



Universidade do Estado do Rio de Janeiro

Centro de Tecnologia e Ciências

Faculdade de Engenharia

Eric Watson Netto de Oliveira


**Telhados verdes para habitações de interesse social: retenção
das águas pluviais e conforto térmico**

Rio de Janeiro

2009

Eric Watson Netto de Oliveira

**Telhados verdes para habitações de interesse social: retenção
das águas pluviais e conforto térmico**



Dissertação apresentada como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre, ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, da Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Área de concentração: Recursos Hídricos.

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Luciene Pimentel da Silva

Coorientador: Prof. Dr. Wellington Mary

Rio de Janeiro

2009

CATALOGAÇÃO NA FONTE
UERJ/REDE SIRIUS/CTC/B

O48 Oliveira, Eric Watson Netto de.
Telhados verdes para habitações de interesse social: retenção das águas pluviais e conforto térmico. / Eric Watson Netto de Oliveira. – 2009.
87f: il.

Orientador: Prof^a. Dr^a. Luciene Pimentel da Silva
Co-orientador: Prof. Dr. Wellington Mary.
Dissertação (mestrado) – Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Faculdade de Engenharia.
Bibliografia: 85-87.

1. Água – Conservação. 2. Habitações populares.
3. Águas pluviais – Retenção. I. Universidade do Estado do Rio de Janeiro. II. Silva, Luciene Pimentel da. III. Mary, Wellington. IV. Título.

CDU 628.16

Autorizo, apenas para fins acadêmicos e científicos, a reprodução total ou parcial desta dissertação.

Assinatura

Data

Eric Watson Netto de Oliveira

**TELHADOS VERDES PARA HABITAÇÕES DE INTERESSE SOCIAL:
RETENÇÃO DAS ÁGUAS PLUVIAIS E CONFORTO TÉRMICO**

Dissertação apresentada como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Ciências, ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, da Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Área de concentração: Recursos Hídricos.

Aprovado em: _____

Banca Examinadora: _____

Prof^a. Dr^a. Luciene Pimentel da Silva (Orientadora)
Faculdade de Engenharia da UERJ

Prof. Dr. Wellington Mary (Coorientador)
Instituto de Tecnologia da UFRRJ

Prof. Dr. Adacto Benedicto Ottoni
Faculdade de Engenharia da UERJ

Prof. Dr. Ubirajara Aluizio de Oliveira Mattos
Faculdade de Engenharia da UERJ

Prof. Dr. Paulo Luiz da Fonseca
Prefeitura da Cidade do Rio de Janeiro - RIO-ÁGUAS

Rio de Janeiro

2009

AGRADECIMENTOS

À Deus, pela oportunidade de viver esse momento e pela saúde.

A meus pais, pelos valores à vida e a meu irmão, pelo estímulo e ajuda.

À minha esposa Lucia e meus filhos Julia, Guilherme e, em especial, ao Lucas, que chegou no meio dessa empreitada, renovando-nos de energia. Muito obrigado, por todo amor, carinho, amizade, compreensão, confiança e principalmente pela paciência nos momentos decisivos deste mestrado.

À professora Luciene e ao professor Wellington, pela orientação, paciência, oportunidade, estímulo, comprometimento e credibilidade.

Ao Anderson e ao Gabriel, graduandos da UFRRJ, pela dinâmica, empenho, interesse e aplicação.

À Secretaria Municipal de Educação, pela liberação do convênio viabilizando o experimento.

À Escola Municipal Teófilo Moreira da Costa, em especial aos diretores Sandra e Natalino, pela aposta, acolhimento, confiança e participação desmedida e compromissada, como também, pelo seu corpo docente que tão bem nos recepcionou.

Ao (CNPq - CT-HIDRO/CT-AGRO) pelo financiamento do projeto – processo 500.129/2006-1.

Aos integrantes do PROJETO HIDROCIDADES (GRHIP), pela troca de experiências, enriquecimento cultural, multidisciplinar e técnico-científico.

A todos que de uma forma direta ou indireta participaram, ajudaram e contribuíram para implantação desse projeto experimental.

RESUMO

OLIVEIRA, Eric Watson Netto de. *Telhados verdes para habitações de interesse social: retenção das águas pluviais e conforto térmico.* 2009. 86f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Faculdade de Engenharia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2009.

