexo II – Dados ordenados das precipitações.....</b>	<b>164</b>
<b>Anexo III – Projeto do protótipo de cobertura verde do IVIG/UFRJ.....</b>	<b>165</b>
<b>Anexo IV – Perfis T (fornecidos pela GERDAU) .....</b>	<b>166</b>
<b>Anexo V – Projeto do protótipo de cobertura verde do CESA/UFRJ.....</b>	<b>167</b>
<b>Anexo VI – Projeto do protótipo de pavimento permeável do CESA/UFRJ .....</b>	<b>168</b>

# 1. INTRODUÇÃO

---

*“A água de boa qualidade é como a saúde ou a liberdade: só tem valor quando acaba.”*

*(Guimarães Rosa)*

## 1.1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS

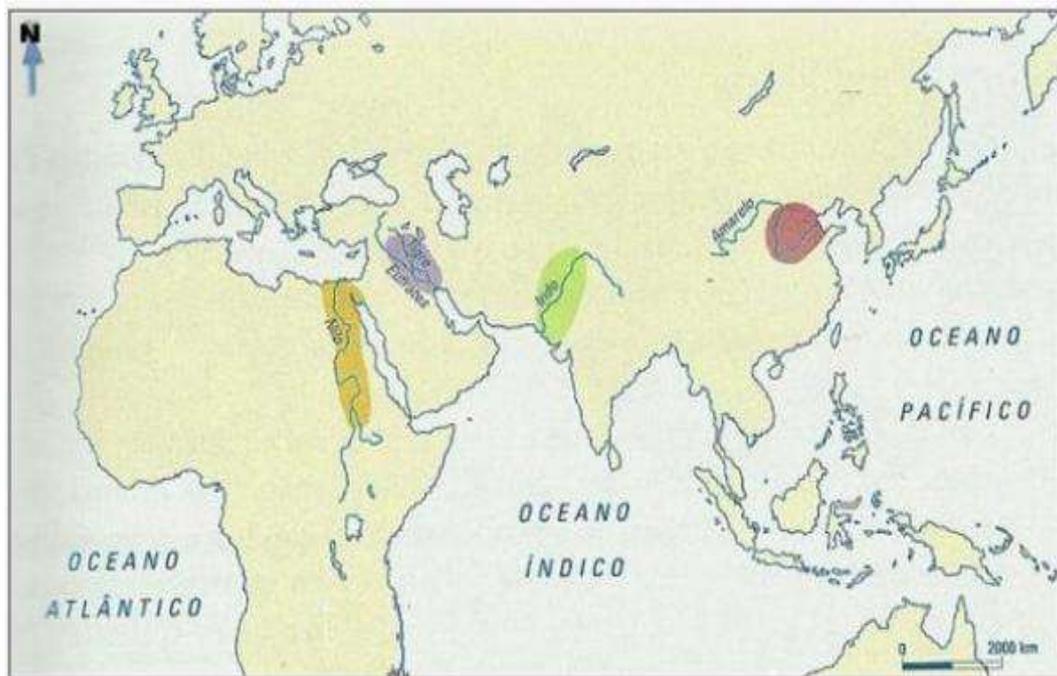
Todos os seres vivos são dependentes do meio ambiente em que vivem. Dentre os seres vivos, destaca-se a espécie *Homo sapiens*, representada pelos humanos, que foram os que mais alteraram e degradaram o meio ambiente em que viveram ao longo dos séculos.

Na Pré-História, o homem retirava da natureza apenas seus suprimentos vitais (água, alimentos e oxigênio do ar) e a matéria-prima necessária para confeccionar suas ferramentas e armas de caça e defesa, que evoluíram das lanças e enxadas desenvolvidas na Idade da Pedra, para as ferramentas de cobre e ferro, com o domínio de técnicas de fundição, na Idade dos Metais.

É nesse período também que o ser humano deixa de ser nômade e passa a ser sedentário. Com o advento da agricultura no período Neolítico da Pré-História, o homem não precisava mais deslocar-se em busca de alimentos para sua sobrevivência. Assim, surgem as primeiras civilizações localizadas em áreas estratégicas, próximas aos rios, que forneciam água para o consumo humano, para o consumo dos animais que passaram a ser criados na época e para irrigar as plantações (ARRUDA; PILETTI, 2000).

De acordo com a revista OS RIOS E AS CIDADES (2002), as quatro primeiras grandes civilizações humanas do planeta datam de 4000 a 3000 a.C. e todas se formaram às margens de importantes rios (Figura 1). A Mesopotâmia, às margens dos rios Tigre e Eufrates; o Antigo Egito, com sua fertilidade advinda das cheias do rio Nilo; a Civilização do Rio Amarelo na China; e o Vale do rio Indo no Paquistão.

A água, além de ser consumida diretamente pelas primeiras civilizações, era de fundamental importância para o desenvolvimento das mesmas. Instalando-se próximas aos rios, havia a garantia de que os animais ali criados teriam água disponível e que não faltaria água para as práticas agrícolas. Com isso, os antigos vilarejos passaram a ter garantia em sua produção, e assim, as quantidades produzidas tornaram-se maiores que as consumidas, gerando excedentes, o que acarretou na evolução de simples vilarejos para cidades com sistemas políticos, econômicos e sociais mais avançados.



**Figura 1 – Localização dos rios das quatro primeiras grandes civilizações.**

(FONTE: <http://deschistoria.blogspot.com>, acesso em outubro de 2011)

Na revista OS RIOS E AS CIDADES (2002) consta ainda que essas regiões, conhecidas como “berços das civilizações”, constantemente eram alagadas devido às cheias dos rios, gerando transtornos aos habitantes, pois era necessário limpar o local, construir barreiras para controlar o excesso de água e abrir canais de drenagem. O problema com as cheias era tal que os povos da época, na tentativa de evitá-las, realizavam cerimônias de encantamento com o objetivo de que os deuses do céu e das águas as impedissem.

Conforme Arruda e Piletti (2000), as civilizações formadas no período Neolítico vieram evoluindo e crescendo desde então, desenvolvendo a escrita (fato que marca o início da História), o cálculo matemático, a astronomia, a medicina e os grandes códigos religiosos e morais. A Idade Antiga foi marcada pelo desenvolvimento dessas civilizações até a formação de cidades organizadas, como o grande Império Romano, que já realizavam a prática do comércio de bens agrícolas e manufaturados.

Por volta do século V, com a crise do Império Romano instalou-se o sistema feudal na Europa, marco da Idade Média da História, caracterizada pelo isolamento da população europeia em feudos, que eram propriedades rurais com autonomia política e econômica. Vale ressaltar que, até mesmo nesse momento da História, o comércio não desapareceu por completo e a população, por sua vez, vinha aperfeiçoando suas técnicas de produção agrícola e desenvolvendo habilidades de confecção artesanal e manual.

De acordo Arruda e Piletti (2000), “no século XI, a sociedade europeia, até então predominantemente rural, com maior parte das atividades econômicas e da população concentradas nos feudos, viu florescerem numerosos povoados, que cresceram e se transformaram em cidades. Muitos centros urbanos já existentes experimentaram um grande crescimento [...] As cidades tiveram um crescimento desordenado. As construções se sucediam ao acaso, sem nenhum plano. Pelas ruas tortuosas, os detritos eram atirados em qualquer lugar e, por uma vala, levados aos limites da cidade; lá se acumulavam à beira dos muros, formando focos de epidemia”.

Na segunda metade do século XVIII, ainda segundo Arruda e Piletti (2000, p.238), ocorreu uma grande revolução em termos de produção econômica e de nível social do ser humano. Com início na Inglaterra e difundindo-se pelo mundo a partir do século XIX, a Revolução Industrial foi um marco na história da Idade Moderna. Com o auxílio de máquinas para aumentar sua produtividade, o homem passou a produzir maiores quantidades de insumos, com melhor qualidade e gastando pouco tempo.

A Revolução Industrial acarretou o início do crescimento acelerado da população nos grandes centros urbanos. Em meados do século XIX, a Europa já apresentava grandes cidades populosas, como Londres, Paris e Hamburgo. Devido a essa rápida urbanização, a infraestrutura das cidades europeias passou a ser uma preocupação por não comportar de maneira eficiente tal crescimento urbano, pois não havia redes de coleta de esgoto e de água pluvial adequada.

Nesse contexto, a drenagem pluvial que antes era um sistema complementar ao de coleta de esgoto, passa a ser tratada com maior importância devido à mortalidade de pessoas e animais por causa da contaminação das águas que não eram drenadas adequadamente e misturavam-se com os esgotos.

Souza e Damaiso (1993 *apud* Silveira, 2002) relatam que no final do século XIX, as cidades mais importantes do continente europeu, como Berlim, Paris, Roma e Londres já tinham grandes redes subterrâneas unitárias de esgotos, o autor cita que “Paris tornou-se emblemática e referência mundial por construir uma imponente rede de esgotos [...] que passa a ser resumido pela expressão “*tout à l’égout*” no meio técnico francês da época”. A drenagem urbana até então era considerada como sendo higienista, ou seja, a preocupação era somente afastar de maneira rápida os esgotos e as águas pluviais.

O crescimento populacional e econômico dos países europeus e, depois, de todos os países do mundo, devido ao aumento e à modernização das indústrias e dos processos de produção da Revolução Industrial do século XVIII prolongou-se até a Época Contemporânea. Durante este tempo, quantidades exorbitantes de recursos naturais foram explorados, grande

quantidade de água foi consumida pelo homem em suas atividades, inúmeras árvores foram derrubadas, diversos cursos d'água foram degradados, o ar tornou-se mais poluído, a população passou a produzir mais lixo e mais esgoto, e diversas espécies de animais e vegetais foram reduzidas ou extintas.

Desta forma, as indústrias tornaram-se grandes inimigas do meio ambiente, pelo seu alto consumo de matérias-primas e pela poluição que provoca. E a população, por sua vez, consumindo e utilizando cada vez mais os recursos naturais e produzindo cada vez mais esgotos e resíduos sólidos.

A partir dos anos 60, de acordo com Silveira (2002), os países desenvolvidos já estavam criando algum tipo de consciência ecológica e estudando os conflitos da relação entre a população e o meio ambiente. Nesse momento, já eram preocupantes os impactos das ações do homem sobre a natureza e, principalmente, sobre a quantidade e a qualidade dos recursos hídricos disponíveis.

O conceito higienista para a drenagem urbana caracterizada pelas obras tradicionais de galerias, sarjetas e bocas de lobo passa a não ser mais tão eficiente para a consciência ecológica da época. Assim, outras soluções alternativas e complementares tais como coberturas e fachadas verdes, pavimentos permeáveis e valas de retenção passaram a tomar espaço nas grandes cidades europeias, fazendo com que a drenagem urbana assumisse mais um objetivo além do comum de apenas livrar-se da água, o de preservação ambiental. Iniciado na Europa, esse conceito de drenagem com um enfoque ambiental já se encontra espalhado pelo mundo (TUCCI; GENZ, 1995 *apud* SILVEIRA, 2002).

As consequências devido aos erros e hábitos predatórios ao meio ambiente de gerações passadas são hoje vivenciadas pelos habitantes de todo o mundo. Questões como escassez de recursos naturais, aquecimento global, excesso de resíduos sólidos, enchentes e poluição do solo, da água e do ar estão sempre em pauta nos noticiários. É um dever comum de toda a humanidade reparar esses erros e mudar de hábitos para que seja preservado e poupado o que restou.

Dentro deste atual panorama de degradação e preocupação, a construção civil tem buscado a adoção de técnicas compensatórias e práticas sustentáveis em seus empreendimentos de forma a minimizar o impacto da ação antrópica no meio ambiente, hoje restrito, dos grandes espaços urbanos.

A utilização de natureza em coberturas pode ser uma solução sustentável e que pode vir a ter uma contribuição positiva para problemas relacionados à drenagem urbana. A natureza pode ser definida como sendo “uma tecnologia de aplicação de vegetação sobre superfícies

construídas, ou seja, coberturas, fachadas ou vias” (<http://www.ivig.coppe.ufrj.br>, 2011). A naturalização de coberturas, tema do presente trabalho, é um exemplo de técnica compensatória e solução sustentável aplicável na construção civil. Esta prática abrange benefícios ambientais para as grandes cidades, econômicos para os usuários e de suporte para a infraestrutura urbana.

Como técnica compensatória em drenagem urbana, o volume de chuva que precipita nas cidades poder ser amortizado pelas coberturas naturalizadas, nas quais ocorre retenção superficial, consumo de água pela vegetação e armazenamento de água no substrato. Como os telhados verdes podem promover a retenção de parte da água pluvial precipitada, o escoamento superficial torna-se reduzido, diminuindo a descarga de água que chega às galerias de drenagem das cidades.

Nos centros urbanos, os benefícios ambientais das coberturas verdes estão relacionados ao fato de aumentarem a área verde das “cidades acinzentadas”, reduzirem o efeito das “ilhas de calor” e interferirem positivamente nas condições climáticas e ambientais das cidades, tornando-as mais frescas e menos poluídas.

Os telhados verdes promovem a absorção de ruídos, o conforto térmico em ambientes interiores e a melhoria da qualidade da água captada, que pode ser aproveitada para fins não potáveis em edificações. Assim, o usuário pode ser beneficiado com contas de luz e de água mais baratas.

## **1.2. OBJETIVO**

O trabalho em questão tem como objetivo apresentar o projeto de dois protótipos de coberturas verdes que serão construídos na Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), para que futuros estudos e pesquisas acerca dessa tecnologia possam ser realizados.

Um dos protótipos será uma cobertura verde associada com um sistema de armazenamento de água de chuva, que será implantado em uma casa módulo localizada no IVIG/UFRJ - Instituto Virtual Internacional de Mudanças Globais da UFRJ.

O outro, por sua vez, será um telhado verde a ser construído, em escala piloto, sobre uma bancada experimental no CESA/UFRJ – Centro Experimental de Saneamento Ambiental da UFRJ. Também faz parte do escopo deste trabalho apresentar o projeto da bancada experimental na qual será instalado, não só o protótipo de telhado verde, mas também três protótipos de pavimentos permeáveis e um piso de referência.

Com os protótipos construídos, pretende-se posteriormente avaliar a eficiência das coberturas verdes como técnica compensatória, através da quantificação do volume de água que uma cobertura verde pode reter em seu sistema, e como prática sustentável na construção civil, através da análise da qualidade da água drenada por este tipo de coberturas, para que a mesma seja aproveitada em outros usos nas edificações.

Essas duas análises, de volume de água retido e de qualidade da água captada, pretendem mostrar dois benefícios que são observados quando se opta pela construção de coberturas verdes ao invés de telhados convencionais como, por exemplo, as simples lajes de concreto.

O primeiro benefício é referente ao volume de água que as coberturas verdes são capazes de armazenar. Tal volume é alto nestes tipos de coberturas devido à retenção superficial da vegetação, à absorção de água do substrato pelas raízes das plantas e ao próprio coeficiente de retenção de água do solo, que é muito maior comparado com a laje de concreto e com outros tipos de telha.

A utilização de telhados verdes em áreas urbanas pode ser um grande aliado dos sistemas convencionais de drenagem no trabalho, muitas vezes árduo, de promover o escoamento adequado das águas de chuva, uma vez que estes telhados podem reduzir a vazão de efluentes pluviais que são lançadas nas redes de drenagem urbana, podendo amenizar, e quem sabe até evitar, problemas de cheias nas grandes cidades.

O segundo benefício refere-se à qualidade da água que é captada nesse telhado sustentável. As diversas camadas dos telhados verdes podem funcionar como uma espécie de filtro, tornando melhor a qualidade da água que incide sobre a cobertura.

Um objetivo indireto deste trabalho é mostrar que, ao adotar a prática sustentável da construção de telhados verdes associados com sistemas de aproveitamento de água de chuva, o usuário é beneficiado. Como a água que é captada pela cobertura verde possui uma qualidade melhor, esta pode ser aproveitada para outras finalidades não potáveis, gerando economia nas contas de água. Além disso, o conforto térmico de espaços construídos com este tipo de telhado pode também gerar economia nas contas de luz e melhoria no microclima da região em pequena escala.

### **1.3. JUSTIFICATIVA**

No passado, as pessoas tinham a errônea ideia de que a natureza estava sempre se adequando às suas necessidades e que os recursos naturais eram inesgotáveis. Foi com esse pensamento que a humanidade promoveu seu desenvolvimento por séculos, consumindo, degradando, poluindo e alterando a natureza, sem nenhum tipo de preocupação.

O processo de urbanização das cidades e o crescimento da população não foram planejados de forma a atender os requisitos ambientais desejados.

Com grande parte da área urbana impermeabilizada, praticamente toda a água precipitada na cidade torna-se escoamento superficial, ocasionando problemas de enchentes, alagamentos e deslizamentos. Além disso, os materiais construtivos utilizados para erguer as cidades, como o concreto e o asfalto, absorvem muito calor, tornando o ambiente urbano uma região com altas temperaturas.

O crescimento da população e do número de indústrias acarretou no aumento da geração de efluentes domésticos e industriais dos quais, para agravar a situação, somente parte é tratada antes de ser lançada nos cursos d'água, sendo assim considerados os maiores agentes que comprometem a qualidade das águas urbanas.

Com o tempo, percebeu-se o quão sensível o meio ambiente é às intervenções humanas. Desde então, cada vez mais são adotadas práticas sustentáveis que compatibilizem o desenvolvimento da humanidade com a preservação do meio ambiente à sua volta.

Dentro do escopo de preservação do meio ambiente, a quantidade e a qualidade dos recursos naturais, principalmente da água ainda disponível no planeta é uma das principais preocupações do homem, sendo o objeto de estudo de diversos pesquisadores.

As coberturas verdes, objeto de estudo do presente trabalho, podem ser uma alternativa e possibilidade de medida compensatória empregada na construção civil que pode vir a auxiliar na preservação do meio ambiente urbano através da tentativa de restabelecer o ciclo hidrológico que existia antes da urbanização.

#### **1.4. METODOLOGIA EMPREGADA**

Visando alcançar os objetivos do presente trabalho, a metodologia empregada foi estruturada a partir das seguintes etapas: em primeiro lugar, foi realizada a revisão bibliográfica, na qual o tema foi pesquisado através de livros, monografias, dissertações de mestrado, teses de doutorado, artigos publicados e apostilas criadas por professores especialistas na área, que estão especificados na bibliografia ao final deste texto.

Após a etapa de revisão bibliográfica, toda a parte conceitual do trabalho e as limitações da parte experimental foram determinadas. Além disso, foram previstos os ensaios experimentais que devem ser feitos a partir dos dois projetos que serão construídos.

Então, passou-se a pensar no telhado verde adequado que será construído no CESA/UFRJ – Centro Experimental de Saneamento Ambiental da UFRJ para a realização dos ensaios previstos na etapa anterior. Este protótipo foi projetado de forma a ser integrado a outras pesquisas que estão sendo desenvolvidas dentro da temática de “técnicas compensatórias”. Nesta etapa, também foi definido como seria a cobertura verde da casa do IVIG/UFRJ - Instituto Virtual Internacional de Mudanças Globais da UFRJ.

Para os dois protótipos, foram previstos sistemas de coleta de água de chuva adequados para que as análises, tanto de volume armazenado quanto de qualidade da água captada, sejam feitas de forma apropriada.

Após a construção dos protótipos de telhado verde no CESA/UFRJ e no IVIG/UFRJ, as vantagens acerca das coberturas verdes devem ser verificadas através da realização dos experimentos, com o objetivo de obter valores de referência para a capacidade de retenção de água de chuva em coberturas verdes, e de comparar a qualidade da água de chuva que é precipitada com a da água que é captada após passar pelas camadas do telhado verde.

Vale ressaltar que a elaboração do texto e do experimento desenvolveu-se com a supervisão de um orientador e um coorientador. E durante todo o processo de elaboração do trabalho, houve contínua pesquisa bibliográfica sobre o tema, com constantes atualizações.

## **1.5. ESTRUTURAÇÃO DO TRABALHO**

Este trabalho está estruturado em seis capítulos que compreendem das considerações iniciais mostradas no primeiro capítulo até as conclusões apresentadas no sexto e último capítulo, além de mais três partes que integram o corpo do trabalho, a saber: referências bibliográficas, referências eletrônicas e anexos.

Neste primeiro capítulo, o tema é apresentado dentro de um breve histórico nas considerações iniciais. A seguir, é apresentado o objetivo que se pretende alcançar com essa pesquisa, as justificativas que levaram ao desenvolvimento desse estudo, a metodologia aplicada e a estruturação do trabalho.

O sistema de drenagem urbana é o foco do segundo capítulo, no qual, após uma breve introdução ao tema, é apresentado seu histórico e a evolução dos problemas com as cheias. Além disso, o capítulo descreve o ciclo hidrológico e o sistema de drenagem das cidades. No final do capítulo, são apresentadas as técnicas compensatórias que estão sendo utilizadas para que as cidades se desenvolvam causando um impacto reduzido no meio ambiente.

O terceiro capítulo é referente ao estado da arte da natureza. Com base na revisão bibliográfica, os aspectos que envolvem essa técnica compensatória serão abordados, tais como: conceituação, histórico, tipos de natureza, vantagens, desvantagens e sistemas construtivos.

Os diferentes usos da água de chuva e a qualidade que a mesma deve apresentar para ser aproveitada para cada uso são temas abordados no quarto capítulo, que discorre sobre o aproveitamento de água de chuva. Uma introdução a esse tema e o histórico desta prática também serão abordados no capítulo.

No quinto capítulo é apresentada a parte prática do trabalho. É informado todo o processo de desenvolvimento dos projetos dos dois protótipos, da concepção ao projeto executivo final. Também são indicados os equipamentos que serão utilizados na operação dos experimentos.

O sexto e último capítulo apresenta as conclusões e considerações finais do presente estudo, seguido pelas referências bibliográficas e dos anexos.

## 2. OS SISTEMAS DE DRENAGEM URBANA

---

*“Um dia de chuva é tão belo como um dia de sol. Ambos existem; cada um como é.”*

*(Fernando Pessoa)*

### 2.1. INTRODUÇÃO

Vale ressaltar que ao longo de toda a história da humanidade, sempre houve uma profunda ligação das cidades com os cursos d'água, sendo estes determinantes para a sua própria existência, na medida em que constituíram fatores essenciais no processo de sedentarização das populações. Entretanto, os papéis desempenhados pelos cursos d'água em muito variaram, historicamente, com o desenvolvimento das cidades, refletindo a transição das sociedades de base econômica agrícola, de ocupação populacional majoritária em áreas rurais, para as sociedades industriais, predominantemente urbanas (BAPTISTA; NASCIMENTO, 2002).

De início, a proximidade entre rios e aglomerações urbanas era fator de desenvolvimento e segurança. Os cursos d'água proviam água de abastecimento, a facilidade para o despejo de resíduos, a via natural de comunicação e transporte, facilitando o comércio, a fonte de energia para a indústria incipiente e a eventual defesa natural contra invasores. Esses benefícios compensavam, em grande medida, custos eventuais representados pelas inundações. O risco de inundações periódicas era relativamente bem aceito até meados do século XIX, sendo considerado como “um preço a pagar” pela disponibilidade de água junto à cidade (BAPTISTA; NASCIMENTO, 2002).

A inundação urbana é uma ocorrência tão antiga quanto às cidades ou qualquer aglomerado urbano. A inundação ocorre quando as águas dos rios, riachos, galerias pluviais saem do leito de escoamento devido à falta de capacidade de transporte de um destes sistemas e ocupam áreas onde a população utiliza para moradia, transporte (ruas, rodovias e passeios), recreação, comércio, indústria, entre outros. Estes eventos podem ocorrer devido ao comportamento natural dos rios ou ampliados pelo efeito de alteração produzida pelo homem na urbanização pela impermeabilização das superfícies e a canalização dos rios (TUCCI; BERTONI, 2003).

O aumento das aglomerações urbanas, em particular a partir do século XIX, trouxe dificuldades e desconforto resultantes da precariedade de infraestrutura de controle da presença de água nas cidades. Datam dessa época as concepções de sistemas de drenagem de águas pluviais e de esgotamento sanitário por meio de redes subterrâneas de tubulações e a canalização quase que generalizada de cursos d'água em meio urbano. As principais motivações desses preceitos

e técnicas de fundamentação higienista eram a melhoria das condições de circulação e conforto, tanto quanto a prevenção de doenças de veiculação hídrica. Observa-se, a partir desta época, a redução progressiva do papel dos cursos d'água no quadro urbanístico, como elemento da paisagem e como fator de embelezamento das cidades (BAPTISTA; NASCIMENTO, 2002).

A partir da segunda metade do século XX, a intensa concentração da população em áreas urbanas manifesta-se como um fenômeno mundial significativo (BAPTISTA; NASCIMENTO, 2002). A partir das tabelas 1 e 2 com os dados e projeções fornecidas pelo site *United Nations: Development* (<http://esa.un.org/>, acesso em janeiro de 2012) conclui-se que a população urbana aumentou significativamente no Brasil e no mundo durante os séculos XX e XXI.

**Tabela 1 – População urbana e rural do Brasil e do mundo**

ÁREA DE ESTUDO	POPULAÇÃO	ANOS													
		1950	1955	1960	1965	1970	1975	1980	1985	1990	1995	2000	2005	2010	2015
BRASIL	URBANA	19.517	25.819	33.563	43.040	53.667	65.729	79.621	95.117	110.565	125.489	141.416	156.732	169.098	179.018
	RURAL	34.457	37.068	39.181	41.291	42.324	42.398	41.998	41.032	39.005	36.203	32.759	29.343	26.326	23.848
MUNDO	URBANA	729.317	852.570	997.571	1.163.594	1.329.983	1.511.414	1.727.237	1.976.417	2.254.592	2.539.470	2.837.431	3.166.711	3.486.326	3.824.073
	RURAL	1.800.028	1.910.884	2.025.787	2.168.077	2.355.794	2.549.903	2.710.372	2.869.830	3.035.859	3.173.603	3.277.937	3.345.565	3.422.362	3.478.113

Fonte: Elaborado pelo autor, baseado em <http://esa.un.org/>, acesso em janeiro de 2012.

**Tabela 2 – Porcentagem da população urbana do Brasil e do mundo**

ÁREA DE ESTUDO	ANOS													
	1950	1955	1960	1965	1970	1975	1980	1985	1990	1995	2000	2005	2010	2015
BRASIL	36,16	41,06	46,14	51,04	55,91	60,79	65,47	69,86	73,92	77,61	81,19	84,23	86,53	88,24
MUNDO	28,83	30,85	33,00	34,93	36,08	37,21	38,92	40,78	42,62	44,45	46,40	48,63	50,46	52,37

Fonte: Elaborado pelo autor, baseado em <http://esa.un.org/>, acesso em janeiro de 2012.

A urbanização consome espaço natural. Ao fazer isso, impermeabiliza significativamente o solo, altera o fluxo e balanço hídrico das águas urbanas e perturba o funcionamento de zonas ribeirinhas (SILVEIRA, 2002).

A figura 2 esquematiza como ocorrem as alterações no ciclo hidrológico devido à urbanização e a figura 3 apresenta o hidrograma típico de uma bacia natural e de uma bacia que sofreu o impacto da urbanização. O ciclo hidrológico urbano é mostrado pela figura 4, na qual são indicadas as diferenças que ocorrem se a urbanização for feita de modo sustentável.

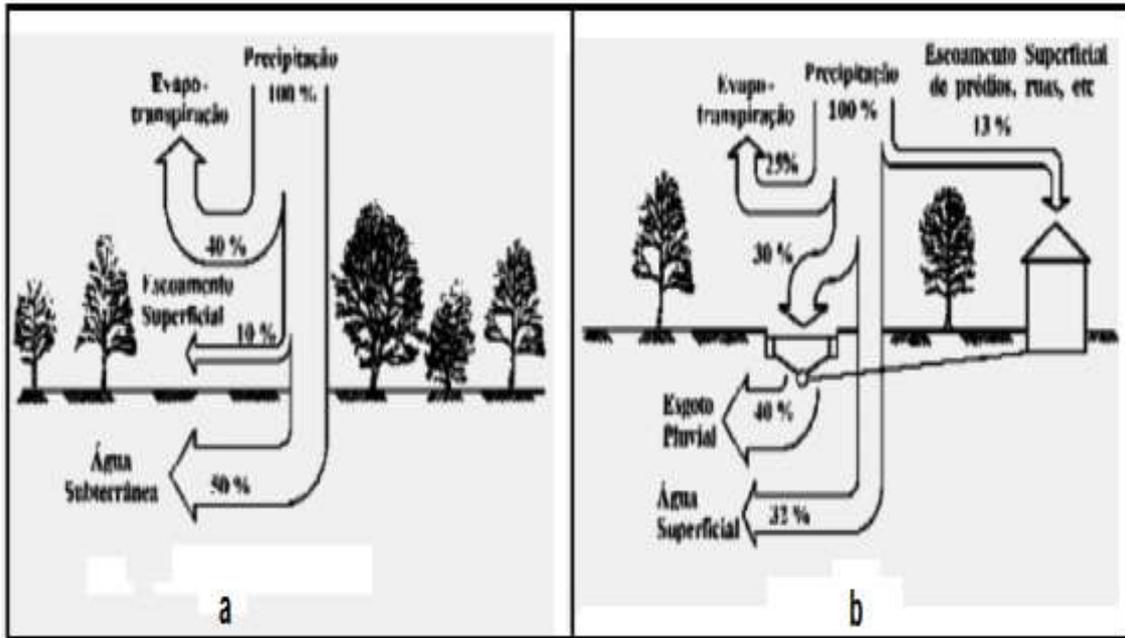


Figura 2 – Características do balanço hídrico em uma bacia urbana:  
 (a) antes da urbanização; (b) após a urbanização.  
 (FONTE: OECD,1986 *apud* TUCCI,2003)

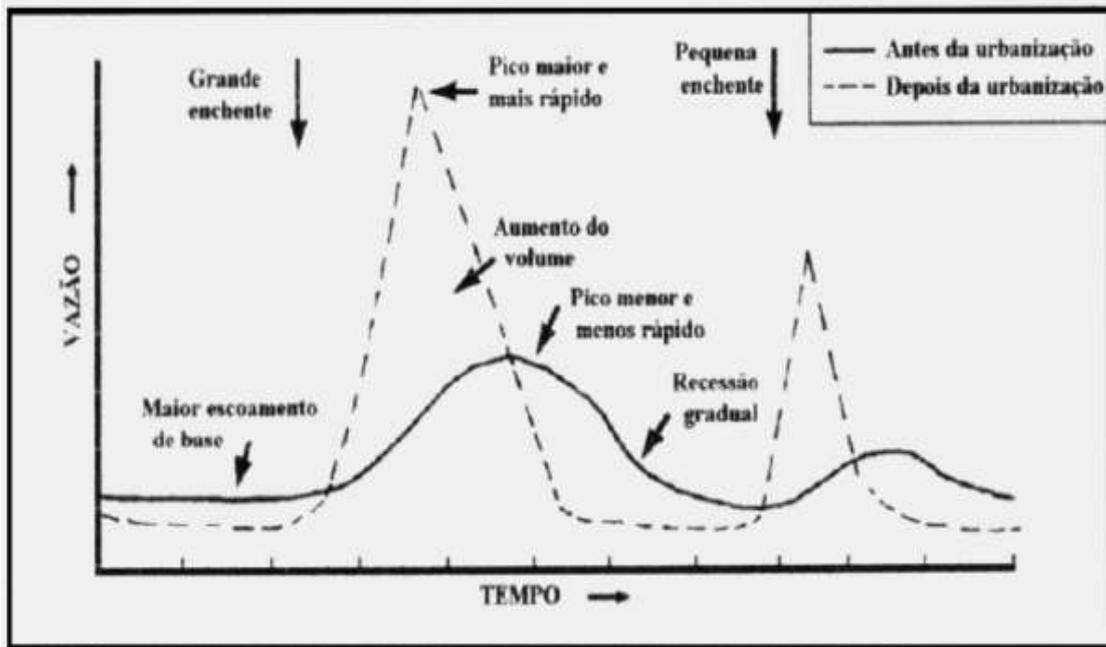
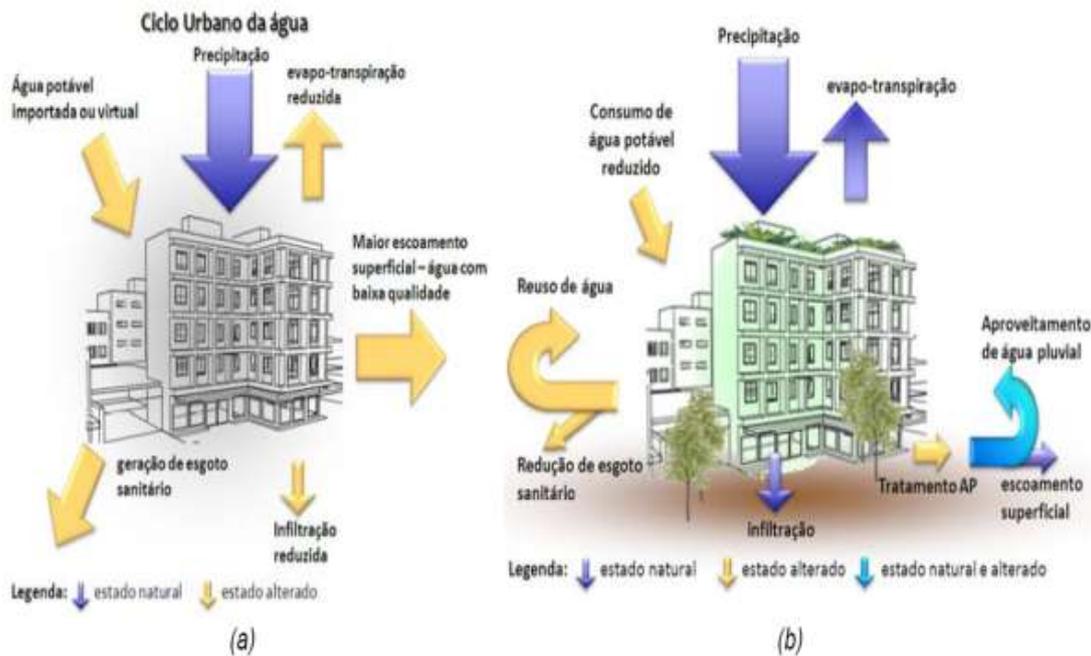


Figura 3 – Hidrograma típico que representa o impacto da urbanização.  
 (FONTE: SCHUELER,1987 *apud* TUCCI,2003)



**Figura 4 – Ciclo hidrológico:**  
**(a) urbano; (b) urbano sustentável.**  
 (FONTE: IBIAPINA *et al.*, 2010)

Em um quadro de urbanização crescente, tem-se por resultado a obsolescência gradual e inexorável das redes de drenagem, levando a inundações cada vez mais frequentes em áreas urbanas, com pesadas implicações sociais, econômicas e políticas decorrentes. Os problemas decorrentes da obsolescência dos sistemas urbanos de drenagem pluvial, de sua crescente ineficiência em controlar inundações e de seus pesados impactos sobre o meio, são contemporâneos do aumento significativo das preocupações com a preservação ambiental, manifestadas pela crescente demanda pela valorização da paisagem urbana e, em decorrência, pela melhoria da qualidade da água e preservação global de cursos d'água, lagos e áreas úmidas no meio urbano (BAPTISTA; NASCIMENTO, 2002).

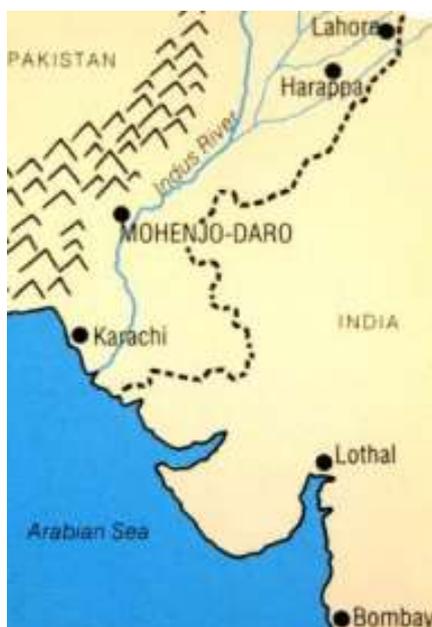
Assim, a visão exclusivamente mecanicista da circulação das águas no espaço urbano não é mais admissível no mundo moderno que deseja um saneamento com maior respeito pelo meio ambiente, sendo assim, necessário um crescente conhecimento e controle das relações, frequentemente conflitantes, entre a cidade e o ciclo hidrológico (SILVEIRA, 1998).

## 2.2. HISTÓRICO DA DRENAGEM URBANA

### 2.2.1. No mundo

De acordo com Matos (2003), ao longo dos tempos até a Idade Moderna, as obras de drenagem não foram consideradas, em regra, como infraestrutura necessária e condicionante ao desenvolvimento dos núcleos urbanos.

Segundo Webster (1962 *apud* Matos, 2003), o primeiro registro de obra de drenagem data de 3000 a.C. Trata-se do sistema de drenagem com coletores principais e drenos do aglomerado de *Mohenjo-Daro* (Figura 5), desenvolvido pela civilização hindu que atualmente faz parte do Paquistão Ocidental. As ruínas desse antigo sistema que se destinava sobretudo à drenagem de escorrências das vias, espantavam pela atenção e o cuidado em sua construção.



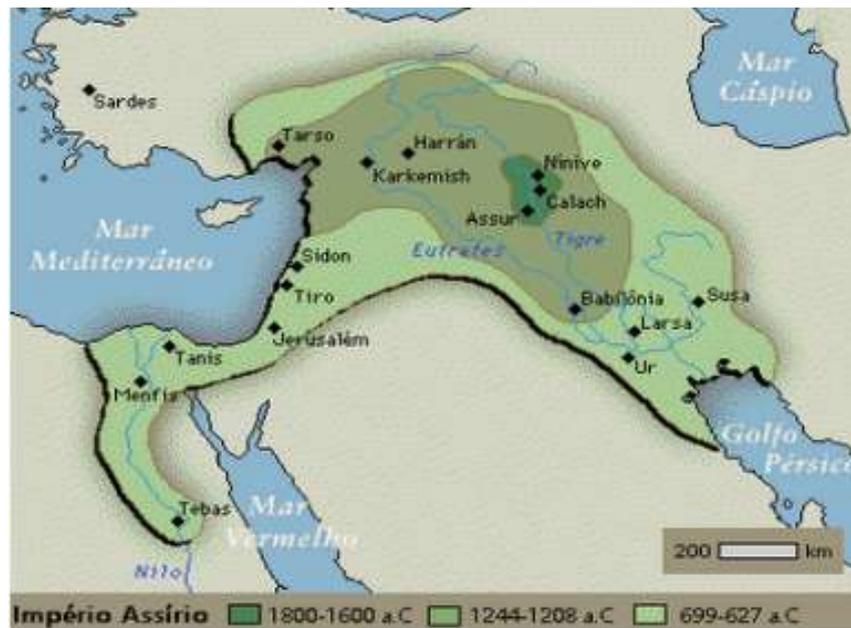
**Figura 5 – Localização do aglomerado de Mohenjo-Daro.**

(FONTE: <http://instructional1.calstatela.edu/>, acesso em janeiro de 2012)

Manes (1966 *apud* Matos, 2003) refere-se à atividade da civilização Mesopotâmica nos anos 2500 a.C., que planejaram e construíram, utilizando tijolo e asfalto, nas cidades de Ur e Babilônia (Figura 6), infraestruturas de drenagem e saneamento, incluindo uma espécie de sarjetas e sumidouros para o recolhimento de águas de superfície.

Por volta de 1000 a.C. foi construído um sistema separativo em Jerusalém, que cobria uma pequena parte da cidade (HODGE, 1992 *apud* MATOS, 2003).

É relatada também por Manes (1966 *apud* Matos, 2003) a construção do palácio “Sem Rival”, por volta de 800 a.C., em Nínive (Figura 7), cidade que foi transformada na capital da Assíria pelo rei Senaquerib. As ruínas existentes desta cidade revelam desenvolvidos sistemas de drenagem construídos em pedra e terra, com um coletor e um emissário final das águas residuais (águas pluviais e excretas) que descarregava o efluente a uma distância considerável da origem. As precipitações frequentes e intensas na região resultavam na ocorrência cíclica de condições de autolimpeza.



**Figura 6 – Localização de Ur, Babilônia e Nínive, no Império Assírio.**  
(FONTE: <http://games-andrey.blogspot.com/>, acesso em janeiro de 2012)



**Figura 7 – Palácio “Sem Rival”, em Nínive.**  
(FONTE: <http://www.imagoromae.com/>, acesso em janeiro de 2012)

A civilização etrusca foi responsável pela construção de cidades bem organizadas e planejadas na Itália Central, por volta de 600 a.C. *Marzobotto*, uma dessas cidades, é conhecida também, pelo engenhoso sistema de drenagem, bem adaptado às condições topográficas locais (MATOS, 2003).

Ruínas de algumas grandes cidades da civilização chinesa também revelam a existência de sistemas de evacuação de águas residuais, incluindo um importante sistema enterrado, executado por volta do ano 200 d.C. (NEEDHAM *et al.*, 1971 *apud* MATOS, 2003).

A “cloaca máxima” de Roma (Figura 8) parece ter sido, no entanto, a primeira obra de dimensão relevante, construída por motivações de qualidade da vida urbana (MATOS, 2003). Sua finalidade era direcionar para o rio Tibre, que atravessa Roma em direção ao Mar Mediterrâneo, o esgoto, a água pluvial e o lixo da cidade.



**Figura 8 – “Cloaca Máxima” que levava os dejetos ao rio Tibre, na Roma.**

(FONTE: <http://historiandonanet07.wordpress.com/>, acesso em janeiro de 2012)

No decorrer das épocas, do século VI a.C. até o século XVII, as estratégias de drenagem e saneamento do Império Romano em meio urbano não sofreram, na Europa, praticamente nenhum avanço. Em termos sanitários, pode mesmo falar-se em “regressão” ao longo de pelo menos uma parte da Idade Média, onde a higiene e a limpeza eram completamente ignoradas pela maior parte dos cidadãos (MATOS, 2003).

Ainda de acordo com Matos (2003), em Paris, a primeira vala coberta (coletor enterrado) data de 1370. Essa obra, conhecida como o “coletor de cintura”, descarregava diretamente no rio Sena. Porém, o conceito de “coletor enterrado” só foi difundido vários séculos mais tarde.

Matos (2003) ainda cita o exemplo da cidade de Londres, onde foi apenas planejado o primeiro coletor enterrado no início do século XVII, enquanto a drenagem de extensas áreas da cidade de Paris se manteve, até o século XVIII, com “valas abertas de esgotos”.

A drenagem pluvial foi tratada como sendo uma prática acessória até meados do século XIX, quando as capitais europeias já formavam grandes aglomerados humanos. As mudanças ocorridas no tratamento da drenagem pluvial na segunda metade do século XIX tiveram, entretanto, seu germe no século XVIII, quando se constata na Itália que as águas de banhados e zonas alagadiças influenciavam na mortalidade pessoas e animais. Isto foi rapidamente levado em consideração na Inglaterra, na Alemanha e, mais tarde, na França, desencadeando um processo de extinção de banhados como medida de saúde pública. Também se deu ordens para aterrar ou cobrir as fossas receptoras de esgoto cloacal, e substituí-las por canalizações enterradas (DESBORDES, 1987 *apud* SILVEIRA, 2002).

Assim, as redes de esgotos deveriam evacuar as águas contaminadas, o mais rapidamente possível, e para mais longe dos locais de sua produção. Nascia a ideia de livrar-se da água nas cidades, seja ela de origem pluvial ou cloacal. Ou seja, nascia o conceito sanitaria-higienista (SILVEIRA, 2002).

No final do século XIX, o uso do concreto em coletores de seção circular, com autolimpeza e sem juntas transversais, constitui também marco relevante. Anteriormente, era tradicional a construção de grandes estruturas em pedra ou tijolo. Mas em meados do século XIX, os engenheiros já tinham consciência da importância da autolimpeza e do declive, para assegurar menores encargos e problemas com manutenção das redes públicas (MATOS, 2003).

Em Paris, ao longo dos séculos XVIII e XIX, são desenvolvidas obras de dimensão significativas no que diz respeito à drenagem das águas residuais, mas só em 1880, Belgrand, um engenheiro civil francês, leva a cabo um plano geral de drenagem ao projetar e construir grandes coletores enterrados (MATOS, 2003).

Entre 1850 e o fim do século XIX muitas cidades importantes do mundo, principalmente as capitais europeias, foram dotadas de grandes redes subterrâneas unitárias de esgotos (esgotos pluviais e cloacais conduzidos pelos mesmos condutos). Sob o comando de seu famoso prefeito Haussmann, Paris torna-se emblemática e referência mundial por construir uma imponente rede de esgotos, ajudando a cristalizar o conceito higienista que passa a ser resumido pela expressão “*tout à l'égout*” (Figura 9) no meio técnico francês da época. Apesar de hoje ser uma atração turística de Paris, não foi a rede de esgotos que deu fama a Haussmann, mas sim a profunda reforma urbanística a qual ela estava associada dentro do conceito higienista. Haussmann buscava a higiene pública com a abertura de espaços abertos,

como avenidas largas e parques, obras que facilitariam ainda a instalação da infraestrutura urbana, entre as quais as redes de esgotos (SOUZA e DAMASIO, 1993 *apud* SILVEIRA, 2002).



**Figura 9 – Foto do Sistema “*tout à l’égout*” tirada em 1861, em Paris.**

(FONTE: <http://www.translucency.com/>, acesso em janeiro de 2012)

Nos textos da especialidade refere-se que Hamburgo, na Alemanha, foi a primeira cidade a ser dotada de um plano nacional de drenagem de águas residuais (com sistema do tipo unitário). Em 1842, parte de Hamburgo encontrava-se destruída e William Lindley, um inglês residente na cidade, foi encarregado de projetar o sistema. Além de novos coletores, também foram projetadas vias e parques, “redesenhando” a cidade. William Lindley colaborou também, mais tarde, no projeto de drenagem de águas residuais da cidade de Sidney, na Austrália (MATOS, 2003).

No Reino Unido, Joseph Bazalgette foi encarregado, em 1852, de planejar e projetar o sistema de drenagem da cidade de Londres, que decorreu entre 1859 e 1865. No âmbito do trabalho foram executados estudos experimentais e estudados o regime de precipitação local (MATOS, 2003).

Nos Estados Unidos da América, Sylvester Chesbough planejou e projetou, de forma integrada, o primeiro sistema de drenagem para Chicago, em 1858. Mais ou menos nessa época, em 1870, Julius Adams projetou o sistema de Brooklyn, em Nova Iorque. Os principais critérios de dimensionamento até então seguidos, nessas e posteriormente em outras cidades americanas, tiveram origem, fundamentalmente, na experiência e prática europeias (MATOS, 2003).

Entre 1870 e 1880, Waning projetou, nos Estados Unidos da América, os primeiros sistemas separativos, em Lenox, Massachusets e Memphis, no Tenesse. Neste último caso, o sucesso da intervenção foi devido à coincidência de, ao mesmo tempo, se terem reduzido os efeitos de um surto de febre amarela na região (MATOS, 2003).

É, sobretudo na segunda metade do Século XIX, que se inicia a discussão entre técnicos e cientistas, das vantagens e inconvenientes de se recorrer ao sistema separativo, em vez de se recorrer ao sistema unitário (MATOS, 2003).

Cabe aqui, mencionar que o sistema separativo é aquele em que existem galerias que conduzem somente esgotos e, separadamente, galerias que conduzem somente águas pluviais. Já o sistema unitário é aquele em que em uma única galeria são conduzidos tanto os esgotos quanto as águas da chuva.

Edwin Chadwick e John Philips, ambos do Reino Unido, foram percussores do princípio do sistema separativo. Philips propôs o sistema separativo para o saneamento de Londres em 1849, mas alguns anos depois foi o sistema unitário de Balzagette que começou a ser implementado. De fato, na Europa, é fundamentalmente o sistema unitário que prevalece nas grandes cidades, pelas seguintes razões principais: não havia experiência suficiente sobre o comportamento dos sistemas separativos; prevalecia a opinião que os sistemas unitários eram mais econômicos; e a comunidade técnico-científica não estava suficientemente convencida que águas residuais domésticas pudessem, sem diluição, ser usadas na agricultura (MATOS, 2003).

Rudolph Hering, um engenheiro americano, visitou a Europa em 1880 em nome da Comissão Nacional da Saúde (a "*U.S. National Board of Health*") para estudar a prática de saneamento na Europa. No relatório elaborado, Hering propõe um modelo para critério de escolha do tipo de sistema de drenagem, que seria: sistema unitário em grandes cidades muito urbanizadas ou em crescimento; e sistema separativo para aglomerados de menores dimensões com menores percentagens de áreas impermeáveis, em que as águas pluviais não necessitassem de ser canalizadas. Nesse relatório, Hering refere que nenhum tipo de sistema pode ser considerado, em termos sanitários, melhor que o outro, e que a decisão ou escolha final deve depender de condições locais e de fatores econômicos (MATOS, 2003).

As ideias consagradas no relatório de Hering fizeram efeito e a construção de novos sistemas unitários prevaleceu nas grandes cidades, pelo menos até os anos entre 1930 e 1940, época em que, devido, sobretudo, aos encargos com a construção e operação de sistemas de tratamento, começou a prevalecer, para os novos sistemas, o princípio da rede separativa (MATOS, 2003).

O conceito higienista predominou durante o século XX no mundo inteiro, mas o fim da sua história já foi decretado nos anos 60, nos países desenvolvidos, quando a consciência ecológica expôs suas limitações para levar em conta os conflitos ambientais entre as cidades e o ciclo hidrológico. Havia necessidade de reflexões mais profundas sobre as ações antrópicas densas (urbanização) sobre o meio-ambiente, particularmente sobre a quantidade e a qualidade dos recursos hídricos. Nascia o conceito ambiental aplicado à drenagem urbana que fez com que os ícones das soluções higienistas deixassem de reinar sozinhos, ou seja, o rol de obras tradicionais como condutos, sarjetas, bocas de lobo, arrios retificados, entre outras, teria de ser ampliado para admitir soluções alternativas e complementares à evacuação rápida dos excessos pluviais, dentro de um contexto de preservação ambiental (TUCCI; GENZ, 1995 *apud* SILVEIRA, 2002).

A partir daí, outra abordagem para tratar o problema dos escoamentos superficiais das cidades foi sendo desenvolvida. Trata-se da adoção de técnicas corretivas de drenagem, que procuram utilizar dispositivos principalmente com o objetivo de atuar na consequência do problema, priorizando o controle do escoamento por meio de detenções (USEPA, 1999 *apud* FORGIARINI *et. al*, 2007).

Essa abordagem corretiva da drenagem urbana se expressou através da adoção de técnicas de *Best Management Practices (BMPs)*. PRINCE GEORGE'S COUNTY (1999) cita como exemplos de BMPs as bacias de retenção, bacias de detenção e áreas para infiltração e percolação.

Nas últimas décadas, abordagens mais próximas à sustentabilidade têm sido estudadas para a mitigação de problemas relacionados com gestão das águas pluviais nos centros urbanos, sob as denominações: *Low Impact Development (LID)*, nos EUA e Canadá; *Sustainable Urban Drainage Systems (SUDS)*, no Reino Unido; *Water Sensitive Urban Design (WSUD)*, na Austrália; e *Low Impact Urban Design and Development (LIUDD)*, na Nova Zelândia (FORGIARINI *et. al*, 2007).

*LID* se diferencia das técnicas de BMPs por serem mais abrangentes no planejamento do sistema de drenagem. A abordagem de *LID* também inclui medidas não estruturais como *layouts* alternativos de estradas e prédios para minimizar a impermeabilidade e para maximizar o uso e preservação dos solos e da vegetação nativos, redução das fontes de contaminação e programas de educação para modificar ações e atividades. Em particular, o *LID* procura realizar o controle em escala inferior ao aplicado por *BMPs*, mais próximo à fonte de alteração de processos hidrológicos, onde é gerado o escoamento da água da chuva por meio da manutenção das condições hidrológicas naturais (FORGIARINI *et. al*, 2007).

A abordagem *LID* preconiza o desenvolvimento urbano de forma sustentável através da tentativa de retomar o ciclo hidrológico que existia antes da urbanização. Assim, áreas impermeáveis tornam-se verdes através da adoção de práticas como, por exemplo, a bioretenção, as valas e trincheiras de infiltração, os pavimentos permeáveis e os telhados verdes. Essas práticas permitem a ocorrência dos processos de infiltração, retenção vegetal e evapotranspiração que reduzem o escoamento superficial.

O conceito de drenagem urbana sustentável, mais encorpado que a simples corretiva, tem as principais funções de evitar as inundações nos centros urbanos através de obras que não sobrecarreguem demasiadamente as redes pluviais, evitar erosões e assoreamentos dos cursos d'água devido ao impacto das águas das chuvas, e auxiliar na manutenção da qualidade da água dos mananciais existentes.

Desta forma, hoje, a drenagem urbana é vista no mundo sob um enfoque ambiental, preocupando-se com a manutenção e a recuperação de ambientes saudáveis interna e externamente à área urbana, ao invés de só procurar sanear o interior da cidade, segundo preceitos meramente sanitaristas (SILVEIRA, 1999 *apud* SILVEIRA, 2002).

### **2.2.2. No Brasil**

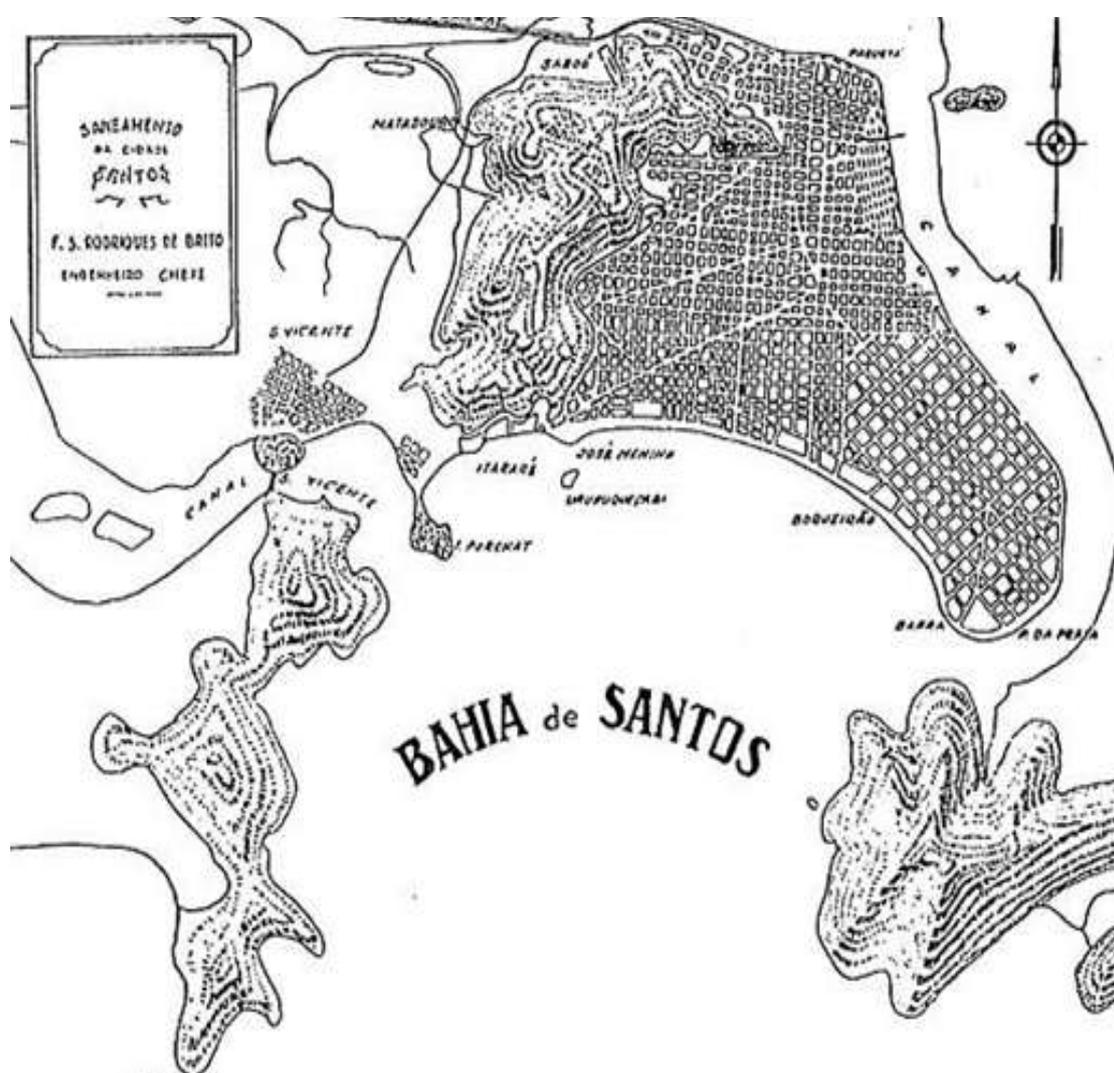
O conceito higienista surgido na Europa no século XIX não demorou a chegar ao Brasil como testemunham as primeiras redes enterradas de esgoto sanitário implantadas em 1864 no Rio de Janeiro, mas ele somente seria aplicado mais decididamente após a proclamação da República em 1889 (MELO FRANCO, 1968 *apud* SILVEIRA, 2002).

Nesta época, havia no mundo um casamento bem sucedido entre a filosofia higienista e o domínio da hidráulica de condutos e canais que permitia promover o saneamento junto com as reformas urbanísticas. Os sanitaristas da época estavam atentos a isso e, no fim do século XIX, o Brasil vê surgir entre eles à grande figura do engenheiro fluminense Saturnino de Brito, formado pela Escola Politécnica do Rio de Janeiro. Adepto do positivismo, ele revoluciona o conceito higienista no Brasil ao trabalhar no saneamento da cidade de Santos (Figura 10) (OBRAS, 1943 *apud* SILVEIRA, 2002). Em seu opúsculo "Saneamento de Santos" de 1898, apresenta argumentos sólidos em favor do sistema separador absoluto (redes de condutos separados para esgotos pluviais e cloacais) contra o sistema dominante da época que era o unitário (SILVEIRA, 2002).

Em decorrência da atuação de Saturnino de Brito, já no início do século XX, o conceito higienista, usando uma rede de drenagem pluvial separada dos esgotos domésticos, ficou estabelecido como regra para as cidades brasileiras. A intensidade das chuvas tropicais não favorece os sistemas unitários. Entretanto, muitas cidades ou muitos bairros de cidades

acabaram adotando um arremedo de sistema unitário, destinando efluentes de fossas sépticas para a rede pluvial (SILVEIRA, 2002).

Vale ressaltar que o Brasil não podia utilizar o sistema unitário da tendência europeia. Isso se dá pela diferença entre os regimes de chuva entre o clima temperado da Europa, que apresenta baixas intensidades pluviométricas, e o tropical do Brasil, caracterizado por chuvas intensas e de baixa frequência. Ou seja, ao utilizar sistemas unitários em regiões de clima tropical, que é o caso do Brasil, as redes coletoras devem ser dimensionadas de maneira a receber as chuvas intensas e os esgotos sanitários no período chuvoso. Nos períodos secos, onde ocorrem poucas chuvas, esse sistema estará subutilizado, por carrear somente a parcela dos esgotos sanitários.



**Figura 10 – Mapa com o plano para o saneamento da cidade de Santos feito por Saturnino Brito.**

(FONTE: <http://www.novomilenio.inf.br/>, acesso em janeiro de 2012)

Percebendo isso na época, de acordo com Silveira (1998), o sistema separador absoluto parece ter predominado desde o início sobre o sistema unitário. Razões econômicas também podem estar por trás desta preferência, como o fato de tubulações exclusivas para o esgoto doméstico ter um custo menor do que uma tubulação de sistema unitário que deverá comportar tanto o esgoto doméstico quanto as águas pluviais. Desta forma, foi-se cristalizando a prática de construir redes de esgoto pluvial somente após, quando houvesse recursos para tal. Estabeleceu-se, então, a ordem de prioridades ainda hoje praticada na urbanização de uma maneira geral, de implantar, umas após as outras, as redes de abastecimento de água, de esgotamento sanitário e de esgoto pluvial.

Na virada dos séculos XIX para XX, a maneira pela qual as vazões de projeto eram calculadas não agradava Saturnino de Brito que critica a aplicação insensata de métodos estabelecidos para Paris por Belgrand, sobretudo a adoção, sem maiores critérios, de chuvas de projeto de fraca intensidade, que seriam válidas apenas para as grandes capitais da Europa de clima temperado. Mais criticável ainda, segundo seu julgamento, era a prática corrente de reduzir a um terço as chuvas de projeto para obter o escoamento, visando representar, ao mesmo tempo, as perdas (infiltração, evaporação, etc.) e o abatimento ocasionado pelo tempo de deslocamento até o exutório, este último sempre estimado maior que a duração da chuva (SILVEIRA, 2002).

De acordo com Silveira (1998), Saturnino de Brito em seu opúsculo “Saneamento de Santos” de 1898, talvez a primeira publicação em português que desenvolve um método de cálculo original de vazão de projeto para redes pluviais, estimou a vazão de projeto como sendo “ $q = \alpha \beta p$ ”. Nesta equação, “ $q$ ” é a vazão de pico por unidade de área, “ $p$ ” é a chuva de projeto, “ $\alpha$ ” é um coeficiente de perdas e “ $\beta$ ” é um coeficiente de abatimento temporal sempre inferior a 1, para levar em conta que o escoamento ocorre num tempo maior que a duração da chuva. A originalidade do método estava no cálculo deste último coeficiente. O ponto mais fraco, entretanto, era a definição da chuva de projeto que necessitava de medidas a intervalos curtos de tempo, ou seja, precipitações registradas por pluviógrafos, aparelhos bastante raros na época.

É interessante notar que, na época, a precipitação era uma grandeza ainda pouco estudada no mundo e não se pensava em fixar previamente a duração da chuva de projeto. Também o conceito de probabilidade de ocorrência associada à precipitação só se consolidaria muitos anos depois. Desta forma, a precipitação de projeto era aquela de máxima intensidade média observada, sem se preocupar em que duração ela foi observada (SILVEIRA, 1998).

A abordagem racional que considera o tempo de concentração como duração crítica da chuva de projeto, para reduzir o empirismo, parece ter chegado ao Brasil em meados da década de 30, ajudada pela presença de um número maior de pluviógrafos em território nacional. Passou

a ser mais fácil estabelecer relações entre intensidades de precipitação e durações. A consideração da frequência de ocorrência das precipitações como elemento de projeto na fórmula racional parece ter-se consolidado no Brasil dos anos 50 (SILVEIRA, 1998).

O artigo de Parigot de Souza (1959), uma rara memória de cálculo detalhada da época, e publicada numa revista técnica de grande difusão, espelha bem a evolução alcançada. O autor mostra uma aplicação do método racional americano (Kuichling, 1889) para calcular a vazão de projeto das obras de canalização do rio Belém em Curitiba. A partir de uma série pluviográfica de 31 anos ele calcula uma expressão analítica empírica relacionando a intensidade de precipitação com a duração e o período de retorno, uma das primeiras expressões IDF (intensidade-duração-frequência) a ter sido estabelecida no Brasil (SILVEIRA, 1998).

A fórmula racional que começa a ser bastante usada é normalmente notada por  $Q = C i A$ . Sendo Q a vazão de projeto no exutório da bacia, "C" o coeficiente de escoamento (estimado a partir de tabelas estrangeiras em função da ocupação do solo), "i" a intensidade da precipitação de projeto com uma duração igual ao tempo de concentração, um parâmetro também considerado constante como o "C", e "A" é a área da bacia. A utilização da fórmula racional necessita, portanto, de curvas IDF estabelecidas de antemão. Assim, a única preocupação do calculista, além da medida de "A" e da escolha de "C", passa a ser a estimativa do tempo de concentração por uma fórmula qualquer (SILVEIRA, 1998).

Desta forma é possível que a popularidade do método racional tenha sido estimulada após a publicação do estudo "Chuvvas Intensas" no Brasil por Pfafstetter (1957), engenheiro do antigo DNOS, que estabeleceu leis empíricas de distribuição de frequência para diversas durações de 98 postos pluviográficos cobrindo todo território nacional (SILVEIRA, 1998).

Nos anos 70, com uma disponibilidade maior de computadores, começa a se reproduzir no Brasil a tendência mundial de simular o ciclo hidrológico, principalmente a transformação chuva-vazão, por algoritmos matemáticos hoje corriqueiramente chamados modelos hidrológicos (SILVEIRA, 1998).

A primeira pesquisa de envergadura no país, exclusivamente voltada para avaliar o impacto da urbanização sobre a hidrologia, aconteceria somente em 1977 em Porto Alegre, numa iniciativa do Departamento de Esgotos Pluviais da cidade e do Instituto de Pesquisas Hidráulicas da UFRGS (SILVEIRA, 1998). A bacia estudada foi a do arroio Dilúvio, com área de 80 km<sup>2</sup>, e uma rede de aparelhos que chegou a contar com 14 pluviógrafos e 11 linígrafos (ALVAREZ; SANCHEZ, 1979 *apud* SILVEIRA, 1988). O Projeto Dilúvio, como passou a ser chamado, gerou uma massa de dados considerável, principalmente no período 1978/82, com apoio da FINEP após 1979, terminando pouco depois (SIMÕES LOPES; SANCHEZ, 1986 *apud* SILVEIRA, 1988).

Silveira (1998 *apud* Grigg e Willie, 1979), através da análise das leis que orientaram diversos loteamentos em várias cidades, confirmam que o Brasil chegou às portas dos anos 80 numa situação em que a drenagem urbana era concebida na maioria dos casos sem se basear em nenhuma norma técnica. Isso facilitou a aceitação de projetos de eficácia duvidosa, sem falar numa total falta de uniformização de critérios no país. E muitos problemas foram agravados pelo fato de que tradicionalmente a drenagem urbana é de exclusiva responsabilidade do município e geralmente há pouca preocupação sobre consequências à jusante de ações locais implementadas à montante.

Observa-se então que, até este ponto, a drenagem do país era concebida através da aplicação de modelos e métodos estrangeiros, com poucas adequações às características locais aqui encontradas. Isso dificultou o desenvolvimento de normas próprias para elaboração de projetos de drenagem, o que acarretou em uma dificuldade do setor crescer em uma fase de crescente urbanização. Tudo isso contribuiu para que o país não desenvolvesse uma cultura de drenagem aplicável às peculiaridades geográficas e climáticas do país.

Possivelmente, esta falta de critérios estimulou a realização do manual de projeto de drenagem urbana do DAEE/CETESB (DRENAGEM, 1980) que rapidamente assumiu na prática o papel de guia técnico nacional e, sem exagero, até a função de norma técnica nesta área (SILVEIRA, 1998).

Embora a consciência ecológica e a explosão tecnológica no mundo nos anos 60 e 70, a maioria das obras de drenagem urbana no Brasil seguem, ainda, o conceito higienista. A razão principal é que o conceito ambiental é muito mais difícil e caro de aplicar porque exige ações integradas sobre grandes áreas, com conhecimento técnico multidisciplinar, ao contrário das ações higienistas voltadas a soluções locais, e concebidas unicamente por engenheiros civis. Além disso, o conceito higienista, embora ultrapassado, exerce ainda um atrativo muito grande pela sua simplicidade (toda água circulante deve ir rapidamente para o esgoto, evitando insalubridades e desconfortos, nas casas e nas ruas) e pelo fato das obras de infraestrutura por ele exigidas terem um comportamento dinamicamente restrito, portanto fáceis de dimensionar, pois só têm a função de transporte rápido (SILVEIRA, 2002).

O livrar-se rapidamente da água tornou-se praticamente um dogma no meio técnico, convencendo inclusive à população que aplica a mesma ideia nas suas propriedades particulares urbanas. No Brasil, como parece ser em outros países em desenvolvimento, há o agravante ainda de o conceito higienista ser mal aplicado, seja por falta de recursos, mau dimensionamento, má execução ou por manutenção deficiente. Adicionalmente, as pressões socioeconômicas exercidas pela sociedade brasileira como um todo agravam o quadro, estabelecendo um cenário difícil para a implantação de qualquer conceito de drenagem urbana, sobretudo a ambiental: urbanização acelerada e desordenada, criação de um mosaico de

ocupações (favelas desassistidas vizinhas a bairros equipados) e nível de educação ambiental deficiente (arroyos e bocas de lobo vistos por grande parte da população como locais de destino de dejetos e lixo) (SILVEIRA, 2002).

A história da drenagem urbana no Brasil apesar dessas dificuldades parece estar hoje numa transição entre a abordagem higienista e a sustentável. Muitas capitais, como Rio de Janeiro, Belo Horizonte, Porto Alegre e Curitiba, estão promovendo ações no sentido de estabelecer planos diretores de drenagem urbana, seguindo os preceitos do conceito ambiental que passa pela conscientização de que a drenagem urbana deve se integrar ao planejamento ambiental das cidades, deixando de ser apenas um mero problema de engenharia (SILVEIRA, 2002).

De acordo com Tucci (2003), o Plano Diretor de Drenagem Urbana tem o objetivo de criar os mecanismos de gestão da infraestrutura urbana relacionado com o escoamento das águas pluviais e dos rios na área urbana da cidade. Este planejamento visa evitar perdas econômicas, melhoria das condições de saúde e meio ambiente da cidade dentro de princípios econômicos, sociais e ambientais definidos pelo Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano, uma vez que a drenagem faz parte da infraestrutura urbana, portanto deve ser planejada em conjunto dos outros sistemas, principalmente o plano de controle ambiental, esgotamento sanitário, disposição de material sólido e tráfego.

No Brasil, o conceito *LID*, denominação dada para a drenagem sustentável por americanos e canadenses, foi traduzido pela expressão “Desenvolvimento Urbano de Baixo Impacto”, que preconiza a preservação do ciclo hidrológico natural no processo de desenvolvimento das cidades.

Em 2006, foi publicado o “Programa de Drenagem Urbana” pelo Ministério das Cidades que objetiva promover, em articulação com as políticas de desenvolvimento urbano, de uso e ocupação do solo e de gestão das respectivas bacias hidrográficas, a gestão sustentável da drenagem urbana com ações estruturais e não estruturais dirigidas à recuperação de áreas úmidas, à prevenção, ao controle e à minimização dos impactos provocados por enchentes urbanas e ribeirinhas (MINISTÉRIO DAS CIDADES, 2006).

Este programa apoia a implantação de obras necessárias para a ampliação e melhoria dos sistemas de drenagem urbana, de forma a modernizar as soluções impostas para o manejo de águas pluviais. Essas obras, tais como a implantação de coberturas verdes, pavimentos permeáveis, microrreservatórios, valas e trincheiras de infiltração, são práticas já preconizadas pelo conceito *LID*, e conhecidas no Brasil como técnicas compensatórias em drenagem urbana.

A história da drenagem urbana para qual o Brasil quer redirecionar é uma história já em andamento nos países desenvolvidos. Agora o que importa é uma correta gestão dos impactos

do meio urbano sobre o meio-ambiente hidrológico e isto transcende a um simples receituário de obras padrão e remete a uma abordagem mais complexa incluindo aspectos técnicos de engenharia, sanitários, ecológicos, legais e econômicos e que exige uma conexão muito mais estreita com a concepção e gestão dos espaços urbanos. O ciclo hidrológico é elemento chave na definição do saneamento urbano e da drenagem (SILVEIRA, 2002).

## 2.3. EVOLUÇÃO URBANÍSTICA E HISTÓRICO DE CHEIAS DA CIDADE DO RIO DE JANEIRO

### 2.3.1. Evolução urbanística da cidade do Rio de Janeiro

De acordo com o site “Portal Brasil” (<http://www.portalbrasil.net>, 2012), a evolução da cidade do Rio de Janeiro é contada conforme a seguir.

Em 1º de janeiro de 1502 quando a primeira expedição portuguesa veio explorar a costa brasileira, ao entrar na barra da Baía de Guanabara, confundiu-a com a foz de um grande rio, chamando-a de Rio de Janeiro. Este nome, desde então, passou a designar as terras que ficavam em torno daquela baía.

Quando em 1534 D. João III, rei de Portugal, dividiu o Brasil em capitanias hereditárias (Figura 11), dois lotes foram doados a Martim Afonso de Sousa. O primeiro, que não foi colonizado, reverteu à Coroa, com o nome de Capitania do Rio de Janeiro. O segundo desenvolveu-se com o nome de São Vicente.



Figura 11 – Capitanias hereditárias.

(FONTE: <http://prof-ricardolaporta.blogspot.com.br/>, acesso em agosto de 2012)

Em 1555, invasores franceses, instalaram-se nas ilhas da Baía de Guanabara com o propósito de fundar a França Antártica. Fizeram aliança com os primitivos habitantes da terra, os índios tamoios, ameaçando seriamente o domínio português no Brasil. Os governadores-gerais do Brasil, Duarte da Costa e Mem de Sá, tentaram expulsar os franceses do Rio de Janeiro e não conseguiram.

Aconselhada pelos jesuítas Nóbrega e Anchieta, a rainha-regente D. Catarina, resolveu ordenar a fundação de uma cidade às margens da Baía de Guanabara que teria como função principal a defesa desse trecho do litoral brasileiro. Assim, no dia 1<sup>o</sup> de março de 1565, Estácio de Sá desembarcou numa praia entre o Pão de Açúcar e o Morro Cara de Cão, instalando oficialmente a cidade que se chamou São Sebastião do Rio de Janeiro em homenagem ao rei-menino de Portugal D. Sebastião e ao santo do mesmo nome, que se tornou o padroeiro da cidade.

Durante cerca de dois anos, Estácio de Sá comandou a defesa da cidade, aproveitando-se do relevo acidentado da área para construir tranqueiras que impediam a aproximação do inimigo. Muitos índios, como os temiminós, participavam da defesa portuguesa, contudo, o contingente era ainda deficiente para destroçar as forças francesas e tamoias. Por isso, o próprio governador-geral Mem de Sá saiu de Salvador, então capital da Colônia, e veio ajudar seu sobrinho Estácio de Sá no combate aos franceses.

Em 20 de janeiro de 1567, travou-se uma batalha decisiva, no forte *Uruçumirim* (local do atual Outeiro da Glória), e os franceses foram obrigados a abandonar suas instalações, retornando à França. Três dias depois, foi destruído o último reduto francês, o Forte de *Paranapeçu*, na Ilha do Governador. Era a expulsão definitiva do inimigo e a primeira vitória para a cidade recém-fundada que, até hoje, guarda por tradição alguns dos fortes que serviram para consolidar o domínio português.

No combate de *Uruçumirim*, Estácio de Sá foi mortalmente ferido no rosto por uma flecha envenenada, vindo a falecer um mês depois. A administração da cidade passa, então, a ser feita pelo próprio governador-geral Mem de Sá que logo providenciou a transferência da *urbe* para lugar mais seguro e espaçoso, o alto de um morro, que teve várias denominações, entre elas: Descanso e São Januário, consagrando-se, contudo, a de Morro do Castelo (Figura 12), mais tarde demolido, onde, hoje, se encontra a Esplanada do Castelo. Em 1568, Mem de Sá retorna a Salvador e deixa outro sobrinho, Salvador Correia de Sá, administrando o Rio de Janeiro.



**Figura 12 – Vista do Morro do Castelo, tomada da Fortaleza de São Sebastião.**

(FONTE: <http://www.museuhistoriconacional.com.br>, acesso em agosto de 2012)

A cidade foi crescendo no Morro do Castelo, onde foram construídos os primeiros prédios importantes, como a Casa da Vereança, a Igreja Matriz de São Sebastião, o Colégio dos Jesuítas, Igreja de Santo Inácio, armazéns e residências. Para efetivar o povoamento da região, sesmarias (lotes de terras) são distribuídas por todo o sertão carioca e começam a surgir os engenhos de açúcar, as lavouras e os curtumes. Onde houvesse uma pequena comunidade, aparecia uma capelinha, a fim de que os colonos pudessem cumprir seus deveres de católicos. Em pouco tempo a cidade começa a descer o morro e espalhar-se pela várzea. Ainda no final do século XVI começam a chegar os primeiros escravos da África para trabalhar nos engenhos de açúcar. Segundo estimativa de Anchieta, a população do Rio de Janeiro e arredores era de 3.850 habitantes, sendo 3.000 índios, 750 brancos e 100 negros.

Distingui-se o século XVII do anterior, no que se refere à vida da Cidade do Rio de Janeiro, pela época em que se formou o espírito cívico da população, tempo em que os cariocas aprenderam a resolver seus problemas cotidianos. Ao iniciar-se aquele século, existia à margem da Baía de Guanabara um modesto povoado, de casas de barro e pau-a-pique, mal alinhadas, que se estendeu até a várzea sem a menor preocupação de urbanização. No final do mesmo século estava a cidade constituída não, apenas, administrativa, mas também, socialmente. Desdobravam-se as ruas na baixada central, aquelas modestas casinhas cediam lugar a numerosos sobrados na Rua Direita (Figura 13). Até o governador da cidade foi residir naquela rua, que hoje é a Primeiro de Março. Foi o século da agricultura, da fixação dos povoadores nas sesmarias distribuídas pelos governadores e da construção dos conventos de três importantes ordens religiosas que aqui se haviam estabelecido: Beneditinas, Franciscanas e Carmelitas, respectivamente Mosteiro de São Bento, Convento de Santo Antônio e Convento do Carmo. Foi, também, quando se deu a primeira rebelião popular da cidade que abalou até a confiança da Coroa Portuguesa. A população do Rio de Janeiro, nessa época, atingiu a 12.000 habitantes. No século XVIII, a zona urbana do Rio de Janeiro começa a ampliar seus limites

além da "Vala", hoje Rua Uruguaiana, estendendo-se as novas ruas às imediações do "Campo da Cidade", onde mais tarde se situou o Campo de Santana.



**Figura 13 – Rua Direita, da Misericórdia, Igreja de São José e Morro do Castelo.**

(FONTE: <http://www.bairrodocatete.com.br>, acesso em agosto de 2012)

Em 1759, as fazendas e engenhos da zona rural, "o sertão carioca", começaram a se repartir em pequenas chácaras, vivendas confortáveis de arrabaldes que se originavam nas zonas norte e sul da cidade. Era o surgimento de São Cristóvão e Botafogo, como áreas novas procuradas pela população.

A população aumenta, o comércio se expande, o porto melhora. O café começa a ser cultivado no Rio de Janeiro e, segue o seu caminho pelo Vale do Paraíba. Assim, com cerca de 50.000 habitantes, o Rio de Janeiro chega ao final do século XVIII.

As festas populares se aprimoram com a vinda, em 1808, da família real portuguesa para o Brasil, aparecendo o desfile de "carros de ideias", que seriam um prenúncio dos préstitos carnavalescos. O aspecto geral da cidade, também, melhorou com as primeiras medidas sanitárias além de outras, visando à infraestrutura urbana: calçamento das Ruas da Vala e do Cano, aterro de lagoas da zona urbana, isolamento de leproso em um hospital, construção de um cais, abertura dos primeiros jardins e praças, iluminação com lampiões de azeite de peixe, construção de chafarizes, úteis e belos, graças à primeira adutora do Carioca. Surgem, ainda, os primeiros prédios públicos dignos de uma capital, como o Palácio dos Governadores (o Paço Imperial na Praça Quinze de Novembro), o Palácio Episcopal, no Morro da Conceição, o Senado da Câmara (no mesmo local onde hoje está o Palácio Tiradentes), a Casa do Trem (posteriormente Arsenal de Guerra, hoje Museu Histórico Nacional), o Arsenal da Marinha, o Hospital Militar e vários quartéis de Infantaria, Artilharia e Cavalaria.

Muitos melhoramentos recebeu a cidade no século XIX. Se compararmos à pequena capital da Colônia encontrada por D. João, com a extensa cidade deixada por D. Pedro II, observa-se que muitas diferenças se faziam notar, a começar pelos limites da parte urbana que eram bem outros. Enquanto no alvorecer do século XIX, no tempo dos Vice-Reis, o núcleo urbano atingia apenas o Campo de Santana, ainda um simples terreno baldio e sem jardins, no final do mesmo século a urbanização do Centro ultrapassava o Largo do Rossio Pequeno, depois Praça Onze de Julho e, fazia-se necessária a drenagem dos pântanos que atingiam São Cristóvão, através do Canal do Mangue (Figura 14). A evolução dos transportes coletivos, o trem e o bonde, assinalaram o desenvolvimento dos subúrbios e dos novos bairros residenciais, antes sertão da cidade.



**Figura 14 – Canal do Mangue no final do século XIX.**

(FONTE: <http://oriodeantigamente.blogspot.com.br>, acesso em agosto de 2012)

O abastecimento de água domiciliar que obrigou o governo a captar novos mananciais fluminenses, também, possibilitou a fixação de uma população mais numerosa. A iluminação a gás, a partir de 1854, depois a implantação da eletricidade, foram fatores importante na transformação do Rio. O problema das comunicações, com muitas introduções de novos processos, como o telégrafo, o correio domiciliar, o cabo submarino para o telégrafo e até o telefone, foi outro aspecto importante de modernização.

Medidas a favor da higiene, como o sistema de esgotos, construção de hospitais e cemitérios públicos vieram contribuir para reformular o conceito negativo que os estrangeiros tinham do Rio. Os acontecimentos políticos, como a Guerra do Paraguai, a Campanha Abolicionista e a própria Proclamação da República, repercutiam intensamente nesta capital, a ponto de influir diretamente na mudança da nomenclatura dos lugares públicos.

A mudança do sistema de governo monárquico em republicano, de certa forma, também influenciou na democratização das moradias. O desaparecimento da classe nobre igualou os cidadãos da nova República e, as grandes chácaras da Tijuca, Andaraí, Botafogo e Laranjeiras foram loteadas, exigindo menor número de serviçais. As que se mantiveram foram ocupadas por

hotéis, colégios, asilos, prédios públicos e, quando muito desvalorizadas, se transformaram em "cabeças de porco" ou "cortiços", mostrados na figura 15.



**Figura 15 – Cortiço localizado no Centro do Rio de Janeiro.**

(FONTE: <http://www.italiamiga.com.br>, acesso em agosto de 2012)

A cidade crescia para os lados do mar, na zona sul, de maneira a arejar mais o centro. Em 6 de julho de 1892 a Companhia Ferro Carril Jardim Botânico abria o primeiro túnel para ligar o Centro ao longínquo bairro praiano de Copacabana.

No início do século XX, na gestão do prefeito Pereira Passos que participara no Segundo Reinado da construção da Estrada de Ferro Corcovado, o Rio sofreu uma grande transformação que lhe daria um aspecto inteiramente modernizado. O presidente da República Rodrigues Alves dera carta branca a Pereira Passos e a seus principais auxiliares: Oswaldo Cruz e Francisco Bicalho. Este foi o construtor do novo Porto do Rio de Janeiro, inaugurado em 1910. Oswaldo Cruz saneou a cidade, acabando com três epidemias terríveis que vinham assolando a população a cada ano: febre amarela, varíola e peste bubônica. Destacou-se, ainda, a figura do engenheiro Paulo de Frontin, encarregado de construir a maior parte das obras projetadas pelo prefeito Pereira Passos.

Os melhoramentos de Pereira Passos atingiram a cidade de ponta a ponta, começando pelo Centro, onde se abriu a Avenida Central, hoje Rio Branco, a mais larga da época. Outras ruas foram rasgadas e, muitas, alargadas na área central; jardins remodelados, outros criados. Os subúrbios, também, foram beneficiados. A Floresta da Tijuca teve seus caminhos alargados, a Avenida Beira Mar foi aberta até Botafogo.

Depois de Pereira Passos, outros prefeitos realizaram obras notáveis na cidade como, por exemplo, Carlos Sampaio que iniciou o arrasamento do Morro do Castelo, abrindo novo espaço para a urbanização de uma grande área no Centro, onde seriam inaugurados vários

Ministérios. A derrubada do Morro do Castelo levou consigo boa parte da história do início da cidade do Rio de Janeiro que lá se instalara, quando da expulsão, definitiva, dos franceses, no século XVI.

Em 12 de outubro de 1931 foi inaugurado o Cristo Redentor, maior símbolo da cidade do Rio de Janeiro. Até 1945 surgiram importantes avenidas como a Presidente Vargas (Figura 16) e a Brasil. São dessa época o Parque da Cidade, na Gávea, o Jardim de Alah, o Corte do Cantagalo e a estrada cimentada para o Corcovado.



**Figura 16 – Avenida Presidente Vargas:  
(a) em 1940; (b) em 1944.**

(FONTE: <http://daniellathompson.com/>, acesso em agosto de 2012)

Nos anos de 1950 e 1960 foram destaques: a demolição de boa parte do Morro de Santo Antônio, para o aterro do Parque do Flamengo. Apesar da mudança da capital para Brasília, em 1960, o Rio de Janeiro, transformado em cidade-estado da Guanabara, continuou sendo importante pólo turístico, cultural e comercial. Os investimentos públicos se intensificaram nas áreas mais ricas, acelerando o processo de especulação imobiliária.

A única cidade-estado do país ficou sob a administração do, então, governador Carlos Lacerda, o primeiro da Guanabara, que desativou o serviço de bondes, substituindo-os por ônibus elétricos, de curta existência. Abriu dois túneis complementares em Copacabana, além do túnel Santa Bárbara, entre os bairros de Catumbi e Laranjeiras e, ligou as zonas norte e sul, com o túnel Rebouças, na época o maior túnel urbano do mundo. Urbanizou o aterro do Flamengo, construiu a Rodoviária Novo Rio. Realizou a política de construção de viadutos e vias expressas para desafogar o trânsito, adotando o Plano Doxiades, do qual resultou, anos depois, a construção das linhas Vermelha e Amarela. Levantou bairros proletários para a população de favelas, removendo-as dos morros da cidade. Deu término à construção de adutora para a normalização do fornecimento de água à cidade.

No final da década de 1960 e nos anos de 1970, grandes obras foram realizadas: o alargamento da praia de Copacabana, tornando sua curva atlântica ainda mais encantadora; o elevado da Avenida Paulo de Frontin; a primeira etapa da autoestrada Lagoa-Barra; a ponte Rio-Niterói e o Metrô. O urbanismo moderno encontrou sua última expressão no Plano Lúcio Costa para a Baixada de Jacarepaguá e Barra da Tijuca.

Em 1975, com a fusão dos estados da Guanabara e do Rio de Janeiro, a cidade passou a ser a capital do estado com o título de Município do Rio de Janeiro. A década de 90 foi importante e representou mudança para a vida da cidade. Pode-se apontar o ano de 1992, com a escolha do Rio de Janeiro como centro mundial do debate sobre desenvolvimento e meio-ambiente, com a Eco 92. Este fato desencadeou uma série de ações governamentais traduzidas em investimentos na cidade, além de devolver a autoestima do carioca. A partir de 1993, com uma nova gestão de governo, a cidade do Rio de Janeiro experimentou uma fase marcada por grandes obras públicas, programas sociais, a volta à ordem pública, saneamento financeiro que transformaram o Rio de Janeiro em uma cidade pronta para enfrentar os desafios do novo milênio. A construção da Linha amarela, importante via de ligação entre a Zona Norte e Zona Oeste; o Programa Favela-Bairro, que integra as favelas do Rio de Janeiro ao tecido urbano da cidade; o Rio Cidade, são exemplos de intervenções urbanas que procuram garantir bem-estar e funcionalidade de serviços à população.

Hoje, o Rio de Janeiro é a 2ª maior cidade brasileira e 3ª maior da América do Sul, após São Paulo e Buenos Aires, em população. Possui uma área de 1.182 km<sup>2</sup> e mais de seis milhões de habitantes em sua área urbana. A cidade possui um dos mais movimentados portos da América Latina, bem como o é o segundo maior centro de movimento de aeronaves (aerportos de Santos Dumont e Galeão).

### **2.3.2. Histórico de cheias da cidade do Rio de Janeiro**

A crescente urbanização da cidade do Rio de Janeiro de forma desordenada, sem atentar-se para questões, tais como: de que maneira será feito o escoamento das águas pluviais e quais os melhores locais para a instalação da população de maneira segura, por exemplo, são alguns dos principais fatores que levaram aos grandes problemas com enchentes que a cidade apresenta e a quantidade de pessoas que morrem quando ocorrem esses eventos catastróficos.

Periodicamente, a cidade é assolada por chuvas intensas que ocorrem normalmente na época de verão, e que causam grandes inundações na cidade, gerando grandes transtornos à população. As comunidades localizadas próximas à Baía de Guanabara, as favelas dos morros e da baixada fluminense são as regiões mais atingidas por esses eventos.

A cronologia das enchentes no Rio de Janeiro tem seu primeiro registro no século XVIII. Em setembro de 1711 grandes inundações assolaram a cidade fundada 50 anos antes pelos portugueses em um sítio entre a Baía de Guanabara e um verdadeiro mar de morros. E, em abril de 1756, um grande temporal provocou inundações em toda a cidade: canoas foram vistas navegando pelo centro e desabamentos de casas fizeram inúmeras vítimas fatais. Já no século XIX, em 1811, novas inundações castigaram o Rio de Janeiro entre os dias 10 e 17 de fevereiro. Catástrofe que ficou conhecida como “águas do monte”, por conta da enxurrada violenta que descia dos diversos morros da cidade (Figura 17). O Morro do Castelo, importante sítio urbano no Centro, desmoronou, arrastando muitas casas, com muitas vítimas. A tragédia foi tão grande que as igrejas, sob ordens de D. João VI, príncipe regente, acolheram os desabrigados. Pela primeira vez foram feitos estudos sobre as causas da catástrofe ([http://www.acidezmental.xpg.com.br/enchentes\\_no\\_rj.html](http://www.acidezmental.xpg.com.br/enchentes_no_rj.html); 2012).



**Figura 17 – Inundação de 1811, na cidade do Rio de Janeiro.**

(FONTE: <http://umdosescolhidos.blogspot.com.br/>, acesso em agosto de 2012)

A situação da cidade do Rio de Janeiro foi piorando até o século XX, momento em que não havia condições de infraestrutura necessárias para comportar o crescimento da cidade. Segundo Abreu (1987 *apud* Moutinho, 2011), aliado a isso, as moradias passavam a ter seus custos cada vez mais elevados, principalmente nos bairros da Zona Sul, assim, a população com menor poder aquisitivo foi obrigada a se instalar em cortiços no Centro da cidade. No final o século XIX, iniciou-se uma política de combate aos cortiços, fazendo com que a população carente tivesse que ocupar outras áreas, indo, então, para os morros e iniciando o processo de favelização, contribuindo para o aumento das áreas urbanas impermeáveis.

Como resultado dessa nova configuração urbana, as águas das chuvas, que antes já encontravam restrições em seus escoamentos, mas que ainda conseguiam minimamente se infiltrar nos morros e se acumular nas regiões de baixadas, não mais podiam seguir seus caminhos naturais, resultando em severas enchentes. Desde o início do século passado, grandes temporais ocorreram na cidade, como mostra a tabela 3, alagando diversas áreas e gerando enormes prejuízos (COSTA, 2001 *apud* MOUTINHO, 2011).

**Tabela 3 – Cheias ocorridas na cidade do Rio de Janeiro nos séculos XX e XXI**

ANO	PRINCIPAIS REGIÕES DA CIDADE QUE FORAM AFETADAS	PRECIPITAÇÃO (mm)	PERÍODO DE TEMPO (h)
1906	Arredores do canal do Mangue	165	24
1911	Praça da Bandeira	150	24
1944	Catete, Botafogo, Praça da Bandeira e arredores do canal do Mangue	172	24
1962	Centro, Praça da Bandeira, entre outras áreas	242	24
1966	Toda cidade	237	24
1988	Toda cidade	430	24
1996	Zona Oeste e Zona Sul	200	8
2010	Toda cidade	288	24

Fonte: Elaborado pelo autor, baseado em Moutinho (2011).

As figuras 18 e 19 mostram, respectivamente, uma notícia relatando o caos do dilúvio de 1966 e uma foto da inundação que ocorreu em 1988.



**Figura 18 - Jornal relatando a enchente de 1966.**

(FONTE: <http://umdoscolhidos.blogspot.com.br/>, acesso em agosto de 2012)



**Figura 19 – Foto da enchente de 1988, na cidade do Rio de Janeiro.**

(FONTE: <http://umdosescolhidos.blogspot.com.br/>, acesso em agosto de 2012)

Em 2011, a cidade do Rio de Janeiro entrou em estado de atenção, no mês de janeiro, devido às fortes chuvas que ocorreram nas zonas norte e oeste. Foi nessa mesma época que ocorreu nas cidades de Teresópolis, Nova Friburgo, Petrópolis, Sumidouro e São José do Vale do Rio Preto, localizadas na Região Serrana do estado do Rio de Janeiro, o maior desastre climático da história do país (Figura 20), caracterizado por inundações e deslizamentos de terra ocasionados por uma chuva intensa e pela falta de infraestrutura local, contabilizando um total de mais de 900 mortes (<http://g1.globo.com/>, 2012).



**Figura 20 – Vista aérea de um dos vales inundados na Região Serrana.**

(FONTE: <http://revistaepoca.globo.com/>, acesso em agosto de 2012)

Esses eventos catastróficos retratam a atenção especial que deve ser dada ao sistema de manejo de águas pluviais da cidade do Rio de Janeiro, hoje, deficiente. De acordo com a tendência mundial, que ainda encontra-se em estado de maturação no país, a solução para minimizar os problemas com as cheias urbanas é partir para a adoção de técnicas compensatórias, que podem ser capazes de reduzir o volume e a velocidade do escoamento superficial, além de minimizar e atrasar a vazão de pico da chuva. Essas técnicas funcionam com o princípio básico de recuperar as funções do ciclo hidrológico que foram perdidas com a urbanização.

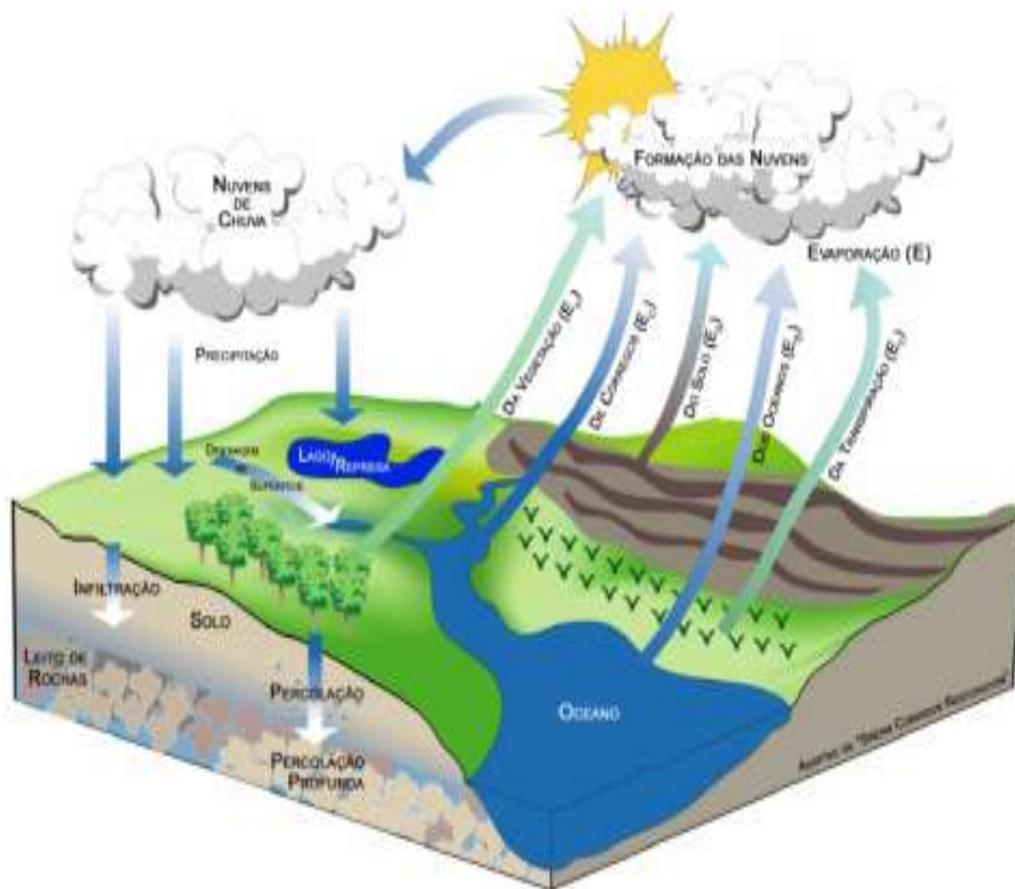
#### **2.4. O CICLO HIDROLÓGICO**

O ciclo hidrológico é o fenômeno global de circulação fechada da água entre a superfície terrestre e a atmosfera, impulsionado fundamentalmente pela energia solar associada à gravidade e rotação terrestre. A superfície terrestre abrange os continentes e os oceanos, participando do ciclo hidrológico a camada porosa que recobre os continentes (solos e rochas) e o reservatório formado pelos oceanos (SILVEIRA, 2002).

De acordo com Carvalho e Silva (2006 *apud* Felten, 2008):

*“O conceito de ciclo hidrológico está ligado ao movimento e à troca de água nos seus diferentes estados físicos, que ocorre na Hidrosfera, entre os oceanos, as calotas de gelo, as águas superficiais, as águas subterrâneas e a atmosfera. Este movimento permanente deve-se ao Sol, que fornece a energia para elevar a água da superfície terrestre para a atmosfera (evaporação), e à gravidade, que faz com que a água condensada se caia (precipitação) e que, uma vez na superfície, circule através de linhas de água que se reúnem em rios até atingir os oceanos (escoamento superficial) ou se infiltre nos solos e nas rochas, através dos seus poros, fissuras e fraturas (escoamento subterrâneo). [...] A água que se infiltra no solo é sujeita a evaporação direta para a atmosfera e é absorvida pela vegetação, que através da transpiração, a devolve à atmosfera. Este processo chamado evapotranspiração ocorre no topo da zona não saturada, ou seja, na zona onde os espaços entre as partículas de solo contêm tanto ar como água.”*

A figura 21 ilustra os principais processos do ciclo hidrológico.



**Figura 21 – O ciclo hidrológico.**  
(FONTE: ROLA, 2008)

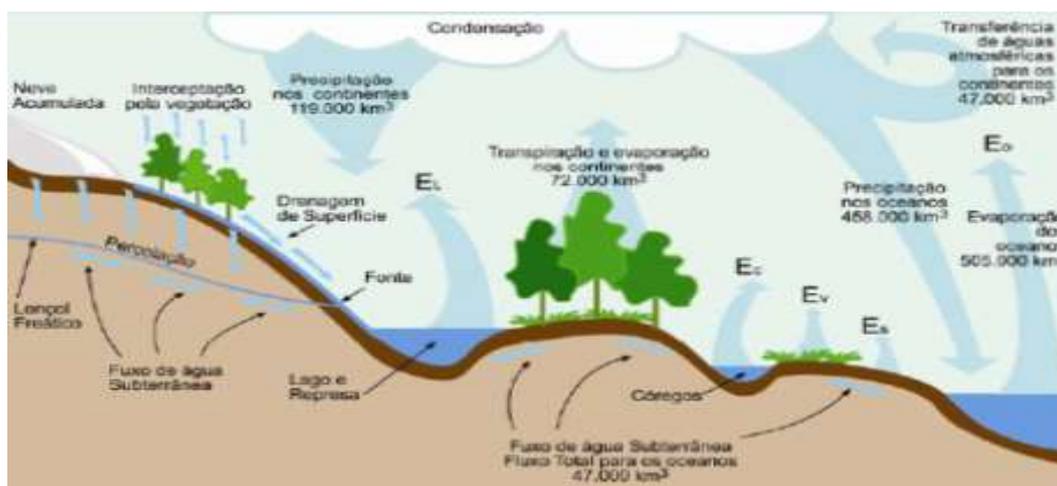
De acordo com Tundisi (2003 *apud* Rola, 2008), o ciclo hidrológico é o princípio unificador fundamental de tudo o que se refere à água no planeta e compõe-se dos seguintes processos apresentados na tabela 4.