O crescimento populacional aliado à migração tem aumentado a pressão sobre o uso do solo urbano perpetuando sucessivos problemas de assentamentos informais e saneamento ambiental nos grandes centros. Esta situação se agrava ainda mais em épocas de chuvas intensas devido à ocorrência de enchentes. Este projeto faz parte de um conjunto de ações integradas de cidadania e inclusão social na região hidrográfica da baixada de Jacarepaguá, especificamente envolvendo a Comunidade da Vila Cascatinha, em Vargem Grande, a fim de gerar subsídios para políticas públicas em áreas de assentamentos informais, integrado ao projeto HIDROCIDADES (CNPq/CTHIDRO/CTAGRO), que visa a conservação da água em meios urbanos e periurbanos associado à cidadania, inclusão social e melhoria da qualidade de vida nas grandes cidades. Este projeto utilizou uma tecnologia adaptada dos telhados verdes para edificação popular (telhado de fibrocimento), com o objetivo de verificar aspectos construtivos, possíveis espécies com potencial de geração de renda, custos, efeitos no retardo do escoamento superficial das águas pluviais e outros benefícios associados a questões climáticas locais e de conforto do ambiente interno. Os resultados gerados demonstraram, entre outros, o estabelecimento de metodologia para implantação dos telhados verdes em habitações populares, o valor dos custos e resultados preliminares de espécies com potencial para geração de renda. Ainda, a implantação dos telhados verdes demonstrou ser promissora no controle do escoamento superficial, na aplicação do sistema de irrigação. Na simulação das chuvas, observou-se uma retenção de até 56% do volume precipitado. Observou-se o retardo da ocorrência do pico de até 8 minutos no telhado vegetado em relação ao telhado testemunho (convencional telhas fibrocimento). Foi observada a eficiência tanto no comportamento térmico interno como também no externo, uma redução da amplitude térmica interna em dia característico de verão (35,9 °C), sendo capaz de reduzir a temperatura interna em cerca de 2,0 °C nos períodos mais quentes do dia e cerca de 4,0 °C no ambiente

externo em comparação com o telhado-testemunha (sem plantio), com potencial de modificação do microclima local.

Palavras-Chave: Telhados Verdes, Conservação da Água, Medidas de Controle de Enchentes, Habitações Populares e Comunidades Sustentáveis, Inclusão Social, Geração de Renda.

ABSTRACT

The population growth and migration has increased the pressure on land use and urban occupation, increasing the problems of informal occupation (urban settlements) and environmental sanitation in large cities. This is even worse when urban floods occur. This project is part of a set of citizenship and social inclusion integrated actions in Jacarepaguá low-land hydrographic region, involving the Community of Vila Cascatinha, Vargem Grande, Rio de Janeiro, Brazil, in order to propose new public policies for informal settlements. This study is part of HIDROCIDADES project (CNPq / CTHIDRO / CTAGRO), which focus on water conservation in the urban and peri-urban environment associated to citizenship, social inclusion and life quality improvements in large cities. This project applied an adapted technology for green roofs on social interest buildings (fiber-cement tiles), in order to verify constructive aspects, possible crops to with income raising potential, costs, the effects on surface flow control and other benefits, such as buildings thermal comfort improving, microclimate. Results, demonstrated, among others, the establishment of a methodology for implementing green roofs for social interest buildings, costs and preliminary crops. In addition, the establishment of the green roof showed effects on controlling surface runoff. During the application of the irrigation system for rainfall simulation it was observed up to 56% retention of the total precipitation. It was observed a delay up to 8 minutes to runoff peak when comparing to the flow over tiles roof. It was verified the external thermal behavior, reducing the internal temperature range of typical days in summer (35.9 °C), being able to reduce internal temperature by 2.0 °C during warmer periods of the day and about 4.0 °C in the external environment, compared with the tiles roof, being efficient on the local microclimate modification.