**Tabela 4 – Processos do ciclo hidrológico**

PROCESSO	DEFINIÇÃO
Precipitação	originada da condensação do vapor d'água, podendo ser líquida (chuva) ou sólida (neve ou gelo), é a água que se soma à superfície da terra, desde a atmosfera
Evaporação	advinda principalmente dos oceanos e também dos rios, lagos e represas, é o processo de transformação da água na sua fase líquida em vapor d'água
Transpiração	oriunda da vegetação é o processo de perda de vapor d'água, o qual se soma à atmosfera
Infiltração	é o processo no qual a água é absorvida pelo solo
Percolação	advinda da infiltração do solo, é o processo pelo qual a água se insere nas formações rochosas até o lençol freático
Drenagem	entrementes que a chuva precipita, é toda a movimentação de deslocamento da água pela superfície da terra

Fonte: Elaborado pelo autor, baseado em Tundisi (2003 *apud* Rola, 2008).

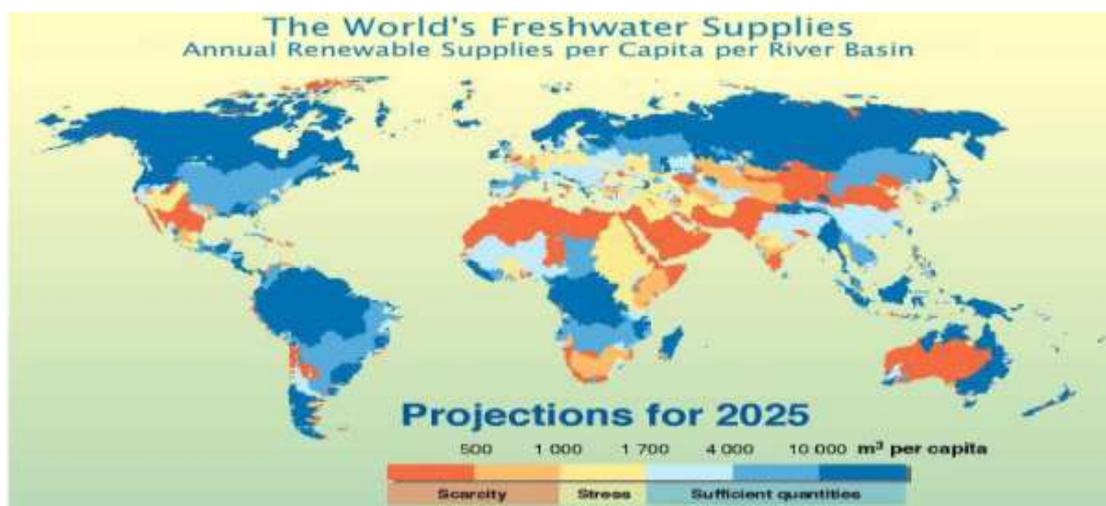
Os fluxos de evaporação, precipitação e drenagem para os oceanos, expressos em volume ( $\text{km}^3$ ) na figura 22, permitem o entendimento dos quantitativos da água existente no planeta. O volume anual de água evaporada dos oceanos é da ordem de  $505.000 \text{ km}^3$ , no entanto apenas  $458.000 \text{ km}^3$  de água são precipitados de volta aos oceanos. Os demais  $47.000 \text{ km}^3$  de água evaporada dos oceanos são transferidos aos continentes, onde se somam aos  $72.000 \text{ km}^3$  de vapor de água advindos da transpiração e evaporação nos continentes, resultando no quantitativo de precipitação de  $119.000 \text{ km}^3$  (ROLA, 2008).



**Figura 22 – Fluxos anuais do ciclo hidrológico (volume/ano).**

(FONTE: ROLA, 2008)

Pode-se dizer que o Brasil é um país que apresenta uma boa disponibilidade hídrica, como mostra a figura 23. Vale ressaltar que, segundo Vieira (1999 *apud* Rola, 2008), a disponibilidade hídrica é entendida como sendo “a quantidade de água, efetivamente disponível, de forma duradoura ou permanente”.

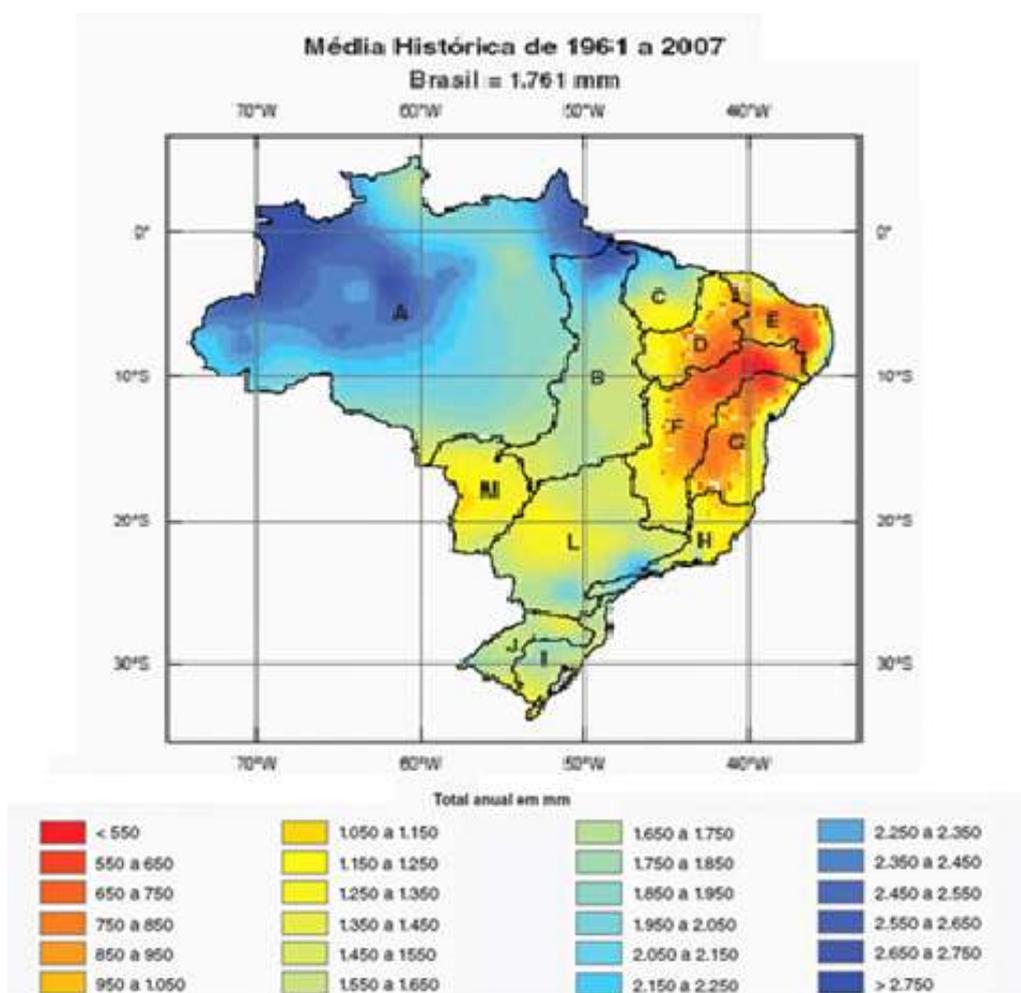


**Figura 23 – Disponibilidade hídrica mundial.**

(FONTE: <http://serc.carleton.edu/>, acesso em janeiro de 2012)

Porém, a água disponível no território brasileiro encontra-se mal distribuída espacialmente e temporalmente, esse fato ocorre devido à imensa extensão territorial do país, que tem porções do seu território tanto na zona intertropical de clima quente quanto na zona temperada de clima mais ameno, e à topografia que é extremamente variada.

Isso acarreta grandes superávits hídricos em algumas áreas localizadas, como na região norte brasileira, e déficits preocupantes em áreas como o nordeste brasileiro, que apresenta graves problemas de falta de água. A figura 24 mostra como a precipitação ocorre nas diversas regiões do país e apresenta também a situação extrema de falta de água na região semiárida brasileira.



**Figura 24 – Precipitação anual média nas regiões hidrográficas do Brasil, média de 1961 até 2007.**

(FONTE: <http://conjuntura.ana.gov.br/>, acesso em janeiro de 2012)

## 2.5. OS SISTEMAS DE DRENAGEM

Segundo Tucci e Bertoni (2003), os sistemas de drenagem são definidos como: na fonte, microdrenagem e macrodrenagem.

A drenagem na fonte é definida pelo escoamento que ocorre no lote, condomínio ou empreendimento individualizado, estacionamentos, parques e passeios. A prática de técnicas compensatórias, como telhados verdes, pavimentos permeáveis e valas de infiltração são medidas que visam reduzir o volume de água logo no sistema de drenagem na fonte, uma vez que podem promover uma amortização do volume de água que é precipitado na escala do próprio empreendimento.

Morales (2003) define a microdrenagem urbana da seguinte maneira:

*“A microdrenagem urbana é definida pelo sistema de condutos pluviais, relacionados aos espaços definidos pelos loteamentos ou de rede primária urbana, que propicia a ocupação do espaço urbano ou periurbano por uma forma artificial de assentamento, adaptando-se ao sistema de circulação viária.”*

A tabela 5 apresenta os dispositivos que compõem um sistema de microdrenagem urbana.

**Tabela 5 – Dispositivos do sistema de microdrenagem urbana**

DISPOSITIVO	FUNÇÃO
Sarjetas	Elemento de drenagem das vias públicas. A calha formada é a receptora das águas pluviais que incidem sobre as vias públicas e que para elas escoam em direção as bocas de lobo
Sarjetões	Calhas localizadas nos cruzamentos das vias públicas, formadas pela sua própria pavimentação e destinadas a orientar o fluxo das águas que escoam pelas sarjetas
Boca de lobo	Captar águas pluviais, localizados nas sarjetas
Galerias	Canalizações usadas para conduzir as águas captadas pelas bocas de lobo e das ligações prediais
Poço de Visita	Dispositivos que permitem acesso para inspeção e manutenção das redes. São posicionados em determinados pontos, sempre que se deseja alterar direção, declividade, diâmetro ou o material da tubulação
Tubos de Ligação	Canalizações destinadas a conduzir as águas pluviais captadas nas bocas de lobo para a galeria ou para os poços de visita
Condutos	Obras destinadas à condução das águas superficiais coletadas

Fonte: Elaborado pelo autor, baseado em Morales (2003) e Moutinho (2011).

Ainda de acordo com Morales (2003), a macrodrenagem urbana é definida da seguinte maneira:

*“A macrodrenagem é um conjunto de obras que visam melhorar as condições de escoamento de forma a atenuar os problemas de erosões, assoreamento e inundações ao longo dos principais talvegues (fundo de vale). Ela é responsável pelo escoamento final das águas, a qual pode ser formada por: canais naturais ou artificiais, galerias de grandes dimensões e estruturas auxiliares. A macrodrenagem de uma zona urbana corresponde a rede de drenagem natural pré-existente nos terrenos antes da ocupação, sendo constituída pelos igarapés, córregos, riachos e rios localizados nos talvegues e valas.”*

Ainda segundo o autor, as obras de macrodrenagem consistem na retificação ou ampliação das seções de cursos naturais (Figura 25), construção de canais artificiais ou galerias de grandes dimensões (Figura 26) e construção de estruturas auxiliares para proteção contra erosões e assoreamento, travessias e estações de bombeamento.



**Figura 25 – Retificação de Canal Natural.**  
(FONTE: MORALES, 2003)



**Figura 26 – Galeria de Concreto Armado.**  
(FONTE: MORALES, 2003)

## **2.6. MEDIDAS DE CONTROLE E TÉCNICAS COMPENSATÓRIAS EM DRENAGEM URBANA**

### **2.6.1. Medidas de controle em drenagem urbana**

As medidas de controle que visam minimizar os danos causados por alagamentos, por inundações, pelas enchentes e pela falta de recarga dos aquíferos podem ser estruturais e não estruturais (CARVALHO; LELIS, 2000).

As ações estruturais mitigadoras dos danos ambientais provocados pelas águas pluviais devem ter início no próprio planejamento da ocupação e uso do solo para que tenham menor custo econômico e socioambiental. São exemplos de ações estruturais que integram esse planejamento: a ocupação progressiva do solo acompanhada das obras de infraestrutura básica; a observância da taxa e do modo de ocupação do solo fixados em condições compatíveis com a capacidade de suporte do meio ambiente e com a boa qualidade de vida; a preservação de áreas verdes naturais principalmente junto às drenagens; a previsão e execução de obras de controle do escoamento superficial das águas pluviais tais como poços, trincheiras e valas de infiltração e bacias de retenção, de detenção e de sedimentação (CARVALHO; LELIS, 2000).

As medidas não estruturais incluem, por exemplo, as normas e os regulamentos que disciplinam a ocupação e o uso do solo e a conscientização da população por meio da educação ambiental formal e não formal quanto à necessidade de observância de tais normas e regulamentos. As ações não estruturais atuam e ampliam seu efeito ao longo do tempo, além de serem menos onerosas e contribuir, via de regra, para a redução dos custos das ações estruturais (CARVALHO; LELIS, 2000).

Segundo DEP (2005), as medidas de controle do escoamento podem ser classificadas, de acordo com sua ação na bacia hidrográfica, em: distribuída ou na fonte, na microdrenagem ou na macrodrenagem. As medidas de controle distribuídas ou na fonte é o tipo de controle que atua sobre o lote, praças e passeios; as medidas de controle na microdrenagem é o controle que age sobre o hidrograma resultante de um ou mais parcelamentos de terra, em função da área; e as medidas de controle na macrodrenagem é o controle sobre áreas acima de 2 km<sup>2</sup> ou dos principais riachos urbanos.

As principais medidas de controle estruturais que podem ser tomadas são apresentadas na tabela 6.

**Tabela 6 – Principais medidas de controle em drenagem urbana**

MEDIDA DE CONTROLE	ATUAÇÃO
Aumento da infiltração	Utilização dispositivos como pavimentos permeáveis, valas de infiltração, planos de infiltração, entre outros. Estas medidas contribuem para a melhoria ambiental, reduzindo o escoamento superficial das áreas impermeáveis. Este tipo de medida é aplicada somente na fonte.
Armazenamento	O armazenamento amortece o escoamento, reduzindo a vazão de pico. O reservatório urbano pode ser construído na escala de lote, microdrenagem e macrodrenagem. Os reservatórios de lotes são usados quando não é possível controlar na escala de micro ou macrodrenagem, já que as áreas já estão loteadas. Os reservatórios de micro e macrodrenagem podem ser de detenção, quando é mantido a seco e controla apenas o volume. O reservatório é de retenção quando é mantido com lâmina de água e controla também a qualidade da água, mas exige maior volume. Os reservatórios de detenção também contribuem para a melhoria da qualidade da água, se parte do volume (primeira parte do hidrograma) for mantida pelo menos 24 horas na detenção.
Aumento da capacidade de escoamento	Mudando variáveis como área, rugosidade da seção do escoamento e a declividade, é possível aumentar a vazão e reduzir o nível. Esta solução, muito utilizada, apenas transfere para jusante o aumento da vazão, exigindo aumento da capacidade ao longo todo o sistema de drenagem, aumentando exponencialmente o custo.

Fonte: Elaborado pelo autor, baseado em DEP (2005).

### 2.6.2. Técnicas compensatórias em drenagem urbana

Os sistemas convencionais de drenagem geralmente têm como objetivo apenas conduzir as águas de escoamento superficial para fora das cidades, lançando-as em cursos d'água e reservatórios. Hoje, com o intuito de preservar o meio ambiente, os sistemas de drenagem conhecidos como alternativos ou compensatórios, além de reterem parte do volume de água superficial, promovem sua infiltração no solo ou disponibilizam esse volume de água para o consumo. Esses dispositivos têm sido utilizados como complementares aos sistemas convencionais (CARVALHO; LELIS, 2000).

As técnicas compensatórias em drenagem urbana são medidas que podem ser tomadas com a finalidade de reduzir os impactos negativos, como prejuízos a população e danos ambientais, causado pelas águas pluviais nas cidades. E isso é alcançado através de uma tentativa de restituir o ciclo hidrológico que existia no local antes da urbanização.

A técnica compensatória que será aplicada para auxiliar na drenagem urbana local depende de vários fatores, como as características específicas do local e custos para sua implantação e manutenção.

A tabela 7 apresenta os tipos de técnicas compensatórias de drenagem que podem ser adotadas em projetos.

**Tabela 7 – Principais tipos de técnicas compensatórias em drenagem urbana**

<b>TÉCNICA</b>	<b>CARACTERÍSTICA</b>	<b>RESPONSABILIDADE</b>
De controle na fonte	Estão associadas a pequenas estruturas de drenagem, como os poços e as valas de infiltração e os telhados verdes.	Proprietário da área
Linear	Estão associadas a áreas maiores a serem drenadas, como ruas, estacionamentos e pátios. Nesses casos, podem ser implantadas as trincheiras de infiltração e pavimentos permeáveis.	Proprietário da área ou Estado
De controle centralizado	Estão associadas a estruturas de drenagem de grande porte, como as bacias de retenção e detenção que atendem a uma determinada área urbana, de expansão urbana ou rural.	Pública ou Privada

Fonte: Elaborado pelo autor, baseado em Carvalho e Lelis (2000).

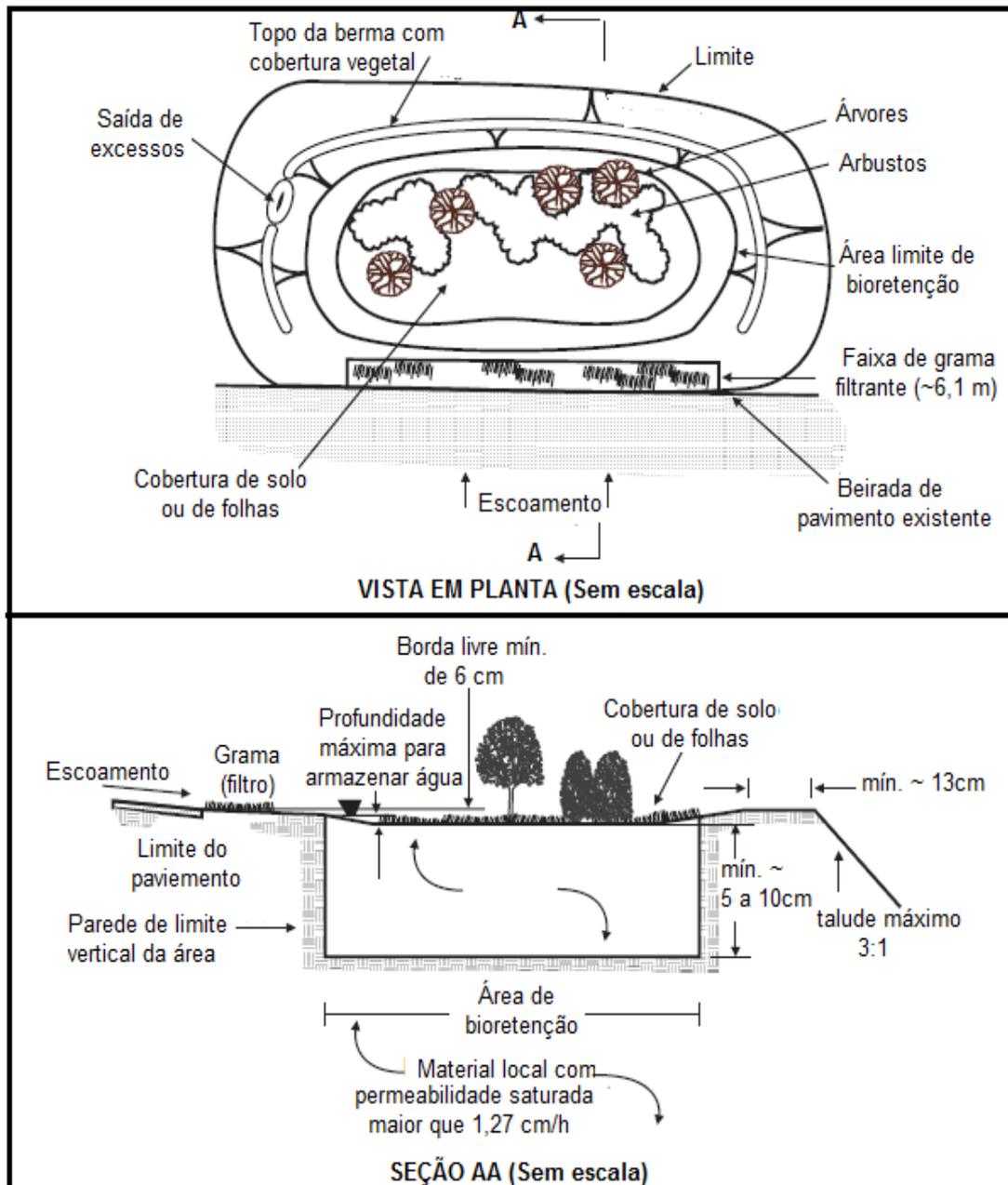
A seguir são descritos brevemente algumas técnicas compensatórias em drenagem urbana: bioretenção, valas de infiltração, trincheiras de infiltração e pavimentos permeáveis, também conhecidas na literatura internacional como medidas *LID*. A técnica compensatória de utilização de telhados verdes é apresentada, com maior riqueza de detalhes, no terceiro capítulo do presente texto. De acordo com o documento internacional “*Low – Impact Development Design Strategies*” (PRINCE GEORGE’S COUNTY, 1999), reservatórios com a finalidade de armazenar água de chuva são também considerados uma medida *LID* que além de reter o volume de água de chuva precipitado, pode diminuir o valor das contas de água quando esta água pluvial é aproveitada. Este assunto será abordado de maneira mais aprofundada no capítulo quatro.

#### **2.6.2.1. Bioretenção**

A bioretenção é uma prática que visa gerenciar e tratar o escoamento de águas pluviais. Em uma região onde há pequenas depressões, é previsto uma área de bioretenção na qual será inserido um solo permeável para o plantio de uma camada superficial de vegetação.

O sistema é composto basicamente de uma faixa de grama ao redor da área de bioretenção, que funciona tanto como filtro para a água precipitada quanto como um freio para a velocidade do escoamento; e de uma área alagável, na qual o solo e a vegetação ali existente são capazes de acumularem a água. A figura 27 apresenta um esquema mais detalhado de uma área de bioretenção.

O solo da área de bioretenção, além de armazenar água, armazena também nutrientes que são necessários para o desenvolvimento das plantas. Já a vegetação ali presente, além de consumir água e de ser capaz de retê-la no processo de evapotranspiração, também auxilia na prevenção de erosões.

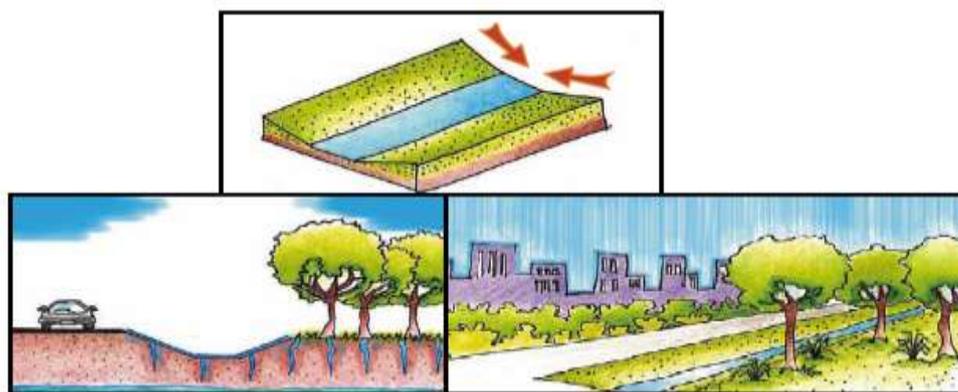


**Figura 27 – Esquema típico de uma área de bioretenção.**

(FONTE: Adaptado de PRINCE GEORGE'S COUNTY, 1999)

### 2.6.2.2. Valas de infiltração

Valas de infiltração são estruturas lineares pouco profundas e vegetadas geralmente utilizadas quando o lençol freático é superficial ou o manto impermeável é pouco profundo. Elas permitem o armazenamento temporário de águas pluviais e favorecem sua infiltração no solo. São implantadas ao longo de rodovias, estacionamentos, parques industriais e áreas verdes de casas, integrando-se à paisagem enquanto drenam as enxurradas (CARVALHO; LELIS, 2000). A figura 28 apresenta algumas ilustrações de valas de infiltração e, a figura 29, a foto de uma vala de infiltração.



**Figura 28 – Ilustrações de valas de infiltração.**

(FONTE: CARVALHO; LELIS, 2000)



**Figura 29 – Foto de uma vala de infiltração.**

(FONTE: <http://costaesmeraldaportobelo.com.br>, acesso em agosto de 2012)

### **2.6.2.3. Trincheiras de infiltração**

As trincheiras permitem o armazenamento e a infiltração de água no solo. São estruturas lineares pouco profundas que, nos sistemas convencionais, são preenchidas total ou parcialmente com material granular, como britas e seixos, e revestidas com manta de geotêxtil que funciona como filtro. Em sistemas não convencionais, tem sido proposto o enchimento com materiais alternativos, como entulhos de construção, garrafas PET e pneus usados (CARVALHO; LELIS, 2000).

São usadas em áreas industriais, junto a pátios de estacionamentos e ao longo de ruas e avenidas para a infiltração de água das áreas urbanas pavimentadas. Os locais de implantação das trincheiras, quando fechadas, podem se integrar à paisagem e servir como áreas de parques e jardins (CARVALHO; LELIS, 2000). A figura 30 mostra algumas trincheiras de infiltração utilizadas em espaços urbanos.



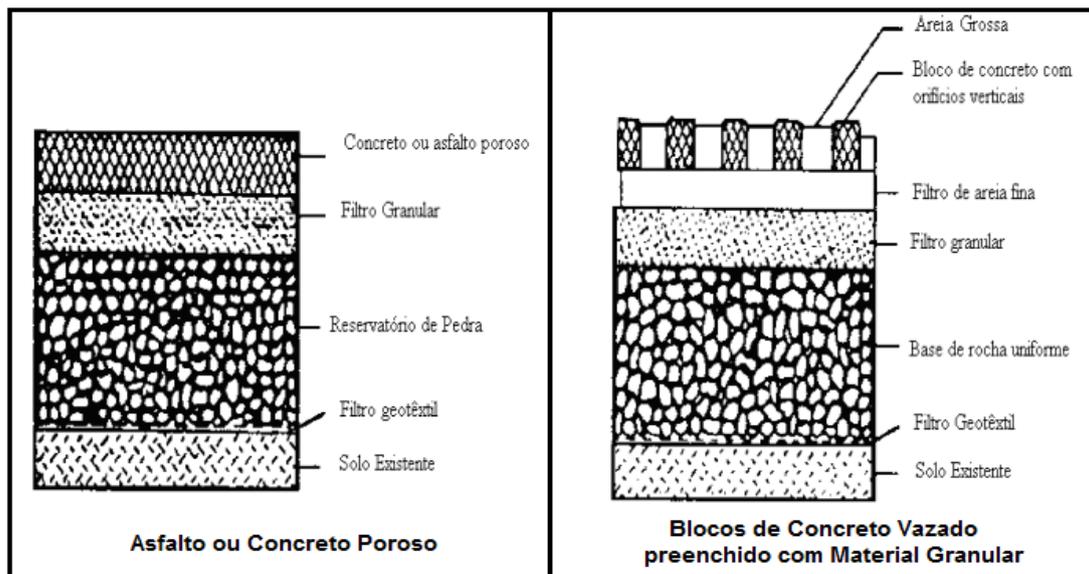
**Figura 30 – Trincheiras de infiltração.**

(FONTE: <http://w3.ufsm.br/>, acesso em agosto de 2012)

#### 2.6.2.4. Pavimentos permeáveis

Pavimento permeável é um dispositivo de infiltração onde o escoamento superficial é desviado através de uma superfície permeável para dentro de um reservatório de pedras localizado sob a superfície do terreno (URBONAS; STAHRÉ, 1993 *apud* ARAUJO *et al.*, 2000).

Urbanas e Stahre (1993 *apud* DEP, 2005) classifica os pavimentos permeáveis em três tipos, conforme mostra a figura 31: pavimento de asfalto poroso; pavimento de concreto poroso; e pavimento de blocos de concreto vazado preenchido com material granular, como areia ou vegetação rasteira, como grama.



**Figura 31 – Tipos de pavimentos permeáveis.**

(FONTE: URBONAS; STAHRÉ, 1993 *apud* ARAUJO *et al.*, 2000)

Tanto os revestimentos de asfalto poroso como os de blocos vazados são encontrados normalmente no mercado brasileiro. Os revestimentos porosos de concreto de cimento devem ser executados na obra, segundo especificações indicadas na literatura especializada (PROGRAMA DRENAGEM URBANA SUSTENTÁVEL, 2006).

A camada superior dos pavimentos porosos (asfalto ou concreto) é construída de forma similar aos pavimentos convencionais, mas com a retirada da fração da areia fina da mistura dos agregados do pavimento. O princípio de funcionamento da estrutura é de fazer com que o escoamento infiltre rapidamente na capa ou revestimento poroso (espessura de 5 a 10 cm), passe por um filtro de agregado de 1,25 cm de diâmetro e espessura de aproximadamente 2,5 cm e vá para uma câmara ou reservatório de pedras mais profundo com agregados de 3,8 a 7,6 cm de diâmetro (DEP, 2005).

A capa de revestimento permeável somente age como um conduto rápido para o escoamento chegar ao reservatório de pedras. Assim, a capacidade de armazenamento dos pavimentos porosos é determinada pela profundidade do reservatório de pedras subterrâneo, somado ao escoamento perdido por infiltração para o subsolo (DEP, 2005).

No caso de blocos de concreto vazados, eles devem ser assentados acima de uma camada de base granular (areia), sob a qual devem ser colocados filtros geotêxteis para prevenir a migração da areia fina para a camada granular (DEP, 2005).

Não existem limitações para o uso do pavimento permeável, exceto quando a água não pode infiltrar para dentro do subsolo devido à baixa permeabilidade do solo ou se houver uma camada impermeável que não permita a infiltração (URBONAS; STAHR, 1993 *apud* ARAUJO *et al.*, 2000).

Como desvantagens desta técnica podem ser citadas a necessidade de um controle rigoroso na construção e manutenção deste dispositivo, de forma que eles não fiquem entupidos ou obstruídos; e que não podem ser utilizados em locais onde há um tráfego intenso ou movimentação de cargas pesadas.

As figuras 32 e 33 mostram exemplos de aplicações de pavimentos permeáveis.



**Figura 32 – Pavimento permeável utilizado em estacionamento.**

(FONTE: <http://www.gva24.com/>, acesso em agosto de 2012)



**Figura 33 – Pavimento permeável utilizado em calçadas.**

(FONTE: <http://jardinagemepaisagismo.com/>, acesso em agosto de 2012)

### 3. COBERTURAS VERDES

---

*“O céu já foi azul, mas agora é cinza. O que era verde aqui já não existe mais.”*

*(Renato Russo)*

#### 3.1. INTRODUÇÃO

A palavra *naturação* é um neologismo e baseia-se na terminologia latina *Natura*, que significa natureza em seu sentido mais amplo. Esta palavra encerra um conceito vasto, pois implica em envolver a vida urbana e rural em um meio ambiente onde a natureza recupere o protagonismo, através de espécies vegetais que melhorem as condições de vida de uma forma sustentável (BRIZ, 1999; ROLA, *et al.*, 2003 *apud* ROLA, 2008).

O sistema de *naturação* é uma tecnologia de aplicação de vegetação sobre superfícies construídas, que, resgatando os princípios de enverdecimento de áreas edificadas, busca amenizar os impactos do desenvolvimento urbano, explorando cientificamente as respostas às demandas ambientais, e redirecionando as cidades para o desenvolvimento sustentável, obtendo assim uma maior integração entre espaço urbano – cidadão – natureza. A técnica de *naturação* pode ser aplicada em quaisquer áreas construídas, ou seja, coberturas, fachadas e vias (ROLA *et al.*, 2003 *apud* ROLA, 2008).

Dentro do arcabouço da *naturação*, o presente trabalho será desenvolvido acerca de sua aplicação em telhados, conhecida popularmente como telhados verdes, também chamados de “lajes jardim, tetos vivos, tetos verdes, terraços jardim, coberturas verdes e jardins suspensos” (CAETANO; TIBIRIÇÁ; SANTOS, 2010), ou ainda como “coberturas ecológicas, ajardinadas, vegetadas ou naturadas” (NASCIMENTO; SHMID, 2008).

As coberturas verdes trazem consigo a ideia de recomposição da vegetação original retirada do solo, de forma a recuperar suas propriedades superficiais originais. Para isto, tal tecnologia utiliza a cobertura das edificações, onde são implantadas camadas de vegetação, substrato, drenagem e impermeabilização, de forma a simular uma superfície de solo vegetado. Em certo sentido, as coberturas verdes podem ainda ser entendidas como uma forma de realocação da vegetação do solo retirada para a implantação do edifício (CAETANO; TIBIRIÇÁ; SANTOS, 2010).

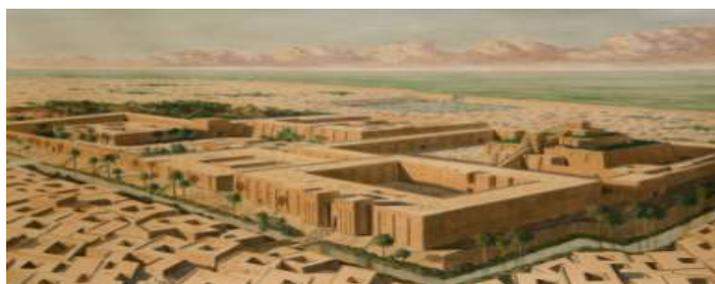
Um dos motivos pelo qual a *naturação* tem despertado tanto interesse na gestão pública de várias cidades, enquanto estratégia de sustentabilidade ambiental advém do fato de possibilitarem a implantação de vegetação nas cidades sem entrar no mérito das disputas pelo

uso e ocupação do solo, já que utilizam a cobertura dos edifícios para este fim (CAETANO; TIBIRIÇÁ; SANTOS, 2010).

### 3.2. HISTÓRICO DA NATURAÇÃO

De acordo com Osmundson (1999 *apud* Nascimento e Schmid, 2008), embora não haja registros precisos do seu aparecimento, evidências de jardins sobre terraços são encontradas desde as antigas civilizações que floresceram nos vales dos rios Tigres e Eufrates.

Os primeiros registros de edificações com coberturas vegetais datam de 2.500 anos antes da era cristã com os antigos templos na antiga Mesopotâmia, atual Iraque, conhecidos como Zigurates (Figura 34), que em formato escalonado possibilitavam a aplicação de vegetação em diferentes níveis (OSMUNDSON, 1999; DUNNET; KINGBURY, 2004 *apud* ROLA,2008).



**Figura 34 – Zigurate, antigo templo mesopotâmico.**

(FONTE: <http://picasaweb.google.com>, acesso em outubro de 2011)

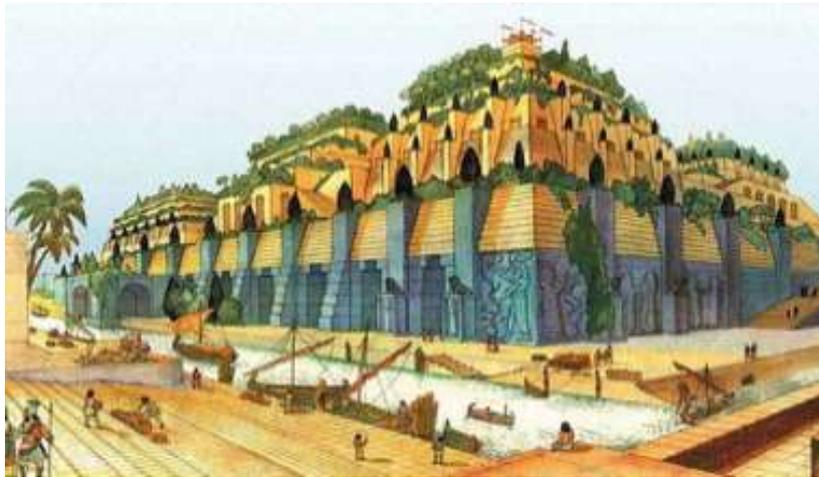
Ainda na Mesopotâmia, segundo Lending (2004 *apud* Rola, 2008), há vários vestígios históricos da existência de outra edificação também coberta com vegetação, um enorme templo chamado *Etemenanki*, zigurate esta, melhor conhecida por *Torre de Babel* (Figura 35), que é descrita no Livro *Gênesis* (Gênesis 11.1-9), da Bíblia, como uma das mais famosas lendas da humanidade.



**Figura 35 – A Torre de Babel por Pieter Bruegel, pintor flamengo.**

(FONTE: <http://www.museedesenfants.ch/>, acesso em outubro de 2011)

Considerados entre as sete maravilhas do mundo antigo, os Jardins Suspensos da Babilônia (Figuras 36 e 37) são o exemplo mais espetacular e difundido historicamente (ROLA, 2008). Os jardins, provavelmente construídos durante a reconstrução da Babilônia, por volta de 500 a.C., foram presumidamente erigidos por ordem expressa do Rei Nabucodonosor II para agradar e consolar a Rainha Amytis, que se encontrava acometida pela saudade das paisagens montanhosas e verdejantes de sua terra natal, a Mídia (antiga Pérsia) (OSMUNDSON, 1999 e KRYSTEK, 1998 *apud* ROLA, 2008).



**Figura 36 – Jardins suspensos da Babilônia.**

(FONTE: <http://picasaweb.google.com/>, acesso em outubro de 2011)



**Figura 37 – Ilustração de parte da edificação que abriga os jardins suspensos da Babilônia com a Torre de Babel ao fundo (autor desconhecido).**

(FONTE: <http://everythingdigital.org/>, acesso em outubro de 2011)

Os aspectos tecnológicos da natureza na era antiga derivam do que foram os jardins suspensos da Babilônia que se supõe terem sido construídos sobre fileiras, abóbodas e

terraços, suportados por vigas de pedra com uma camada de cana com piche, com duas fileiras de tijolo de barro montados com cimento e uma cobertura chumbo para evitar a infiltração da umidade do solo na estrutura. Para irrigar tal situação, registros históricos relatam que a água era trazida do rio Eufrates, por canais construídos (OSMUNDSON, 1999 *apud* ROLA, 2008).

Na Idade Média e na Renascença, os exemplos mais expressivos começam com o *Mont-Saint-Michel* (Figura 38), na França, localizado em uma ilha de pedra granítica, onde no topo está construída a Abadia Beneditina (1228) de Saint Michel. De arquitetura gótica e estruturado todo em pedra, trata-se de uma edificação em três andares com 22 salas, dentre elas, e localizada no primeiro andar, está a sala onde eram guardadas as provisões de alimentos, logo acima, no segundo andar, o *Scriptorium*, a sala de trabalho e por sobre, servindo de cobertura, há um claustro com colunas voltadas para um pátio onde se localiza um jardim a céu aberto, com plantas de porte médio ou arbustivas (Figura 39) (ROLA, 2008).



**Figura 38 – Foto aérea do monte Saint Michel, na Normandia, França.**  
(FONTE: <http://travellhappyland.blogspot.com/>, acesso em outubro de 2011)



**Figura 39 – Foto do jardim do claustro da abadia de Saint Michel, na Normandia, França.**  
(FONTE: <http://www.raubacapeu.net/>, acesso em outubro de 2011)

Outro exemplo é o *Palazzo Piccolomini* (1458-64) (Figura 40), em Pienza, na Itália, com um jardim, com natureza intensiva, ainda preservado, desde meados do século XV, cuja localização em plano inclinado permitiu a construção de andares mais baixos e a elevação da área destinada ao jardim, tudo construído com peças maciças. Na Itália existem outros dois exemplos desse período: A torre de Guinigis (1384) (Figura 41), em Lucca, Itália, que apresenta um jardim suspenso a uma altura de 36m do nível da cidade, o qual é suportado por uma estrutura de tijolos cerâmicos de 61cm de espessura e irrigado por um sistema subterrâneo; e o Jardim de *Medici*, em *Careggi* (do início do século XV), densamente vegetado com espécies exóticas (OSMUNDSON, 1999 *apud* ROLA, 2008).



**Figura 40 – Fotografia do Palazzo Piccolomini, em Pienza, Itália.**

(FONTE: <http://www.paesionline.it/>, acesso em outubro de 2011)

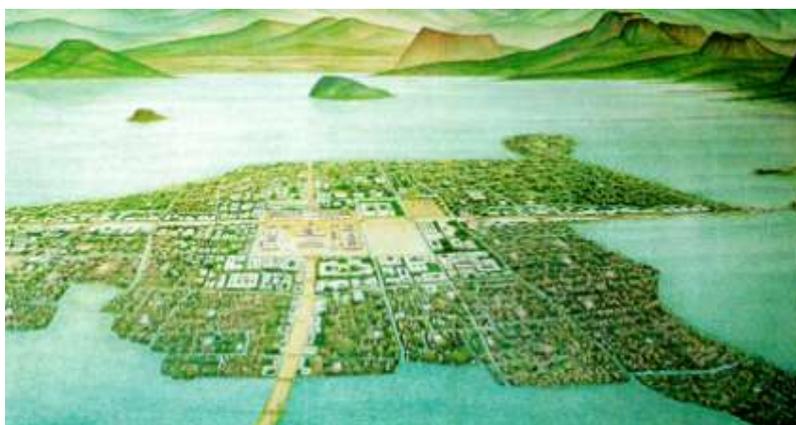


**Figura 41 – Foto da torre de Guinigi com sete cavalhos, em Lucca, Itália.**

(FONTE: <http://www.grifotour.com/>, acesso em outubro de 2011)

Os sete carvalhos cultivados no topo da Torre de *Guinigis* são considerados sacrificados por se tratarem de árvores frondosas, de 30 a 40 metros de altura, que tem o seu crescimento restringido pela quantidade de substrato, na limitada área em que se encontram. Quanto ao período de quase 700 anos de vida destas espécies de vegetais, vale ressaltar que este tipo de árvore, do gênero *Quercus*, tem um tempo de vida que vai de 500 a 1000 anos (ROLA,2008).

No mundo novo das Américas, em 1519, em uma missiva ao Rei da Espanha Carlos I, Hemán Cortéz revela o que outrora fora a grande cidade asteca de *Tenochtitlán* regida por Montezuma II como sendo uma cidade bela e rica, constituída por ilhas no lago Texcoco, o que limitava a área de solo para jardins (ROLA, 2008). Portanto, e segundo Cortez (OSMUNDSON, 1999 *apud* ROLA, 2008), o uso de jardins “visitáveis” nas coberturas das edificações existentes no lago de Texcoco era a única alternativa de área verde em uma pequena e densamente povoada cidade (Figura 42).



**Figura 42 – Ilustração da cidade asteca de Tenochtitlán.**

(FONTE: <http://renatofontinha.blogspot.com/>, acesso em outubro de 2011)

Os exemplos de coberturas vegetais dos anos 1600 a 1875 começam com a residência do cardeal Johan Van Lamberg em Passau, Alemanha, seguindo, em 1733 o Palácio do Kremlin (Figura 43), em Moscou, Rússia, com os 40.000 m<sup>2</sup> de jardins com natureza intensiva construídos ao nível dos quartos da mansão com dois terraços adicionais descendentes a quase o nível do rio Moscou. Tais Jardins eram suportados por uma estrutura de parede de pedra com vãos abobadados, cobertos com placas soldadas de chumbo com impermeabilizante (ROLA, 2008). Para o jardim superior com uma extensão de 122m de comprimento foram gastos 10,24 toneladas de chumbo para impermeabilização e os quartos abaixo localizados possuíam escoras e vigas consideravelmente robustas para suportar todo o peso (OSMUNDSON, 1999 *apud* ROLA, 2008).



**Figura 43 – Vista do Grande Palácio do Kremlin, a partir do outro lado do rio Moscou, que corta a capital russa.**

(FONTE: <http://www1.folha.uol.com.br/>, acesso em outubro de 2011)

Outro exemplo é o Museu de Arte Hermitage, antigo palácio de inverno da Imperatriz Catarina II da Rússia, em Saint-Petersburg, na Rússia. Além disso, de acordo com OSMUNDSON (1999 *apud* ROLA, 2008), o chumbo era comumente usado para a impermeabilização em edificações históricas, até que acreditados aos anos de 1800, tem-se dois exemplos de impermeabilização de telhados verdes, na Alemanha, a casa de classe média de Karl Rabbitz, em Berlin, que inventou e patenteou o seu impermeabilizante de cimento vulcanizado; e a estufa do Rei Ludwig II, no topo de um edifício em Munique, onde o piso foi impermeabilizado com placas de cobre sobre arcada de pedra. No entanto, tal técnica resultou tão inoperante que, devido aos contínuos vazamentos registrados, foi totalmente demolido em 1897.

Como exemplos de construções com jardins nos terraços da virada do século XIX para o século XX até a Segunda Guerra Mundial estão os teatros nos Estados Unidos da América, com o Cassino teatro Rudolph Aronson, o Teatro Americano da cidade de Nova Iorque, o Oscar Hammerstein Olympia Music Hall, o Hammerstein Republic Theater, as residências, restaurantes e hotéis, como o Domenico Restaurante, o Hotel Astor e alguns apartamentos que margeavam o *Central Park*, em Nova Iorque (OSMUNDSON, 1999 *apud* ROLA, 2008).

No século XIX, na Alemanha, as coberturas dos prédios de apartamentos de baixo custo recebiam uma camada de areia, cascalho e torrões de grama como proteção contra incêndios, resguardando as áreas próximas às saídas das chaminés. Tais coberturas foram naturalmente ocupadas por outros tipos de plantas e por isso tornaram-se percussoras das coberturas verdes (WELLS; GRANT, 2004 *apud* NASCIMENTO; SHMID, 2008).

Dois dos mais renomados arquitetos como Frank Lloyd Wright (1867-1959) e Le Corbusier (1887-1965), apesar de suas filosofias radicalmente divergentes incorporavam em seus projetos a funcionalidade do espaço das coberturas (ROLA, 2008).

Le Corbusier foi mais além ao formular já em 1926 os célebres cinco princípios do Movimento Modernista, a saber: construção sobre pilotis, terraços jardins, planta livre, janelas em fita e fachada livre da estrutura (ROLA, 2008).

E como melhor exemplo, Le Corbusier projeta e constrói, em Poissy, na França, a *Villa Savoye (les Heures Claires)*, entre os anos de 1928 a 1931 (Figura 44) (SBRIGLIO, 1999 *apud* ROLA, 2008). Segundo Whalley (1978 *apud* Rola, 2008), o terraço jardim desta casa “revela que o paisagismo da cobertura no movimento modernista tendia a ser algo pela metade, pois se mostrava muito obcecado com as suas intenções formalistas para tolerar a exuberância do crescimento das plantas”.



**Figura 44 – Foto do terraço jardim, em Poissy, na França.**

(FONTE: <http://www.galinsky.com/>, acesso em outubro de 2011)

Nos anos 1970, o movimento ecológico urbano iniciado na Alemanha ajudou a ocupar os telhados como forma de devolver o verde às cidades. Os remanescentes das antigas coberturas verdes dos apartamentos do século XIX perduram até hoje, e novamente atuaram como protótipos, desta vez para o início do movimento alemão de coberturas verdes (NASCIMENTO; SHMID, 2008).

Na Alemanha, o mercado da natureza expadiu-se rapidamente nos anos 1980, passando de 1 (um) para 10 milhões de m<sup>2</sup> construídos (10 km<sup>2</sup>). Este crescimento foi estimulado em grande parte pela adoção de legislação estatal, concessões municipais e incentivos fiscais por m<sup>2</sup> de cobertura naturada (KUHN; PECK, 2003 *apud* ROLA, 2008).

Entre os anos de 1989 e 1999 foram instalados na Alemanha 32,5 km<sup>2</sup> de natureza, contabilizando um total de 10% dos telhados existentes na Alemanha (BEATTIE; BERGHAGE, 2001 *apud* ROLA, 2008). Somente no ano de 1995 que a área de telhados naturados atinge os 10 milhões de m<sup>2</sup> e em 1999 essa área aumenta consideravelmente atingindo cerca de 84

milhões de m<sup>2</sup> (DUNNET; KINGSBURY, 2004 *apud* ROLA, 2008). Além disso, atualmente, em algumas regiões da Alemanha, a maioria dos prédios novos possui o sistema de natureza aplicado na sua forma extensiva (KOEHLER *et al*, 2003 *apud* ROLA, 2008).

Um exemplo atual muito interessante é o prédio de apartamentos *Waldspirale* (floresta em espiral) (Figura 45), projetado pelo arquiteto austríaco Friedensreich Hundertwasser, onde além de uma arquitetura orgânica, ele adota o sistema de natureza intensiva. A obra foi concluída em 2000, pelo arquiteto Heinz M. Springmann, em Darmstad, Alemanha (ROLA, 2008).



**Figura 45 – Foto do Waldspirale, em Darmstad, na Alemanha.**  
(FONTE: <http://atlasobscura.com/>, acesso em outubro de 2011)

Antigamente, as coberturas vegetais eram sinônimas de poder e riqueza (HAKE, 2007 *apud* ROLA, 2008). Já na atualidade, elas representam a busca por melhora ambiental dos degradados núcleos densamente urbanizados (ROLA, 2008).