Keywords: green roof, water conservation, flood control actions, popular buildings e sustainable communities, social inclusion, income generation.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURA 1.1 - LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO: COMUNIDADE DA VILA CASCATINHA E BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO MORTO - BAIXADA DE JACAREPAGUÁ, RIO DE JANEIRO. FONTE: ROSA (2003) APUD CERQUEIRA ET. AL., 2008.....	20
FIGURA 1.2 – LOCALIZAÇÃO DOS PONTOS DE MONITORAMENTO FÍSICO-AMBIENTAL DO PROJETO HIDROCIDADES (FONTE: PIMENTEL DA SILVA ET. AL., 2008).....	21
FIGURA 1.3 – PAISAGEM DA COMUNIDADE DA VILA CASCATINHA	22
FIGURA 1.4 – “CONHECER PARA PRESERVAR” – EVENTO DE MOBILIZAÇÃO DO PROJETO HIDROCIDADES REALIZADO EM JUNHO DE 2008 – ESCOLA PROFESSOR TEÓFILO MOREIRA DA COSTA – VARGEM GRANDE, RJ.	22
FIGURA 2.1 - ESQUEMA DE UMA ESTRATIFICAÇÃO PADRÃO DE UM SISTEMA COMPLETO DE COBERTURA VERDE COM SISTEMA DE DRENAGEM PARA LAJES (HTTP://WWW.LID-STORMWATER.NET/IMAGES/GREENROOF1.JPG).....	29
FIGURA 2.2 - TELHADO VERDE EXTENSIVO – MORRO DA BABILÔNIA – LEME (FONTE : REVISTA CREA-RJ, DEZ 2008(PAG.58) – INSTITUTO TIBÁ).	31
FIGURA 2.3 - TELHADO VERDE INTENSIVO (ARBÓREO) – PRAIA DE BOA VIAGEM - NITERÓI (FONTE: LATITUDE VERDE PAISAGISMO E ENGENHARIA LTDA, 2006).	32
FIGURA 2.4 - ESQUEMA GERAL DE EXECUÇÃO DOS TELHADOS VERDES SOBRE ESTRUTURA DE EDIFICAÇÕES (LAJES OU TELHADOS), MOSTRANDO ESTRATIFICAÇÃO BÁSICA PADRÃO DO SISTEMA (FONTE: CORREA C.B.(2007)	33
FIGURA 2.5 - COMPARAÇÃO DO COEFICIENTE DE <i>RUNOFF</i> ENTRE UM TELHADO VERDE COM UMA COBERTURA TRADICIONAL. (FONTE: LAAR 2001).....	40
FIGURA 2.6 - CHUVA ACUMULADA DURANTE 24 HORAS (14,6MM-ABRIL DE 2003), ANALISOU-SE O ESCOAMENTO SUPERFICIAL (<i>RUNOFF</i>) ENTRE UM TELHADO TRADICIONAL E UM TELHADO VERDE, AMBOS COM MESMA INCLINAÇÃO. (FONTE: MENTENS ET AL, 2005)	41
FIGURA 2.7 - A) GRÁFICO REPRESENTATIVO DO EPISÓDIO DE NOTÁVEL CALOR E TOMADO COMO REFERÊNCIA PARA O ESTUDO DO COMPORTAMENTO E DO DESEMPENHO TÉRMICO SISTEMA DE COBERTURA VERDE (CVL), CONSTRUÍDA NO CAMPUS DA USP – SÃO CARLOS (SP).....	42