As questões ambientais prementes levaram as administrações públicas, especialmente na Alemanha, Canadá e EUA, a enfrentar problemas urbanos atuando em várias frentes, não somente em macro escala, mas também na edificação. O edifício verde se tornou um assunto ambientalmente importante no final do século XX e a técnica das coberturas verdes associada ao planejamento urbano se difundiu na Europa, notadamente na Alemanha, Suíça e Áustria, principalmente devido ao seu impacto ambiental positivo (ROHRBAH, 2004 *apud* NASCIMENTO; SHMID, 2008).

As tabelas 8a e 8b apresentam alguns exemplos de coberturas verdes que foram construídas no mundo durante o século XXI. Nestas tabelas estão o nome dos projetos, o ano e o local em que foram construídos e os projetistas ou arquitetos que os elaboraram. Além disto, as tabelas também constam fotos dessas obras construídas (Figuras 46 a 57).

**Tabela 8a – Exemplos de coberturas verdes construídas no século XXI (de 2001 até 2006)**

<p><b>Ano:</b> 2001  <b>Projeto:</b> <i>Chicago City Hall</i>  <b>Localização:</b> Chicago, EUA  <b>Projetistas/Arquitetos:</b> <i>McDonough &amp; Partners</i></p> <p style="text-align: center;"><b>Figura 46</b></p>  <p>(FONTE: <a href="http://www.greenroofs.com/projects/chichall/chichall11.jpg">http://www.greenroofs.com/projects/chichall/chichall11.jpg</a>, acesso em novembro de 2011)</p>	<p><b>Ano:</b> 2002  <b>Projeto:</b> <i>Private Hospital Villa Nadia</i>  <b>Localização:</b> Pianoro, Itália  <b>Projetistas/Arquitetos:</b> <i>Riccardo Rigolli</i></p> <p style="text-align: center;"><b>Figura 47</b></p>  <p>(FONTE: <a href="http://www.greenroofs.com/projects/pview.php?id=626">http://www.greenroofs.com/projects/pview.php?id=626</a>, acesso em novembro de 2011)</p>
<p><b>Ano:</b> 2003  <b>Projeto:</b> <i>Telhado do Banco HSBC</i>  <b>Localização:</b> Cidade do México, México  <b>Projetistas/Arquitetos:</b> <i>Helmuth Obata &amp; Kassabaum, Inc.</i></p> <p style="text-align: center;"><b>Figura 48</b></p>  <p>(FONTE: <a href="http://www.greenroofs.com/projects/hsbc_bank/hsbc_bank8.gif">http://www.greenroofs.com/projects/hsbc_bank/hsbc_bank8.gif</a>, acesso em novembro de 2011)</p>	<p><b>Ano:</b> 2004  <b>Projeto:</b> <i>ROCH, Isral Roof Garden</i>  <b>Localização:</b> Petach Tikwa, Israel  <b>Projetistas/Arquitetos:</b> <i>Arie Kutz, Studio Landscapr Architecture Ltd.</i></p> <p style="text-align: center;"><b>Figura 49</b></p>  <p>(FONTE: <a href="http://www.greenroofs.com/projects/roch_israel/roch_israel9.gif">http://www.greenroofs.com/projects/roch_israel/roch_israel9.gif</a>, acesso em novembro de 2011)</p>
<p><b>Ano:</b> 2005  <b>Projeto:</b> <i>Allen &amp; Overy LLP HQ, Bishops Square</i>  <b>Localização:</b> Londres, Inglaterra  <b>Projetistas/Arquitetos:</b> <i>Foster &amp; Partners</i></p> <p style="text-align: center;"><b>Figura 50</b></p>  <p>(FONTE: <a href="http://www.greenroofs.com/projects/pview.php?id=887">http://www.greenroofs.com/projects/pview.php?id=887</a>, acesso em novembro de 2011)</p>	<p><b>Ano:</b> 2006  <b>Projeto:</b> <i>School of Art, Design and Media</i>  <b>Localização:</b> Nanyang Technological University, Singapura  <b>Projetistas/Arquitetos:</b> <i>CPG Consultants Pte Ltd.</i></p> <p style="text-align: center;"><b>Figura 51</b></p>  <p>(FONTE: <a href="http://www.greenroofs.com/projects/pview.php?id=846">http://www.greenroofs.com/projects/pview.php?id=846</a>, acesso em novembro de 2011)</p>

Fonte: Elaborado pelo autor.

**Tabela 8b – Exemplos de coberturas verdes construídas no século XXI (de 2007 até 2011)**

<p><b>Ano:</b> 2007  <b>Projeto:</b> NYC Parks Five borough Administrative Building  <b>Localização:</b> Nova Iorque, EUA  <b>Projetistas/Arquitetos:</b> Artie Rollins &amp; John Robliotti</p> <p style="text-align: center;"><b>Figura 52</b></p>  <p>(FONTE: <a href="http://www.greenroofs.com/projects/pview.php?id=787">http://www.greenroofs.com/projects/pview.php?id=787</a>, acesso em novembro de 2011)</p>	<p><b>Ano:</b> 2008  <b>Projeto:</b> Marina Barrage  <b>Localização:</b> Singapura  <b>Projetistas/Arquitetos:</b> Architects Team 3 Pte Ltd.</p> <p style="text-align: center;"><b>Figura 33</b></p>  <p>(FONTE: <a href="http://www.greenroofs.com/projects/marina_barrage/">http://www.greenroofs.com/projects/marina_barrage/</a>, acesso em novembro de 2011)</p>
<p><b>Ano:</b> 2009  <b>Projeto:</b> Vancouver 2010 Olympic Village  <b>Localização:</b> Vancouver, Canadá  <b>Projetistas/Arquitetos:</b> Durante Kreuk</p> <p style="text-align: center;"><b>Figura 54</b></p>  <p>(FONTE: <a href="http://www.greenroofs.com/projects/pview.php?id=523">http://www.greenroofs.com/projects/pview.php?id=523</a>, acesso em novembro de 2011)</p>	<p><b>Ano:</b> 2010  <b>Projeto:</b> 8 House (8 Tallet)  <b>Localização:</b> Copenhague, Dinamarca  <b>Projetistas/Arquitetos:</b> Bjarke Ingles Group (BIG)</p> <p style="text-align: center;"><b>Figura 55</b></p>  <p>(FONTE: <a href="http://www.greenroofs.com/projects/8house/8house10.gif">http://www.greenroofs.com/projects/8house/8house10.gif</a>, acesso em novembro de 2011)</p>
<p><b>Ano:</b> 2011  <b>Projeto:</b> Breaking Ground Contracting Green roof &amp; Rooftop Garden  <b>Localização:</b> Jacksonville, EUA  <b>Projetistas/Arquitetos:</b> Kevin Songer &amp; MetroVerde</p> <p style="text-align: center;"><b>Figura 56</b></p>  <p>(FONTE: <a href="http://www.greenroofs.com/projects/pview.php?id=1304">http://www.greenroofs.com/projects/pview.php?id=1304</a>, acesso em novembro de 2011)</p>	<p><b>Ano:</b> 2011  <b>Projeto:</b> Sheet Metal Workers Local #36  <b>Localização:</b> St. Louis, EUA  <b>Projetistas/Arquitetos:</b> Kelly Luckett &amp; Green Roof Blocks</p> <p style="text-align: center;"><b>Figura 57</b></p>  <p>(FONTE: <a href="http://www.greenroofs.com/projects/pview.php?id=1364">http://www.greenroofs.com/projects/pview.php?id=1364</a>, acesso em novembro de 2011)</p>

Fonte: Elaborado pelo autor.

No Brasil, os primeiros exemplos de coberturas vegetais derivam do Movimento Modernista na Arquitetura Brasileira iniciado na década de 1930, tendo como o seu mais expressivo arquétipo o prédio do Ministério da Educação e Saúde, no Rio de Janeiro, também conhecido como o Palácio Gustavo Capanema (Figura 58). Projetado arquitetonicamente por Le Corbusier, Oscar Niemeyer e Lucio Costa e com o projeto paisagístico do terraço-jardim de Burle Max (ROLA, 2008).



**Figura 58 – Foto do jardim do Palácio Capanema, no Rio de Janeiro.**

(FONTE <http://lesjardinsdumonde.tumblr.com>; e <http://www.lfa2008.org>, acesso em outubro de 2011)

É importante observar que apesar do crescente interesse de profissionais e usuários por este tipo de cobertura, o Brasil não possui tradição técnica construtiva e há, ainda, certa carência de informações na literatura nacional sobre o assunto (KREBS; SATTLER, 2010).

Atualmente, alguns proprietários têm optado por usufruir dos benefícios dessa tecnologia no Brasil. As figuras 59, 60 e 61 mostram alguns exemplos de propriedades que tiveram suas coberturas naturadas e a figura 62 é uma foto da cobertura verde implantada na empresa Schlumberger, localizada na Ilha do Fundão (cidade do Rio de Janeiro).



**Figura 59 – Foto da casa de Marcelo Allgayer que foi naturada em 2003, na cidade de Novo Hamburgo, Rio Grande do Sul, Brasil.**

(FONTE: <http://www.greenroofs.com/>, acesso em novembro de 2011)



**Figura 60 – Foto da fazenda do Dr. Tadeu que foi naturada em 2005, na cidade de Viamão, Rio Grande do Sul, Brasil.**

(FONTE: <http://www.greenroofs.com/>, acesso em novembro de 2011)



**Figura 61 – Foto da casa de Maria Helena que foi naturada em 2007, na cidade de Vera Cruz, Bahia, Brasil.**

(FONTE: <http://www.greenroofs.com/>, acesso em novembro de 2011)



**Figura 62 – Foto do telhado da empresa Schlumberger, na cidade do Rio de Janeiro, Brasil.**

(FONTE: Instituto Cidade Jardim, agosto de 2011)

### 3.3. CLASSIFICAÇÃO DOS TELHADOS VERDES

Os telhados verdes podem ser classificados conforme dois aspectos principais: o primeiro, de acordo com Krebs e Sattler (2010) está associado com a espessura da camada de substrato, os tipos de plantas utilizados e a necessidade de manutenção. E o segundo aspecto, conforme Minke (2004 *apud* Vergara, Pippi e Barbosa, 2009), é de acordo com a inclinação do telhado.

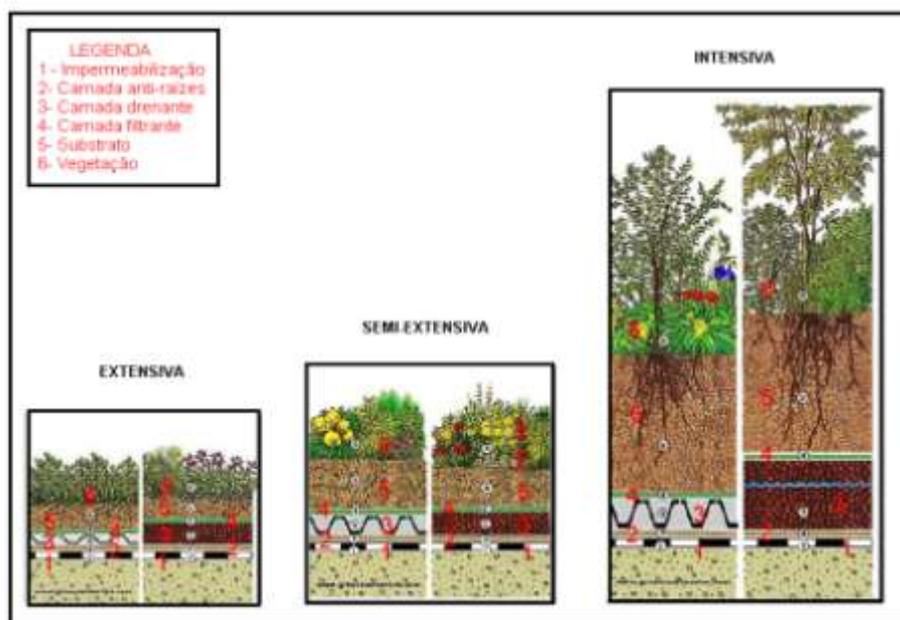
No que diz respeito aos seus componentes, as coberturas verdes são classificadas em três tipos: intensivas, semi-intensivas e extensivas. As características de cada tipologia são apresentadas na tabela 9 e esquematizadas pela figura 63.

**Tabela 9 – Classificação dos sistemas de naturação segundo seus componentes**

CLASSIFICAÇÃO	CARACTERÍSTICAS						
	Carga superficial	Espessura vegetal	Espessura do substrato	Tipo de vegetação	Manutenção	Irrigação	Custos
<b>Intensiva</b>	de 700 kg/m <sup>2</sup> a 1.200 kg/m <sup>2</sup>	superior a 250 cm	maior que 20 cm	arbóreo	intensa	regular	alto
<b>Semi-Intensiva</b>	de 100 kg/m <sup>2</sup> a 700 kg/m <sup>2</sup>	entre 5 cm e 100 cm	entre 10 cm e 20 cm	arbustivo	média	periódica	médio
<b>Extensiva</b>	até 100 kg/m <sup>2</sup>	entre 5 cm e 15 cm	até que 10 cm	herbáceo extensivo	baixa ou nenhuma	nenhuma	baixo

Obs. Para o caso brasileiro, o tipo de vegetação apresenta classificações não definitivas, devido ao fato de que esta técnica ainda está em evolução, pela sua adaptação técnica e biológica às especificidades dos trópicos.

Fonte: ROLA *et al.*, 2003 *apud* ROLA, 2008; e [www.igra-world.com](http://www.igra-world.com), acesso em outubro de 2011.



**Figura 63 – Classificação das coberturas verdes de acordo com seus componentes.**

(FONTE: NASCIMENTO; FREITAS; SHMID, 2008)

Conforme Minke (2004 *apud* Vergara, Pippi e Barbosa, 2009), os telhados verdes também podem ser classificados de acordo com a inclinação do telhado em planos, de inclinação moderada e de inclinação acentuada. A tabela 10 contempla as características desses tipos de telhados.

**Tabela 10 – Classificação dos sistemas de naturezação de acordo com a inclinação do telhado**

CLASSIFICAÇÃO	CARACTERÍSTICAS	
	Inclinação	Aspectos construtivos
Plano	até 5%	Execução demorada porque necessita de uma drenagem especial através de uma manta para conduzir o excedente de água acumulada
Inclinação moderada	de 5% até 35%	De fácil execução e mais econômico. Não necessita de camada de drenagem, o substrato tanto armazena água como conduz o excedente, para isso, deve-se agregar material poroso, como pedra pomes, escória ou argila expandida.
Inclinação acentuada	de 36% até 84%	Assemelham-se com o de inclinação moderada, porém devem possuir barreiras que evitem o deslizamento do substrato

Fonte: Elaborado pelo autor, baseado em Minke (2004 *apud* Vergara, Pippi e Barbosa, 2009)

### 3.4. VANTAGENS DA NATUREAÇÃO

Segundo Rola (2008), a avaliação das vantagens da naturezação aplicada em superfícies construídas se torna mais expressiva ao serem correlacionadas entre os aspectos econômicos, sociais e ambientais. Conseqüentemente, e por mais diversos, os benefícios daí oriundos convergem direta ou indiretamente para a melhoria da qualidade de vida do homem, o qual se fixa nas áreas urbanizadas, adensando-as. Assim, com o uso da técnica da naturezação em grandes centros urbanos é possível ponderar-se as vantagens nas seguintes características: vantagens sociais, vantagens econômicas e vantagens ambientais.

Como vantagens sociais, de acordo com Osmundson (1999 *apud* Rola, 2008), todo e qualquer bom projeto de espaço aberto no meio da urbe caótica e barulhenta promove um repouso aos usuários, que pode ser sentido no seu entorno imediato, conseqüentemente, um jardim suspenso no topo de edificações é como uma “ilha paradisíaca em meio à selva urbana”. Tais jardins promovem um distanciamento da poluição sentida no nível das ruas, sendo um local potencial para ponto de encontro, de socialização e de eventos especiais.

As vantagens econômicas são às associadas ao fato de agregar valor à edificação na qual está instalada. Além disso, a natureza garante a permanência de áreas verdes úteis, principalmente quando aplicada em áreas degradadas e super adensadas das cidades, podendo resultar na redução de impostos municipais, aumento no volume de negócios e geração de renda para a vizinhança (OSMUNDSON, 1999 *apud* ROLA, 2008). Outro ponto pertinente é que o aumento da inércia térmica de uma cobertura naturada resulta em uma redução do consumo de energia para ar-condicionado, o que a médio e longo prazo é um benefício econômico considerável (OSMUNDSON, 1999 *apud* ROLA, 2008), já que a maior parte dos gastos energéticos de uma edificação está ao longo do seu uso (JONES, 2002 *apud* ROLA, 2008).

No que diz respeito às vantagens ambientais, as coberturas verdes promovem a restauração da natureza que foi removida para o desenvolvimento das cidades. Isso promove a melhoria do microclima da região, um aumento da biodiversidade local, com a presença de plantas, a criação de uma superfície permeável, que reduz a carga de águas pluviais que chegam às redes de drenagem.

Desta forma, Osmundson (1999 *apud* Rola, 2008) afirma que quando aplicada em grande escala, a natureza desempenha um papel importante na manutenção de um ecossistema sadio, mormente em áreas de grande adensamento urbano.

Uma função dos telhados verdes que engloba vantagens sociais, econômicas e ambientais está relacionada com a sua capacidade de absorver volumes de água de chuva precipitada e liberá-la de forma controlada, reduzindo desta forma os picos de vazão do escoamento superficial e aliviando as redes de drenagem urbana (Carte e Rasmussen, 2006; Bliss, Neufeld, Ries, 2009; EPA, 2009; Ni, 2009; Oliveira, 2009 *apud* TEIXEIRA; ILHA; REIS, 2011).

Assim, o telhado verde pode contribuir para que não ocorram cheias nas cidades, evitando que a população fique mobilizada devido a esta catástrofe (vantagem social), que haja prejuízos no ambiente construído da cidade (vantagem econômica) e que rios transbordem, alterando assim o ecossistema local (vantagem ambiental).

As vantagens da natureza são apresentadas na tabela 11 e estão divididas de acordo com as características até então mencionadas.

**Tabela 11 – Vantagens da natureza**

Tipo de vantagem	Vantagem
<b>S O C I A L</b>	O contato com o que se tem de essencial e primitivo, a vida vegetal, o mineral, a água, e animais, responsáveis pelo conforto psicológico
	Promoção da diversidade visual no ambiente urbano, uma vez que as coberturas verdes vivas se contrapõem à massa construída da cidade
	Criação de referenciais urbanos para promover a orientação dos habitantes da cidade
	Medida compensatória que pode evitar que ocorram cheias urbanas, e também a mobilização da população local
	Promove o bem estar por ser paisagisticamente agradável de serem contemplados
<b>E C O N Ô M I C A</b>	Economia de energia utilizada no aquecimento e resfriamento do ambiente interno, já que a amplitude térmica da cobertura com terra e vegetação é muito menor do que uma cobertura convencional
	Aumento da área verde útil
	Proteção da impermeabilização contra a radiação ultravioleta e os diferenciais extremos de temperatura, promovendo a eficiência energética e prolongando a vida útil
	Redução do tamanho das canalizações para drenagem, uma vez que os telhados verdes e as lajes jardim podem reter boa parte da precipitação de chuvas
	Aumento no valor da propriedade
	Reduz o salto térmico e, portanto, os movimentos das estruturas e evitando gastos com possíveis danos
	Produção de alimentos em pequena escala
	Redução do dimensionamento das galerias pluviais devido à retenção da água precipitada promovida pelo telhado verde
<b>A M B I E N T A L</b>	Atuação positiva no clima da cidade e da região proporcionada pela retenção de poeira e substâncias contaminantes suspensas no ar
	Melhora da termodinâmica urbana: entrada de ar fresco e saída de cargas de emissão
	Absorção do ruído
	Melhora o grau de umidade
	Redução do efeito da ilha de calor
	Total integração do edifício com o entorno
	Retorno da água de chuva ao seu ciclo natural
	Podem contribuir para que não ocorram cheias urbanas
	Retenção do material particulado da poluição atmosférica urbana
	Retenção da água de chuva pelo telhado verde
	Criação de um ambiente para o desenvolvimento de plantas e animais, promovendo um ambiente com biodiversidade

Fonte: Elaborado pelo autor, baseado em Rola (2008).

Segundo ROLA (2008), outra forma de entender os benefícios é através da classificação em três vertentes que são observadas na escala do indivíduo, conseqüentemente na escala do corpo social, da comunidade, e ampliando-se na escala do ecossistema urbano, como apresentados na tabela 12.

**Tabela 12 – Benefícios da natureza**

BENEFÍCIOS		
Para o proprietário	Para a comunidade	Para o ambiente
Amplia o tempo de vida da cobertura	Reduz o fluxo superficial de águas pluviais	Previne refluxo de drenagem
Reduz o consumo de ar condicionado durante o verão	Reduz o efeito de ilhas de calor nas cidades	Reduz o impacto do dióxido de carbono
Reduz o consumo de calefação durante o inverno	Reduz a inversão térmica	Remove o nitrogênio contido na água da chuva
Ferramenta de gestão de águas pluviais	Reduz o barulho	Neutraliza o efeito da chuva ácida
Provável de receber incentivos fiscais	Reduz a demanda de energia	Favorece a consolidação da biodiversidade urbana com pássaros e insetos
Promove relações públicas	Melhora a qualidade do ar	
Aproveitamento de área sem uso como espaço de jardim	Melhora a estética	

Fonte: ROLA, 2008

Ainda de acordo com ROLA (2008), outra forma de organizar as vantagens advindas da natureza é confrontando-as com alguns aspectos físicos, químicos e biológicos, além de sociais e globais, tanto na escala da unidade edificada, quanto na escala de seu conjunto, a própria cidade (Tabela 13).

**Tabela 13 – Vantagens da natureza, em aspectos físicos, químicos e biológicos**

ASPECTOS	ESCALA ARQUITETÔNICA	ESCALA URBANA
<b>EFEITOS FÍSICOS</b>		
<b>Térmicos</b>	Resfriamento interno por isolamento na cobertura	Resfriamento externo pela redução do albedo
<b>Acústicos</b>	Isolamento interior	Refletância
<b>Qualidade do ar</b>		Deposição de pó
<b>Água</b>	Consumo para fins não potáveis	Homogeneização da drenagem
<b>EFEITOS QUÍMICOS</b>		
<b>Durabilidade</b>	Prolongação da vida útil dos materiais impermeabilizantes	Diminuição da acidez da chuva
<b>EFEITOS BIOLÓGICOS</b>		
<b>Plantas</b>	Incremento da diversidade do espaço verde e sua interação com a arquitetura	Previsão dos conceitos de ecologia urbana: recuperação de espécies, interação entre espécies
<b>Insetos</b>		
<b>Pássaros</b>		
<b>EFEITOS SOCIAIS</b>		
<b>Emprego &amp; renda</b>	Instalações e manutenção	Agricultura periurbana
<b>Benefícios Psicológicos</b>	Melhoramento da paisagem arquitetônica	Melhoramento da paisagem urbana
<b>Educação pública</b>	Reforço dos conceitos ecológicos na vida cotidiana	
<b>Acadêmicos</b>	Pesquisas de eficiência energética na arquitetura	Pesquisas no meio ambiente urbano
<b>Desenvolvimento de produtos</b>	Insumos para a instalação	Sistemas de manejo e monitoramento ambiental
<b>EFEITOS GLOBAIS</b>		
<b>Redução do consumo de energia</b>	Controle do microclima	Melhoramento do mesoclima
<b>Emissões</b>	Redução do uso de energia pelo condicionamento microclimático	Retenção de partículas contaminantes do ar
<b>Urbano-rural</b>		Diminuição da distância perceptual

Fonte: ROLA, 2008

De acordo com a IGRA (*International Roof Association*), os benefícios do telhado verde, ainda podem ser subdivididos em “benefícios públicos” e “benefícios privados”. Os públicos englobam o fato dos telhados verdes serem um *habitat* natural para animais e plantas, reterem parcela da água das chuvas, reduzir o efeito das “ilhas de calor” urbanas, reduzir a poeira e a poluição e poder servir como área de lazer e contato com a natureza em meio à urbanização. Já os privados estão associados ao aumento do tempo de vida útil da cobertura que recebe a naturalização, redução dos níveis de barulhos, proporcionar conforto térmico e tornar a cobertura um espaço utilizável.

### 3.5. DESVANTAGENS DA NATURAÇÃO

As desvantagens da naturalização podem ser mais bem entendidas quando comparadas por sua classificação em sistemas intensivo, semi-intensivo e extensivo (ROLA, 2008). A tabela 14 apresenta tais desvantagens.

**Tabela 14 – Desvantagens da naturalização**

DESVANTAGENS DA NATURAÇÃO		
Sistema Intensivo <sup>1</sup>	Sistema Semi-Intensivo <sup>1</sup>	Sistema Extensivo <sup>1</sup>
Alta sobrecarga na estrutura <sup>2,5</sup>	Média sobrecarga na estrutura <sup>2,5</sup>	Não são projetados para uso intenso de público <sup>2</sup>
Requer reforço estrutural, o que encarece a obra <sup>3</sup>		Os materiais leves que compõem o sistema, quando não fabricados no país, tem na maioria seus custos elevados <sup>3</sup>
Requer manutenção intensa <sup>2</sup> , aumentando consideravelmente os custos <sup>5</sup>		O plantio deve ser feito em período de clima ameno
Requer irrigação intensa <sup>3</sup> ao longo de todo o seu ciclo de vida		Requer irrigação diária pelos três primeiros meses para garantir a consolidação das mudas <sup>3</sup> . Após esse período a irrigação fica por conta da pluviometria local
Necessidade de fertilização intensa o que compromete a água residual que carrega excessos de NPK, considerado poluente das águas pluviais		
Os sistemas de naturalização tradicionais usados mais intensamente na década de 60 (mas ainda em uso, apesar de raramente) eram aplicados apenas em novas construções, as quais possuíam projeto de reforço estrutural, o que excluía a parte já consolidada da cidade		
Biodiversidade indesejada <sup>5</sup> . Dependendo do tipo de vegetação adotada, o telhado se torna um "lar" para a proliferação de insetos indesejáveis		
Possível alteração da aparência da vegetação com a mudança das estações do ano		
Necessidade de um estudo a priori dos aspectos bioclimáticos locais para a adequada seleção do sistema mais apropriado a ser aplicado, bem como a precisa triagem dos seus materiais constituintes e plantas autóctones. Este tempo para estudo prévio pode elevar os custos iniciais, mas se faz premente, pois aumenta as chances de longevidade da naturalização. Por se tratar de um sistema vivo, quanto mais grande for a naturalização instalada, maior é a garantia de durabilidade de sua estrutura de suporte		
Adaptação de telhados já existentes, que não são formados por lajes, para receber o sistema		
Alto custo inicial, que pode ser recuperado em até 3 anos <sup>6</sup>		
Notas:		
<sup>1</sup> A subdivisão dos sistemas "Intensivo, Semi-Intensivo e Extensivo" está detalhada na tabela 2		
<sup>2</sup> ROLA, 2008 <i>apud</i> SHOZ-BARTH, 2001		
<sup>3</sup> ROLA, 2008 <i>apud</i> BEATTIE & BERGHAGE, 2001		
<sup>4</sup> ROLA, 2008 <i>apud</i> KÖHLER & SHMIDT, 2003c		
<sup>5</sup> ROLA, 2008 <i>apud</i> MCMILIN, 2005b		
<sup>6</sup> ROLA, 2008 <i>apud</i> USGBC, 2007		

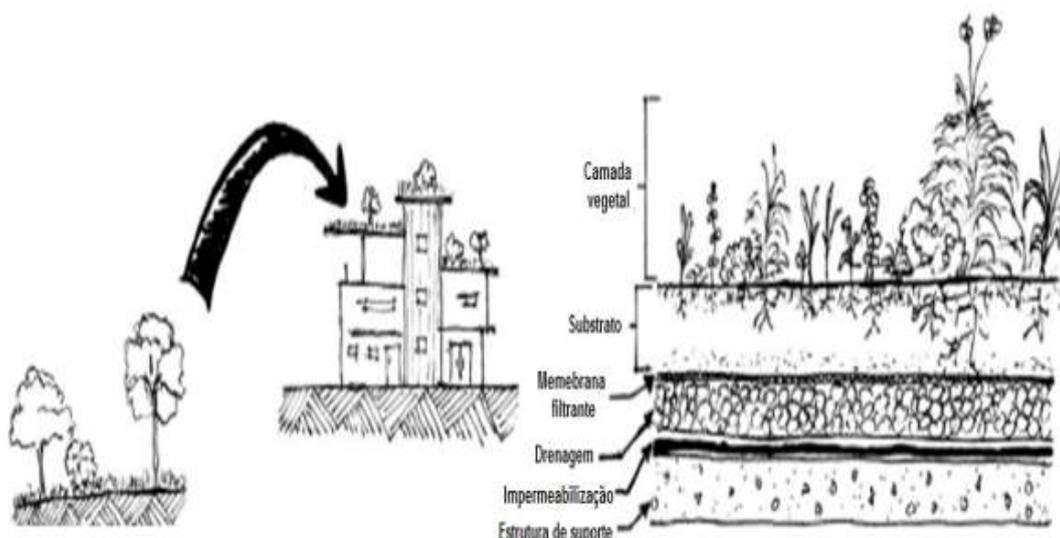
Fonte: ROLA, 2008

### 3.6. OS SISTEMAS DE NATURAÇÃO

Com a evolução do conceito e aceitação da natureza nos centros urbanos, diversas técnicas e tecnologias são empregadas atualmente para sua execução. Pode-se, então, destacar três tipos de sistemas de naturezação: Completo, Modular e a Manta Vegetativa Pré-cultivada.

#### 3.6.1. Descrição do sistema completo

O Sistema Completo é o sistema mais comum em uso no mundo e é aplicado diretamente na superfície da estrutura de suporte, obedecendo à ordem das principais camadas, de baixo pra cima: impermeabilizante, drenagem, substrato e vegetação. Como camada secundária tem-se o geotextil, o qual serve tanto como protetor do impermeabilizante da ação mecânica da drenagem, quanto filtro das partículas mais finas do substrato para a drenagem, evitando assim, o entupimento desta (ROLA, 2008). A figura 64 ilustra a função e a composição deste tipo de naturezação.



**Figura 64 – Representação gráfica da função e composição das coberturas verdes de sistema completo**

(FONTE: CAETANO; TIBIRIÇÁ; SANTOS, 2010)

A seguir, será descrito e detalhada cada camada componente do sistema completo.

##### 3.6.1.1. Camada de suporte da carga da naturezação

Considerada a última “camada”, a camada de suporte é toda aquela que suporta o peso do sistema adotado, que chega ao seu máximo, quando hidratado. Esta camada é toda e qualquer superfície construída capaz de suportar o peso adicional da naturezação hidratada (ROLA, 2008).

Pode ser de madeira (Figura 65), bambu (Figura 66), metal (Figura 67) ou concreto armado (Figura 68), desde que propriamente impermeabilizada e resista à carga do tipo de cobertura escolhido. É importante ressaltar que a carga deve ser calculada considerando o peso das plantas adultas (FERRAZ; LEITE, 2011).

A tipologia construtiva adotada no Brasil para edifícios multi-pavimentados é a da laje de concreto, capaz, em média, de suportar um sobrepeso de até 400 kg/m<sup>2</sup> (ROLA, 2008).

As instalações do telhado devem ser agrupadas de modo a causar pouca interferência e facilitar a manutenção. Em lugares de muito vento, deve-se certificar que as camadas de base estejam bem afixadas para evitar o levantamento do sistema (IGRA *apud* FERRAZ; LEITE, 2011).



**Figura 65 – Telhado com estrutura de madeira.**

(FONTE: <http://www.aecweb.com.br/>, acesso em novembro de 2011)



**Figura 66 – Telhado com estrutura de bambu.**

(FONTE: <http://cmarconstrucoesalternativas.com/>, acesso em novembro de 2011)



**Figura 67 – Telhado com estrutura metálica.**

(FONTE: <http://capema.com.br/home>, acesso em novembro de 2011)



**Figura 68 – Cobertura com laje de concreto armado.**

(FONTE: <http://arquitetandocomafabi.blogspot.com/>, acesso em novembro de 2011)

### **3.6.1.2. Camada de impermeabilização**

Tem por função proteger a camada de suporte contra toda e qualquer umidade proveniente do meio externo, passando pelo sistema, assegurando a estanqueidade do mesmo. Esta camada é extremamente importante e demanda estudos profundos quanto ao tipo a ser utilizado para impermeabilizar a base de suporte onde o sistema de naturezação deve ser aplicado. Como característica física, a membrana deve ter alta resistência à perfuração, para evitar o transpasse de possíveis raízes que, por sua vez, tenham penetrado o geotextil, pelo efeito físico de empuxo. Como característica química, a membrana deve ter um componente anti-raiz. No mercado existem dois tipos de impermeabilizantes: o de PVC (Figura 69 e 70) e a manta asfáltica (Figuras 71 e 72) (ROLA, 2008).

Vale também observar que a membrana anti-raiz não é impermeável; e não deve ser usada para substituir a manta impermeabilizante (FERRAZ; LEITE, 2011).



**Figura 69 – Manta impermeabilizante de PVC.**

(FONTE: <http://www.nimaro.com/>, acesso em novembro de 2011)



**Figura 70 – Aplicação da manta impermeabilizante de PVC em uma laje.**

(FONTE: <http://www.construmatica.com/>, acesso em novembro de 2011)



**Figura 71 – Manta asfáltica impermeabilizante.**

(FONTE: <http://www.lwart.com.br/>, acesso em novembro de 2011)



**Figura 72 – Aplicação da manta asfáltica impermeabilizante em uma laje.**

(FONTE: <http://www.arquigrafico.com/>, acesso em novembro de 2011)

### **3.6.1.3. Camada de drenagem**

Esta camada tem por função recolher as precipitações e regas excedentes em toda a superfície, conduzindo-as aos deságuas. O material a ser utilizado nesta camada deve ser de origem mineral e o mais leve possível, de preferência poroso, e prioritariamente de canto rolado (arredondado) para que não ofereça risco de perfuração para a membrana impermeabilizante e com corpúsculos de diâmetro não menor que 10mm (diâmetro  $>$  ou  $=$  a 1cm) (ROLA, 2008). Um exemplo de material que pode ser utilizado nesta camada é a argila expandida (Figura 73).

A camada de drenagem pode ter funções adicionais, como armazenamento de água para uso na estiagem, aumento da área de raízes e espaço para aeração do sistema (FERRAZ; LEITE, 2011). São vendidas atualmente placas de drenagem (Figura 74) que realizam todas essas funções adicionais.



**Figura 73 – Argila expandida.**

(FONTE: <http://www.incasa.ro/>, acesso em novembro de 2011)



**Figura 74 – Placas de drenagem para telhados verdes.**

(FONTE: <http://portuguese.alibaba.com/>, acesso em novembro de 2011)

#### **3.6.1.4. Camada separadora filtrante de proteção**

O próprio nome já indica a função, cujo material, o GEOTEXTIL (Figuras 75 e 76), é composto de fibra sintética que se assemelha a um feltro, e que tem a capacidade de impedir a passagem de partículas finas do substrato e a consequente obstrução da camada de drenagem. Deve obedecer aos seguintes critérios: resistência à ruptura e à compressão, ser imputrescível, ser compatível com materiais que estão em contato, não proporcionando reações químicas, permeabilidade hídrica de até 10 (dez) vezes superior à do substrato, permitir o crescimento de raízes, de estrutura duradoura e estável, e ser resistente à ação de micro-organismos (ROLA, 2008).



**Figura 75 – Geotêxtil.**

(FONTE: <http://foroantigo.infojardin.com/>, acesso em novembro de 2011)



**Figura 76 – Aplicação do Geotêxtil.**

(FONTE: <http://www.emipsa.com/>, acesso em novembro de 2011)

### 3.6.1.5. Substrato de suporte de vida vegetal

O substrato é uma mistura de elementos orgânicos e inorgânicos capazes de manter: o nível de nutrientes, umidade e oxigenação durante um período de tempo economicamente viável (ROLA, 2008).

A espessura adequada do substrato deve ser determinada de acordo com o tipo de cobertura e espécies, assim como nutrientes e aeração. Dependendo do tipo de cobertura verde, uma grande variedade de substratos está disponível. As características dos substratos são: granulção, porcentagem de matéria orgânica, estabilidade estrutural, resistência à erosão pelo vento, permeabilidade, capacidade máxima de retenção de água, quantidade de nutrientes, aeração e pH. Junto com a camada de drenagem, o substrato facilita a drenagem do excesso de águas pluviais (IGRA *apud* FERRAZ; LEITE, 2011).

Além disso, devem ter suas características de acordo com as apresentadas na tabela 15.

**Tabela 15 – Características dos substratos**

OS SUBSTRATOS DEVEM TER
Boa capacidade de retenção de água
Alto conteúdo de fração mineral
Alto conteúdo em matéria orgânica de origem natural
Alta capacidade de intercâmbio catiônico
Alta estabilidade biológica
Homogeneidade na mistura
Boa capacidade de reumectação
Baixa taxa de contração
Ausência de patógenos vegetais e de fitotoxidade residual
Baixa inflamabilidade
Baixa salinidade
Baixa alcalinidade
Baixo conteúdo de cal ativa (virgem)
Estabilidade na manutenção de suas propriedades
Baixa compactação

(FONTE: BRIGADÃO, 1992 *apud* ROLA, 2008)

Alguns exemplos de substratos que podem ser utilizados estão ilustrados na figura 77.



**Figura 77 – Exemplos de substratos.**

(FONTE <https://www.pimentas.org/>, acesso em novembro de 2011)

### 3.6.1.6. Camada de vegetação

Dependendo da localização da superfície a ser naturada, algumas peculiaridades devem ser observadas, tais como o microclima e regime de chuvas para que a seleção da vegetação seja a mais adequada possível, no caso, vegetação autóctone. As espécies adotadas vão das crassuláceas às famílias das agaváceas, bromeliáceas e cactáceas, entre outras, vulgarmente conhecidas por “suculentas” (Tabela 46) (ROLA, 2008).

Existem exemplos de naturalização feita com gramíneas, mas que não são sustentáveis, principalmente na sua versão extensiva onde a manutenção é mínima ou nenhuma, pois demandam uma enorme quantidade de água para a sua subsistência. As espécies suculentas, principalmente as da família das crassuláceas, são exemplos de plantas xerófitas, as quais são as mais adequadas para a naturalização extensiva, por serem capazes de armazenar água em suas células. Tal fato as coloca na posição de mais resistentes às condições extremas do meio em que se encontram, tornando-as mais adequadas quando da naturalização do ambiente construído (ROLA, 2008).

**Tabela 16 – Famílias vegetais classificadas como suculentas**

Família	Espécies suculenta	Modificações anatômicas	Distribuição
Agavaceae	300	Folhas	América Central e Norte
Aizoaceae	2000	Folhas	Sul da África
Apocynaceae	500	Talos	África, Península Arábica, Índia
Asphodelaceae	500	Folhas	África, Madagascar
Cactaceae	1600	Talos	América
Crassulaceae	1300	Folhas	Global
Didiereaceae	11	Talos	Madagascar
Euphorbiaceae	500	Talos e Folhas	África, Madagascar, Índia
Portulacaceae	11 *	Talos e Folhas	América

Nota: \* 11 gêneros com mais de 1000 espécies

Fonte: ROLA (2008)

A figura 78 ilustra alguns exemplos de plantas suculentas das famílias mencionadas na tabela 16.



**Figura 78 – Exemplos de espécies de plantas suculentas**

(FONTE: Elaborado pelo autor, a partir de <http://es.wikipedia.org/wiki/Suculenta>, acesso em outubro de 2011)

As características mais significativas das plantas ditas como suculentas estão apresentadas na tabela 17.

**Tabela 17 – Características das plantas suculentas**

SUCULENTAS
Alcançam porcentagem máxima de cobertura da superfície
Resistem a situações extremas
Possuem crescimento controlado
Possuem componente estético (diferentes cores e presença de flores)
Desenvolvimento rápido de encobrimento da área
Baixo peso
Baixo risco de incendiar-se
Enraizamento superficial e de não serem alérgicas

Fonte: ROLA (2008)

### 3.6.2. Aspectos construtivos do sistema completo

Com base em Vergara, Pippi e Barbosa (2009), as etapas de aplicação de um telhado verde em uma residência já existente são apresentadas nas tabelas 18a e 18b seguir e ilustradas nas figuras 79 a 83.

**Tabela 18a – Etapas da construção do sistema completo**

ETAPA	DESCRIÇÃO
1ª	Limpeza da área onde será instalado o telhado verde e posterior impermeabilização da laje
2ª	Colocação da lona com as juntas devidamente seladas para evitar infiltração das raízes e o escoamento do substrato (Figura 79)
 <p><b>Figura 79 – Instalação da lona e selamento das juntas.</b> (FONTE: VERGARA, PIPPI; BARBOSA, 2009)</p>	
3ª	Compor a camada drenante, podendo ser utilizado argila expandida, brita, seixos de diâmetros semelhantes, ou até, tijolos quebrados em pedaços (Figura 80)
 <p><b>Figura 80 – Instalação da camada drenante de tijolo quebrado em pedaços.</b> (FONTE: VERGARA, PIPPI; BARBOSA, 2009)</p>	

Fonte: Elaborado pelo autor.

**Tabela 18b – Etapas da construção do sistema completo (continuação)**

4ª	Instalação de uma manta geotêxtil que evite a passagem dos nutrientes do substrato
5ª	Introdução da camada de solo (substrato) com os nutrientes necessários para o estabelecimento das plantas no telhado até a espessura projetada (Figura 81)
 <p data-bbox="580 719 1011 779"><b>Figura 81 – Introdução da camada de solo.</b> (FONTE: VERGARA, PIPPO; BARBOSA, 2009)</p>	
6ª	São inseridos os módulos de vegetação, ou são plantados os vegetais no solo (Figura 82)
 <p data-bbox="504 1155 1094 1216"><b>Figura 82 – Colocação dos módulos de vegetação no solo.</b> (FONTE: VERGARA, PIPPI; BARBOSA, 2009)</p>	
7ª	Colocação de camadas de brita nas laterais do telhado, com a função de drenar o excesso de água das chuvas (Figura 83)
 <p data-bbox="491 1592 1107 1653"><b>Figura 83 – Detalhe da camada de brita na lateral do telhado</b> (FONTE: VERGARA, PIPPI; BARBOSA, 2009)</p>	

Fonte: Elaborado pelo autor.

As figuras 84 e 85 mostram algumas vistas do telhado verde pronto, executado através das etapas apresentadas anteriormente.



**Figura 84 – Vista do telhado executado.**  
(FONTE: VERGARA; PIPPI; BARBOSA, 2009)



**Figura 85 – Telhado executado e sua inserção no entorno.**  
(FONTE: VERGARA; PIPPI; BARBOSA, 2009)

### **3.6.3. Descrição do sistema modular**

O sistema modular é o “sistema completo” só que desenvolvido em pequenos módulos (caixas), onde quase todas as camadas do sistema completo, com exceção do impermeabilizante, são montadas de forma “completa” e, somente após a consolidação da vegetação é que os módulos são instalados em cima do telhado, já impermeabilizado. Este sistema apresenta-se em espessuras que vão de 7,5 cm a 30 cm (ROLA, 2008).

De acordo com o site da empresa ECOTELHADO (<http://www.ecotelhado.com.br/>), o sistema modular é definido como sendo:

*“É um sistema patenteado de telhado verde composto por módulos já vegetados colocados lado a lado sobre uma membrana anti-raízes e uma membrana para retenção de nutrientes. Método de rápida instalação e excelente conforto térmico. Esse sistema pesa cerca de 50 kg/m<sup>2</sup> já saturado e pode ser colocado sobre praticamente qualquer tipo de telhado ou laje. O*

telhado vivo se constitui aqui preferencialmente de plantas adaptadas a solos rasos, resistentes a estiagem, de baixa manutenção como os seduns e outras suculentas.”

A tabela 16 apresenta as informações técnicas do sistema modular, obtidas através do “Manual e Especificações do Sistema Modular Ecotelhado”, fornecida pela empresa ECOTELHADO.

**Tabela 19 – Especificações técnicas do sistema modular da empresa Ecotelhado**

SISTEMA	Modular
<b>Peso saturado</b>	50 kg/m <sup>2</sup>
<b>Preço</b>	R\$ 73,73 / m <sup>2</sup>
<b>Membrana de Proteção Anti-Raízes</b>	membrana de polietileno de alta densidade
	espessura de 200 micras
	proteção extra anti-raízes
<b>Membrana de Retenção de Nutrientes</b>	espessura de 5 mm
	largura e comprimentos diversos
	retém água e nutrientes
<b>Membrana Alveolar</b>	não há
<b>Módulo de Substrato Rígido</b>	composto de EVA reciclado moído e aglomerado com CP-IV com adição de cinzas
	dimensões externas: 70cm(C) x 35cm (L) x 7cm (E)
	internamente: 8 compartimentos de 12cm x 12cm e profundidade de 4cm
	retém o substrato nutritivo, proporciona alta capacidade de drenar a água sem carrear o substrato
<b>Substrato Leve</b>	composto de materiais orgânicos e sintéticos de indústrias de reciclagem
	substrato de baixo peso específico
	substrato leve, proporcionando baixa carga na base da cobertura
<b>Vegetação</b>	vegetação de metabolismo MAC (metabolismo ácido das <i>crassuláceas</i> )
	cada módulo são colocados diversos tipos de vegetação (predominância de Seduns)
	vegetação de porte baixo, perene, de baixa manutenção e grande resistência
	cuidado com os períodos de estiagem - irrigar
<b>Observações Construtivas</b>	após a instalação, regar por 15 minutos os módulos, 2 vezes por dia em 30 dias

Fonte: Manual e Especificações do Sistema Modular Ecotelhado (agosto de 2011).

### 3.6.4. Aspectos construtivos do sistema modular

Com a laje impermeabilizada e sabendo de antemão que a estrutura suportará a carga extra devido ao peso dos módulos do telhado saturado, os módulos são colocados sobre a cobertura até cobrir toda a área. Para que os módulos não se desloquem, são instalados anteparos de forma a impedir que eles saiam de suas posições.

As figuras 86, 87, 88 e 89 mostram fotos de um módulo do sistema modular, a aplicação desse sistema em uma cobertura e os resultados finais obtidos após a aplicação deste sistema.



**Figura 86 – Foto de um módulo do sistema modular.**  
(FONTE: <http://www.ecotelhado.com.br/>, acesso em 2011)



**Figura 87 – Aplicação do sistema modular em uma cobertura.**  
(FONTE: <http://www.ecotelhado.com.br/>, acesso em 2011)



**Figura 88 – Sistema modular na Casa Cor, em Porto Alegre – RS.**  
(FONTE: <http://www.ecotelhado.com.br/>, acesso em 2011)



**Figura 89 – Sistema modular em um telhado industrial.**  
(FONTE: <http://www.ecotelhado.com.br/>, acesso em 2011)

### 3.6.5. Descrição e aplicação do sistema manta vegetativa pré-cultivada

O sistema da manta vegetativa pré-cultivada é a de menor espessura. É cultivado fora da área onde será implantado, o que possibilita a sua produção em larga escala (Figuras 90 e 91). Experimentos desenvolvidos pelo IASP – Instituto de Projetos Agrários e de Ecologia Urbana da Universidade Humboldt de Berlin, estão avaliando espessuras mínimas para o sistema de manta vegetativa pré-cultivada, a exemplo da figura 92 (ROLA, 2008).



**Figura 90 – Sistema da manta vegetativa pré-cultivada aplicada em uma cobertura residencial.**

(FONTE: <http://www.toronto.ca/>, acesso em 2011)



**Figura 91 – Aplicação e seção transversal do sistema da manta vegetativa pré-cultivada Xero Flor System, oferecida pela Xero Flor Canada and Elevated Landscape Technologies (ELT).**

(FONTE: <http://www.toronto.ca/>, acesso em 2011)



**Figura 92 – Experimento de mantas com espessuras mínimas (5 cm) no IASP/HU – Berlin**  
(FONTE: ROLA, 2008)

### 3.6.6. Descrição de outros sistemas de naturalização existentes

Com a popularização da aplicação da naturalização nos grandes centros urbanos, observa-se o aparecimento crescente, no mercado, de empresas especializadas em instalar a naturalização, cujos sistemas ofertados apresentam pequenas variações dos sistemas anteriormente citados, no sentido de tornar mais ágil e eficiente a sua instalação em grande escala.

Entre os mais diversos, o que melhor representa diversidade tecnológica é a empresa inglesa “The Bauder Group”, que desenvolve as técnicas apresentadas a seguir (ROLA, 2008).

### 3.6.6.1. *Xero Flor Sedum Blankets (Manta de Sedum Xero Flor)*

Segundo a empresa BAUDER, as mantas Xero Flor desenvolvidas desde 1997 provêm o benefício de enverdecimento imediato e é a aproximação mais popular à construção de um telhado verde extensivo. Requer pouca manutenção, em longo prazo, que é uma condição prévia para muitos de seus clientes. O sistema Xero Flor tem sido testado desde sua introdução em 1987, com mais de 2 milhões de metros quadrados instalados entre Europa e Japão, com ótima aceitação (Figura 93a) (ROLA,2008). Trata-se de uma manta vegetativa pré-cultivada com um padrão estabelecido pela empresa *The Baudes Group*.

### 3.6.6.2. *Hydro-Planting*

Em grandes áreas de telhado pode ser mais efetivo financeiramente usar este sistema de plantio por um jateamento hidratado como uma alternativa para mantas de vegetação. Neste processo, o jateamento lança uma mistura que contém sementes, mudas de planta, palha e fertilizante que é borrifado em um substrato leve de suporte da vida vegetal (Figura 93b) (ROLA, 2008).