FIGURA 2.8 - B) DISPOSTAS AS TEMPERATURAS SUPERFICIAIS INTERNAS DE CINCO PROTÓTIPOS: 1. AÇO GALVANIZADO; 2. FIBROCIMENTO ONDULADA; 3. LAJE PREMOLDADA CERÂMICA INCLINADA (SEM TELHAS) E COM IMPERMEABILIZAÇÃO DE COR BRANCA COM RESINA DE ÓLEO VEGETAL (<i>RICINUS COMMUNIS</i>); 4. COBERTURA VERDE LEVE (CVL) E 5. TELHAS DE CERÂMICA. (FONTE: VECCHIA, 2005)	43
FIGURA 3.1 - LOCALIZAÇÃO DA ESCOLA MUNICIPAL PROFESSOR TEÓFILO MOREIRA DA COSTA E DO EXPERIMENTO DO TELHADO VERDE. FONTE: GOOGLE EARTH – ACESSO EM 03/02/09)	45
FIGURA 3.2 - DESENHO DO EXPERIMENTO DO TELHADO VERDE. (FONTE: MARY, 2008)	47
FIGURA 3.3 - DISPOSIÇÃO DA LOCALIZAÇÃO DOS SENSORES DE TEMPERATURA INTERNA E EXTERNA (P = ENCOSTADO PAREDE / A = AFASTADO CERCA DE 10CM DA PAREDE / BS = BULBO SECO / BU = BULBO ÚMIDO)	47
FIGURA 3.4 - DETALHE DE INSTALAÇÃO DOS SENSORES DENTRO DA EDIFICAÇÃO POR PAREDE (1 SENSOR ENCOSTADO PAREDE E 1 AFASTADO DEZ CENTÍMETROS).	48
FIGURA 3.5 - ILUSTRAÇÃO DA TELA DO PROGRAMA MEDTEMP 2.06, ASSOCIADO AO “DATALOGGER” MULTICANAL (24) ONDE SÃO REGISTRADAS AS TEMPERATURAS INTERNA E EXTERNA DOS AMBIENTES MONITORADOS.....	51
FIGURA 3.6 - DETALHES CONSTRUTIVOS DO ESTUFIM UTILIZADO PARA GERMINAÇÃO DAS SEMENTES.	53
FIGURA 3.7 - PREENCHIMENTO COM SUBSTRATO AGRÍCOLA (BIOMIX) NAS CANALETAS DE SEMEADURA E TRANSPORTE DAS MUDAS PARA O TELHADO VERDE E SEMEADURA COM SEMENTES DE RÚCULA.	53
FIGURA 3.8 - RÚCULA COM 15 DIAS APÓS GERMINAÇÃO.	54
FIGURA 3.9 - SISTEMA DE IRRIGAÇÃO POR ASPERSÃO UTILIZADO PARA SIMULAR EFEITOS DA CHUVA NOS TESTES DE CONFORTO TÉRMICO INTERNO E <i>RUNOFF</i> SUPERFICIAL DOS TELHADOS.....	55
FIGURA 3.10 - SISTEMA DE IRRIGAÇÃO POR GRAVIDADE COM MICROTUBOS UTILIZADO PARA IRRIGAR CADA CANALETA DA TELHA DE FIBROCIMENTO, CORRESPONDENTE A LINHA DE PLANTIO DA CULTURA, SOBRE O TELHADO VERDE.	55
FIGURA 3.11 - CAIXAS DE COLETA DA ÁGUA PROVENIENTE DO <i>RUNOFF</i> NOS DOIS TELHADOS – SISTEMAS INDEPENDENTES.	56

FIGURA 3.12 - INSTALAÇÃO DO FILME PLÁSTICO E COLOCAÇÃO DO SUBSTRATO; DETALHE DA CONFECÇÃO DO DRENO	57
FIGURA 3.13 - ENSAIO PRELIMINAR DA UTILIZAÇÃO DO SISTEMA DE PRODUÇÃO DE MUDAS SEMEADA EM CANAL DE PVC PARA POSTERIOR PLANTIO SOBRE A TELHA. ...	58
FIGURA 3.14 - DETALHE DOS TRÊS PSICROMETROS EM SEUS AMBIENTES DE MONITORAMENTO, (A- TEHADO TESTEMUNHA; B - TELHADO VERDE; C - AMBIENTE EXTERNO).....	59
FIGURA 3.15 - DETALHE SEQUENCIAL DO SISTEMA DESENVOLVIDO PARA PLANTIO DA RÚCULA EM CANALETAS (DE DENTRO DO ESTUFIM PARA O TELHADO).	60
FIGURA 4.1 - COMPORTAMENTO DO <i>RUNOFF</i> NO TELHADO TESTEMUNHA E NO TELHADO VERDE DURANTE SIMULAÇÃO DE CHUVA ATRAVÉS DO SISTEMA DE MICROASPERSÃO COM INTENSIDADE DE 8,77 MM/H DURANTE PERÍODO DE 13 MINUTOS DE AVALIAÇÃO.	66
FIGURA 4.2 - COMPORTAMENTO DO <i>RUNOFF</i> NO TELHADO TESTEMUNHA E NO TELHADO VERDE DURANTE SIMULAÇÃO DE CHUVA ATRAVÉS DO SISTEMA DE MICROASPERSÃO COM VAZÃO DE 42 MM/H DURANTE PERÍODO DE 13 MINUTOS DE AVALIAÇÃO.	67
FIGURA 4.3 - DETALHE DA EROSIÃO CAUSADA PELA SIMULAÇÃO DE CHUVA SOBRE O TELHADO VERDE – INTENSIDADE PLUVIOMÉTRICA MÁXIMA DE 42 MM/H.....	69
FIGURA 4.4 - RESULTADOS DO COMPORTAMENTO TÉRMICO EXTERNO DO TELHADO SOB EFEITO DA MICROASPERSÃO EM RELAÇÃO AO RESULTADO DA TESTEMUNHA SEM EFEITO DA ÁGUA ASPERGIDA (RESFRIAMENTO EVAPORATIVO).	70
FIGURA 4.5 - RESULTADOS DO COMPORTAMENTO TÉRMICO INTERNO DO TELHADO SOB EFEITO DA MICROASPERSÃO EM RELAÇÃO AO RESULTADO DA TESTEMUNHA SEM EFEITO DA ÁGUA ASPERGIDA (RESFRIAMENTO EVAPORATIVO).	71
FIGURA 4.6 - VARIAÇÃO DA TEMPERATURA EXTERNA EM FUNÇÃO DA UTILIZAÇÃO DE CAMADA DE SUBSTRATO SOBRE UM TELHADO EM COMPARAÇÃO COM O TESTEMUNHA NO PERÍODO DE 29 A 30/12 (24HORAS).....	72
FIGURA 4.7 - VARIAÇÃO DA TEMPERATURA INTERNO EM FUNÇÃO DA UTILIZAÇÃO DE CAMADA DE SUBSTRATO SOBRE UM TELHADO EM COMPARAÇÃO COM O TESTEMUNHA NO PERÍODO DE 29 A 30/12 (24HORAS).....	73
FIGURA 4.8 - COMPORTAMENTO TÉRMICO DO AMBIENTE EXTERNO AO LONGO DAS 24 HORAS DO DIA 27/02/09, COMPARANDO OS TELHADOS VERDE E TESTEMUNHA EM FUNÇÃO DA TEMPERATURA AMBIENTE REGISTRADA QUE FOI DE 35,9 °C.	74

FIGURA 4.9 - COMPORTAMENTO TÉRMICO DO AMBIENTE INTERNO AO LONGO DAS 24 HORAS DO DIA 27/02/09, COMPARANDO O TELHADO VERDE E TESTEMUNHA EM FUNÇÃO DA TEMPERATURA AMBIENTE REGISTRADA QUE FOI DE 35,9 °C. 75

LISTA DE TABELAS

TABELA 3.1 -RELAÇÃO DE MATERIAL, QUE FOI EMPREGADO NA CONSTRUÇÃO (ADEQUAÇÃO) DA EDIFICAÇÃO PARA RECEBER O EXPERIMENTO.....	61
TABELA 4.1 - TABELA COM RELAÇÃO DE MATERIAL, ONDE OBTIVEMOS UM CUSTO POR METRO QUADRADO IMPLANTADO DA ORDEM DE R\$ 102,59 (CENTO E DOIS REAIS E CINQUENTA E NOVE CENTAVOS)/ m ²	64
TABELA 4.2 - COMPARAÇÃO DA UMIDADE DO SUBSTRATO ANTES DA SIMULAÇÃO DA RETENÇÃO NOS TELHADOS.	65

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AU	Agricultura Urbana
AUP	Agricultura Periurbana
BS	Termômetro de Bulbo Seco
BU	Termômetro de Bulbo Úmido
CRA	Capacidade Máxima de Retenção de Água do Substrato
UA	Umidade da Amostra
UN	Nações Unidas