### 3.6.6.3. *Plug-Planting*

São potinhos individuais com diversas espécies do gênero *Sedum*, plantadas em um substrato que em telhados menores dá a possibilidade de escolha tanto de espécies quanto de layout paisagístico. Geralmente, a densidade recomendada é de 15 a 20 plantas por metro quadrado e o período de consolidação da vegetação, após a instalação, é de 12 a 18 meses, requerendo baixa manutenção (Figura 93c) (ROLA, 2008).



**Figura 93 – Fotos dos três sistemas desenvolvidos pela empresa BAUDER:  
(a) *Xero Flor Sedum Blankets*; (b) *Hydro-Planting*; e (c) *Plug-Planting*.**

(FONTE: ROLA, 2008)

### **3.7. ASPECTOS A SEREM OBSERVADOS NA IMPLANTAÇÃO DOS TELHADOS VERDES**

A partir da pesquisa de Krebs e Sattler (2010) acerca da implantação de telhados verdes utilizando sistemas completos ou modulares extensivos, os aspectos a serem observados com atenção acerca dessa tecnologia podem ser divididos em aspectos relativos à fase de projeto, de execução e manutenção.

#### **3.7.1. Aspectos relativos à fase de projeto**

##### **3.7.1.1. Impermeabilização**

De todos os componentes dos jardins suspensos, a camada de impermeabilização é a que mais exige cuidados. Além de proteger a estrutura contra a penetração de água, esta camada deve, também, apresentar uma boa proteção anti-raízes (KREBS; SATTLER, 2010). Minke (2004 *apud* Krebs e Sattler, 2010) descreve, como material seguro e econômico para essas funções, um tecido de poliéster revestido em PVC, com espessura de 2 mm, que cumpre, sozinho, as funções de impermeabilização e de proteção anti-raízes.

Vale ressaltar que esse tecido de poliéster revestido em PVC é um material importado e caro para a utilização em obras no Brasil, sendo aqui, utilizadas as membranas de PEAD e as betuminosas.

De acordo com Krebs e Sattler (2010), a membrana de PEAD (polietileno de alta densidade) cumpre a função de proteção anti-raízes, mas o ideal é que abaixo dela exista uma camada específica de impermeabilizante, a fim de otimizar sua eficiência, além disso, essa membrana demonstrou ser uma opção com limitações. O material é rígido e difícil de se executar dobras, sendo recomendado que, tanto as dobras, quanto as emendas, sejam encomendadas junto com a membrana, vindo já executadas pelo fornecedor (MINKE, 2004 *apud* KREBS; SATTLER, 2010).

Já as membranas betuminosas necessitam de proteção anti-raízes, o que pode ser feito através de uma membrana adicional (MINKE, 2004 *apud* KREBS; SATTLER, 2010).

##### **3.7.1.2. Definição das espécies vegetais**

Um dos principais benefícios proporcionados pelo uso das coberturas vivas é a pouca necessidade de manutenção. A escolha criteriosa das espécies a serem empregadas é fundamental para que esta vantagem seja obtida. Sua especificação depende, além da característica das plantas, em si, de requererem pouca manutenção, também de fatores como: orientação solar, clima local, inclinação da cobertura, se há sombreamento ou não e a altura do

substrato necessária. Na escolha das espécies é importante, ainda, especificar aquelas com raízes menos agressivas ao material de impermeabilização. Para melhor acomodar a vegetação, os substratos podem receber adições a fim de aumentar sua permeabilidade (facilitando a oxigenação das raízes) e aumentar sua riqueza orgânica (KREBS; SATTLER, 2010).

#### **3.7.1.3. Inclinação da cobertura**

De acordo com Minke (2004 *apud* Krebs e Sattler, 2010), as coberturas de moderada inclinação são as mais indicadas para as coberturas vivas extensivas, sendo as mais fáceis de executar e baratas, se comparadas às demais inclinações. Nestas coberturas, o substrato cumpre tanto a função de armazenar água incidente, quanto de drenar a água excedente, bastando, para isso, que sejam agregados ao substrato partículas de maior granulometria.

Assim, é dispensada a camada adicional para drenagem da água excedente, necessária às coberturas planas, bem como o filtro que a separa do substrato. Tais inclinações dispensam também os elementos de contenção do substrato, necessários às coberturas que apresentem maiores inclinações.

#### **3.7.1.4. Outros aspectos projetuais**

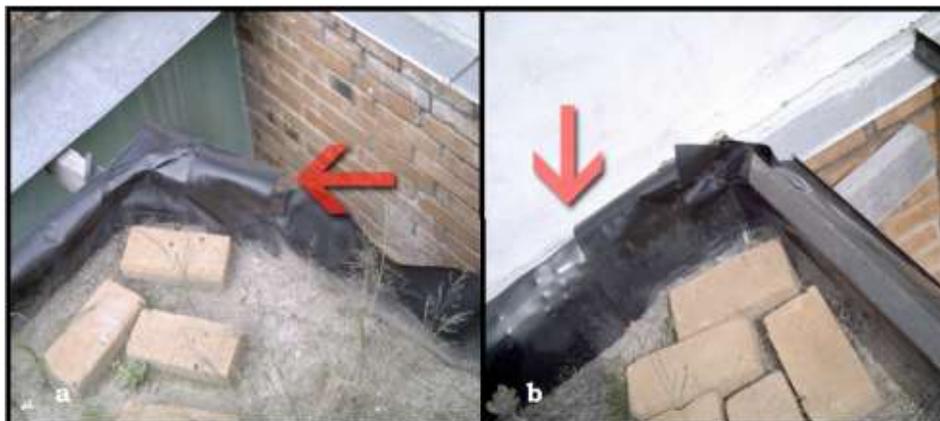
As coberturas vivas extensivas compõem um sistema, onde a harmonia entre as partes é fundamental para seu bom desempenho. Cada escolha implica em outra encadeada, pois algumas características fazem toda a diferença dentro do conjunto. Por exemplo, coberturas extensivas planas não necessitam de mecanismos anti-deslizantes (para estabilizar o substrato), mas, em contrapartida, precisam de uma camada de drenagem mais eficiente e de uma maior altura de substrato que as coberturas inclinadas (KREBS; SATTLER, 2010).

A drenagem das águas residuais, a previsão de acesso à cobertura para manutenção e o tipo de sistema de irrigação (quando houver), são todos os aspectos de suma importância na fase de projeto, tanto quanto a escolha da vegetação ou a altura do substrato (KREBS; SATTLER, 2010).

#### **3.7.2. Aspectos relativos à fase de execução**

De acordo com a pesquisa de Krebs e Sattler (2010), os principais cuidados a serem tomados durante a execução dos projetos estão relacionados com a impermeabilização, o que coincidiu com o que foi dito na literatura pesquisada por eles. Outro aspecto observado por eles, é que em obras que contaram com mão-de-obra ordinária ou foram executadas em sistema de mutirão, não são bem executadas, especialmente as obras que utilizaram PEAD, com suas

dobras, recortes e emendas sendo executadas *in loco*, ao contrário do que é recomendado por Minke (2004). A figura 94 demonstra as situações anteriormente descritas.



**Figura 94 – Recortes da manta nas bordas:  
(a) e sobreposição da manta (b) executadas *in loco*.**  
(FONTE: KREBS; SATTLER, 2010)

### **3.7.3. Aspectos relativos à manutenção**

De acordo com a pesquisa de Krebs e Sattler (2010), as manutenções realizadas estão relacionadas às eventuais reparos e substituição de algumas espécies vegetais e a necessidade de irrigação em meses quentes.

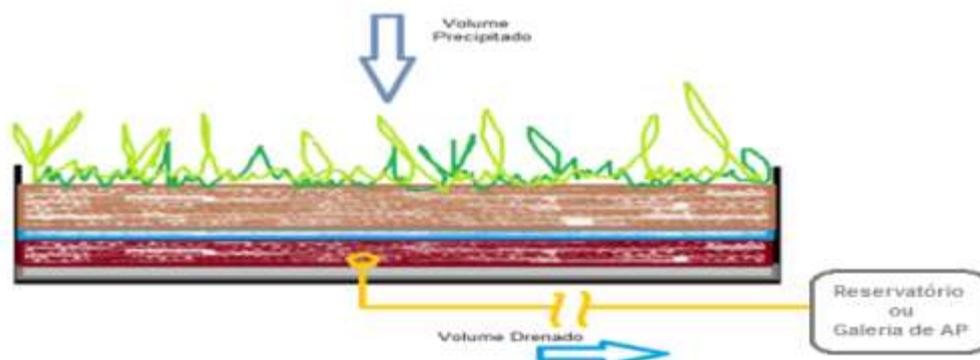
A respeito do corte da grama, é recomendado que seja evitado ao máximo, pois pode causar, além do ressecamento da cobertura, de forma rápida, a perda de matéria orgânica (MINKE, 2004 *apud* KREBS; SATTLER, 2010).

### **3.8. TELHADOS VERDES COMO TÉCNICA COMPENSATÓRIA EM DRENAGEM URBANA**

O potencial de coberturas verdes em reter água pluvial é elevado se comparado a uma cobertura convencional. O escoamento para essas coberturas ocorre lentamente, dependendo das características do sistema e das propriedades dos materiais, tais como profundidade e composição do substrato, vegetação, drenagem e idade da cobertura (THOMPSON, 1988 *apud* BANTING *et al.*, 2005 *apud* IBIAPINA *et al.*, 2010).

A contribuição de uma cobertura verde na retenção da água pluvial ocorre logo na fase inicial da precipitação e depende da saturação do substrato durante o evento (CARTER; JACKSON, 2007 *apud* IBIAPINA *et al.*, 2010).

A capacidade de retenção de água de uma cobertura verde corresponde à diferença entre o volume de água precipitado e o volume de água que é drenado pela cobertura, mostrados esquematicamente na figura 95. Essa capacidade depende de fatores como: profundidade do substrato, composição do substrato, inclinação da cobertura, idade do sistema e intensidade da chuva.



**Figura 95 – Volumes precipitado e drenado, em uma cobertura verde.**

(FONTE: Elaborado pelo autor)

Segundo Ibiapina *et al.* (2010), a relação entre os volumes de água precipitado e drenado pela cobertura é conhecido como coeficiente de descarte e é utilizado para avaliar a capacidade de retenção de água de uma cobertura verde. A tabela 20 apresenta alguns valores de coeficientes anuais de descarte para alguns sistemas de coberturas verdes.

De acordo com a tabela 20, retirada de estudos já realizados, pode-se verificar que quanto mais espessa a camada de substrato e quanto maior o porte da vegetação em coberturas verdes, maior é a capacidade de retenção do sistema, uma vez que a interceptação vegetal, o armazenamento e a absorção de água pelo solo são maiores. Porém, vale ressaltar que sistemas mais encorpados (intensivos) requerem um cuidado maior na etapa de construção e uma frequente manutenção, tendo custos mais caros e sendo, na maioria das vezes, inadequados para pequenos espaços.

**Tabela 20 – Capacidade de retenção de água pluvial de acordo o sistema de cobertura verde**

Sistema de cobertura verde	Profundidade do substrato (m)	Porte das plantas	Retenção de água - média anual (%)*	Coefficiente anual de descarte $\Psi_a$ / coeficiente de selagem*
Extensivo	0.02 a 0.04	Forrações e sedum	40	0.60
	> 0.04 a 0.60	Sedum e forrações	45	0.55
	> 0.06 a 0.10	Sedum, forrações e herbáceas	50	0.50
	> 0.10 a 0.15	Sedum, herbáceas e forrações	55	0.45
	> 0.15 a 0.20	Forrações e herbáceas	60	0.40
Intensivo	0.15 a 0.25	Grama, arbustos e capão	60	0.40
	> 0.25 a 0.50	Grama, arbustos e capão	70	0.30
	> 0.50	Grama, arbustos, capão e árvores	> 90	0.10

\* Os índices apresentados consideraram precipitações anuais entre 650 mm a 800 mm. Para regiões com baixa precipitação anual, a retenção é maior.

Fonte: FLL (2002) *apud* IBIAPINA *et al.* (2010).

Ibiapina *et al.* (2010) apresenta os resultados obtidos pelos pesquisadores Getter, Rowe e Andresen, no ano de 2007, que mostram o impacto de coberturas verdes na retenção de água pluvial através de células-teste com substrato de 6 cm de espessura e inclinações ajustáveis de 2, 7, 15 e 25%. Os resultados obtidos estão apresentados na tabela 21.

**Tabela 21 – Capacidade de retenção de água pluvial para diferentes inclinações da cobertura verde**

Inclinação da cobertura (%)	Capacidade de retenção (%)			
	Leve	Moderada	Elevada	Média Total
2	93.3	92.2	71.4	85.2
7	94.0	89.5	68.4	82.2
15	94.0	88.6	58.4	78.0
25	95.5	87.8	57.1	75.3
Média	94.2	89.5	63.3	80.2

Profundidade da camada de substrato – 6cm; precipitação leve (< 2mm) (n=16); moderada (2-10mm) (n=24), elevado (>10mm) (n=22) e total de eventos (n=62).

“n” é o número de vezes que cada tipo de precipitação ocorreu

Fonte: GETTER *et al.* (2007) *apud* IBIAPINA *et al.* (2010).

Com relação à declividade da cobertura verde, a tabela 21 mostra que para pequenas precipitações (menores que 2 mm), a inclinação da cobertura não influencia muito na capacidade de retenção do telhado. Já para precipitações maiores que esta, quanto menor for a inclinação, maior é a capacidade de retenção da cobertura verde. Ou seja, a inclinação do telhado favorece o escoamento da água da chuva, aumentando do volume drenado.

Ainda de acordo com Ibiapina *et al.* (2010), essa pesquisa, realizada por Getter, Rowe e Andresen, foi realizada cinco anos após um primeiro estudo similar. Então, esses autores também avaliaram as propriedades físicas e orgânicas do substrato, sendo os resultados obtidos comparados com as amostras da primeira pesquisa, o que permitiu observar o desempenho do substrato com o passar dos anos. A conclusão foi que, ao passar dos anos, a capacidade de retenção de água do substrato aumenta, junto com a porosidade e a quantidade de matéria orgânica presente.

Outra característica importante sobre telhados verdes como técnica compensatória é a destes sistemas poderem ser capazes de amortizar e atrasar a vazão de pico da chuva, uma vez que o processo de infiltração da água da chuva pelas camadas componentes do sistema gera um atraso no escoamento. Mora, Hunt e Jennings (2004 *apud* Ferreira e Moruzzi, 2007) encontrou em seus experimentos valores de 78% e 87% para redução de vazão de pico da chuva proporcionado por uma cobertura verde.

Alguns pesquisadores já estudaram alguns aspectos que influenciam na capacidade de retenção de águas pluviais por telhados verdes. A tabela 22 apresenta alguns desses aspectos com os valores encontrados para o volume armazenado e descartado pelo sistema naturalizado, além de uma breve conclusão sobre a análise desses valores.

**Tabela 22 – Volumes armazenado e descartado por coberturas verdes em função de alguns aspectos estudados**

REFERÊNCIA	ASPECTO ESTUDADO	CARACTERÍSTICA	VOLUME ARMAZENADO	VOLUME DESCARTADO	CONCLUSÃO
Köhler <i>et al.</i> (2001)	Clima	Temperado	50-75%	25-50%	Em climas tropicais as taxas de evapotranspiração são mais altas, ao passo que em climas temperados as precipitações são menos intensas
		Tropical	65,0%	35,0%	
Teemusk; Mander (2007)	Ocorrência de eventos de chuvas	Sem sequência de eventos chuvosos	85,7%	14,3%	Eventos chuvos sequenciais diminuem a capacidade de retenção das camadas do substrato, devido à saturação
		Com sequência de eventos chuvosos	66,5%	33,5%	
	Estação do ano	Verão	70-90%	10-30%	No verão, quando a taxa de evapotranspiração é maior, maior é a quantidade de água é retida no sistema substrato-vegetação
		Inverno	25-40%	60-75%	
Mentes (2005)	Profundidade do substrato	Espessura de 5cm	62,0%	38,0%	Quanto maior a profundidade do substrato, maior é a capacidade de retenção da cobertura verde
		Espessura entre 5 e 15cm	70,0%	30,0%	
		Espessura acima de 15cm	80,0%	20,0%	
	Clima	Épocas quentes	70,0%	30,0%	Em épocas de clima quente, a evapotranspiração é maior devido a maior capacidade de regeneração da retenção da água no substrato
		Épocas frescas	49,0%	51,0%	
		Épocas frias	33,0%	67,0%	
Robertson <i>et al.</i> (2005)	Quantidade de chuva	Inferior a 13 mm	93,0%	7,0%	A medida que a precipitação aumenta, a capacidade do telhado verde em armazenar a água precipitada diminui
		Entre 13 mm e 25 mm	87,0%	13,0%	
		Entre 25 mm e 39 mm	75,0%	25,0%	
		Maior que 39 mm	45,0%	55,0%	
		Situações extremas de chuva	40,0%	60,0%	
		Condições normais de chuva	80,0%	20,0%	

Fonte: Elaborado pelo autor, baseado Ferreira e Moruzzi (2007).

Assim, a partir de estudos já realizados é possível concluir que os telhados verdes possuem, de fato, uma boa capacidade de retenção de águas pluviais quando comparado às coberturas convencionais aplicadas nas áreas urbanas. Dentro desta temática, este trabalho propõe o projeto de dois protótipos para a realização de estudos acerca desta capacidade de coberturas verdes em reter parcela da água de chuva.

## 4. APROVEITAMENTO DE ÁGUA DE CHUVA



(Ziraldo)

### 4.1. INTRODUÇÃO

A água é um elemento natural essencial para que haja vida no planeta. Embora o planeta Terra seja conhecido como “Planeta Água” pelo fato de três quartos da sua superfície ser coberta por água, apenas uma pequena parcela dessa água é apropriada para o consumo dos seres vivos. A figura 96 mostra como a água aparece pela superfície da Terra.



**Figura 96 – A presença da água na superfície terrestre.**

(FONTE: <http://www.cbdb.org.br/>, acesso em janeiro de 2012)

Assim, de acordo com a figura 94, apenas 0,65% da água presente no mundo pode ser consumida, sendo que somente 0,34% dessa quantidade está em condições de fácil acesso. Segundo Goldenfum (2006), esse cenário é ainda mais grave quando é levada em consideração a má distribuição espacial e temporal da água doce no planeta e, ainda, a contaminação crescente dos mananciais.

É notável observar que a atual degradação dos cursos d'água em meio urbano demonstra a situação extrema em que chegou o conflito entre a expansão urbana e a preservação do meio ambiente, com a urbanização cada vez mais rápida e sem planejamento, sem as condições de infraestrutura necessárias ao assentamento de toda a população, ocasionando desastres e degradação ambiental. O processo de urbanização provoca alterações no ciclo hidrológico, tais como aumento da precipitação, diminuição da evapotranspiração devido à diminuição da vegetação e a diminuição da infiltração da água, e conseqüentemente o aumento da quantidade de líquido escoado, devido ao aumento das áreas impermeabilizadas (HOLZ, 2011).

Com a forte urbanização das cidades e a atual demanda ambiental exigida devido aos problemas com a escassez da água e degradação da qualidade dos cursos d'água, fica extremamente inviável a concepção de sistemas de drenagem para o escoamento das águas urbanas de forma similar ao conceito higienista, sendo assim, necessário adotar uma nova abordagem para o problema de escoamento nos grandes centros urbanos. A tendência mundial vivida atualmente consiste em adotar uma abordagem mais elaborada e integrada que agregue os princípios de desenvolvimento sustentável.

De acordo com Goldenfum (2006), nessas condições, a utilização da água de chuva surge como um meio de conservação da água e como alternativa para enfrentar a carência do recurso, tanto para fins potáveis quanto não potáveis, tornando-se uma alternativa para minimizar sua escassez.

Além disso, ao aproveitar-se a água da chuva, as redes públicas de drenagem passam a receber menores contribuições, podendo assim, reduzir a ocorrência de calamidades como inundações locais, além de poupar a água que é fornecida pelas concessionárias.

## **4.2. HISTÓRICO DO APROVEITAMENTO DA ÁGUA DE CHUVA**

### **4.2.1. No mundo**

A água de chuva armazenada em grandes folhas da vegetação circundante parece ter sido a primeira forma de armazenamento de água de chuva, servindo de fonte de água potável para o homem primitivo, quando longe de receptáculos maiores como lagos e rios (ROLA, 2008).

Com a passagem do nomadismo ao sedentarismo, através do domínio das técnicas de agricultura e de criação de animais, os povos foram se organizando e se estabelecendo em áreas férteis e próximas aos mananciais de água. Com a proliferação desses núcleos populacionais, outras áreas começaram a ser ocupadas, já não tão próximas destes mananciais, e o abastecimento de água para consumo humano tornou-se uma atividade cada vez mais pesada, por se dar em trajetos cada vez mais distantes. Este quadro agravou-se quando estas áreas foram atingidas por períodos de estiagem fazendo com que estes mananciais diminuíssem as suas vazões. Como alternativa à falta de água, surgiu a prática da coleta de água de chuva e seu armazenamento, em pequenos vasilhames de cerâmica, para a sobrevivência de núcleos familiares (ROLA, 2008).

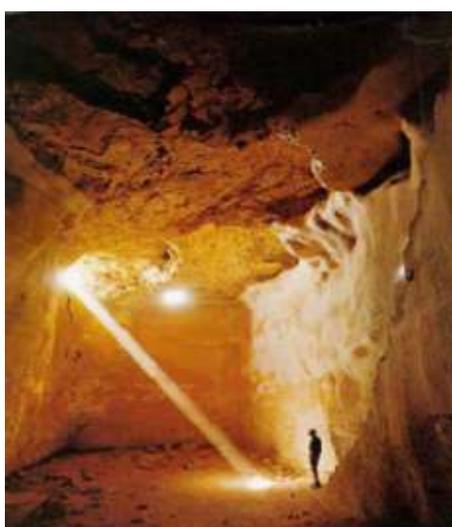
Com a organização das sociedades e para enfrentar os longos períodos de estiagem, os pequenos vasilhames de armazenamento de água foram dando lugar a receptáculos maiores

como barragens, que por sua vez, para enfrentar os altos índices de evaporação ou contaminação por animais de criação, deram lugar às cisternas cobertas e semienterradas (ROLA, 2008).

Registros históricos indicam que a água da chuva já é utilizada pela humanidade há milhares de anos. Existem inúmeras cisternas escavadas em rochas, utilizadas para aproveitamento de água pluvial, que são anteriores a 3.000 a.C. (TOMAZ, 2003 *apud* LIMA; MACHADO, 2008).

De acordo com Negev e Gibson (2001 *apud* Rola, 2008), as primeiras cisternas foram cavadas na metade para o final da Idade do Bronze (2200 - 1200 a.C.). A água da chuva coletada e armazenada nelas durante uma curta estação chuvosa era suficiente para, pelo menos, uma estação seca. Em alguns lugares da Palestina a cisterna era a principal, quando não era a única, fonte água para consumo humano, tanto em tempos de paz, como também em tempos de guerra. Logo no início da Idade do Ferro (1200-1000 a.C.) as paredes das cisternas começaram a ser cobertas com gesso, o que prolongava consideravelmente o tempo de armazenamento da água. Tal técnica tornou-se uma importante inovação, pois possibilitou estender as áreas de ocupação nas regiões Montanhosas.

Segundo Wahlin (1995 *apud* Rola, 2008), datar as primeiras cisternas na metade da era do bronze pode ser muito recente, pois na cidade de Jawa, no deserto de lava preta no nordeste da Jordânia, existe um sofisticado sistema de coleta de água que foi planejado e construído antes de 3000 a.C. De acordo com Helms (1981 *apud* Rola, 2008), enquanto as cisternas artesanais não fizeram aparentemente parte disto, uma caverna natural (Figura 97) foi utilizada como um recente antepassado das estruturas posteriores, as cisternas construídas ou artificiais.



**Figura 97 – Cisterna em caverna, em Masada, Israel.**

(FONTE: TOMAZ, 2003 *apud* ROLA,2008)

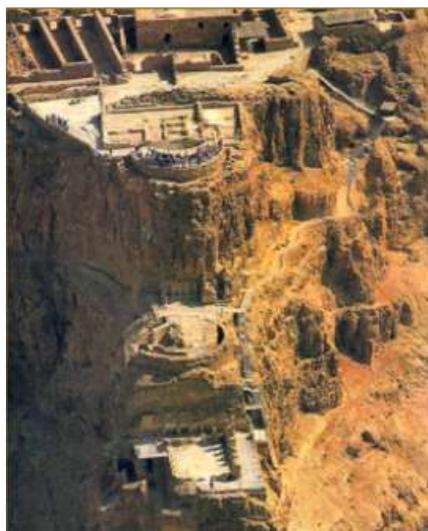
O primeiro registro escrito na história da humanidade, da prática da captação da água de chuva e armazenamento em cisternas, data de 850 a.C., registro este, feito em uma pedra de basalto negro, mais conhecida como a Pedra Moabita (Figura 98), onde, segundo Wahlin (1995) e Tomaz (2003 *apud* Rola, 2008), estava inscrita, além das bravuras de guerras vencidas, a recomendação do Rei Meshá de Moabe, na Jordânia, para a construção de cisternas de armazenamento de água de chuva.



**Figura 98 – Pedra Moabita.**

(FONTE: <http://iapr.com.br/>, acesso em janeiro de 2012)

Em Israel, encontra-se um dos exemplos mais conhecidos, a famosa fortaleza de Masada (Figura 99), erguida pelo rei Herodes, o Grande, entre 37 a.C. e 4 a.C., com dez reservatórios escavados na rocha, tendo como capacidade total 40 milhões de litros. No México, existem cisternas ainda em uso, que datam de antes da chegada de Cristóvão Colombo à América (TOMAZ, 2003 *apud* LIMA; MACHADO, 2008).



**Figura 99– Fortaleza de Masada, em Israel.**

(FONTE: <http://www.portalplanetasedna.com.ar/>, acesso em janeiro de 2012)

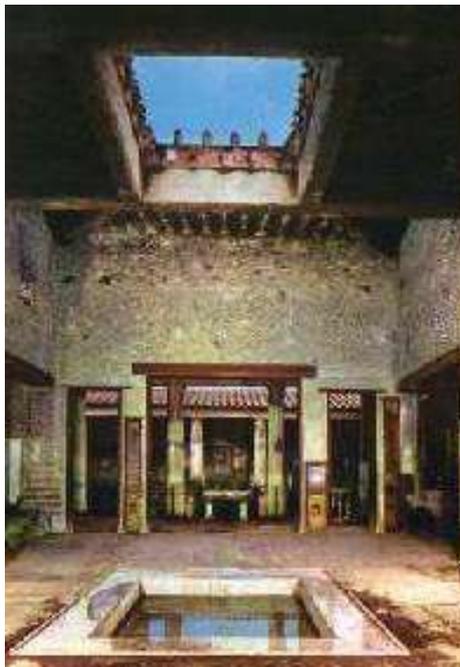
A Fortaleza dos Templários (Figura 100) localizada na cidade de Tomar em Portugal em 1160 d.C, era abastecida com água da chuva (TOMAZ, 2007 *apud* FELTEN, 2008).



**Figura 100 – Fortaleza dos Templários, na cidade de Tomar, em Portugal.**

(FONTE: TOMAZ, 2007 *apud* FELTEN, 2008)

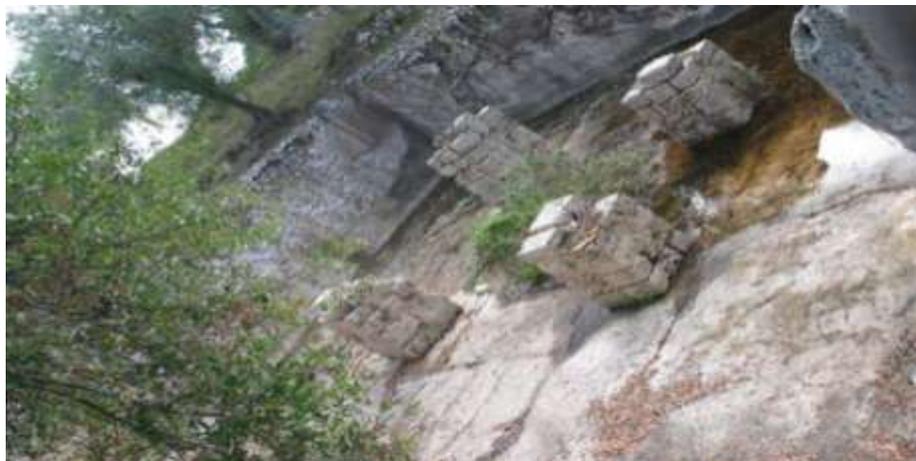
A construção das cisternas variou no tempo e no espaço e nas civilizações seguintes como a grega e a romana. A captação de água de chuva fazia parte da estrutura do telhado da casa. No caso da *domus* romana, na parte central havia um átrio com uma abertura no telhado, chamado de *compluvium*, cuja água da chuva que por ali entrava era armazenada em uma cisterna aberta, quase uma piscina, chamada de *impluvium* (Figura 101) (MALISSARD, 1996 *apud* ROLA, 2008).



**Figura 101 – Fortaleza de Masada, em Israel.**

(FONTE: <http://www.webalice.it/>, acesso em janeiro de 2012)

Com o domínio do processo construtivo do concreto hidráulico, com pozolana e cal, grandes cisternas foram construídas para abastecerem as vizinhanças, como a comunal cisterna de Cosa (Figura 102), colônia republicana ao norte da Itália (BROWN, 1980 *apud* ROLA, 2008)

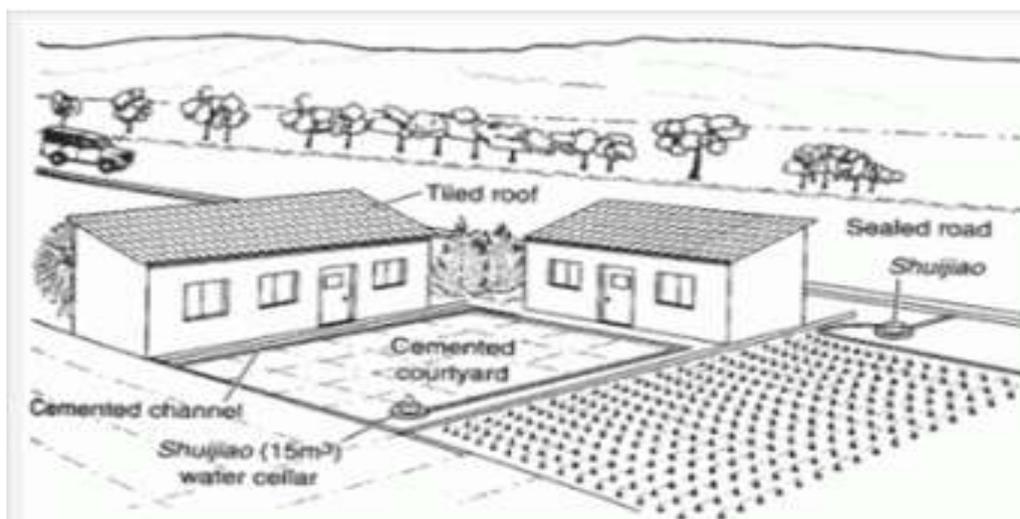


**Figura 102 – Cisterna de Cosa, na Itália.**

(FONTE: <http://www.dartmouth.edu/>, acesso em janeiro de 2012)

Segundo Gnadinger (2000 *apud* Rola, 2008), na Província de Gansu, na China, poços de armazenamento de água de chuva já existiam, no Planalto de Loess, há 2000 anos. Tal situação resolveu o problema de falta de água no local e resultou no desenvolvimento econômico e social da região.

De acordo com o site <http://www.recriarcomvoce.com.br/> (2012), nos últimos anos, o governo local da província de Gansu, localizada ao norte da China, colocou em prática o projeto de captação de água de chuva denominado “121”, mostrado pela figura 103.



**Figura 103 – Projeto de coleta de água de chuva denominado “121”, no norte da China.**

(FONTE: <http://www.recriarcomvoce.com.br/>, acesso em janeiro de 2012)

Na Índia, um projeto de pesquisa, desenvolvido pelo Centro de Ciência e Meio Ambiente, intitulado *Dying Wisdom* listou diversas experiências tradicionais de aproveitamento de água de chuva e armazenamento em *kunds* (cisternas) em 15 zonas ambientais deste país (AGARAWAL; NARAIN, 1997 *apud* ROLA, 2008).

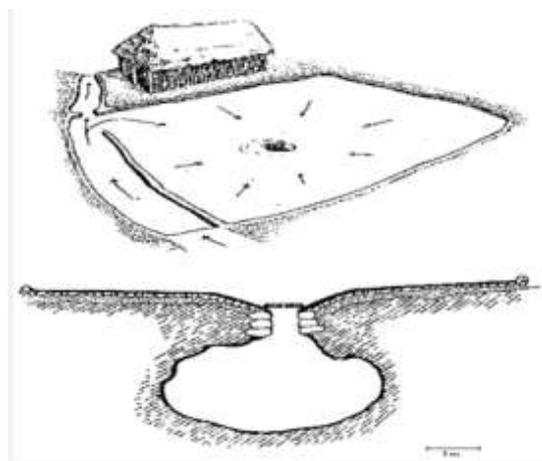
No Irã, ainda é possível encontrar os *abanbars* (Figura 104), que são os sistemas tradicionais de coleta e armazenamento de água de chuva para as comunidades. A sua cobertura oval permite que a água evaporada se condense na superfície interna e escorra pelas paredes de volta ao montante armazenando em estado líquido (GNADLINGER, 2000 *apud* ROLA, 2008).



**Figura 104 – Ababar na Ilha Qeshm, no Irã.**

(FONTE: <http://www.panoramio.com/>, acesso em janeiro de 2012)

De acordo com o site <http://www.recriarcomvoce.com.br/> (2012), no século V já existia no México a prática do armazenamento da água de chuva. Ainda hoje existem vestígios da época dos maias e dos astecas, onde os *Chultuns* (Figura 105) garantiam o abastecimento de água para a irrigação e para o consumo da população da cidade de Oxkutzcab, localizada no pé da montanha Puuc, na península do Yucatán.



**Figura 105 – Chultuns, cisternas do povo maia.**

(FONTE: <http://www.recriarcomvoce.com.br/>, acesso em janeiro de 2012)

Segundo Wahlin (1995 *apud* Rola, 2008), as cisternas antigas foram vistas como notáveis e pitorescas, mas raramente como eficientes e pertinentes em um contexto moderno. Com o aumento da demanda por água surge o aqueduto como alternativa de transporte, por gravidade, de grandes volumes de água de mananciais longínquos para o abastecimento de núcleos populacionais, onde as cisternas passam a ser apenas áreas de armazenamento de uma água já não mais da chuva.

Assim, iniciou-se o processo de obsolescência das cisternas em aglomerações urbanas. Ademais, pode-se considerar que o advento da Revolução Industrial, no final do século XVIII e o progresso técnico nos séculos XIX e XX, foram determinantes neste processo, pois tanto viabilizaram o desenvolvimento de práticas modernas de irrigação adequadas a zonas temperadas as quais, através das práticas de colonização agrícola, foram impostas em áreas de clima árido; quanto o desenvolvimento técnico de bombas elétricas de bombeamento de poços de água, passando pela construção de grandes reservatórios, e a produção em larga escala de tubos e conexões, possibilitando a consolidação do sistema público de abastecimento de água nas aglomerações humanas, sistema este que se tornou norma a ser obedecida em áreas urbanas (ROLA, 2008).

Em países industrializados, como a Alemanha, a população e as autoridades públicas estão apoiando ativamente o aproveitamento de água de chuva. Além disso, o governo alemão está participando com apoio financeiro, oferecendo financiamentos para a construção de sistemas de captação de água pluvial, incentivando assim a economia de água potável para suprir as futuras populações e novas indústrias, conservando as águas subterrâneas que são utilizadas como fontes de recurso hídrico em muitas cidades do país (GROUP RAINDROPS, 2002 *apud* LIMA; MACHADO, 2008).

Segundo Tomaz (2001 *apud* Lima e Machado, 2008), especialistas acreditam que até o ano de 2010, um percentual de 15% de toda água utilizada na Europa seja proveniente de aproveitamento de água de chuva.

Um dos países que mais utiliza sistemas de aproveitamento de água pluvial além de promover estudos e pesquisas nessa área, é o Japão. Como exemplo, tem-se o caso de Tóquio, onde regulamentos do governo metropolitano obrigam que todos os prédios com área construída maior que 30.000 m<sup>2</sup> utilizem mais de 100 m<sup>3</sup> por dia de água para fins não potáveis, façam reciclagem da água de chuva e de água servida (água de lavatórios, chuveiros e máquinas de lavar roupas). Além disso, a fim de evitar enchentes, devem ser construídos reservatórios de detenção de água de chuva em áreas de terrenos maiores de 10.000 m<sup>2</sup> ou em edifícios que tenham mais que 3.000 m<sup>2</sup> de área construída (TOMAZ, 2003 *apud* LIMA; MACHADO, 2008).

Países como Estados Unidos, Austrália e Cingapura também estão desenvolvendo pesquisas referentes ao aproveitamento de água pluvial. Em 1992, iniciou-se sistema de uso de água de chuva no Aeroporto de Chagi, em Cingapura. A água pluvial captada nas pistas de decolagem e aterrissagem é coletada e utilizada para descarga dos banheiros, evitando transtornos com enchentes nas pistas. Essa iniciativa abriu caminhos para novas áreas de pesquisa de aproveitamento de águas pluviais nesses países. (GROUP RAINDROPS, 2002 *apud* LIMA; MACHADO, 2008).

#### **4.2.2. No Brasil**

Segundo Guanayem (2000 *apud* May, 2003 *apud* Felten, 2008), a instalação mais antiga de aproveitamento da água da chuva no Brasil foi feita pelos norte-americanos no ano de 1943, na ilha de Fernando de Noronha.

Existem dados de que a captação da água da chuva já é feita desde o ano de 1982, na cidade de Planaltina no Paraná, onde foi feito um estudo de um reservatório, para amortecimento das vazões em uma área de drenagem (FENDRICH; OLIYNIK, 2002 *apud* FELTEN, 2008).

No Brasil, até aproximadamente 20 anos atrás existiam poucas experiências de aproveitamento de água pluvial. No nordeste brasileiro a falta de água em açudes, lagoas e rios, que são temporários naquela região, somado a salinidade das águas subterrâneas são fatores que levam parte da população nordestina a utilizar a água da chuva para suprir as necessidades de uso doméstico e das atividades na agricultura (LIMA; MACHADO, 2008).

O semiárido brasileiro foi o pioneiro na arte de captação de águas pluviais. Existem várias experiências de tecnologias de sucesso de captação e manejo de água de chuva para uso humano, para criação de animais e produção de alimentos, na sua maioria, desenvolvidas por agricultores familiares. (LIMA; MACHADO, 2008).

De acordo com a cartilha “Nova Delimitação do Semiárido Brasileiro” do ano de 2005, disponível para download no site do Ministério da Integração Nacional (<http://www.mi.gov.br/>, 2012), a nova delimitação do semiárido brasileiro foi feita com base em três critérios técnicos, a saber: precipitação pluviométrica média anual inferior a 800 milímetros; índice de aridez de até 0,5 calculado pelo balanço hídrico que relaciona as precipitações e a evapotranspiração potencial, no período entre 1961 e 1990; e risco de seca maior que 60%, tomando-se por base o período entre 1970 e 1990.

Segundo o Ministério da Integração Nacional (2005), a região semiárida brasileira (Figura 106) abrange uma área de 969.589,4 km<sup>2</sup>, englobando 1.131 municípios dos estados de Minas

Gerais, Bahia, Alagoas, Ceará, Paraíba, Pernambuco, Piauí, Rio Grande do Norte e Sergipe. De acordo com Vieira (1999 *apud* Rola, 2008), nessa região o volume de água precipitado é em grande parte consumida pela evapotranspiração e a fração restante é relativamente pequena para compor o escoamento superficial direto, a infiltração e, posteriormente, o escoamento subterrâneo.

Assim, no semiárido brasileiro a prática da captação da água de chuva para o abastecimento humano mostra-se, ainda na atualidade, como uma alternativa de convivência do trabalhador e da trabalhadora rural com a seca (ROLA, 2008).

Hoje, já existe no país a “Associação Brasileira de Manejo e Captação de Água de Chuva” (ABCMAC), que foi criada em 1.999 e é responsável por divulgar estudos e pesquisas, reunir equipamentos, instrumentos e serviços sobre o assunto (ABCMAC, 2008 *apud* LIMA; MACHADO, 2008).



**Figura 106 – Nova delimitação do semiárido brasileiro.**

(FONTE: Ministério da Integração Nacional, 2005)

Com o objetivo de melhorar a qualidade de vida da população no que diz respeito à disponibilidade de água, surge durante a *3ª Conferência das Partes da Convenção de Combate à Desertificação e à Seca – COP3*, realizada em Recife, em julho de 1999, a ASA (Articulação do Semiárido) que hoje atua como um fórum de organizações da sociedade civil e que trabalha em prol do desenvolvimento social, econômico, político e cultural do semiárido, contando com a participação de mais de 700 organizações de diversos segmentos tais como igrejas católicas e evangélicas, organizações não governamentais de desenvolvimento e ambientalistas, associações de trabalhadores rurais e urbanos, associações comunitárias, sindicatos e federações de trabalhadores rurais. Como instância máxima da articulação está a coordenação executiva da ASA, a qual é composta por dois membros de cada estado do semiárido e cujas instâncias subsequentes são os Fóruns ou ASAs Estaduais e os grupos de trabalho (ASA, 2007 *apud* ROLA, 2008).

Como atuação, dois projetos estão em desenvolvimento pela ASA, com o apoio do Governo Federal, para sanar a problemática da falta de água para consumo humano no Semiárido Brasileiro: Cisternas para beber e cozinhar (P1MC) e plantar (P1+2) (ROLA, 2008).

De acordo com o site da Articulação do Semiárido (<http://www.asabrasil.org.br/>, acesso em janeiro de 2012), os dois programas, P1MC e P1+2, são descritos conforme texto abaixo:

*“O Programa Um Milhão de Cisternas (P1MC) é uma das ações do Programa de Formação e Mobilização Social para a Convivência com o Semiárido da ASA. Ele vem desencadeando um movimento de articulação e de convivência sustentável com o ecossistema do Semiárido, através do fortalecimento da sociedade civil, da mobilização, envolvimento e capacitação das famílias, com uma proposta de educação processual.*

*O objetivo do P1MC é beneficiar cerca de cinco milhões de pessoas em toda região semiárida com água potável para beber e cozinhar, através das cisternas de placas. Juntas, elas formam uma infraestrutura descentralizada de abastecimento com capacidade para 16 bilhões de litros de água.*

*O programa é destinado às famílias com renda até meio salário mínimo por membro da família, incluídas no Cadastro Único do governo federal, e que residam permanentemente na área rural e não tenham acesso ao sistema público de abastecimento de água. Além desses critérios, terão prioridade: mulheres chefes de família; famílias com crianças de 0 a 6 anos; crianças e adolescentes frequentando a escola; adultos com idade igual ou superior a 65 anos; portadores de necessidades especiais.*

*Desde que surgiu, em 2003, até os dias de hoje, o P1MC construiu mais de 300 mil cisternas, beneficiando mais de 1,5 milhões de pessoas. Para que esses resultados pudessem ser*

alcançados, a ASA conta com a parceria de pessoas físicas, empresas privadas, agências de cooperação e do governo federal.”

A figura 107 mostra uma cisterna do P1MC sendo construída e a vibração da população local após a construção de uma das cisternas do programa.



**Figura 107 – Programa 1 Milhão de Cisternas – P1MC**

**(a) construção de uma cisterna de placa; (b) população comemorando a construção cisterna.**

(FONTE: <http://ongiac.webnode.com.br>, acesso em agosto de 2012)

“O Programa Uma Terra e Duas Águas (P1+2) é uma das ações do Programa de Formação e Mobilização Social para Convivência com o Semiárido da ASA.

O objetivo do programa é fomentar a construção de processos participativos de desenvolvimento rural no Semiárido brasileiro e promover a soberania, a segurança alimentar e nutricional e a geração de emprego e renda às famílias agricultoras, através do acesso e manejo sustentáveis da terra e da água para produção de alimentos.

O 1 significa terra para produção. O 2 corresponde a dois tipos de água – a potável, para consumo humano, e água para produção de alimentos.

As famílias atendidas pelo P1+2 são selecionadas a partir dos seguintes critérios: famílias com acesso à água para consumo humano, a exemplo das cisternas do P1MC; mulheres chefes de família; famílias com crianças de 0 a 6 anos de idade; crianças e adolescentes frequentando a escola; adultos com idade igual ou superior a 65 anos; e portadores de necessidades especiais.

*As características de solos, a formação rochosa (cristalino, sedimentar, arenito), a localização das implementações, a lógica de produção (agricultura, pecuária, extrativismo) e as formas de manejo também são requisitos observados na escolha das famílias e no tipo de tecnologia que mais se adequada a sua realidade.”*

As tecnologias utilizadas no Programa Uma Terra e duas Águas para trazer água para a população do semiárido são mostradas na figura 108.



**Figura 108 – Tecnologias do P1+2**

**(a) cisterna-calçadão; (b) barragem subterrânea;  
(c) tanque de pedra ou caldeirão; (d) bomba d'água popular (BAP).**

(FONTE: <http://www.asabrasil.org.br>, acesso em agosto de 2012)

Outro exemplo interessante de aproveitamento de água de chuva foi o concebido na construção da Cidade do Samba (Figura 109), localizada na zona portuária da cidade do Rio de Janeiro, no bairro da Gamboa, que foi inaugurada no início de 2006 e reúne os centros de produção dos carros alegóricos, adereços e fantasias das escolas de samba do grupo especial da cidade do Rio de Janeiro.



**Figura 109 – Cidade do Samba, Rio de Janeiro.**

(FONTE: <http://sonhodecarnaval.blogspot.com/>, acesso em janeiro de 2012)

No que se refere ao aproveitamento da água de chuva, o empreendimento foi pensado para não só captá-la, mas também para usá-la no próprio empreendimento. Dos 37.800m<sup>2</sup> de área de telhado dos 14 barracões, apenas sete deles, com 21.000m<sup>2</sup> de área de telhado, estão adaptados para captar a água de chuva, e drená-la para o seu armazenamento nos reservatórios subterrâneos com capacidade para 300m<sup>3</sup> cada um (MAGALHÃES JÚNIOR; BASTOS, 2006 e VIOLA, 2007 *apud* ROLA, 2008) (Figura 110).



**Figura 110 – Um dos reservatórios da Cidade do Samba, Rio de Janeiro.**

(FONTE: SOPRJ, 2008 *apud* ROLA, 2008)

Somados a estes, cada um dos 14 barracões possui dois reservatórios com capacidade para 10 mil litros cada, sendo um com água de chuva e o outro com água tratada da CEDAE, perfazendo, na Cidade do Samba, um total de 740 mil litros de capacidade de armazenamento de água (ROLA, 2008).

Além da Cidade do Samba outros empreendimentos, recentemente construídos na cidade do Rio de Janeiro, também usam esta técnica de captação e uso de águas pluviais, prática esta que resulta em uma economia relevante de água tratada, tais como a Arena do Pan, o Novo Terminal do Aeroporto Santos Dumont e o Estádio Engenhão, os quais economizam

mensalmente 1.15, 1.0 e 0.95 milhões de litros de água tratada da concessionária, respectivamente (EPPRECHT, 2008 *apud* ROLA, 2008).

Na cidade de Guarulhos, estado de São Paulo, algumas indústrias utilizam água de chuva para suprimento de alguns pontos na sua produção. É realizado aproveitamento de água de chuva em uma indústria de tingimento de tecidos, captada através de um telhado de 1.500 m<sup>2</sup> e armazenada em um reservatório subterrâneo de 370 m<sup>3</sup> (TOMAZ, 1993 *apud* LIMA; MACHADO, 2008). Já em Blumenau, cidade localizada no estado de Santa Catarina, foi instalado um sistema de aproveitamento de água pluvial em um hotel com 569,50 m<sup>2</sup> de área de cobertura (área de captação). O volume da cisterna utilizada é 16.000 litros, estimando-se a economia anual de água potável em torno de 684.000 litros (BELLA CALHA, 2008 *apud* LIMA; MACHADO, 2008).

### 4.3. ÁGUA DE CHUVA PARA DIFERENTES USOS

Diversos são os usos da água e seu consumo varia de região para região, dependendo da cultura e de costumes dos povos. O uso da água frente ao crescimento da população e às demandas das atividades, sejam industriais ou agrícolas, tem gerado conflitos em relação aos recursos hídricos, afetando a qualidade e quantidade dos mesmos (TUNDISI, 2005 *apud* FELTEN, 2008).

A água de chuva pode ser aproveitada de diversas formas, em diversos setores: residencial, industrial, agrícola, etc. A tabela 23 relaciona os usos que podem ser dados a águas pluviais.

**Tabela 23 – Tipos de uso para águas pluviais**

TIPO DE REUSO	USOS
Urbano	irrigação de parques e jardins públicos, centros esportivos, campos de futebol, gramados, árvores e arbustos decorativos ao longo de ruas e rodovias, áreas ajardinadas ao redor de edifícios públicos, residenciais e industriais; reserva de proteção contra incêndios; sistemas decorativos aquáticos, tais como fontes, chafarizes, espelhos e quedas d'água; lavagem de veículos
Industrial	para fins de resfriamento e para usos em processos industriais, como lavagem e composição do próprio produto
Agrícola	irrigação e dessedentação de animais (observar se a qualidade da água da chuva é compatível com a requerida para esses usos e, caso não seja, deve ser previsto tratamento)
Ambiental	inclui aplicações em pantanais, habitats naturais, para aumentar o fluxo de água, estabelecer áreas recreacionais (observar se a qualidade da água da chuva é compatível com a requerida para o contato humano e, caso não seja, deve ser previsto tratamento)

Fonte: Elaborado pelo autor, baseado em Goldenfum (2006).

Mais da metade da água consumida nas residências é destinada para usos menos nobres, como descarga do vaso sanitário e limpeza do chão. É notável a importância de se obter

sistemas de aproveitamento de água de chuva para suprir esse tipo de consumo (HELLER, 2008 *apud* FELTEN, 2008).

Usos que demandam água de qualidade elevada podem levar a custos incompatíveis com os benefícios, em face do baixo custo da água para os usuários urbanos. Assim, o aproveitamento urbano da água para fins potáveis é classificado como uma alternativa associada a custos e riscos muito elevados, tornando-o praticamente inviável. Já a aplicação para fins não potáveis envolve riscos bem menores e se configura em uma boa opção para o aproveitamento urbano da água de chuva (GOLDENFUM, 2006).

Desta forma, como prática sustentável, é viável pensar-se em sistemas de aproveitamento de água de chuva para usos que não são nobres em uma edificação, tais como rega de jardins, limpeza de áreas externas e lavagem de carros. Essa prática garante que uma parte do volume de chuva fique retida no sistema, gerando um alívio nas redes urbanas de drenagem, além de poupar a água proveniente das concessionárias para usos mais nobres.

#### 4.4. SISTEMAS DE COLETA E APROVEITAMENTO DA ÁGUA DE CHUVA

O aproveitamento da água de chuva em áreas urbanas é feito através do direcionamento da água que é precipitada sobre uma determinada superfície (para este estudo, esta área é o telhado) para um reservatório ou cisterna, através de um conjunto de calhas e condutores.

Esse armazenamento da água traz vantagens econômicas aos usuários, uma vez que esta água pode ser aproveitada para usos não muito nobres. Além disso, torna-se um dispositivo importante que pode auxiliar no combate das cheias urbanas, uma vez que, ao armazenar determinado volume de água de chuva, pode reduzir a quantidade de água que vai para as galerias de drenagem e diluir no tempo a vazão de pico da chuva.

De acordo com Soares *et al.* (1997 *apud* Goldefum 2006), o sistema de aproveitamento de águas pluviais consiste de forma geral, de três processos, apresentados na tabela 24.

**Tabela 24 – Processos do sistema de aproveitamento de águas pluviais**

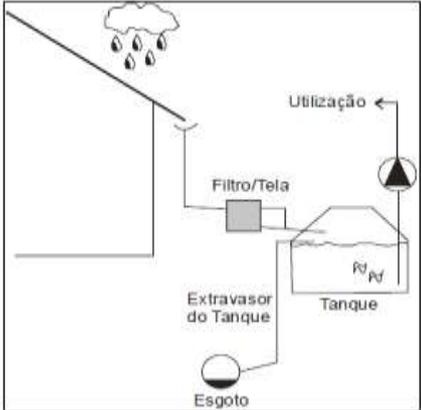
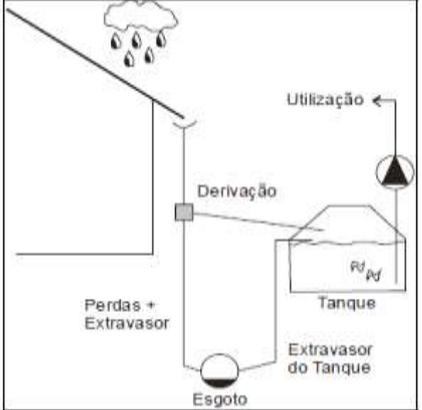
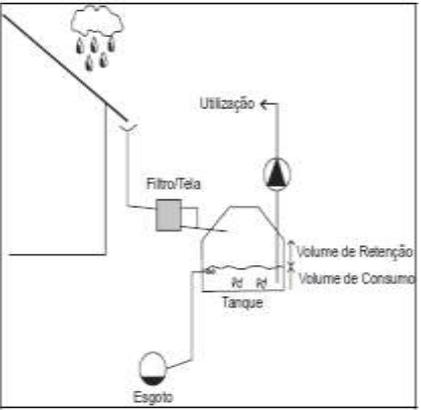
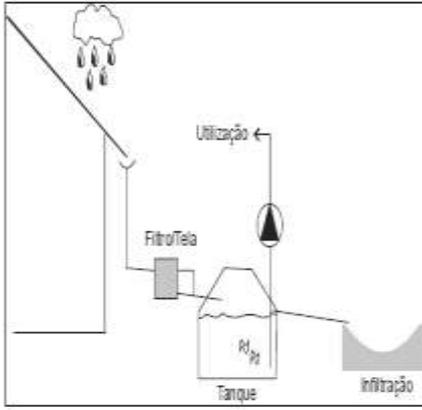
PROCESSO	DESCRIÇÃO
Coleta	A região de coleta é limitada aos telhados dos edifícios. A chuva coletada escoia através de calhas e condutores para o armazenamento.
Armazenamento	Reservatórios ou cisternas armazenam a água coletada. Se estes estiverem cheios, a água é desviada para a rede de águas pluviais.
Tratamento	Depende da qualidade da água coletada e do seu uso final. Pode ser feito: sedimentação natural, filtração e cloração.

Fonte: Elaborado pelo autor, baseado em Goldenfum (2006).

Vale ressaltar que os sistemas de aproveitamento de água de chuva é um sistema complementar ao sistema de fornecimento de água existente na edificação, podendo garantir água par alguns usos quando houver interrupção do abastecimento público.

Herrmann e Schimida (1999 *apud* Goldefum, 2006) descrevem os quatro sistemas típicos utilizados historicamente na Alemanha para aproveitamento de água de chuva que estão apresentados na tabela 25.

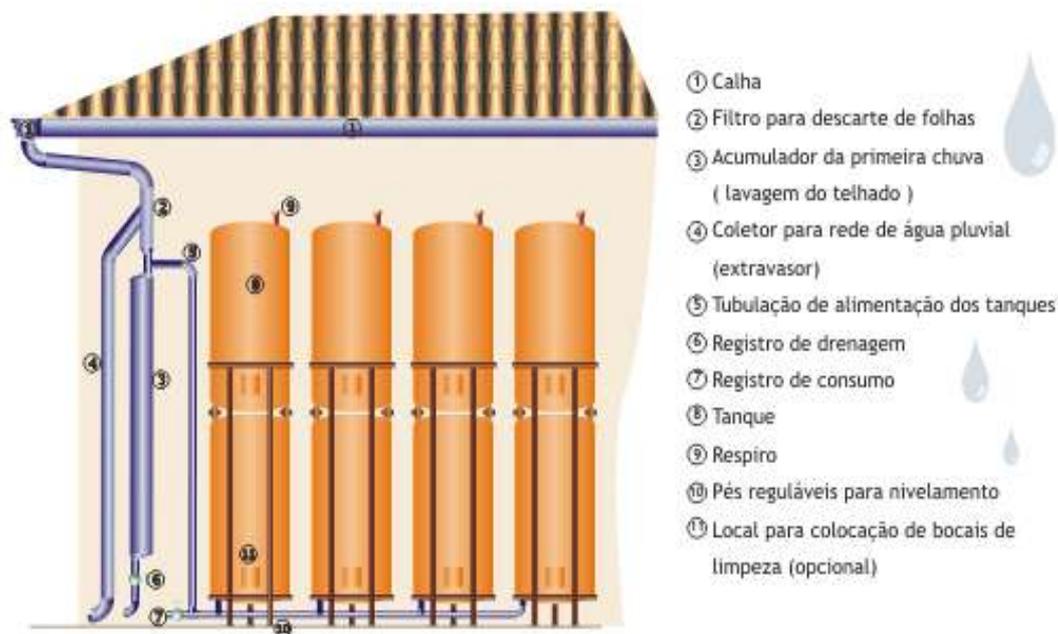
**Tabela 25 – Sistemas de aproveitamento de água de chuva**

SISTEMA 1	SISTEMA 2
<p>Sistema de fluxo total (figura 111). O escoamento superficial total é conduzido a um tanque de armazenamento, passando antes por um filtro ou tela. Extravasamentos para o sistema de drenagem ocorrem apenas quando o tanque está cheio.</p>  <p>Figura 111 - Sistema de fluxo total</p>	<p>Sistema com derivação (figura 112). Apresentam uma derivação instalada no tubo vertical após a calha ou na tubulação subterrânea de drenagem. A parcela coletada é separada do fluxo total nesta derivação e o excesso é dirigido para o sistema de esgotos. Esses sistemas são típicos do período em que a água da chuva era destinada unicamente para poupar água potável e o desvio de águas pluviais para o sistema de esgotos era aceitável.</p>  <p>Figura 112 - Sistema com derivação</p>
<p>Sistema com volume de retenção (figura 113). O tanque de armazenamento apresenta um volume adicional para retenção de excessos pluviais, laminando a cheia, antes de ser conduzido para a rede de drenagem.</p>  <p>Figura 113 - Sistema com volume de retenção</p>	<p>Sistema com infiltração (figura 114). O excesso de escoamento é dirigido à infiltração local, ao invés de ser conduzido para a rede de drenagem, auxiliando a recuperação do balanço hídrico original.</p>  <p>Figura 114 - Sistema com infiltração</p>

Fonte: Elaborado pelo autor, baseado em Goldenfum (2006).

É importante destacar que a poeira e a fuligem se acumulam nas áreas de coleta como telhados, contaminando as águas. As condições de limpeza da área de coleta e qualidade do ar da região de captação devem ser consideradas para a determinação das utilizações possíveis dessas águas. A eliminação da primeira porção d'água coletada (*“first flush”*) é uma forma prática de se amenizar a poluição das águas pluviais pelos poluentes dispersos na atmosfera (FENDRICH e OLIYNIK, 2002 *apud* GOLDENFUM, 2006).

Assim, um sistema moderno de captação de água de chuva conta com os seguintes componentes que são ilustrados na figura 115.



**Figura 115 – Componentes de um sistema de coleta de água de chuva para fins de aproveitamento.**

(FONTE: <http://www.h2ot.com.br>, acesso em agosto de 2012)

#### **4.5. ARMAZENAMENTO DA ÁGUA DE CHUVA EM SISTEMAS DE APROVEITAMENTO DA MESMA**

A água de chuva coletada em áreas de contribuição urbanas (telhados) é direcionada para um reservatório, no qual, é armazenada para que possa ser aproveitada. Este reservatório deve ser mantido em condições adequadas para que a qualidade da água não seja comprometida, como permanecer sempre fechado.

O dimensionamento do reservatório para aproveitamento de águas pluviais pode ser feito de acordo com um dos métodos descritos pela NBR 15527 (ABNT, 2007). Esses métodos estão descritos nas tabelas 26a e 26b.

**Tabela 26a – Métodos de cálculo para dimensionamento de reservatórios para armazenamento de águas pluviais**

MÉTODO	FÓRMULA	GRANDEZAS	DESCRIÇÃO
RIPPL	$S_{(t)} = D_{(t)} - Q_{(t)}$ <p>[EQUAÇÃO 1]</p> $Q_{(t)} = C \times \text{precipitação de chuva}_{(t)} \times \text{área de captação}$ $V = \sum S_{(t)}, \text{somente para valores } S_{(t)} > 0$	<p>S(t) = volume de água no reservatório no tempo 't';</p> <p>Q(t) = o volume de chuva aproveitável no tempo 't';</p> <p>D(t) = demanda ou consumo no tempo 't';</p> <p>V = Volume do reservatório;</p> <p>C = Coeficiente de escoamento superficial.</p>	<p>Método de cálculo de volume de armazenamento necessário para garantir uma vazão regularizada constante durante o período mais crítico de estiagem observado. Baseado no sistema denominado diagrama de Rippl desenvolvido no final do século XIX, comumente é utilizado para o cálculo de reservatórios destinados ao abastecimento público, aproveitamento hidroelétrico, irrigação, controle de enchentes e regularização de cursos d'água. Usando-se as séries históricas mensais ou diárias e a equação 1 ao lado, tem-se o volume do reservatório por este método. O volume útil do reservatório para uma determinada vazão regularizada é definida pela utilização do diagrama de massa, correspondendo ao volume de maior déficit existente na série histórica.</p>
DA SIMULAÇÃO	$S_{(t)} = Q_{(t)} + S_{(t-1)} - D_{(t)}$ <p>[EQUAÇÃO 2]</p> $Q_{(t)} = C \times \text{precipitação de chuva}_{(t)} \times \text{área de captação}$	<p>S(t) = volume de água no reservatório no tempo 't';</p> <p>S(t-1) = volume de água no reservatório no tempo 't-1';</p> <p>Q(t) = volume de chuva no tempo 't';</p> <p>D(t) = demanda ou consumo no tempo 't';</p> <p>V = Volume do reservatório fixado;</p> <p>C = Coeficiente de escoamento superficial.</p>	<p>É realizado um balanço de massa pela contabilização de entradas e saídas do reservatório. Sem levar a evaporação da água da chuva em conta, aplica-se a equação da continuidade a um reservatório finito, em um determinado mês. Para a aplicação deste método, utiliza-se a equação 2, devendo o reservatório ser considerado cheio no início da contagem do tempo "t", sendo os dados históricos representativos para as condições futuras.</p>
AZEVEDO NETO	$V = 0,042 \times P \times A \times T$ <p>[EQUAÇÃO 3]</p>	<p>P = precipitação média anual (mm);</p> <p>N = quantidade de meses de pouca chuva ou seca;</p> <p>A = área de coleta em projeção (m²);</p> <p>V = volume de água aproveitável e o volume de água do reservatório (L).</p>	<p>O método Azevedo Neto utiliza uma série de precipitação de forma anual relacionando com a quantidade de meses com pouca chuva ou seca. É definido como o volume ideal do reservatório, 4,2% do produto entre o volume de chuva coletada pelo telhado e o número de meses com pouca chuva ou seca. Desta forma, o método indica o volume de água aproveitável sendo o volume de água do reservatório, conforme equação 3.</p>
PRÁTICO ALEMÃO	$V_{\text{adotado}} = \text{mínimo de } (V; D) \times 0,06$ <p>[EQUAÇÃO 4]</p>	<p>V = volume aproveitável de água da chuva anual, expresso em litros (L);</p> <p>D = demanda anual da água não potável, expresso em litros (L);</p> <p>Vadotado = volume de água do reservatório, expresso em litros (L).</p>	<p>O método em questão obtém o volume de armazenamento de água através de uma forma empírica e também muito simples. O mesmo pode ser aplicado em séries, porém de forma anualizada. Assim ele toma como volume do reservatório o menor valor entre 6% do volume anual de consumo ou 6% do volume anual de precipitação aproveitável, conforme equação 4. Dentro da precipitação aproveitável, é considerada apenas a área de coleta do telhado. Este se assemelha em partes com a forma também empírica inglesa, porém compara o volume de chuva aproveitável com a demanda anual.</p>

Fonte: Elaborado pelo autor, baseado em ABNT (2007) e Fontanela (2010).

**Tabela 26b – Métodos de cálculo para dimensionamento de reservatórios para armazenamento de águas pluviais (continuação)**

MÉTODO	FÓRMULA	GRANDEZAS	DESCRIÇÃO
PRÁTICO INGLÊS	$V = 0,05 \times P \times A$ <p align="center">[EQUAÇÃO 5]</p>	<p>P = valor numérico da precipitação média anual, expresso em milímetros (mm);</p> <p>A = valor numérico da área de coleta em projeção, expresso em metros quadrados (m<sup>2</sup>);</p> <p>V = valor numérico do volume de água aproveitável e o volume de água da cisterna, expresso em litros (L).</p>	<p>Da mesma forma que o Método de Azevedo Neto e o Método Prático Alemão, o Método Prático Inglês de dimensionamento de reservatório pode ser empregado apenas séries anuais, trabalhando apenas com a precipitação média de chuva anual e com a área de captação da residência. Assim, a mesma despreza as variáveis como a demanda de água, sendo o volume obtido independente deste. Trata-se de uma metodologia muito simples que considera o volume ideal de armazenamento como sendo 5% do volume de água coletado no telhado. Desta forma, a equação do Método Prático Inglês utiliza a equação 5 para a obtenção do volume do reservatório.</p>
PRÁTICO AUSTRALIANO	<p>Volume precipitado:</p> $V = A \times C \times (P - I)$ <p>O cálculo do volume do reservatório é realizado por tentativas pela equação 6, até que sejam utilizados valores otimizados de confiança e volume do reservatório.</p> $V_{(t)} = V_{(t-1)} + Q_{(t)} - D_{(t)}$ <p align="center">[EQUAÇÃO 6]</p> <p>Para o primeiro mês, considera-se o reservatório vazio.</p> <p>Quando <math>(V_{(t-1)} + Q_{(t)} - D_{(t)}) &lt; 0</math>, então <math>V_{(t)} = 0</math>.</p> <p>O volume do tanque escolhido será T.</p> <p>A confiança é dada por:</p> $C = (1 - Pr), \text{ onde } Pr = \frac{Nr}{N}$ <p>Recomenda-se que os valores de confiança estejam entre 90% e 99% (10% a 1% de falhas).</p>	<p>C = coeficiente de escoamento superficial, geralmente 0,80;</p> <p>P = precipitação média mensal;</p> <p>I = interceptação de água que molha as superfícies e perdas por evaporação, geralmente 2 mm;</p> <p>A = área de coleta;</p> <p>Q = volume mensal produzido pela chuva;</p> <p>Q(t) = volume mensal produzido pela chuva no mês 't';</p> <p>V(t) = volume de água que está no tanque no fim do mês 't';</p> <p>V(t-1) = volume de água que está no tanque no início do mês 't';</p> <p>D(t) = demanda mensal;</p> <p>Pr = probabilidade de falha;</p> <p>Nr = número de meses em que o reservatório não atendeu à demanda, quando <math>V_t = 0</math>;</p> <p>N = número de meses considerado, geralmente 12 meses;</p> <p>C = <math>(1-Pr)</math> = confiança.</p>	<p>Neste método é necessário obter uma série histórica mensal de precipitação. Ao contrário dos métodos Inglês, Alemão e Azevedo Neto, este método se diferencia por produzir resultados mais criteriosos devido à realização de um pequeno balanço entre as variáveis utilizadas. Utiliza uma análise entre a chuva total do mês em conjunto com a demanda também mensal para equacionar o melhor volume do reservatório. Ocorre a correção do volume de água coletado pela área de captação, e o volume final a obter-se é definido através de tentativas. Para a análise crítica deste volume, o método recomenda a verificação de valores de confiança para as quantidades de meses em que houve o atendimento deste volume para a demanda exigida. O volume de chuva utilizado na metodologia pode ser definido através da equação 6.</p>

Fonte: Elaborado pelo autor, baseado em ABNT (2007) e Fontanela (2010).

#### 4.6. A QUALIDADE DA ÁGUA DE CHUVA PROVENIENTE DE COBERTURAS EM ÁREAS URBANAS PARA FINS NÃO POTÁVEIS

A qualidade de água é expressa em função de diversos parâmetros, que indicam suas principais características químicas (pH, cloretos, entre outras), físicas (turbidez, cor, entre outras) e biológicas (coliformes).

Para um dado uso que é feito para a água, são definidos padrões de qualidade que essa água deve apresentar para ser usada para tal fim. Os padrões devem ser cumpridos, pois estão previstos em lei (Resolução CONAMA Nº 357/2005 e Portaria MS 518/2004).

De acordo com a norma brasileira, NBR 15527/2007 (ABNT, 2007), os padrões de qualidade da água pluvial para usos não potáveis em edificações devem ser definidos pelo projetista de acordo com a utilização prevista. Para usos mais restritivos, devem ser utilizados os valores apresentados na tabela 27 para os parâmetros indicados.

**Tabela 27 – Parâmetros de qualidade de água de chuva para usos restritivos não potáveis**

Parâmetro	Análise	Valor
Coliformes totais	Semestral	Ausência em 100 mL
Coliformes termotolerantes	Semestral	Ausência em 100 mL
Cloro residual livre <sup>a</sup>	Mensal	0,5 a 3,0 mg/L
Turbidez	Mensal	< 2,0 uT <sup>b</sup> , para usos menos restritivos < 5,0 uT
Cor aparente (caso não seja utilizado nenhum corante, ou antes da sua utilização)	Mensal	< 15 uH <sup>c</sup>
Deve prever ajuste de pH para proteção das redes de distribuição, caso necessário	mensal	pH de 6,0 a 8,0 no caso de tubulação de aço carbono ou galvanizado
NOTA Podem ser usados outros processos de desinfecção além do cloro, como a aplicação de raio ultravioleta e aplicação de ozônio.		
<sup>a</sup> No caso de serem utilizados compostos de cloro para desinfecção.		
<sup>b</sup> uT é a unidade de turbidez.		
<sup>c</sup> uH é a unidade Hazen.		

Fonte: ABNT, 2007.

Como a norma NBR 15527/2007 (ABNT, 2007) não é muito abrangente em termos de parâmetros de qualidade da água, é recomendável adotar os padrões já previstos na Resolução CONAMA 357/2005, na qual para cada classe de uso da água, são indicados diversos parâmetros de qualidade que a mesma deve apresentar.

A qualidade da água pluvial coletada em um telhado urbano é afetada por diferentes fatores, tais como: condições ambientais do entorno (proximidade de áreas industriais, grandes rodovias, presença de pássaros ou roedores); condições meteorológicas (temperatura, períodos anteriores de seca e padrões de chuva, intensidade da chuva); material da cobertura do telhado (laje de concreto, telhas cerâmicas, metálica, coberturas verdes); condições de coleta e armazenamento (nível de sujeira do local, tempo de armazenamento da água no reservatório, material que é feito o reservatório) e existência de tratamento da água no processo de captação da água pluvial (emprego de dispositivos de descarte de água dos primeiros instantes da precipitação, de filtros para folhas, de processos de desinfecção por radiação, ultravioleta, cloração, filtro lento de areia). O tipo de tratamento, a ser conferido à

água pluvial dependerá das características da água coletada e do uso final não potável pretendido no edifício (IBIAPINA *et al.*, 2010).

Em sistemas de aproveitamento de água de chuva provenientes de coberturas devem ser previstos cuidados na operação do sistema, como descarte das primeiras águas, limpeza e desinfecção periódica da cisterna para que a qualidade da água não fique comprometida para o uso previsto. Além disso, a qualidade da água pluvial armazenada deve ser sempre analisada para constatar que sua qualidade estipulada a priori esteja sendo mantida.

#### **4.7. APROVEITAMENTO DA ÁGUA DE CHUVA DRENADA POR TELHADOS VERDES**

A adoção do telhado verde como parte integrante do sistema de aproveitamento de água de chuva demanda análise e cuidados diferenciados daqueles que consideram o telhado convencional como superfície de captação (FERREIRA; MORUZZI, 2007).

Parte-se do pressuposto que os benefícios inerentes ao telhado verde devem ser incorporados às práticas de aproveitamento de água de chuva. Entretanto, devem ser observados os aspectos relativos à quantidade e à qualidade da água de chuva (FERREIRA; MORUZZI, 2007).

##### **4.7.1. Aspectos relativos à quantidade de água armazenada**

Como já mencionado no presente texto, as coberturas verdes são capazes de armazenar água em seu sistema substrato-vegetação, de forma a reduzir o volume de água de chuva que se torna escoamento superficial.

Para os sistemas de drenagem urbana, a aplicação dessa técnica compensatória proporciona uma folga às galerias de drenagem, que já se encontram em seu limite de tão significativo que é o escoamento superficial gerado quando ocorrem as chuvas, uma vez que grande parte do solo urbano é impermeável.

Associar um sistema de aproveitamento de águas pluviais a telhados verdes implica em redução do volume potencialmente aproveitável de água para os usos previstos de aproveitamento, uma vez que parcela da água fica retida neste telhado. Fato este que não ocorre em coberturas convencionais (telhas, concreto, etc.), nas quais praticamente tudo que precipita torna-se escoamento superficial.

Porém, sistemas de aproveitamento de água de chuva que utilizam telhados convencionais podem perder grande volume de água através dos extravasores dos reservatórios de armazenamento quando a regularização da vazão não é a hipótese norteadora adotada no dimensionamento dos reservatórios (FERREIRA; MORUZZI, 2007).

Neste contexto, pode-se considerar que a água pluvial perdida em sistemas de aproveitamento com cobertura verde, não é tão prejudicial quanto a que é descartada pelos mesmos sistemas que utilizam telhados convencionais, uma vez que, a água retida nas coberturas verdes é a demanda necessária para a manutenção do substrato e da vegetação, e a água descartada nos extravasores de sistemas de aproveitamento com coberturas convencionais, tornam-se escoamento superficial.

Além disso, em telhados convencionais com sistema de aproveitamento de água de chuva, torna-se necessário, em muitos casos, a realização do descarte dos primeiros milímetros da precipitação (conhecido também como limpeza do telhado) com o intuito de melhorar qualidade da água captada, o que não é necessário em sistemas associados a telhados verdes.

#### **4.7.2. Aspectos relativos à qualidade da água captada**

As coberturas verdes podem contribuir na redução da poluição da água pluvial causada pela drenagem urbana durante as enchentes, absorvendo poluentes depositados nas superfícies e na atmosfera, contribuindo diretamente na remediação hidrológica em centros urbanos (BERNDTSSON, 2006 *apud* IBIAPINA *et al.*, 2010).

A passagem da água da chuva pelo telhado verde pode tanto melhorar sua qualidade, por exemplo, neutralizando a chuva ácida, como introduzir poluentes devido à utilização de fertilizantes, pesticidas e nutrientes utilizados para a sua manutenção (TEIXEIRA; ILHA; REIS, 2011).

Para a análise do potencial de uma cobertura verde no que se refere à neutralização de chuvas ácidas, é importante avaliar periodicamente as propriedades do substrato, com o intuito de manter a estabilidade do pH e evitar a mortandade da vegetação (IBIAPINA *et al.*, 2010). De acordo com Berghage *et al.* (2007 *apud* Ibiapina *et al.*, 2010), uma cobertura verde perde a capacidade de neutralizar chuvas ácidas em dez anos, sendo necessário intervir após esse período.

A qualidade da água pluvial drenada em coberturas verdes está diretamente relacionada às suas características: idade da cobertura, manutenção e fontes de poluição local em que está inserida (EMILSON *et al.*, 2007 *apud* IBIAPINA *et al.*, 2010). Além de outros fatores como a

composição e profundidade do substrato, composição da camada de cobertura vegetal, grau de umidade do solo e regime de precipitação (BERNDTSSON, 2006 *apud* TEIXEIRA; ILHA; REIS, 2011).

Deve-se ter cuidado com a forma que é feita a manutenção das coberturas verdes, principalmente com a reposição de nutrientes (fertilizantes), considerado a principal fonte de contaminação da água por fósforo (P), fosfato ( $PO_4$ ) e potássio (K), conforme valores mostrados na tabela 28 (IBIPAINA *et al.*, 2010). A concentração de fósforo é significativa em sistemas de coberturas verdes, devido à presença da vegetação (BLISS *et al.*, 2009; MONTERUSSO *et al.*, 2004 *apud* TEIXEIRA; ILHA; REIS, 2011).

**Tabela 28 – Concentração de nutrientes na água pluvial drenada por coberturas verdes (unidade: mg/L)**

Referência	Fonte	Nitrogênio Total (N-tot)	Nitrato de nitrogênio ( $NO_3-N$ )	Nitrogênio amoniacal ( $NH_4-N$ )	Potássio (K)	Fósforo total (Tot-P)	Fosfato Fosforoso ( $PO_4-P$ )
Teemusk e Mander (2007)	Precipitação	0.6-1.3	0.18-0.09	<0.015-0.22	0.012-0.019	0.008	0.003-0.004
	Água drenada	1.2-2.1	0.42-0.8	0.12-0.33	0.026-0.09	0.005	0.006-0.066
Berndtsson <i>et al.</i> , (2009)	Precipitação	2.65	1.03	1.08	0.04		0.02
	Extensivo	2.31	0.07	0.08	0.31		0.27
	Intensivo	0.59	0.11	0.15	0.01		0.00

Fonte: IBIAPINA *et al.* (2010).

Köhler e Schmidt (2003 *apud* Ferreira e Moruzzi, 2007) concluiu que a capacidade de retenção de poluente é diretamente proporcional à espessura do substrato. Camadas com maiores espessuras de substrato se mostraram mais eficazes na retenção de poluentes por possuírem maior quantidade de matéria orgânica, quando comparadas com camadas de espessura menor.

Teixeira, Ilha e Reis (2011), em um estudo piloto de caracterização de parâmetros físicos, químicos e microbiológicos da água drenada por diferentes sistemas de coberturas verdes, em São Paulo, concluíram que a qualidade da água drenada em coberturas verdes pode apresentar valores de cor, fósforo total e coliformes totais acima dos limites estabelecidos para a água de reuso na literatura, tornando necessária a previsão de um sistema de tratamento composto, por exemplo, filtração lenta ou filtração em múltiplas etapas, desinfecção e a inserção de regulador para a remoção do fósforo ou processo de coagulação seguido de sedimentação para viabilizar o seu aproveitamento nas edificações para usos não potáveis.

Com base em estudos já realizados, pode-se verificar que telhados verdes são capazes tanto de reter quanto de carrear substâncias poluidoras, o que implicaria, neste caso, a utilização de algum tipo de tratamento para seu aproveitamento.

Ao estudar a solução de associar coberturas verdes com sistemas de aproveitamento de água de chuva, deve-se sempre verificar o custo-benefício que será proporcionado pelo sistema como um todo, uma vez que sistemas de tratamentos podem encarecer o custo do projeto.

Cabe aqui dizer que a qualidade da água, seja ela drenada por telhados convencionais ou por telhados verdes, deve ser minuciosamente avaliada para verificar se a mesma está adequada para o uso previsto. Portanto, deve-se sempre verificar a necessidade de algum tipo de tratamento (descarte de primeira água de chuva, remoção de folhas, entre outros) para que a água pluvial alcance a qualidade adequada para sua utilização. Vale ressaltar também que a qualidade da água é função da manutenção do sistema de aproveitamento como um todo, que deve ser verificado e inspecionado frequentemente.

## 5. CONCEPÇÃO E PROJETO DE DOIS PROTÓTIPOS DE COBERTURAS VERDES

---

### 5.1. INTRODUÇÃO

A presente monografia foi elaborada a partir de pesquisas realizadas para o projeto “Manejo de Águas Pluviais em Meio Urbano”, de sigla MAPLU, financiado pela FINEP – Financiadora de Estudos e Projetos, no qual a Universidade do Rio de Janeiro participa em conjunto com outras universidades do Brasil.

Tal projeto pretende promover avanços tecnológicos, através de estudos e pesquisas, na temática do que seria o conceito de “desenvolvimento urbano de baixo impacto”, focando na utilização de técnicas compensatórias existentes e aliando-as de forma a prever um manejo de águas pluviais que funcione como solução para os problemas urbanísticos existentes relacionados com o escoamento das águas de chuva.

De acordo com o PROGRAMA DRENAGEM URBANA SUSTENTÁVEL (2006), o conceito de “desenvolvimento urbano de baixo impacto” consiste na preservação do ciclo hidrológico natural, a partir da redução do escoamento superficial adicional gerado pelas alterações da superfície do solo decorrentes do desenvolvimento urbano. A redução do escoamento acontece pela infiltração do excesso de água no subsolo, pela evaporação e evapotranspiração, e pelo armazenamento temporário, possibilitando o aproveitamento da água ou um descarte lento, após a chuva. Essa redução do escoamento pode ser alcançada com a adoção de técnicas compensatórias, como telhados verdes e pavimentos permeáveis.

Vale ressaltar que, no Brasil, há uma carência de estudos nessa área, fazendo-se importante o investimento em pesquisas que sejam capazes de caracterizar outras técnicas, diferentes das convencionais empregadas em drenagem urbana, que tangem para que o ciclo hidrológico natural não sofra grandes alterações com a urbanização.

Dentro desta temática, o projeto MAPLU tem como objetivo o desenvolvimento de soluções urbanísticas e ambientalmente adequadas de manejo de águas pluviais, apoiado na utilização de modelagem matemática e ensaios de medidas compensatórias de caráter distribuído, realizados em laboratório, na escala do lote urbano, visando à redução do impacto sobre o hidrograma de enchente, integrando medidas estruturais e não estruturais de controle de cheias.

Dentro desse objetivo geral proposto, a UFRJ tem participação e metas a serem cumpridas nos quatro subprojetos no qual o projeto MAPLU foi dividido, conforme mostrado na tabela 29.

Cada subprojeto apresenta diferentes linhas de atuação e objetivos particulares que, ao serem somados, irão compor o objetivo geral do projeto. O presente trabalho tem como escopo apresentar o aparato experimental que será construído para a realização de estudos para o subprojeto 2 (MAPTEC).

**Tabela 29 – Subprojetos do projeto MAPLU**

Subprojeto	Sigla	Tema	Objetivo Específico	Metas
1	MAPMOD	Modelagem e monitoramento quali-quantitativos	Modelar matematicamente uma bacia urbana, de modo a representá-la de forma sistêmica e integrada, introduzindo as medidas avaliadas em laboratório na escala da bacia, para analisar os efeitos destas medidas em um projeto integrado de controle de enchentes.	<ul style="list-style-type: none"> <li>→ Determinação da capacidade de infiltração de pavimentos permeáveis, solo batido, gramado e telhado verde, em bancada, na caixa pluviométrica;</li> <li>→ Determinação local, para fins de estudo em bacia hidrográfica, da capacidade de infiltração e taxas de erosão de terreno descoberto/vegetado;</li> <li>→ Modelação de bacia teste e avaliação das interações espaço-temporais dos escoamentos na composição do hidrograma de cheias.</li> </ul>
2	MAPTEC	Técnicas Compensatórias	Estudar um conjunto de medidas compensatórias de caráter local, que podem ser distribuídas na bacia hidrográfica, destacando os reservatórios em lote, telhados verdes, pavimentos permeáveis e trincheiras de infiltração, com previsão de implantação de protótipos destas medidas em laboratório, permitindo a avaliação e monitoramento de seu funcionamento individualizado.	<ul style="list-style-type: none"> <li>→ Determinação, em protótipo, dos impactos locais da implantação de telhado verde para redução de runoff e melhorias do conforto térmico;</li> <li>→ Determinação, em protótipo, da capacidade de infiltração de pavimentos permeáveis implantados em vagas de estacionamento;</li> <li>→ Avaliação da capacidade de infiltração e funcionamento de trincheira de infiltração implantada sob sarjeta;</li> <li>→ Avaliação da efetividade de aplicação de reservatórios em lote e configuração de parâmetros de projeto, a partir de modelação matemática;</li> <li>→ Avaliação dos efeitos das medidas compensatórias propostas, utilizando a modelagem matemática para estudo na escala da bacia;</li> <li>→ Confecção de Manual de Processos e Critérios de Dimensionamento, Construção, Operação e Manutenção de Técnicas Compensatórias em Drenagem Urbana.</li> </ul>
3	GEDRU	Gestão da Drenagem Urbana	Construir um diagnóstico detalhado de uma bacia urbana, que contenha aspectos multidisciplinares que envolvam o urbanismo, paisagismo e engenharia. A análise deste diagnóstico será a diretriz para tomada de decisão e uso das ferramentas mais adequadas indicadas nos testes dos subprojetos 1 e 2.	<ul style="list-style-type: none"> <li>→ Desenvolver um procedimento metodológico multidisciplinar para a análise das dinâmicas de ocupação urbana e sua relação com o processo de degradação ambiental.</li> </ul>
4	MAPINT	Integração de Tecnologias Estruturais e Medidas Não-Estruturais	Mapear áreas de risco e integração de medidas estruturais em projetos e planos de intervenções urbanas, fazendo-as participar de ações urbanísticas estruturantes, tais como o zoneamento urbano, a definição de áreas de preservação, a manutenção de percentuais mínimos de áreas permeáveis, a previsão de introdução de mecanismos compulsórios de compensação em ações de loteamento e urbanização, em um esforço integrado para consubstanciar ações de desenvolvimento sustentável e de baixo impacto.	<ul style="list-style-type: none"> <li>→ Definição de diretrizes para desenvolvimento urbano de baixo impacto</li> </ul>

Fonte: Elaborado pelo autor, baseado em relatórios apresentados à FINEP.

No texto que segue, será apresentado o projeto de dois protótipos de coberturas verdes que, no futuro, serão utilizados para a realização de ensaios sobre esta medida compensatória.

Além disso, também será apresentado o projeto da bancada experimental na qual serão instalados, além de um desses protótipos de cobertura verde, outros protótipos que serão utilizados para caracterizar outras medidas compensatórias.

Esta bancada, que será palco de experimentos a serem desenvolvidos para o alcance de metas do subprojeto 2 (MAPTEC) do projeto MAPLU, será dividida, por meio de alvenaria, em cinco espaços. Um desses espaços será reservado para a instalação de um piso de referência, composto por terra batida (que posteriormente terá grama plantada em sua superfície).

Outros três espaços serão destinados para o estudo dos pavimentos permeáveis, que terão as mesmas características do piso de referência no que diz respeito a apresentarem um subsolo impermeável, e a mesma camada de base, tanto em termos de espessura, quanto em termos de materiais. O que irá variar nesses dois espaços, é o pavimento permeável que será estudado. As reduzidas dimensões torna fácil a retirada de um tipo de pavimento para a implantação de outro, proporcionando que ensaios com diversos tipos pavimentos sejam realizados utilizando o mesmo espaço da bancada experimental.

Desta forma, nesses três espaços destinados aos pavimentos permeáveis, pretende-se ensaiar os tipos de pavimentos que são apresentados na figura 116. Esta figura esquematiza o posicionamento dos protótipos nos espaços da bancada experimental que será construída.

O último espaço da bancada experimental será destinado a um dos protótipos de cobertura verde deste estudo. Este telhado será construído, de acordo com a concepção e projeto que aqui serão descritos, pela empresa *GREENWALL* Biosistemas Urbanos, que possui uma tecnologia patenteada.

Protótipo 1	Protótipo 2	Protótipo 3	Protótipo 4	Protótipo 5
<u>PISO DE REFERÊNCIA</u>	<u>PAVIMENTOS PERMEÁVEIS</u>	<u>PAVIMENTOS PERMEÁVEIS</u>	<u>PAVIMENTOS PERMEÁVEIS</u>	<u>COBERTURA VERDE</u>
Formado por terra inicialmente e, posteriormente será plantada grama	Serão testados diversos tipos de pavimentos alternadamente, formados por: <b>RC (Resíduos da Construção)</b> - composto por sobras de materiais cerâmicos que foram descartados durante a obra; <b>RCD (Resíduos de Construção e Demolição)</b> - composto por um bloco de concreto oriundo da demolição de parte da estrutura do Laboratório de Materiais de Construção – LAMAC – POLI/UFRI.	Serão testados diversos tipos de pavimentos alternadamente, formados por: <b>Concreto convencional;</b> <b>Concreto poroso;</b> <b>Mistura de RC com RCD.</b>	Serão testados diversos tipos de pavimentos alternadamente, formados por: <b>Pavimento australiano</b> (um com grama e outro com pedrisco); <b>Concregrama;</b> <b>Paralelepípedo com areia.</b>	(Será testado um pavimento verde com tecnologia patenteada pela empresa GREENWALL).

**Figura 116 – Posicionamento dos espaços para a realização de ensaios na bancada experimental.**

(FONTE: Elaborado pelo autor)

Esta bancada experimental será implantada no CESA/UFRJ – Centro Experimental de Saneamento Ambiental da UFRJ. O outro protótipo de cobertura verde a ser projetado neste estudo, será um sistema de cobertura verde associado com um sistema de captação e armazenamento da água drenada que será implantado em uma casa módulo localizada no IVIG/UFRJ – Instituto Virtual Internacional de Mudanças Globais da UFRJ.

## **5.2. Planejamento dos protótipos**

### **5.2.1. Revisão bibliográfica**

Para dar partida ao projeto, foi realizada uma revisão bibliográfica sobre os seguintes temas: drenagem urbana, coberturas verdes e aproveitamento da água de chuva, conforme já apresentado nos capítulos 2, 3 e 4, respectivamente.

O objetivo dessa revisão bibliográfica foi realizar uma pesquisa detalhada sobre os principais temas relacionados com o trabalho, de forma a identificar tecnologias já existentes, estudos que já foram realizados e algumas conclusões que já foram obtidas. E, com isso, ter uma base para a elaboração do projeto dos protótipos que serão construídos.

### **5.2.2. Localização dos protótipos**

Como já citado, a bancada experimental será localizada no CESA/UFRJ – Centro Experimental de Saneamento Ambiental da UFRJ (Figura 117). Um dos protótipos de cobertura verde deste estudo será implantado nesta bancada. O outro protótipo será construído em uma casa módulo localizada no IVIG/UFRJ – Instituto Virtual Internacional de Mudanças Globais da UFRJ (Figura 118).

Tanto o IVIG quanto o CESA estão localizados no campus Ilha do Fundão (Figura 119) da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ) e apresentam as coordenadas geográficas mostradas na tabela 30.



**Figura 117 – CESA/UFRJ, na Ilha do Fundão, Rio de Janeiro.**  
(FONTE: Google Earth, 2012)



**Figura 118 – IVIG/UFRJ, na Ilha do Fundão, Rio de Janeiro.**  
(FONTE: Google Earth, 2012)



**Figura 119 – Localização do IVIG e do CESA, na Ilha do Fundão, Rio de Janeiro.**  
(FONTE: Google Earth, 2012)

**Tabela 30 – Localização geográfica do IVIG e do CESA, ambos na UFRJ.**

Local do protótipo	Latitude	Longitude	MERCATOR				
IVIG	-22.864123°	-43.229225°	23 K	681673.33 m	E	7470430.68 m	S
CESA	-22.858499°	-43.234266°	23 K	681165.25 m	E	7471059.67 m	S

Fonte: Elaborado pelo autor, baseado no Google Earth, acesso em 2012.

### 5.2.3. Concepção dos protótipos

#### 5.2.3.1. Cobertura verde associada com um sistema de captação e armazenamento da casa módulo no IVIG/UFRJ

A casa módulo do IVIG/UFRJ já se encontra construída (Figura 120) e é utilizada por professores e estudantes como escritório. É formada por alvenaria de tijolos solo-cimento e sua cobertura é uma laje de concreto armado, com dimensão quadrada de 6,00 m x 6,00 m, totalizando uma área de 36,00 m<sup>2</sup>.



**Figura 120 – Foto da casa módulo na qual será implantado o telhado verde no IVIG/UFRJ.**

(FONTE: Foto tirada por Laura Monteiro)

Esta laje, atualmente, apresenta falhas em seu caimento para os dois pontos de drenagem localizados ao fundo da casa (Figura 121). Esses dois pontos de drenagem são buracos na laje, nos quais descem duas tubulações com 100 mm de diâmetro que levam a água diretamente para o solo, como mostrado na figura 122, não existindo nenhum meio de armazenamento dessa água.



**Figura 121 – Foto da laje da casa módulo do IVIG/UFRJ, mostrando a falha em seu caimento e os pontos de drenagem existentes.**

(FONTE: Foto tirada por Laura Monteiro)



**Figura 122 – Foto das tubulações de drenagem já existentes na casa do IVIG/UFRJ.**

(FONTE: Foto tirada por Laura Monteiro)

De modo a aproveitar esta casa módulo para a realização de experimentos na temática de telhado verde associado a um sistema de captação e armazenamento da água drenada, algumas medidas deverão ser tomadas.

Destarte, deve-se realizar a correção do caimento da laje, que será a estrutura de suporte da cobertura verde, de forma que esta fique, no mínimo, com os 2% de inclinação que é recomendado pelas referências estudadas.

Posteriormente, o sistema de captação da água drenada deve ser complementado, de forma a aproveitar as tubulações de descida da laje já existentes e direcionar a água drenada da cobertura verde para um reservatório que será localizado na parte dos fundos da casa.

O reservatório que irá armazenar a água pluvial captada pelo sistema deve permitir que, para um dado evento de chuva, o volume armazenado, que é o que foi descartado pelo telhado verde, possa ser quantificado. Além disso, este reservatório deverá ser protegido de modo que agentes externos não influenciem na qualidade da água armazenada que será coletada eventualmente para análises.

#### 5.2.3.2. Bancada experimental e protótipo de cobertura verde do CESA/UFRJ

O local escolhido no CESA/UFRJ para a construção da bancada experimental que irá abrigar os protótipos foi uma área ao fundo do Centro Experimental, próxima às lagoas de estabilização (Figura 123). A escolha deste local foi devido à existência de três estruturas de área retangular, com 10,18 m de comprimento e 2,38 m de largura, erguidas em alvenaria a 1,0 m do solo (Figura 124), das quais uma será utilizada como suporte para a bancada experimental.



**Figura 123 – Local onde serão instalados os protótipos no CESA/UFRJ.**

(FONTE: Google Earth, 2012)



**Figura 124 – Fotos do local onde serão construídos os protótipos. Detalhe para as paredes de alvenaria já existentes que servirão de suporte para os protótipos.**

(FONTE: Fotos tiradas pelo autor)

Basicamente, os ensaios realizados nos protótipos da bancada ocorrerão da seguinte maneira: uma dada chuva conhecida, produzida por um simulador de água de chuva, será precipitada sobre a área de um dado protótipo. E, através de pontos de drenagem instalados em cada protótipo (ora na superfície, no caso dos pisos de referência e pavimentos permeáveis, ora em uma determinada profundidade, no caso da cobertura verde), a água descartada será direcionada através de uma calha para uma caixa pluviométrica que será capaz de medir, para a chuva em questão, o que é transformado em escoamento superficial.

Sabendo-se disso, uma série de adequações à estrutura de alvenaria existente no local deve ser realizada de modo que esta fique compatível com os equipamentos que serão utilizados nos ensaios, no caso, a caixa pluviométrica e o simulador de água de chuva.

Além disso, algumas medidas devem ser previstas no projeto, de forma a ter controle nos ensaios e nenhuma interferência nos resultados, tais como prever um escoamento adequado para o escoamento superficial de regiões fora da área de interesse, de modo que somente a área de influência contribua para o experimento; proteger a calha que recolhe a água de descarte dos protótipos para que eventuais respingos não interfiram nos resultados; prever uma impermeabilização adequada no entorno do protótipo, evitando, com isso, que algum material permeável que contorne o experimento permita a passagem de água.

### 5.2.3.3. Cobertura verde adotada nos dois protótipos

Pelas reduzidas áreas a serem naturadas, de 36 m<sup>2</sup> na casa módulo do IVIG/UFRJ e de 1,80 m<sup>2</sup> na bancada experimental do CESA/UFRJ, o tipo de cobertura verde escolhida foi a extensiva, que é a mais adequada às necessidades do projeto, uma vez que necessita de pouca manutenção, apresenta pouca espessura de substrato e é mais leve, transferindo uma baixa carga à estrutura de suporte.

A inclinação dos protótipos de cobertura verde será de 2%, pois de acordo com estudos já realizados (Tabela 21) esta é a inclinação na qual a capacidade de retenção de água de chuva é elevada para precipitações maiores que 10 mm, além de ser a inclinação mínima recomendada por Ibiapina *et al.* (2010 *apud* FLL) para estes tipos de cobertura

O tipo de sistema de naturezação escolhido foi o completo. As áreas reduzidas dos protótipos não justifica a utilização de um sistema do tipo modular. Além disso, estudos atuais são realizados utilizando substratos de espessuras maiores do que a de um sistema tipo manta pré-vegetativa, descartando a hipótese de utilização deste sistema, não só por isso, mas pelo fato do substrato ser um dos elementos das coberturas verdes mais ativos no processo de retenção de água, não podendo ter sua participação reduzida. A escolha do sistema completo é corroborada pelo fato que este sistema é o que garante maior uniformidade entre todos os elementos do sistema naturado, fato este de extrema importância para estudos experimentais.

Quanto à estrutura de suporte, o protótipo da casa módulo do IVIG/UFRJ contará com a laje em concreto armado já existente, que já encontra-se devidamente impermeabilizada. Já o protótipo da bancada experimental do CESA/UFRJ, por ser em escala piloto com dimensões bastante reduzidas, terá como sua camada de suporte um aterro compactado que irá ser impermeabilizado com manta impermeabilizante. No caso deste último protótipo, além de sua base, a região do contorno lateral também será impermeabilizada.

O telhado verde dos protótipos serão construídos pela empresa *GREENWALL* Biosistemas Urbanos (<http://www.greenwall.com.br/>, 2012), que é representante exclusiva no Brasil da *GREENWALL Company*, líder australiana na produção de jardins verticais modulares e com *design* personalizado.

A tecnologia patenteada pela empresa *GREENWALL* para telhados verdes consiste em uma camada de lona *Sansuy* que será posta logo acima da laje, no caso da casa módulo do IVIG/UFRJ e logo acima da manta impermeabilizante, no caso do protótipo da bancada experimental. Esta lona garante maior segurança no que diz respeito à impermeabilização da estrutura de suporte. A lona será seguida por uma camada de drenagem de 5 cm de espessura

formada por argila expandida e, acima desta, haverá uma camada de eco-amofada de tecidos recicláveis com substrato leve de 10 cm de espessura, na qual será cultivada a vegetação.

As plantas que serão cultivadas nas coberturas verdes foram escolhidas observando suas características de adaptação ao clima local. Desta forma, conforme sugerido pela própria empresa que tem experiência no assunto, optou-se pela *Callisia fragrans* e *Neogrelia compacta* mostradas pela figura 125.

Assim, os protótipos de cobertura verde terão as características da tabela 31 e a composição esquemática que é mostrada na figura 126.

**Tabela 31 – Características do telhado verde dos protótipos**

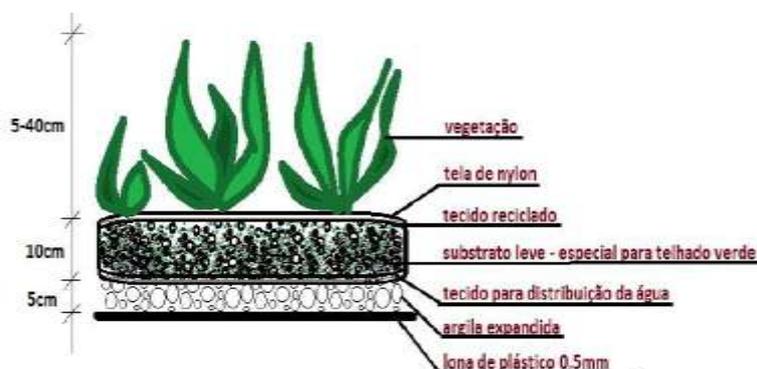
CLASSIFICAÇÃO DO TELHADO	
1. Quanto aos componentes:	extensivo
2. Quanto a inclinação:	plano (2%)
CAMADAS DO SISTEMA COMPLETO (TECNOLOGIA PATENTEADA PELA GREENWALL)	
1. Estrutura de suporte (e=10cm):	laje de concreto (IVIG) / aterro compactado (CESA)
2. Impermeabilização (e=0,5mm):	lona de plástico
3. Drenagem (e=5cm):	argila expandida
4. Substrato (e=10cm):	eco-amofada de tecidos recicláveis com substrato leve-especial
6. Vegetação:	<i>Callisia fragrans</i> e <i>Neogrelia compacta</i>

Fonte: Elaborado pelo autor.



**Figura 125 – *Callisia fragrans* e *Neogrelia compacta*.**

(FONTE: Proposta Técnica apresentada pela GREENWALL)



**Figura 126 – Desenho esquemático do telhado verde fornecido pela GREENWALL.**

(FONTE: Proposta Técnica apresentada pela GREENWALL)

### **5.3. EQUIPAMENTOS UTILIZADOS NA OPERAÇÃO DA BANCADA EXPERIMENTAL DO CESA/UFRJ**

Para o desenvolvimento do projeto da bancada experimental na qual os protótipos serão instalados é de fundamental importância conhecer os equipamentos que serão operados nela para a realização dos ensaios experimentais. As dimensões do simulador de água de chuva irão determinar a posição dos protótipos ao longo da estrutura de alvenaria já existente no local e as dimensões da caixa pluviométrica irão determinar a cota do topo dos pavimentos permeáveis e da laje da cobertura verde.

Os dois equipamentos que serão utilizados são: um simulador de água de chuva e uma caixa pluviômetra.

#### **5.3.1. Simulador de água de chuva**

O simulador de água de chuva duplo que será utilizado nos protótipos foi projetado para atender as necessidades do projeto em questão. Este simulador irá aplicar chuva em uma área duas vezes maior que o simulador atual existente no CESA/UFRJ (simulador simples).

A faixa de operação do equipamento é de 30 mm/h a 150 mm/h e ele garante a chuva prevista em uma área de até 1,80 m<sup>2</sup>, com dimensões máximas de até 0,90 m x 2,00 m, localizada na região central abaixo do simulador.

Este simulador será dotado de rodas em sua base, através das quais será capaz de percorrer por todos os protótipos da bancada. O peso da estrutura de suporte completa e dos dois interceptadores de água totalizam 170 kg, que dividido pelas 4 bases de sustentação, fornece um peso concentrado de 42,5 kg, que é tranquilamente suportado pela alvenaria estrutural existente no CESA/UFRJ que será adaptada para receber os protótipos.

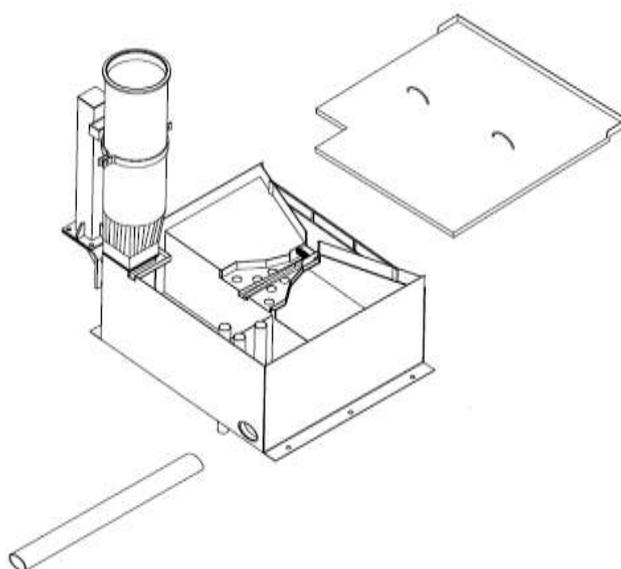
No Anexo I está apresentado o projeto deste simulador. Nota-se que a distância entre os trilhos, que são barras circulares de 1 1/2", é de 1,51 m, e que ele percorre na direção da distância de 2,31 m. Esses dados são fundamentais para o posicionamento dos protótipos na estrutura de alvenaria existente no CESA/UFRJ.

Vale ressaltar que, para calibração inicial do simulador, serão realizados dois testes para confirmar sua eficiência, em termos de intensidade de chuva e de distribuição da mesma. Um dos testes é a verificação da intensidade e distribuição da chuva através de copos posicionados na área de influência do simulador e, o outro será feito cobrindo a área do protótipo com uma lona impermeável, permitindo que toda a água precipitada nesta seja

direcionada para a caixa pluviômetra, que irá quantificar essa chuva. Espera-se que os resultados obtidos sejam iguais e estejam de acordo com as especificações técnicas do equipamento.

### 5.3.2. Caixa pluviômetra

A caixa pluviômetra (Figura 127), projetada pelo professor Theophilo Benedicto Ottoni Filho, é um equipamento que tem como finalidade mensurar os principais processos hidrológicos associados à chuva, tais como chuva total, escoamento superficial e infiltração, além da erosão.



**Figura 127 – Desenho ilustrativo da caixa pluviômetra.**

(FONTE: Projeto do professor Theophilo Benedicto Ottoni Filho)

Trata-se de um equipamento compacto, que apresenta as dimensões de 1,00m x 0,90m x 0,70m, em polietileno, composto por um corpo e tampa. O corpo é subdividido em três partes: segmento divisor de vazões (SD), segmento distribuidor de vazões (SG), e segmento de armazenagem (SA). O corpo fica sob a tampa e é instalado praticamente todo abaixo da superfície do terreno. O corpo recebe o *runoff* gerado numa bacia de contribuição do terreno logo acima da caixa pluviômetra, com cerca de 2 a 8 m<sup>2</sup>. O SD recebe esse fluxo e, através da passagem do escoamento pelo interior de um núcleo distribuidor de vazões (ND), permite uma uniformização do campo de velocidades ao longo da largura de seção exutória do SD. Tal homogeneização é que vai permitir que apenas uma pequena fração aproximadamente constante do volume de *runoff* seja coletada no SG, para ser distribuída e armazenada no SA para fins de mensuração (Texto retirado da Proposta Preliminar da UFRJ para a Chamada Pública MCT/FINEP).

Este equipamento será instalado ao fim da sequência de protótipos instalados na bancada experimental. Esta bancada será suspensa, aproveitando a estrutura de alvenaria existente, de modo que a calha que irá recolher a água descartada pelos protótipos chegue a uma caixa de transição que será construída antes da caixa pluviômetro em uma cota de, no mínimo 90 cm do chão. Esta caixa de transição tem a finalidade de conduzir a água da calha coletora até a caixa pluviômetro, transformando o filete de água que chega em uma porção de água mais espalhada.

A caixa pluviômetro terá o objetivo de medir essa água descartada quando na operação de algum protótipo. Como a chuva do simulador é um dado conhecido, será possível quantificar quanto de água é retido pelo sistema do protótipo.

#### **5.4. PROJETO DA BANCADA EXPERIMENTAL E DOS PROTÓTIPOS DE COBERTURA VERDE**

##### **5.4.1. Cobertura verde associada com um sistema de captação e armazenamento da casa módulo no IVIG/UFRJ**

A casa do IVIG/UFRJ já apresenta a camada de suporte pronta, necessitando apenas de correção na inclinação, de 2%, para receber a cobertura verde. Assim, o projeto desse experimento limitou-se em adequar a drenagem existente da cobertura para que a mesma atendesse os objetivos dos ensaios que serão realizados.

O sistema de drenagem da cobertura verde proposto será formado por dois ralos que serão instalados nos dois furos na laje que estão localizados na parte mais baixa da cobertura, que terá sua inclinação corrigida. Cada ralo permitirá que a água que infiltrada pelas camadas da cobertura escoe para uma tubulação vertical, de 100 mm de diâmetro e comprimento de 1,9 m até chegar a um joelho de 90° ( $\phi$ 100 mm). Este joelho direcionará a água para uma tubulação horizontal de 1,6 m de comprimento e diâmetro de 100 mm até encontrar outro joelho de 90° ( $\phi$  100 mm) que levará a água até outra tubulação horizontal também com diâmetro de 100 mm e 0,61 m de comprimento, tubulação esta que chega até o reservatório.

O volume do reservatório necessário para armazenar a água drenada por coberturas verdes é função de três variáveis: da área de captação, do coeficiente de retenção da cobertura verde e da capacidade de retenção de água pluvial promovida pelo sistema naturado. Como este reservatório terá caráter apenas experimental, seu dimensionamento foi feito a partir da metodologia descrita a seguir.

A área de captação é quadrada, de dimensão de 6,0 m x 6,0 m, totalizando 36,0 m<sup>2</sup>. O coeficiente de descarte utilizado será estimado com o auxílio de coeficientes encontrados na

etapa de revisão bibliográfica sobre o tema. A tabela 32 apresenta uma seleção dos valores da capacidade de retenção de coberturas verdes já encontrados por outros pesquisadores em condições parecidas com o telhado do presente estudo.

**Tabela 32 – Volumes armazenado e descartado por coberturas verdes em função de alguns aspectos estudados**

REFERÊNCIA	ASPECTO ESTUDADO	CARACTERÍSTICA	VOLUME ARMAZENADO	VOLUME DESCARTADO
Köhler et al. (2001)	Clima	Tropical	65,0%	35,0%
Teemusk; Mander (2007)	Ocorrência de eventos de chuvas	Com sequência de eventos	66,5%	33,5%
Mentes (2005)	Profundidade do substrato	Espessura entre 5 e 15cm	70,0%	30,0%
Robertson <i>et al.</i> (2005)	Quantidade de chuva	Maior que 39 mm	45,0%	55,0%
		Situações extremas de chuva	40,0%	60,0%
		<b>MENOR VALOR ENCONTRADO</b>	<b>40,0%</b>	<b>60,0%</b>

Fonte: Elaborado pelo autor, baseado Ferreira e Moruzzi (2007).

De forma a ser conservador, escolheu-se, dentre as características comuns apresentadas entre o presente telhado e os de outros estudos, a mais desfavorável. Assim, de acordo com valores encontrados em estudos anteriores, será estimado para o dimensionamento do reservatório que a cobertura verde em questão é capaz de reter em seu sistema até 40% do volume de água precipitada, sendo descartado, então, 60% desse volume.

A última variável, a precipitação, foi estimada a partir de dados pluviométricos fornecidos pelo site Alerta Rio da Prefeitura do Rio de Janeiro (<http://www0.rio.rj.gov.br/alertario>, 2012) para a estação Ilha do Governador (Figura 128), localizada num raio de aproximadamente 5,5 km da casa do IVIG/UFRJ. O site fornece dados pluviométricos dos últimos 15 anos. A tabela 33 apresenta os valores das precipitações mensais e das médias anuais dos anos de 1997 a 2011.



**Figura 128 – Localização da estação Ilha do Governador.**

(FONTE: <http://www0.rio.rj.gov.br/alertario/>, acesso em agosto de 2012)

**Tabela 33 – Precipitações mensais, em mm (1997-2011)**

Dados Pluviométricos Mensais - Estação 8: Ilha do Governador												
Ano	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
1997	235,4	26,0	84,5	22,9	49,9	23,0	9,3	35,1	43,0	84,5	68,5	117,4
1998	242,7	275,0	99,4	68,8	115,8	41,7	34,1	23,3	59,0	123,8	87,5	223,2
1999	221,3	159,2	110,6	27,1	36,3	57,9	2,1	7,9	94,8	38,3	107,5	101,1
2000	216,0	173,6	129,5	38,6	13,4	5,0	53,3	45,6	97,4	39,2	165,8	116,2
2001	16,8	58,6	206,2	15,8	68,4	18,6	66,2	3,6	24,4	54,4	109,6	532,0
2002	137,6	144,8	67,8	37,2	71,4	54,2	6,8	55,4	35,8	123,6	148,6	46,4
2003	319,4	7,4	147,4	72,4	46,8	3,6	9,6	149,0	44,4	161,8	263,4	68,2
2004	187,4	192,6	66,0	124,0	58,4	32,4	87,6	17,4	12,4	60,0	146,4	132,2
2005	264,6	88,6	112,8	117,0	51,8	30,0	67,6	5,4	49,6	42,0	152,0	150,6
2006	295,4	110,0	38,6	99,0	50,2	19,6	22,8	34,0	89,6	96,8	116,0	95,8
2007	139,2	75,8	11,4	47,6	64,2	35,4	60,2	2,6	12,8	143,0	125,0	151,2
2008	167,2	141,2	263,4	101,6	41,2	57,0	34,6	45,0	73,8	62,0	217,4	126,4
2009	253,0	115,8	154,6	112,8	19,8	47,2	55,8	18,6	65,2	201,6	172,2	439,6
2010	181,2	58,2	366,2	320,8	67,8	32,0	51,0	2,4	22,4	108,0	135,6	326,0
2011	105,6	28,2	92,2	142,0	87,8	23,0	7,8	12,8	7,6	108,8	119,2	105,8

Fonte: Elaborado pelo autor, de acordo com o site Alerta Rio, disponível em <http://www0.rio.rj.gov.br/alertario/>, acesso em agosto de 2012.

O protótipo em questão tem como objetivo proporcionar a avaliação da qualidade da água que é drenada por uma cobertura verde e da quantidade da água que este sistema pode reter. A precipitação utilizada para o dimensionamento do reservatório deverá ser estimada considerando a sazonalidade dos eventos de chuva e a regra de operação que será imposta para a realização dos ensaios.

A ideia é estabelecer, para cada época dos anos, uma regra para medições e esvaziamento do reservatório, de forma que ensaios não sejam perdidos devido à ocorrência de extravasamentos. Assim, nas épocas mais secas dos anos (com pouca chuva), o esvaziamento do reservatório será realizado em intervalos de tempos maiores do que em épocas chuvosas.

No que diz respeito à sazonalidade das chuvas, considerou-se como época seca, os meses maio, junho, julho, agosto, setembro e outubro. E, como época chuvosa, os meses novembro, dezembro, janeiro, fevereiro, março e abril. As tabelas 34 e 35 listam, respectivamente, em ordem crescente, as precipitações da tabela 33 para a época chuvosa e seca dos anos de 1997 a 2011.

Os dados das tabelas 34 e 35 estão também listados no Anexo II, no qual é apresentada uma coluna que indica a ocorrência acumulada para cada precipitação. A precipitação que será

utilizada para o dimensionamento do reservatório será a que garante um *déficit* de 5%, ou seja, 95% das chuvas ocorridas em épocas chuvosa e seca poderão ser computadas para o estudo.

**Tabela 33 – Precipitações mensais (mm), em ordem crescente, da época chuvosa dos anos de 1997 a 2011**

Precipitações dos meses chuvosos* (mm)				
7,4	68,5	110,6	142,0	216,0
11,4	68,8	112,8	144,8	217,4
15,8	72,4	112,8	146,4	221,3
16,8	75,8	115,8	147,4	223,2
22,9	84,5	116,0	148,6	235,4
26,0	87,5	116,2	150,6	242,7
27,1	88,6	117,0	151,2	253,0
28,2	92,2	117,4	152,0	263,4
37,2	95,8	119,2	154,6	263,4
38,6	99,0	124,0	159,2	264,6
38,6	99,4	125,0	165,8	275,0
46,4	101,1	126,4	167,2	295,4
47,6	101,6	129,5	172,2	319,4
58,2	105,6	132,2	173,6	320,8
58,6	105,8	135,6	181,2	326,0
66,0	107,5	137,6	187,4	366,2
67,8	109,6	139,2	192,6	439,6
68,2	110,0	141,2	206,2	532,0
* Precipitações, listadas em ordem crescente, dos meses janeiro, fevereiro, março, abril, novembro e dezembro do período de 1997 a 2011.				

Fonte: Elaborado pelo autor.

**Tabela 34 – Precipitações mensais (mm), em ordem crescente, da época seca dos anos de 1997 a 2011**

Precipitações dos meses secos* (mm)				
2,1	18,6	35,8	53,3	71,4
2,4	18,6	36,3	54,2	73,8
2,6	19,6	38,3	54,4	84,5
3,6	19,8	39,2	55,4	87,6
3,6	22,4	41,2	55,8	87,8
5,0	22,8	41,7	57,0	89,6
5,4	23,0	42,0	57,9	94,8
6,8	23,0	43,0	58,4	96,8
7,6	23,3	44,4	59,0	97,4
7,8	24,4	45,0	60,0	108,0
7,9	30,0	45,6	60,2	108,8
9,3	32,0	46,8	62,0	115,8
9,6	32,4	47,2	64,2	123,6
12,4	34,0	49,6	65,2	123,8
12,8	34,1	49,9	66,2	143,0
12,8	34,6	50,2	67,6	149,0
13,4	35,1	51,0	67,8	161,8
17,4	35,4	51,8	68,4	201,6
* Precipitações, listadas em ordem crescente, dos meses maio, junho, julho, agosto, setembro e outubro do período de 1997 a 2012.				

Fonte: Elaborado pelo autor.

Para a época chuvosa, a precipitação que garante um déficit de apenas 5% é a média entre os valores 319,4 mm e 320,8 mm, ou seja, 320,1 mm. E, para a época seca, a média entre os valores 123,6 mm e 123,8 mm, que resulta em uma precipitação de 123,7 mm.

O volume do reservatório é determinado através do seguinte cálculo:

$$V(\text{litros}) = \text{Precipitação} \times \text{Coeficiente de retenção} \times \text{Área de captação}$$

$$V(\text{litros}) = \text{Precipitação}(\text{mm}) \times 0,60 \times 36,00 \text{ m}^2$$

$$V(\text{litros}) = \text{Precipitação}(\text{mm}) \times 21,6$$

Esse volume encontrado é referente ao armazenamento no período de um mês (30 dias). Ao aplicarmos regras de esvaziamento de 20 em 20 dias, o volume do reservatório passa a ser dois terços do calculado para o período de um mês. Para regras de esvaziamento de 15 em 15 dias, 10 em 10 dias e 7 em 7 dias, o volume do reservatório passa a ser, respectivamente, metade, um terço e trinta sete avos do calculado para o período de um mês.

Assim, os valores dos volumes encontrados para diferentes regras de operação são apresentados pela tabela 35.

**Tabela 35 – Volumes para o reservatório para diferentes regras de operação**

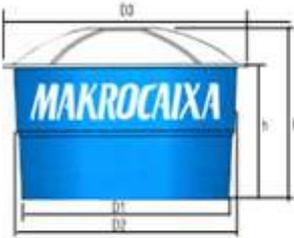
VOLUMES (L) ENCONTRADO PARA O RESERVATÓRIO		
Regra de Operação	Precipitações (mm)	
	123,70	320,10
De 30 em 30 dias	<b>2.671,92</b>	6.914,16
De 20 em 20 dias	<b>1.781,28</b>	4.609,44
De 15 em 15 dias	1.335,96	3.457,08
De 10 em 10 dias	890,64	<b>2.304,72</b>
De 7 em 7 dias	623,45	<b>1.613,30</b>

Fonte: Elaborado pelo autor.

Posto isto, duas opções de reservatórios podem ser utilizadas. A primeira é um reservatório com 3.000 litros, que poderá ser utilizado com a seguinte regra de operação: deverá ser esvaziado de 30 em 30 dias na época seca e, de 10 em 10 dias, na época chuvosa. As vantagens desta opção são os prazos mais folgados para a realização do esvaziamento do reservatório, não necessitando a mobilização constante de alguém para realizar esta tarefa. Porém, este reservatório é mais caro e ocupa maior espaço.

A segunda opção é utilizar um reservatório de 2.000 litros, que deverá ser operado da seguinte maneira: seu esvaziamento deverá ser feito de 20 em 20 dias na época seca e, de 7 em 7 dias, na época chuvosa. Menor custo, instalação mais barata, além de ocupar um espaço menor, são vantagens obtidas ao se optar por este reservatório. Contudo, há necessidade de alguém para realizar o esvaziamento semanal nas épocas chuvosas.

A figura 129 apresenta as opções de reservatórios que poderão ser escolhidos, conforme necessidades do projeto.



VOLUME	DIÂMETRO			ALTURA		PESO (kg) TOTAL
	D1	D2	D3	h	H	
250	72	82	90	54	60	7.00
310	80	89	96	54	60	8.00
500	100	110	118	58	66	10.98
1.000	132	144	152	68	78	20.000
1.500	150	162	170	80	92	22.69
2.000	155	176	188	96	111	35.00
2.500	155	180	188	120	135	47.03
3.000	185	208	218	105	125	47.33
4.000	185	215	230	135	155	67.90
5.000	185	220	230	165	185	76.05
6.000	185	230	240	180	205	86.05
10.000	239	270	280	202	232	146.00
15.000	239	285	295	276	307	226.23
20.000	255	285	305	355	390	340.00

**Figura 129 – Reservatório para armazenamento da água pluvial da casa do IVIG/UFRJ.**

(FONTE: <http://www.makrocaixa.com.br/>, acesso em agosto de 2012)

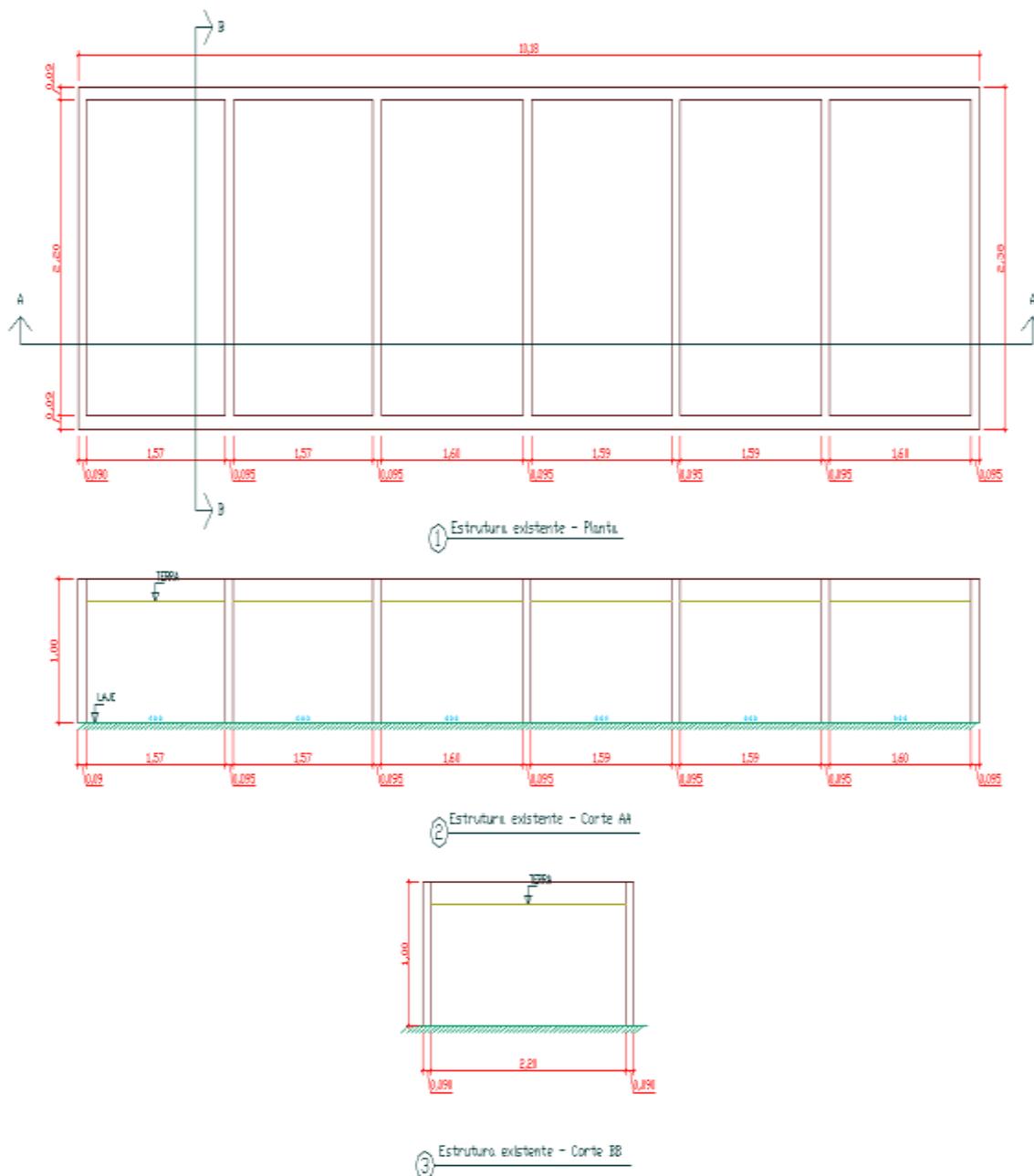
Vale ressaltar que este reservatório deverá ser assentado sobre uma superfície horizontal plana, rígida e nivelada feita em concreto com resistência capaz de suportar o peso da caixa cheia (35,00 kg ou 47,33 kg).

O projeto do sistema de drenagem proposto para a cobertura, considerando um reservatório de 3.000 litros, encontra-se no Anexo III, e foi elaborado de forma a aproveitar as canalizações de drenagem que já haviam sido construídas.

#### 5.4.2. Bancada experimental e protótipo de cobertura verde no CESA/UFRJ

Como já mencionado, a bancada experimental será construída de forma a aproveitar uma estrutura de alvenaria já existente no local, adequando-a aos equipamentos que ali serão operados quando na realização dos ensaios.

Esta estrutura existente, em planta, tem formato retangular e apresenta-se dividida em seis áreas por meio de cinco paredes de alvenaria paralelas às 2 paredes das extremidades. Essa configuração, em planta e em cortes, é apresentada na figura 130. Cada uma dessas seis áreas existentes encontra-se preenchida com terra.



**Figura 130 – Configuração, em planta, corte AA e corte BB, da estrutura de alvenaria existente no CESA/UFRJ.**

(FONTE: Elaborado pelo autor)

Observando esta estrutura existente, começou-se a pensar em como seria a disposição dos protótipos nesta estrutura tal que possam ser construídos, no mínimo, cinco protótipos e que seja realizado o mínimo de obra civil possível na adequação do espaço.

Para determinação da disposição dos protótipos na estrutura, pensou-se nos equipamentos que serão utilizados e onde seriam localizados. A figura 131 esquematiza a solução pensada.

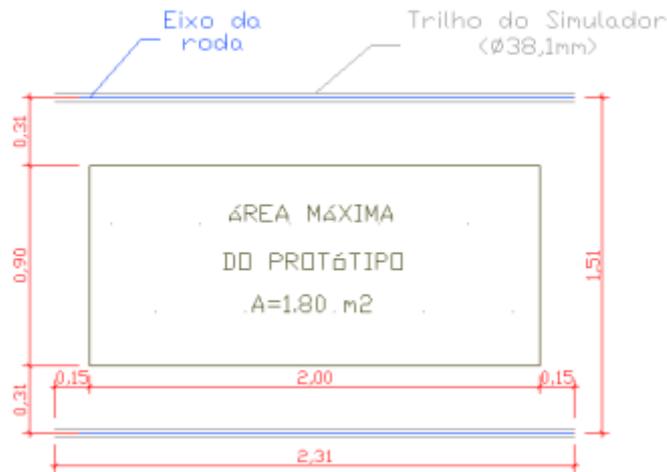


**Figura 131 – Esquema do posicionamento da caixa pluviômetro, do simulador de água de chuva, das calhas e dos protótipos na bancada experimental do CESA/UFRJ.**

(FONTE: Elaborado pelo autor)

Assim, como mostrado na figura 130, a maior dimensão da estrutura, pela qual o simulador irá percorrer, apresenta 10,18 m. Então, chegou-se a conclusão que, devido às dimensões do simulador, que estão esquematizadas pela figura 132, o mais adequado seria a construção de quatro protótipos com dimensões de 1,90 m x 0,90 m, que serão os pisos de referência e os pavimentos permeáveis, e um protótipo com dimensão de 2,00 m x 0,90 m, que será a cobertura verde.

Essas áreas referentes aos protótipos serão posicionadas no centro da região limitada pelas paredes de alvenaria formada por blocos estruturais de concreto do tipo bloco com dimensões de 9 x 19 x 39 cm (Figura 133) nas quais serão instalados os trilhos para o deslocamento do simulador, e seus contornos serão limitados por paredes de alvenaria assentadas diretamente sobre um aterro compactado, a 60 cm da laje de base da estrutura.



**Figura 132 – Esquema, em planta, da área de influência do simulador.**  
(FONTE: Elaborado pelo autor)

### BLOCOS EXTRUTURAIIS

Os Blocos Estruturais economizam ferragem, material de revestimento e eliminam os custos com a mão-de-obra especializada, das construções convencionais.

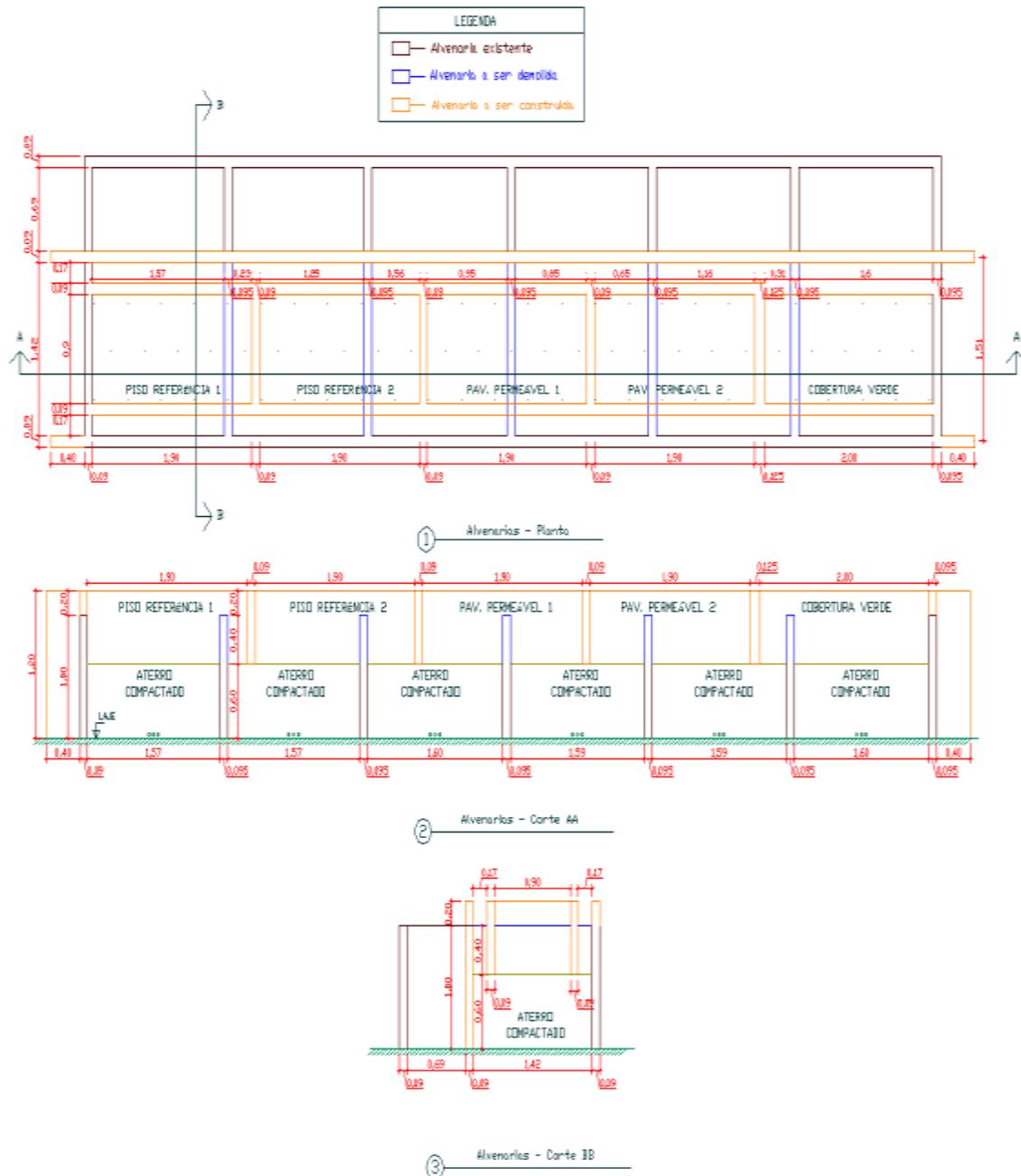


Produto	Dimensões (cm)	Peso (kg)	Peças/m <sup>2</sup>
Bloco	09 x 19 x 39	9,8	12,5
Bloco	14 x 19 x 39	11,9	12,5
Bloco	19 x 19 x 39	16	12,5
Meio Bloco	09 x 19 x 19	4,7	25
Meio Bloco	14 x 19 x 19	5,4	25
Meio Bloco	19 x 19 x 19	7,8	25

**Figura 133 – Blocos de concreto estrutural para alvenaria.**  
(FONTE: <http://mundirj.com.br/>; acesso em agosto de 2012)

Para que o simulador se posicione de maneira adequada nos protótipos localizados nas pontas da estrutura, torna-se necessário a continuação da parede da frente, em 40 cm para direita e 40 cm para esquerda. Somado a isso, a estrutura existente apresenta alvenaria até a altura de 1,0 m do solo, altura esta que deverá ser aumentada em 20 cm, que corresponde a uma fiada de tijolo, para que a calha de coleta tenha o caimento necessário para chegar de maneira adequada à caixa pluviômetra.

A figura 134 apresenta, em planta e em cortes, as alvenarias que deverão ser construídas e as que deverão ser demolidas para adequar a estrutura. Uma linha de alvenaria que será construída é para sustentar o simulador, as outras são para dividirem as áreas dos protótipos.

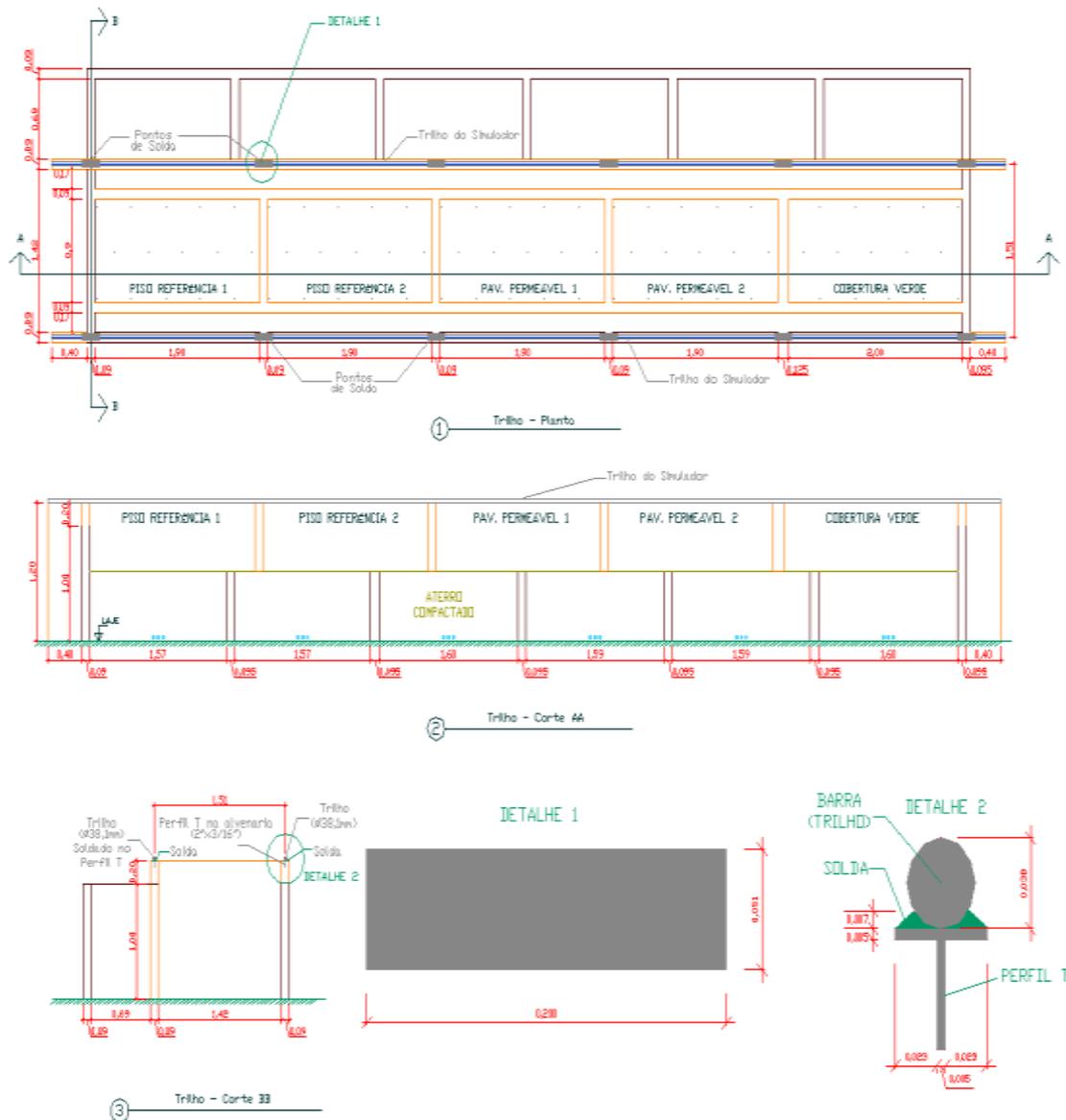


**Figura 134 – Alvenarias a serem construídas e a serem demolidas da estrutura de alvenaria existente no CESA/UFRJ.**

(FONTE: Elaborado pelo autor)

A próxima etapa construtiva é a implantação do trilho para o deslocamento do simulador. Este trilho será composto por uma barra de aço circular de 38,1 mm de diâmetro, conforme especificado pelo projetista. Para a fixação dessa barra, serão chumbados em alguns pontos das duas paredes externas de alvenaria, perfis T de 2" x 3/16", com as especificações mostradas no catálogo da GERDAU, no Anexo IV.

A figura 135 apresenta o posicionamento do trilho, em planta e em cortes.

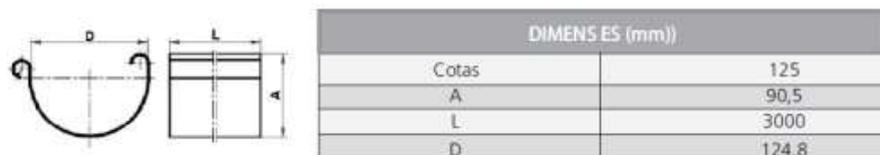


**Figura 135 – Posicionamento e instalação do trilho na estrutura.**

(FONTE: Elaborado pelo autor)

Outra etapa a ser realizada é a instalação de duas calhas: uma localizada mais abaixo para coletar a água descartada pelos protótipos e direcioná-la para a caixa pluviômetro e outra, localizada logo acima da primeira, com a finalidade de proteger a calha debaixo de eventuais respingos de água, provenientes do próprio equipamento, que possam comprometer os ensaios a serem realizados.

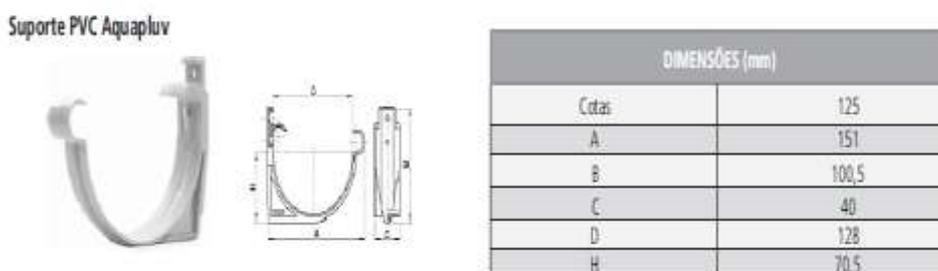
As calhas terão declividade de 0,3% sendo uma com caimento em direção a caixa pluviômetro e outra com caimento para o lado oposto. A calha utilizada será a *AQUAPLUV*® (Figura 136), fornecida pela empresa TIGRE.



**Figura 136 – Calha AQUAPLUV®**

(FONTE: <http://www.tigre.com.br>; acesso em agosto de 2012)

As calhas serão fixadas com o auxílio do *SUPORTE PVC AQUAPLUV®* (Figura 137), também fornecido também pela empresa TIGRE. Esses suportes devem ser aparafusados nas posições adequadas na alvenaria, como mostrado na figura 138, em espaços de 60 cm.



**Figura 137 – Suporte PVT AQUAPLUV®**

(FONTE: <http://www.tigre.com.br>; acesso em agosto de 2012)



**Figura 138 – Instalação da fixação de suporte para a calha.**

(FONTE: <http://www.tigre.com.br>; acesso em agosto de 2012)

A calha inferior deverá ser instalada antes da que se destina à coleta real, que vai em direção à caixa pluviômetro. Após a instalação desta calha, devem ser feitos os furos na alvenaria para a saída das tubulações que irão drenar a águas dos protótipos. Na parede frontal, os furos dos módulos dos pisos de referência e dos pavimentos permeáveis estarão a 104 cm (para a drenagem da superfície) e a 61 cm (para a drenagem profunda) da laje de base e, da cobertura verde, a 99 cm.

Feito isto, deve ser instalado neste momento a tubulação de coleta da água de descarte dos protótipos que, nos pavimentos permeáveis se localizará no topo do pavimento e, na cobertura verde, logo acima da camada de impermeabilização. Essa tubulação, nos protótipos dos pisos de referência e pavimentos permeáveis, terá diâmetro de 3/4" e 35 cm de comprimento saindo na altura de 104 cm na parede do protótipo e chegando na parede na qual a calha está fixada na mesma altura. Todas as saídas de tubulação do protótipo serão controladas através de registros de 3/4".

No caso dos pavimentos permeáveis, também será previsto a drenagem da camada de base, em uma profundidade ainda não definida. Esta drenagem torna-se necessário para padronização dos ensaios, na qual a ideia é criar um protocolo para as condições iniciais. A água captada neste sistema terá seu ponto de saída através de uma torneira abaixo da calha de coleta, não tendo a água drenada direcionada para a caixa pluviômetro. Esse sistema de drenagem será composto por dois tubos furados, de 2" que direcionarão a água para um tubo de saída, com 1", através de uma redução de 1" para 3/4", um registro será instalado ao fim da tubulação. Para a cobertura verde, será prevista uma tubulação de coleta da água na superfície do telhado, de 3/4" com 55 cm de comprimento, saindo na parede do protótipo a uma altura de 119 cm da laje e chegando na parede na qual estão as calhas, a uma altura de 99 cm, sendo utilizados neste trajeto duas curvas de 90° (3/4").

A água que porventura cair no topo das paredes dos protótipos não poderá ser direcionada para a área do protótipo, pois assim, estaria sendo contabilizada uma contribuição fora da área de estudo. Para que isto não ocorra, foram previstos nas paredes intermediárias dos protótipos, um sistema formado por um tubo de 50 mm cortado ao meio que tem caimento de 0,5 % para o lado de trás do experimento. Como esta "canaleta" improvisada se localizará no meio da alvenaria, deve ser feito um acabamento de argamassa na lateral de forma que direcione a água que possa cair na parede para dentro da tubulação. Para as paredes externas, deverá ser construído também um acabamento que dê uma inclinação ao topo da parede de modo a direcionar a água para fora da região do ensaio.

Após toda a adequação da estrutura existente para receber os protótipos, deverá ser construída, em alvenaria, a caixa de transição, que ligará a bancada experimental à caixa pluviômetro.

A figura 139 apresenta o projeto final com o *layout* da bancada experimental. A figura 140 apresenta a vista da caixa frontal da caixa pluviômetro (vista 2 da figura 139), e as figuras 141 e 142 apresentam, respectivamente, os cortes BB e CC da figura 139.

Vale ressaltar que todos os protótipos devem ter seus fundos e suas áreas laterais impermeabilizadas devidamente com mantas asfáltica.

O protótipo de cobertura verde e de pavimento permeável têm seus layouts apresentados nos anexos V e VI, respectivamente.

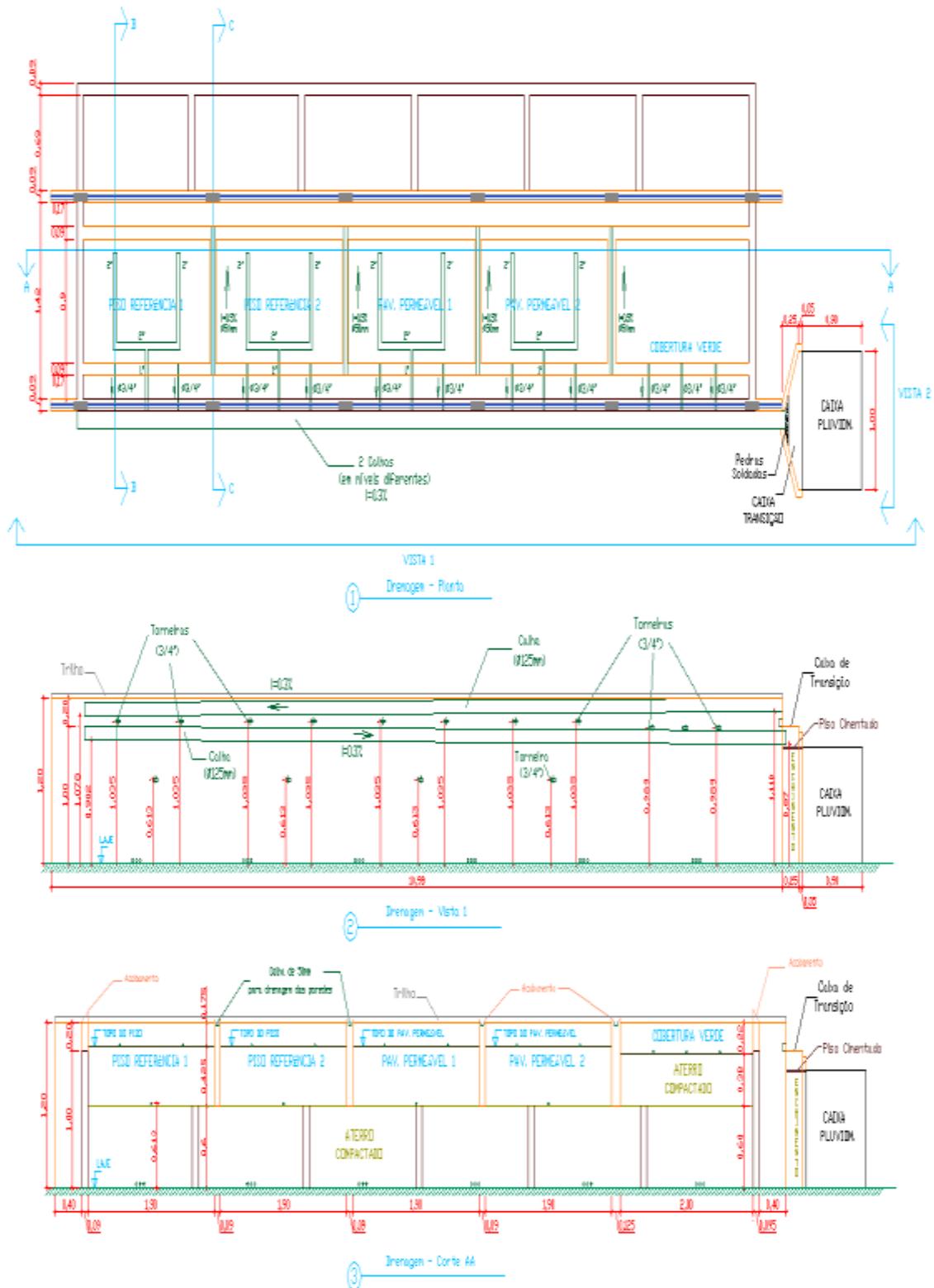
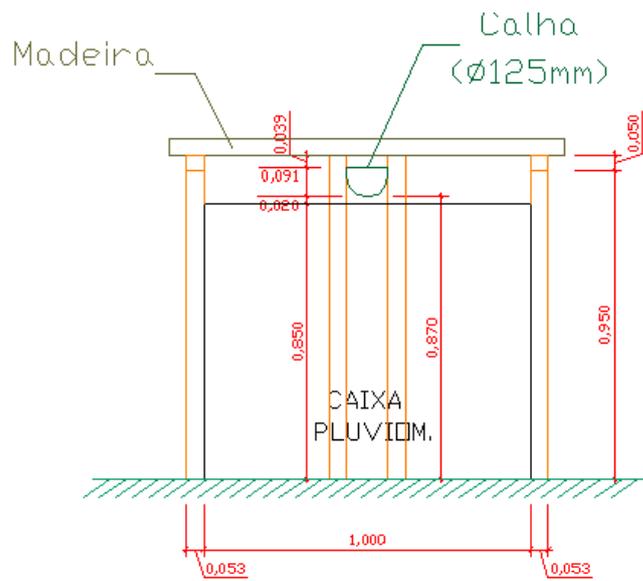
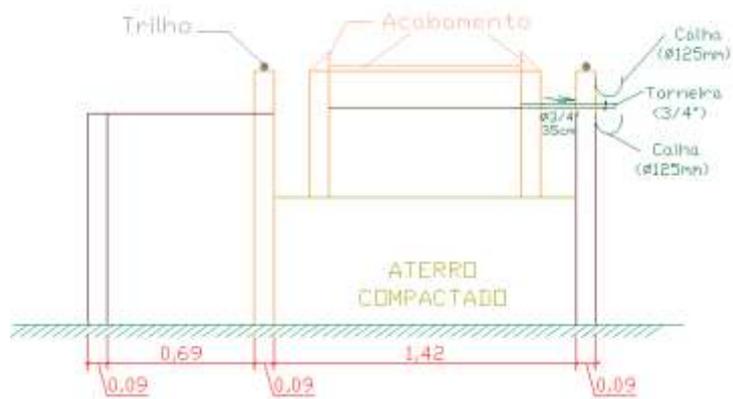


Figura 139 – Layout final da bancada experimental do CESA/UFRJ.

(FONTE: Elaborado pelo autor)



**Figura 140 – Vista frontal da caixa pluviômetro.**  
(FONTE: Elaborado pelo autor)



**Figura 141 – Corte BB da bancada experimental.**  
(FONTE: Elaborado pelo autor)



**Figura 142 – Corte CC da bancada experimental.**  
(FONTE: Elaborado pelo autor)

### 5.4.3. Lista de material e serviços para construção da bancada experimental e dos protótipos

Para construção da bancada experimental e dos protótipos de cobertura verde, foram elaboradas as tabelas 36 e 37, na qual constam, respectivamente, os serviços e materiais necessários para a bancada experimental e para o protótipo de cobertura verde do CESA/UFRJ.

**Tabela 36 – Lista de serviços para bancada e protótipo do CESA/UFRJ**

Item	Serviço	Unidade	Quantidade	Preço Unitário (R\$/un)	Preço (R\$)
1	Limpeza da área dos protótipos	m <sup>2</sup>	24,2		
2	Remoção de terra	m <sup>3</sup>	6,5		
3	Demolição de alvenarias (espessura de 9 cm)	m <sup>2</sup>	3,0		
4	Construção das paredes de alvenaria	m <sup>2</sup>	30,5		
5	Instalação do perfil T na alvenaria	m	2,4		
6	Soldar o trilho nos perfis T	un.	12		
7	Aterrar e compactar a base do protótipo	m <sup>3</sup>	6,1		
8	Instalação das calhas	m	21,0		
9	Execução da drenagem do protótipo	m	17,0		
10	Impermeabilização da base e do entorno dos protótipos	m <sup>2</sup>	25,6		
11	Construção da caixa de transição em alvenaria	m <sup>2</sup>	1,3		
12	Corte do tubo de 50mm para formar calhas	m	4,5		
13	Realizar os acabamentos no topo das paredes	m	26,5		
14	Construção do telhado verde	m <sup>2</sup>	1,8	1555,56	2800,00
				<b>Subtotal</b>	2800,00

Fonte: Elaborado pelo autor.

**Tabela 37 – Lista de materiais para bancada e protótipo do CESA/UFRJ**

Item	Material	Unidade	Quantidade	Preço Unitário (R\$/un)	Preço (R\$)
1	Tijolo Estrutural (9x19x39) - Para os protótipos	un.	415		
2	Areia	saco			
3	Cimento	saco			
4	Perfil T	m	2,4		
5	Calha Aquapluv	m	21,0		
6	Suporte PVC Aquapluv	un.	36		
7	Parafusos para suporte da calha (4,2 mm x 3/4)	un.	36		
8	Tubulação de 50 mm	m	4,5		
9	Tubulação de 3/4"	m	4,5		
10	Torneira 3/4"	un.	15		
11	Tubulação de 2" (Furada)	m	6,0		
12	Curva de 90° (2")	un.	8		
13	Tê com redução 2"-1"	un.	4		
14	Tubulação de 1"	m	2,0		
15	Redução de 1" - 3/4"	un.	4		
16	Manta impermeabilizante (fundo e laterais)	m <sup>2</sup>	25,6		
				<b>Subtotal</b>	

Fonte: Elaborado pelo autor.

Para o protótipo do IVIG/UFRJ, foram elaboradas as tabelas 38 e 39, nas quais constam os serviços a serem realizados e materiais a serem adquiridos em cada caso, respectivamente.

**Tabela 38 – Lista de serviços para o protótipo do IVIG/UFRJ**

Item	Serviço	Unidade	Quantidade	Preço Unitário (R\$/un)	Preço (R\$)
1	Correção da inclinação da laje*	m <sup>2</sup>	36,0	-	-
2	Intalação de tubos e conexões hidráulicas	m	9,0		
2	Construção da base da caixa d'água	m <sup>2</sup>	5,3		
3	Instalação da caixa d'água (prever extravasor e limpeza)	serv	1		
12	Construção do telhado verde**	m <sup>2</sup>	36,0	-	-
				<b>Subtotal</b>	

Fonte: Elaborado pelo autor.

**Tabela 39 – Lista de materiais para o protótipo do IVIG/UFRJ**

Item	Material	Unidade	Quantidade	Preço Unitário (R\$/un)	Preço (R\$)
1	Reservatório de 3.000 L	un.	1		
2	Estrutura para a base da caixa d'água	m <sup>2</sup>	5,3		
3	Tubulação de 100 mm	m	9,0		
4	Curvas de 90 (100mm)	un.	4		
5	Ralo	un.	2		
				<b>Subtotal</b>	

Fonte: Elaborado pelo autor.

## 6. CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS

---

As primeiras civilizações surgiram em áreas estratégicas, próximas aos rios, que forneciam água para suas necessidades. Essas áreas eram constantemente alagadas, devido às cheias dos rios, gerando transtornos aos habitantes. Porém, nesta época, tais cheias eram consideradas como sendo o preço a pagar por ter água disponível por perto.

Hoje, o preço a pagar pelas cheias é muito alto, pois geram prejuízos econômicos e sociais à população, e ambientais para as cidades. As cheias são um dos graves problemas que ocorrem em áreas urbanas e são causadas devido à impermeabilização da área da cidade, fazendo com que praticamente toda a água de chuva se transforme em escoamento superficial, o que ocasiona enchentes, alagamentos e deslizamentos.

O conceito da drenagem urbana vem evoluindo com tempo, de acordo com a percepção do quanto o meio ambiente é sensível às intervenções humanas. Hoje, já se sabe que as práticas sanitárias de evacuação rápida das águas pluviais através de obras hidráulicas não são tão eficazes quanto o devido planejamento de ocupação do solo e a adoção de medidas compensatórias, posturas essas que caracterizam um novo conceito de drenagem urbana, conhecida como drenagem sustentável.

Dentro deste conceito, destaca-se a abordagem sustentável *LID*, conhecida aqui no Brasil como “Desenvolvimento Urbano de Baixo Impacto”, que preconiza a adoção de práticas que buscam não atuar no efeito, mas na causa dos escoamentos superficiais. É caracterizado pela adoção de práticas, de caráter local, que visam reestabelecer o ciclo hidrológico que existia antes do processo de urbanização, retomando funções perdidas, tais como a evapotranspiração e a infiltração.

Duas práticas que podem atuar como soluções para os problemas relacionados ao manejo de água no meio urbano são: a utilização de coberturas verdes e de sistemas de aproveitamento de água de chuva que aplicados, em conjunto ou não, visam reduzir o volume de água de chuva que se torna escoamento superficial.

A adoção de telhados verdes em empreendimentos garante uma série de vantagens, não só para o proprietário, como para a sociedade urbana como um todo. O proprietário pode ser beneficiado com o conforto térmico, redução de ruídos, aumento do valor da propriedade, melhoria de qualidade de vida, entre outros benefícios proporcionados por esse tipo de coberturas. A sociedade, ganha espaços mais agradáveis para viverem e uma possibilidade de contato com a natureza no meio da cidade construída.

Essa tecnologia proporciona a restauração de um ambiente natural em uma área que, em geral, tem pouca utilização, como os telhados, sendo uma prática sustentável na construção civil no âmbito de tentar reduzir o impacto gerado pelas construções.

Outro aspecto importante é que os telhados verdes são capazes de absorver volumes de água de chuva precipitada e liberá-la de forma controlada, reduzindo e atrasando os picos de vazão do escoamento, aliviando, desta forma, as galerias de drenagem existentes. Isso contribui para que não ocorram cheias nas cidades, de forma a evitar a mobilização da população que ocorre frente a esta catástrofe (vantagem social), prejuízos no ambiente construído da cidade (vantagem econômica) e que rios transbordem, alterando assim o ecossistema local (vantagem ambiental).

Os sistemas de aproveitamento de água de chuva datam de épocas muito antigas e retratam a preocupação do homem em armazenar este recurso natural que é tão importante, a água. Esses sistemas são característicos, principalmente, em locais onde o acesso à água é dificultado, como por exemplo, no nordeste brasileiro.

O aproveitamento da água de chuva para fins não potáveis nas edificações torna-se uma excelente prática sustentável na construção civil, uma vez que ao aproveitar-se água de chuva em usos não potáveis, a água de maior qualidade e preço provenientes dos sistemas de abastecimento são utilizadas para fins mais nobres, gerando economia nas contas de água do usuário e a preservação desse recurso natural.

Aliando-se as práticas de coberturas verdes com o aproveitamento de água de chuva, algumas considerações devem ser observadas. A primeira é que, sistemas naturados reduzem o volume de água disponível para o aproveitamento, uma vez que são capazes de reter parcela da água precipitada.

A quantidade de água de chuva que telhados verdes são capazes de armazenar em seu sistema é função de diversos fatores, como por exemplo, inclinação da cobertura, clima local, intensidade da chuva, época do ano, composição e espessura do substrato. Estudos já realizados com características semelhantes aos dos protótipos deste estudo que serão construídos, indicam que a capacidade de retenção de água de chuva de um telhado desse tipo é da ordem de 40% a 70% da precipitação.

Isso acarretaria em reservatórios menores, o que reduziria o custo da implantação do sistema de aproveitamento de água de chuva. Porém a quantidade de água disponível também será menor. Deve-se sempre pesar o custo-benefício da adoção dessas práticas em conjunto. Vale ressaltar também que, para chuvas intensas, sistemas de aproveitamento de água de chuva cuja área de captação é um telhado convencional, terão eventualmente seus reservatórios

extravasando água para as galerias pluviais, desperdiçando água. Fato este que, talvez, não ocorresse se a área de captação fosse uma cobertura verde.

A segunda consideração é a respeito da qualidade da água que é drenada por coberturas verdes. Constatou-se que ao passar por este sistema, a água pode ter tanto sua qualidade melhorada quanto piorada por carrear poluentes, como fertilizantes, que são considerados como a principal fonte de contaminação da água captada nessas coberturas. Assim, a reposição de nutrientes do sistema no processo de manutenção do sistema deve ser feita de forma controlada.

A água obtida após sua infiltração pelas camadas do telhado verde, tem sua qualidade influenciada por diversos fatores, tais como as condições locais de poluição, idade da cobertura, composição da camada vegetal, grau de umidade do solo, regime de precipitação, saturação, composição e espessura do substrato. Estudos indicam que coberturas verdes são extremamente funcionais para reduzir a acidez da chuva, porém não são capazes de tornar a água com a qualidade adequada para seu aproveitamento não potável em edificações sem que haja algum tipo de tratamento.

Pesquisas indicam que a qualidade da água drenada por coberturas verdes pode apresentar valores de cor, fósforo total e coliformes totais acima dos limites estabelecidos para a água de reuso na literatura, tornando necessária a previsão de um sistema de tratamento.

De uma forma geral, nota-se que no país há uma carência de estudos e pesquisas sobre esta temática de avaliação da quantidade de água de chuva que coberturas verdes são capazes de reter e o quanto que o processo de infiltração da água pelas camadas desses sistemas é capaz de melhorar a qualidade da chuva local.

A presente monografia apresentou o projeto de uma bancada experimental para desenvolvimento de estudos e pesquisas sobre técnicas compensatórias em drenagem urbana, além do projeto de dois protótipos de coberturas verdes que foram idealizados de forma a permitir que diversos estudos acerca desta tecnologia sejam desenvolvidos, tais como verificação da capacidade de retenção de chuva, quantificação da amortização da vazão de pico da chuva, análise da qualidade da água drenada, constatação de prós e contras da união das práticas de coberturas verdes com sistemas de coleta e armazenamento.

Espera-se que esta bancada seja palco de uma série de ensaios cujos resultados, expandidos em escala real, sejam capazes de propor arranjos adequados para a adoção destas técnicas, de modo a minimizar o impacto causado pela urbanização.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

---

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 15527/2007 – Água de chuva – Aproveitamento de coberturas em áreas urbanas para fins não potáveis – Requisitos**. Rio de Janeiro, 2007.

ABREU, Mauricio Lovo. **Ocorrência de chuva ácida em unidades de conservação da natureza urbanas – Estudo de caso no Parque Estadual da Pedra Branca – Rio de Janeiro – RJ**. 2005. 140 f. Dissertação de Mestrado em Engenharia Ambiental – Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, mar. 2005.

ARAÚJO, Paulo Roberto de; TUCCI, Carlos E. M.; GOLDENFUM, Joel A. Avaliação da eficiência dos pavimentos permeáveis na redução de escoamento superficial. **RBRH – Revista Brasileira de Recursos Hídricos**. Volume 5. Jul/Set , 2000.

ARRUDA, José Jobson de A; PILETTI, Nelson. **Toda a história: História Geral e História do Brasil**. 8 ed. São Paulo: Ática, 2000. 496 p.

BAPTISTA, Márcio Benedito; NASCIMENTO, Nilo de Oliveira. Aspectos Institucionais e de Financiamento dos Sistemas de Drenagem Urbana. **RBRH – Revista Brasileira de Recursos Hídricos, Volume 7**. Jan/Mar, 2002.

CAETANO, Fernando D. N.; TIBIRIÇÁ, Antônio C. G.; SANTOS, Glaucio L. A. A. Sistema de cobertura verde para uma edificação na área de saúde numa IFES. **XIII Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído**, Canela, out. 2010.

CARVALHO, José Camapum de; LELIS, Ana Cláudia. **Cartilha Infiltração - Volume 2**. Série Geotecnia UnB. Brasília, 2010.

DEP – DEPARTAMENTO DE ESGOTOS PLUVIAIS DA PREFEITURA MUNICIPAL DE PORTO ALEGRE. **Plano Diretor de Drenagem Urbana – Manual de Drenagem Urbana**. Insituto de Pesquisas Hidráulicas da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, set. 2005.

EPA - United States Enviromental Protection Agency. **Low Impact Development (LID): A Literature Review**. Washington, DC, October, 2000.

FELTEN, Carla Knebel. **Análise quantitativa e qualitativa de água pluvial armazenada em cisternas para uso não potável**. 2008. 62 f. Trabalho de Conclusão de Curso – União Dinâmica de Faculdade Cataratas. Paraná, dez. 2008.

FERRAZ, Iara Lima; LEITE, Brenda Chaves Coelho. Amendoim no telhado: O comportamento da grama-amendoim (*Arachis repens*) na cobertura verde extensiva. **VI Encontro Nacional e IV Encontro Latino-americano sobre Edificações e Comunidades Sustentáveis**, Vitória, set. 2011.

FERREIRA, César Argentieri; MORUZZI, Rodrigo Braga. Considerações sobre a aplicação do telhado verde para captação de água de chuva em sistemas de aproveitamento para fins não potáveis. **IV Encontro Nacional e II Encontro Latino-americano sobre Edificações e Comunidades Sustentáveis**, Mato Grosso do Sul, nov. 2007.

FONTANELA, Eduardo. **Avaliação de metodologias para dimensionamento de reservatórios para aproveitamento de água pluvial**. 2010. 68f. Trabalho de Conclusão de Curso – Universidade do Extremo Sul Catarinense – UNESC. Criciúma, jun. 2010.

FORGIARINI, Francisco Rossarolla; SOUZA, Christopher Freire; SILVEIRA, André Luiz Lopez da; SILVEIRA, Geraldo Lopes da; TUCCI, Carlos E. M. Avaliação de cenários de cobrança pela drenagem urbana de águas pluviais. **XVII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos**, São Paulo, 2007.

GIACCHINI, Margolaine; FILHO, Alceu Gomes de Andrade; SANTOS, Daniel Costa dos. Estudo da caracterização qualitativa da água de chuva armazenada. **XII Simpósio Nacional de Sistemas Prediais**, Passo Fundo, out. 2011.

GOLDENFUM, Joel Avruch. Reaproveitamento de águas pluviais. **II Simpósio Nacional sobre o Uso da Água na Agricultura**. Passo Fundo, mar. 2006.

GOOGLE EARTH. 2012.

HOLZ, Ingrid Herzog. Águas urbanas: da degradação à renaturalização. **VI Encontro Nacional e IV Encontro Latino-americano sobre Edificações e Comunidades Sustentáveis**, Vitória, set. 2011.

IBIAPINA, Marcia Barreto; SILVA, Vanessa Gomes da; ILHA, Marina Sangoi de Oliveira; KOWALTOWSKI, Doris C. C. K. Pesquisa Experimental para avaliar a qualidade da água e a capacidade de retenção de água pluvial em coberturas verdes em Campinas – Brasil. **SBCS10 - III Simpósio Brasileiro de Construção Sustentável**, São Paulo, 2010.

KREBS, Lisandra F.; SATTLER, Miguel A. Coberturas vivas extensivas: Análise da utilização em projetos na região metropolitana de Porto Alegre e Serra Gaúcha. **XIII Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído**, Canela, out. 2010.

LIMA, Ricardo Paganelli; MACHADO, Thiago Garcia. **Aproveitamento de água pluvial: análise do custo de implantação do sistema em edificações**. 2008. 46f. Trabalho de Conclusão de Curso – Centro Universitário da Fundação Educacional de Barretos. São Paulo, 2008.

MATOS, José de Saldanha. **Aspectos Históricos e Actuais da Evolução da Drenagem de Águas Residuais em Meio Urbano**. Lisboa, 2003.

MINISTÉRIO DA INTEGRAÇÃO NACIONAL. **Nova Delimitação do Semi-Árido Brasileiro**. 2005.

MINISTÉRIO DAS CIDADES. **Programa Drenagem Urbana Sustentável**. 2006.

MORALES, Paulo Roberto Dias. **Curso de Drenagem Urbana e Meio ambiente**. Instituto Militar de Engenharia – IME. Rio de Janeiro, 2003.

MOUTINHO, Vinicius de Mello. **Avaliação e reabilitação de redes de micro-drenagem**. 2011. 161 f. Trabalho Final de Graduação – Escola Politécnica da Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2011.

NASCIMENTO, Wânia Cruz do; FREITAS, Maria do Carmo Duarte; SHMID, Aloísio Leoni. Coberturas verdes – A renovação de uma ideia. **XII Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído**, Fortaleza, out. 2008.

NASCIMENTO, Wânia Cruz do; SHMID, Aloísio Leoni. Coberturas verdes na região metropolitana de Curitiba – Barreiras e potencial de estabelecimento na visão dos profissionais da construção civil. **XII Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído**, Fortaleza, out. 2008.

OS RIOS E AS CIDADES. Inauguração do Novo Edifício Bankboston. São Paulo: Klaumon Forma Comunicação, 2002. 119 p.

PRINCE GEORGE'S COUNTY. Department of Environment Resources. **Low Impact Development Design Strategies: An integrated Design Approach**, Maryland, June, 1999.

ROLA, Sylvia Meimaridou. **A natureza como ferramenta para a sustentabilidade de cidades**: Estudo da capacidade do sistema de natureza em filtrar a água de chuva. 2008. 222 f. Tese (Doutorado em Ciências em Planejamento Energético) – Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, abr. 2008.

SILVEIRA, André Luiz Lopes da. **Drenagem Urbana**: Aspectos de Gestão. 1 ed. 2002. 70 f. Apostila do curso Gestores Regionais de Recursos Hídricos, Instituto de Pesquisa Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Fundo Setorial de Recursos Hídricos (CNPq) – UFRGS, Rio Grande do Sul, 2002.

SILVEIRA, André Luiz Lopes da. Hidrologia Urbana no Brasil. **Drenagem Urbana, Gerenciamento, Simulação, Controle, ABRH Publicações nº3**. Porto Alegre, 1988.

TEIXEIRA, Paula de Castro; ILHA, Marina Sangoi de Oliveira; REIS, Ricardo Prado de Abreu. Análise da qualidade da água de chuva drenada por coberturas verdes: Estudo piloto. **XII Simpósio Nacional de Sistemas Prediais**, Passo Fundo, out. 2011.

TUCCI, Carlos E. M.; BERTONI, Juan Carlos. **Inundações urbanas na América do Sul**. Porto Alegre: Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 2003.

VERGARA, Lizandra G. L.; PIPPI, Luis Guilherme A.; BARBOSA, Anallu R. Aplicação de telhado verde como tecnologia sustentável para o projeto de edificações residenciais. **X Encontro Nacional e VI Encontro Latino Americano de Conforto no Ambiente Construído**, Natal, set. 2009.

## REFERÊNCIAS ELETRÔNICAS

---

- <http://deschistoria.blogspot.com/2010/11/as-civilizacoes-dos-grandes-rios.html>; acesso em 6 de outubro de 2011.
- [http://www.ivig.coppe.ufrj.br/pbr/areas\\_proj\\_nat.html](http://www.ivig.coppe.ufrj.br/pbr/areas_proj_nat.html); acesso em 16 de outubro de 2011.
- <http://www.cbdb.org.br/texto/erton.pdf>; acesso em 10 de janeiro de 2012.
- <http://esa.un.org/unpd/wup/index.htm>; acesso em 10 de janeiro de 2012.
- <http://instructional1.calstatela.edu/bevans/art101/art101b-0-india/WebPage-Full.00002.html>; acesso em 10 de janeiro de 2012.
- <http://games-andrey.blogspot.com/2011/04/assirios.html>; acesso em 10 de janeiro de 2012.
- [http://www.imagoromae.com/garden\\_EN.ashx](http://www.imagoromae.com/garden_EN.ashx); acesso em 10 de janeiro de 2012.
- <http://historiandonanet07.wordpress.com/2011/04/11/monarquia-romana/>; acesso em 10 de janeiro de 2012.
- [http://www.translucency.com/frede/parisproject/sewer1789\\_1900.html](http://www.translucency.com/frede/parisproject/sewer1789_1900.html); acesso em 10 de janeiro de 2012.
- <http://www.novomilenio.inf.br/santos/mapa194g.htm>; acesso em 12 de janeiro de 2012.
- <http://prof-ricardolaporta.blogspot.com.br/2011/04/aula-de-historia-1-ano-tema-3.html>; acesso em 14 de agosto de 2012.
- <http://www.museuhistoriconacional.com.br/images/galeria03/rioantigo/mh-g3a027.htm>; acesso em 14 de agosto de 2012.
- <http://www.bairrodocatete.com.br/continua.html>; acesso em 14 de agosto de 2012.
- <http://oriodeantigamente.blogspot.com.br/2011/01/canal-do-mangue.html>; acesso em 14 de agosto de 2012.
- [http://www.italiamiga.com.br/noticias/artigos/cabeca\\_de\\_porco.htm](http://www.italiamiga.com.br/noticias/artigos/cabeca_de_porco.htm); acesso em 14 de agosto de 2012.

- [http://daniellathompson.com/Texts/Praca\\_Onze/praca\\_onze.pt.2.htm](http://daniellathompson.com/Texts/Praca_Onze/praca_onze.pt.2.htm); acesso em 14 de agosto de 2012.
- <http://umdosescolhidos.blogspot.com.br/2011/04/as-grandes-enchentes-desde-1711.html>; acesso em 14 de agosto de 2012.
- <http://g1.globo.com/rio-de-janeiro/chuvas-no-rj/noticia/2011/02/passa-de-900-o-numero-de-mortos-na-regiao-serrana-apos-chuvas.html>; acesso em 14 de agosto de 2012.
- <http://revistaepoca.globo.com/Revista/Epoca/0,,EMI202679-15223,00-A+MAIOR+TRAGEDIA+DO+BRASIL.html>; acesso em 14 de agosto de 2012.
- [http://www.portalbrasil.net/brasil\\_cidades\\_riodejaneiro.htm](http://www.portalbrasil.net/brasil_cidades_riodejaneiro.htm); acesso em 14 de agosto de 2012.
- [http://www.acidezmental.xpg.com.br/enchentes\\_no\\_rj.html](http://www.acidezmental.xpg.com.br/enchentes_no_rj.html); acesso em 14 de agosto de 2012.
- <http://www.gva24.com/pt/ad/51413922/33/56/pisograma-e-bloquetes-intertravados-sao-paulo>; acesso em 14 de agosto de 2012.
- <http://jardinagempaisagismo.com/pisos-permeaveis-para-quintais-e-jardins/>; acesso em 14 de agosto de 2012.
- <http://costaesmeraldaportobelo.com.br/drenagem.htm>; acesso em 14 de agosto de 2012.
- [http://w3.ufsm.br/ecotecnologias/index.php?option=com\\_content&view=article&id=77&Itemid=76](http://w3.ufsm.br/ecotecnologias/index.php?option=com_content&view=article&id=77&Itemid=76); acesso em 14 de agosto de 2012.
- <http://ga.water.usgs.gov/edu/watercycle.html>; acesso em 12 de janeiro de 2012.
- <http://www.portalplanetasedna.com.ar/masada.htm>; acesso em 13 de janeiro de 2012.
- <http://iapr.com.br/pedra%20moabita.html>; acesso em 13 de janeiro de 2012.
- <http://www.webalice.it/pl.cortesi/Rimacius/Domus2.htm>; acesso em 13 de janeiro de 2012.

- [http://www.dartmouth.edu/~classics/rome2003/updates/week1\\_2/sept29.html](http://www.dartmouth.edu/~classics/rome2003/updates/week1_2/sept29.html); acesso em 13 de janeiro de 2012.
- <http://www.panoramio.com/photo/17015305>; acesso em 13 de janeiro de 2012.
- [http://www.recriarcomvoce.com.br/blog\\_recriar/captacao-da-agua-de-chuva-antiga-quanto-montanhas/](http://www.recriarcomvoce.com.br/blog_recriar/captacao-da-agua-de-chuva-antiga-quanto-montanhas/); acesso em 13 de janeiro de 2012.
- <http://www.mi.gov.br/desenvolvimentoregional/publicacoes/delimitacao.asp>; acesso em 14 de janeiro de 2012.
- <http://sonhodecarnaval.blogspot.com/2011/02/cidade-do-samba.html>; acesso em 14 de janeiro de 2012.
- <http://www.asabrazil.org.br/>; acesso em 14 de janeiro de 2012.
- [http://conjuntura.ana.gov.br/conjuntura/abr\\_nacional.htm](http://conjuntura.ana.gov.br/conjuntura/abr_nacional.htm); acesso em 15 de janeiro de 2012.
- [http://serc.carleton.edu/images/eslabs/drought/fershwater\\_availability.jpg](http://serc.carleton.edu/images/eslabs/drought/fershwater_availability.jpg); acesso em 15 de janeiro de 2012.
- <http://picasaweb.google.com/113260293263225286350/Mesopotamia#5584781988293458450>; acesso em 20 de outubro de 2011.
- <http://www.museedesenfants.ch/Peintres/Bruegel/Posters/expo.htm>; acesso em 20 de outubro de 2011.
- <http://picasaweb.google.com/113260293263225286350/Mesopotamia#5584782059608437714>; acesso em 20 de outubro de 2011.
- <http://everythingdigital.org/images/hanginggardens.jpg>; acesso em 20 de outubro de 2011.
- <http://travellhappyland.blogspot.com/2011/10/travel-mont-saint-michel.html>; acesso em 20 de outubro de 2011.
- <http://www.raubacapeu.net/people/yves/pictures/2001/06/06/dsc20010606037.jpg>; acesso em 20 de outubro de 2011.

- [http://www.paesionline.it/chianciano\\_terme/foto\\_dettaglio.asp?filename=1306\\_chiancia\\_no\\_terme\\_pienza\\_palazzo\\_piccolomini](http://www.paesionline.it/chianciano_terme/foto_dettaglio.asp?filename=1306_chiancia_no_terme_pienza_palazzo_piccolomini); acesso em 20 de outubro de 2011.
- <http://www.grifotour.com/en/cmsx.asp?IDPg=43>; acesso em 20 de outubro de 2011.
- <http://renatofontinha.blogspot.com/>; acesso em 20 de outubro de 2011.
- <http://www1.folha.uol.com.br/folha/turismo/noticias/ult338u609149.shtml>; acesso em 20 de outubro de 2011.
- <http://www.galinsky.com/buildings/savoye/index.htm>; acesso em 20 de outubro de 2011.
- <http://atlasobscura.com/place/waldspirale>; acesso em 20 de outubro de 2011.
- <http://lesjardinsdumonde.tumblr.com/post/6504462805/burle-marx-palacio-gustavo-capanema-rio-de>; acesso em 20 de outubro de 2011.
- <http://www.lfa2008.org/event.php?id=865>; acesso em 20 de outubro de 2011.
- [http://www.igra-world.com/types\\_of\\_green\\_roofs/index.php](http://www.igra-world.com/types_of_green_roofs/index.php); acesso em 20 de outubro de 2011.
- <http://www.igra-world.com/benefits/index.php>; acesso em 20 de outubro de 2011.
- <http://es.wikipedia.org/wiki/Suculenta>; acesso em 20 de outubro de 2011.
- <http://www.ecotelhado.com.br/Por/ecotelhado/sistemamodular/default.aspx>; acesso em 4 de novembro de 2011.
- <http://www.ecotelhado.com.br/Por/ecotelhado/SistemaModular/Paginas/Fotos.aspx>; acesso em 4 de novembro de 2011.
- [www.astm.org](http://www.astm.org); acesso em 20 de outubro de 2011.
- <http://www.toronto.ca/greenroofs/pdf/chapter3.pdf>; acesso em 4 de novembro de 2011.
- <http://www.greenroofs.com/projects/pview.php?id=21>; acesso em 20 de novembro de 2011.
- <http://www.greenroofs.com/projects/pview.php?id=626>; acesso em 20 de novembro de 2011.

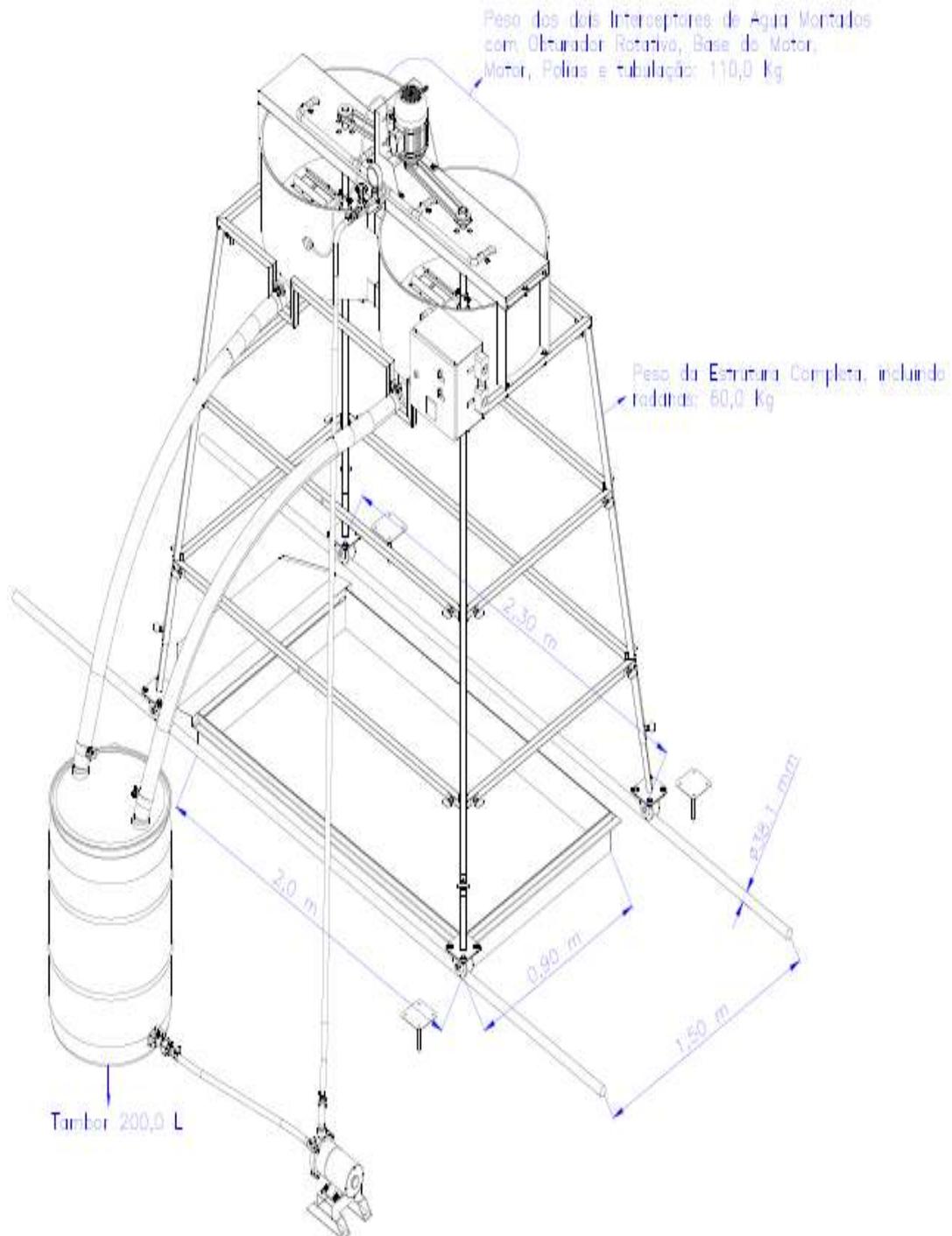
- <http://www.greenroofs.com/projects/pview.php?id=475>; acesso em 20 de novembro de 2011.
- <http://www.greenroofs.com/projects/pview.php?id=517>; acesso em 20 de novembro de 2011.
- <http://www.greenroofs.com/projects/pview.php?id=887>; acesso em 20 de novembro de 2011.
- <http://www.greenroofs.com/projects/pview.php?id=846>; acesso em 20 de novembro de 2011.
- <http://www.greenroofs.com/projects/pview.php?id=787>; acesso em 20 de novembro de 2011.
- <http://www.greenroofs.com/projects/pview.php?id=1212>; acesso em 20 de novembro de 2011.
- <http://www.greenroofs.com/projects/pview.php?id=523>; acesso em 20 de novembro de 2011.
- <http://www.greenroofs.com/projects/pview.php?id=1328>; acesso em 20 de novembro de 2011.
- <http://www.greenroofs.com/projects/pview.php?id=1304>; acesso em 20 de novembro de 2011.
- <http://www.greenroofs.com/projects/pview.php?id=1364>; acesso em 20 de novembro de 2011.
- <http://cmarconstrucoesalternativas.com/cmar/photos/residencia-em-serra-grande-ba-estrutura-do-telhado>; acesso em 28 de novembro de 2011.
- <http://www.aecweb.com.br/telhados-zanchet/tematicos/artigos/1928/6>; acesso em 28 de novembro de 2011.
- <http://capema.com.br/home/index.php/2010/08/11/estruturas-de-aco-galvanizado/>; acesso em 28 de novembro de 2011.
- <http://arquitetandocomafabi.blogspot.com/2010/11/fase-10-laje-do-sotao-3-dias.html>; acesso em 28 de novembro de 2011.

- [http://www.nimaro.com/Ntienda/index.php?main\\_page=product\\_info&cPath=27\\_212473\\_7\\_87&products\\_id=1669](http://www.nimaro.com/Ntienda/index.php?main_page=product_info&cPath=27_212473_7_87&products_id=1669); acesso em 28 de novembro de 2011.
- [http://www.construmatica.com/construpedia/Morteros\\_Impermeabilizantes](http://www.construmatica.com/construpedia/Morteros_Impermeabilizantes); acesso em 28 de novembro de 2011.
- [http://www.lwart.com.br/site/content/quimica/produtos\\_aplic\\_detalhe.asp?id=31](http://www.lwart.com.br/site/content/quimica/produtos_aplic_detalhe.asp?id=31); acesso em 28 de novembro de 2011.
- <http://www.arquigrafico.com/la-tela-asfaltica-como-impermeabilizante-para-techos>; acesso em 28 de novembro de 2011.
- [http://www.incasa.ro/Argila\\_buna\\_la\\_toate\\_5257\\_817\\_1.html](http://www.incasa.ro/Argila_buna_la_toate_5257_817_1.html); acesso em 28 de novembro de 2011.
- <http://portuguese.alibaba.com/products/green-roof-drainage-board.html>; acesso em 28 de novembro de 2011.
- <http://foroantiguo.infojardin.com/showthread.php?t=183178>; acesso em 28 de novembro de 2011.
- <http://www.emipsa.com/sellado.html>; acesso em 28 de novembro de 2011.
- <https://www.pimentas.org/forum/viewtopic.php?f=2&t=2974>; acesso em 28 de novembro de 2011.
- <http://ongiac.webnode.com.br/projetos-que-atuamos/o-p1mc/>; acesso em 19 de agosto de 2011.
- [http://www.asabrazil.org.br/Portal/Informacoes.asp?COD\\_MENU=1157&WORDKEY=Tecnologias](http://www.asabrazil.org.br/Portal/Informacoes.asp?COD_MENU=1157&WORDKEY=Tecnologias); acesso em 19 de agosto de 2011.
- [http://www.h2ot.com.br/site/servicos-Aproveitamento\\_de\\_Agua\\_da\\_Chuva/](http://www.h2ot.com.br/site/servicos-Aproveitamento_de_Agua_da_Chuva/); acesso em 19 de agosto de 2011.
- <http://www0.rio.rj.gov.br/alertario/>; acesso em 19 de agosto de 2011.
- [http://www.makrocaixa.com.br/tecnica\\_caixa.html/](http://www.makrocaixa.com.br/tecnica_caixa.html/); acesso em 28 de agosto de 2012.
- <http://mundirj.com.br/blocosdeconcreto.html>; acesso em 28 de agosto de 2012.
- <http://www.comercialgerdau.com.br/>; acesso em 28 de agosto de 2012.

- [http://www.tigre.com.br/pt/produtos\\_unico.php?rcr\\_id=4&cpr\\_id=9&cpr\\_id\\_pai=4&lnh\\_id=26&prd\\_id=12](http://www.tigre.com.br/pt/produtos_unico.php?rcr_id=4&cpr_id=9&cpr_id_pai=4&lnh_id=26&prd_id=12); acesso em 28 de agosto de 2012.
- <http://www.greenwall.com.br/>; acesso em 28 de agosto de 2012.

## ANEXOS

### ANEXO I – PROJETO DO SIMULADOR DE ÁGUA DE CHUVA (DUPLO)

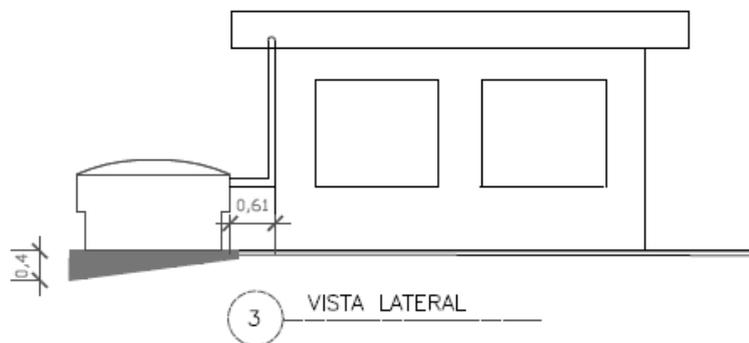
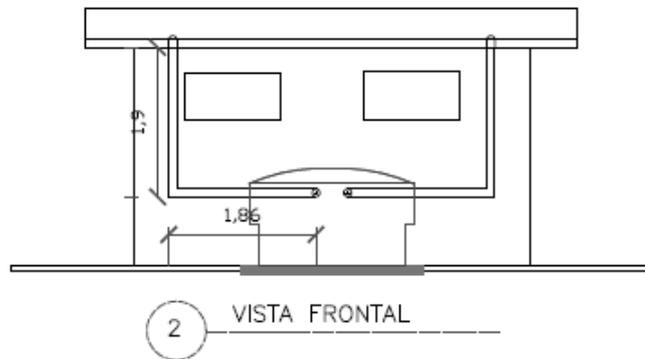
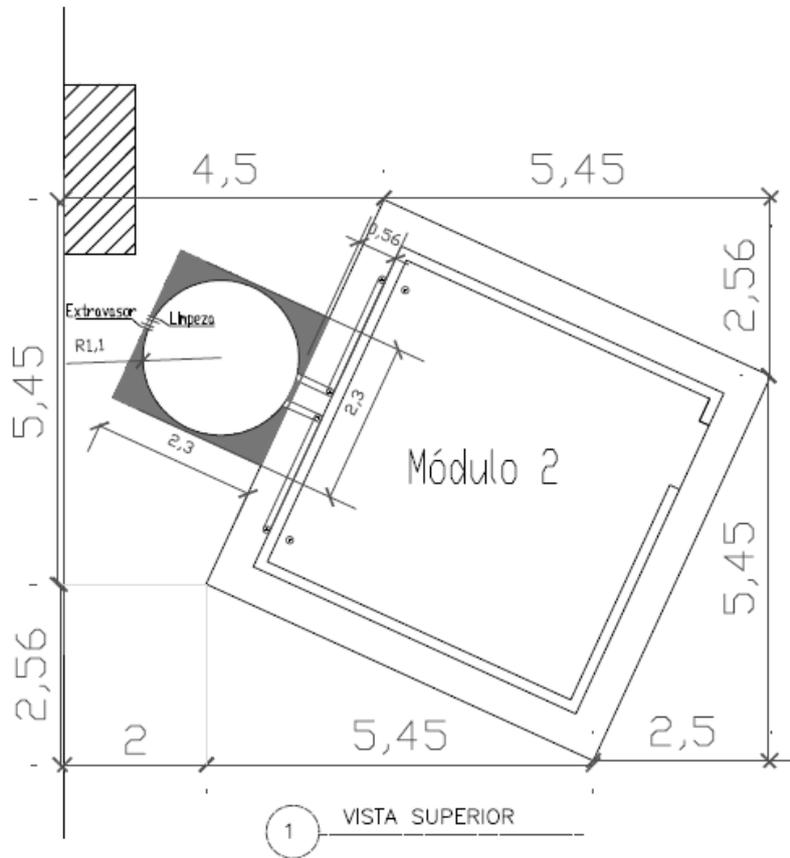


Dimensões atualizadas: ao invés de 1,50 é 1,51, e ao invés de 2,30, é 2,31.

## ANEXO II – DADOS ORDENADOS DAS PRECIPITAÇÕES

ÉPOCA SECA			ÉPOCA CHUVOSA		
Ocorrência Acumulada	Precipitação (mm)		Ocorrência Acumulada	Precipitação (mm)	
1,11%	2,1		1,11%	7,4	
2,22%	2,4		2,22%	11,4	
3,33%	2,6		3,33%	15,8	
4,44%	3,6		4,44%	16,8	
5,56%	3,6		5,56%	22,9	
6,67%	5,0		6,67%	26,0	
7,78%	5,4		7,78%	27,1	
8,89%	6,8		8,89%	28,2	
10,00%	7,6		10,00%	37,2	
11,11%	7,8		11,11%	38,6	
12,22%	7,9		12,22%	38,6	
13,33%	9,3		13,33%	46,4	
14,44%	9,6		14,44%	47,6	
15,56%	12,4		15,56%	58,2	
16,67%	12,8		16,67%	58,6	
17,78%	12,8		17,78%	66,0	
18,89%	13,4		18,89%	67,8	
20,00%	17,4		20,00%	68,2	
21,11%	18,6		21,11%	68,5	
22,22%	18,6		22,22%	68,8	
23,33%	19,6		23,33%	72,4	
24,44%	19,8		24,44%	75,8	
25,56%	22,4		25,56%	84,5	
26,67%	22,8		26,67%	87,5	
27,78%	23,0		27,78%	88,6	
28,89%	23,0		28,89%	92,2	
30,00%	23,3		30,00%	95,8	
31,11%	24,4		31,11%	99,0	
32,22%	30,0		32,22%	99,4	
33,33%	32,0		33,33%	101,1	
34,44%	32,4		34,44%	101,6	
35,56%	34,0		35,56%	105,6	
36,67%	34,1		36,67%	105,8	
37,78%	34,6		37,78%	107,5	
38,89%	35,1		38,89%	109,6	
40,00%	35,4		40,00%	110,0	
41,11%	35,8		41,11%	110,6	
42,22%	36,3		42,22%	112,8	
43,33%	38,3		43,33%	112,8	
44,44%	39,2		44,44%	115,8	
45,56%	41,2		45,56%	116,0	
46,67%	41,7		46,67%	116,2	
47,78%	42,0		47,78%	117,0	
48,89%	43,0		48,89%	117,4	
50,00%	44,4		50,00%	119,2	
51,11%	45,0		51,11%	124,0	
52,22%	45,6		52,22%	125,0	
53,33%	46,8		53,33%	126,4	
54,44%	47,2		54,44%	129,5	
55,56%	49,6		55,56%	132,2	
56,67%	49,9		56,67%	135,6	
57,78%	50,2		57,78%	137,6	
58,89%	51,0		58,89%	139,2	
60,00%	51,8		60,00%	141,2	
61,11%	53,3		61,11%	142,0	
62,22%	54,2		62,22%	144,8	
63,33%	54,4		63,33%	146,4	
64,44%	55,4		64,44%	147,4	
65,56%	55,8		65,56%	148,6	
66,67%	57,0		66,67%	150,6	
67,78%	57,9		67,78%	151,2	
68,89%	58,4		68,89%	152,0	
70,00%	59,0		70,00%	154,6	
71,11%	60,0		71,11%	159,2	
72,22%	60,2		72,22%	165,8	
73,33%	62,0		73,33%	167,2	
74,44%	64,2		74,44%	172,2	
75,56%	65,2		75,56%	173,6	
76,67%	66,2		76,67%	181,2	
77,78%	67,6		77,78%	187,4	
78,89%	67,8		78,89%	192,6	
80,00%	68,4		80,00%	206,2	
81,11%	71,4		81,11%	216,0	
82,22%	73,8		82,22%	217,4	
83,33%	84,5		83,33%	221,3	
84,44%	87,6		84,44%	223,2	
85,56%	87,8		85,56%	235,4	
86,67%	89,6		86,67%	242,7	
87,78%	94,8		87,78%	253,0	
88,89%	96,8		88,89%	263,4	
90,00%	97,4		90,00%	263,4	
91,11%	108,0		91,11%	264,6	
92,22%	108,8		92,22%	275,0	
93,33%	115,8		93,33%	295,4	
94,44%	123,6		94,44%	319,4	
95,56%	123,8	123,7	95,56%	320,8	320,1
96,67%	143,0		96,67%	326,0	
97,78%	149,0		97,78%	366,2	
98,89%	161,8		98,89%	439,6	
100,00%	201,6		100,00%	532,0	

### ANEXO III – PROJETO DO PROTÓTIPO DE COBERTURA VERDE DO IVIG/UFRJ



## ANEXO IV – PERFIS T (FORNECIDOS PELA GERDAU)

### Perfil T

Bitola	Altura (h)	Espessura (e)	Área	Peso
pol.	mm	mm	cm <sup>2</sup>	kg/m
5/8" x 1/8"	15,88	3,18	0,90	0,71
3/4" x SERR.	19,05	2,50	0,91	0,69
3/4" x 1/8"	19,05	3,18	1,13	0,86
7/8" x 1/8"	22,22	3,18	1,34	0,99
1" x 1/8"	25,40	3,18	1,54	1,18
1.1/4" x 1/8"	31,75	3,18	1,92	1,50
1.1/2" x 1/8"	38,10	3,18	2,32	1,82
1.1/4" x 3/16"	31,75	4,76	2,79	2,16
1.1/2" x 3/16"	38,10	4,76	3,40	2,65
2" x 3/16"	50,80	4,76	4,61	3,62
2" x 1/4"	50,80	6,35	6,05	4,74

Bitola	Eixo X-X			Eixo Y-Y			
	J	W	r	J	W	r	X
pol.	cm <sup>4</sup>	cm <sup>3</sup>	cm	cm <sup>4</sup>	cm <sup>3</sup>	cm	cm
5/8" x 1/8"	0,20	0,19	0,47	0,11	0,14	0,35	0,51
3/4" x SERR.	0,31	0,23	0,58	0,15	0,16	0,41	0,57
3/4" x 1/8"	0,36	0,27	0,57	0,19	0,20	0,41	0,59
7/8" x 1/8"	0,59	0,38	0,67	0,33	0,27	0,48	0,67
1" x 1/8"	0,90	0,50	0,77	0,44	0,35	0,54	0,75
1.1/4" x 1/8"	1,84	0,81	0,98	0,86	0,54	0,67	0,91
1.1/2" x 1/8"	3,24	1,18	1,18	1,47	0,77	0,80	1,07
1.1/4" x 3/16"	2,56	1,16	0,96	1,29	0,82	0,68	0,97
1.1/2" x 3/16"	4,56	1,70	1,16	2,22	1,17	0,81	1,13
2" x 3/16"	11,33	3,12	1,57	5,24	2,06	1,07	1,45
2" x 1/4"	14,47	4,04	1,55	7,03	2,77	1,08	1,50

- Barras de 6m.
- Aço de baixo teor de carbono (1006 a 1015).
- Atende a Norma ASTM A 36.
- Sob consulta, pode também ser fornecida segundo à Norma ASTM A 588 (resistente à corrosão atmosférica).



## **ANEXO V – PROJETO DO PROTÓTIPO DE COBERTURA VERDE DO CESA/UFRJ**

## **ANEXO VI – PROJETO DO PROTÓTIPO DE PAVIMENTO PERMEÁVEL DO CESA/UFRJ**