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	17
1.1 Problemática e Justificativa.....	17
1.2 Objetivos Gerais e Específicos.....	23
1.3 Natureza da metodologia e estrutura da dissertação.....	23
2. AGRICULTURA URBANA (AU) E PLANTIO EM COBERTURAS	25
2.1 Atividades agrícolas em áreas urbanas e periurbanas	25
2.2 Telhados Verdes.....	27
2.3 Funções dos Telhados Verdes	33
3. MATERIAIS E MÉTODOS	44
3.1 Localização do experimento	44
3.2 O desenho do experimento.....	45
3.3 <i>Runoff</i> (escoamento superficial).....	49
3.4 Produção das mudas	52
3.5 Sistema de irrigação e drenagem	54
3.6 Cultivo da rúcula	59
3.7 Relação dos Materiais Usados para Construção do Telhado Verde.....	61
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	62
4.1 Desenvolvimento do Experimento	62
4.2 Espécies Cultivadas.....	63
4.3 Custos detalhados da Implantação do Telhado Verde.....	64
4.4 Retenção das Águas Pluviais	65
4.5 Conforto Térmico	70
4.5.1 Análise preliminar do comportamento térmico da microaspersão sobre o telhado de fibrocimento (resfriamento evaporativo) em comparação com o testemunha.....	70
4.5.2. Análise preliminar do comportamento térmico do telhado somente com o substrato sobre o mesmo em comparação com o telhado testemunha.	72

4.5.3	Análise dos resultados de comportamento térmico do telhado verde (solo-água-plantas) em comparação com a testemunha.	74
5.	CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	76
6.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	82

1. INTRODUÇÃO

1.1 Problemática e Justificativa

Observa-se que o crescimento populacional mundial tem se dado de maneira heterogênea, de forma que na atualidade, metade da população mundial reside nos grandes centros urbanos, UN (2005). Grande parcela desse crescimento se concentra nos países em desenvolvimento. No Brasil, cerca de 80% da população habita em cidades, Ministério das Cidades (2003). Entre outros, tem aumentado a demanda pela água e os serviços de infraestrutura relacionados, associados à própria manutenção da vida e às atividades políticas, sócioeconômicas e ambientais. Assim, a água pode ser vista como um agente promotor de qualidade de vida. No entanto, de forma geral, nos países em desenvolvimento, entre eles o Brasil, observa-se o crescimento da ocupação informal. Nessas áreas verifica-se a concentração das populações economicamente mais desfavorecidas, que sem recursos para arcar com os custos das terras e habitações legalizadas, acabam encontrando nesses locais a solução para o problema da moradia. Esses locais, no entanto, face à grande pressão por ocupação do solo, estão associados a alguma fragilidade do ponto de vista da regulamentação das terras e à baixa ou nenhuma oferta de serviços de infra-estrutura. A cidade do Rio de Janeiro, uma das grandes metrópoles brasileiras, representa bem, em seu espaço urbano, este cenário.

Além da pressão sobre os recursos naturais, essa ocupação desordenada do solo tem aumentado as áreas impermeáveis. O aumento da supressão vegetal e alteração da paisagem natural têm afetado diretamente o ciclo hidrológico, que aliados ao aumento da área impermeável e a falta de tratamento dos efluentes gerados têm vitimado toda a população, mas acabam sendo mais impactadas pela falta de infraestrutura urbana, às populações de baixa renda.

O Projeto HIDROCIDADES, que vem sendo desenvolvido por um conjunto de pesquisadores da Universidade do Estado do Rio de Janeiro, da Universidade Federal do Rio de Janeiro e da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, e que tem suporte financeiro do CNPq, está associado às questões relacionadas à conservação da água em meio periurbano (PIMENTEL DA SILVA et. al., 2008).

A Região da Baixada de Jacarepaguá, zona oeste da Cidade do Rio de Janeiro, foi tomada como objeto de estudo do Projeto HIDROCIDADES que

constitui-se na principal área de expansão da Cidade. Embora tenha havido um planejamento inicial para a sua ocupação, a pressão imobiliária, sem a construção da infraestrutura necessária, acabou levando a um cenário hoje de assentamento de condomínios de padrão médio e alto, nem sempre respeitando a legislação urbanística, verticalização e adensamento, ocupação irregular, que acabou comprometendo as lagoas da região, a qualidade das águas das praias, ao desmatamento e ocupação de áreas de proteção. Esse cenário de degradação ambiental contrasta com áreas remanescentes que retratam a vocação agrícola da região, sobretudo na olericultura para abastecer a cidade do Rio e, do início da alteração da ocupação com a implantação de indústrias, sobretudo laboratórios químicos como WELLA, MERCK, GLAXO, dentre outros.

O problema das ocupações irregulares de terrenos urbanos para moradia da população de baixa renda em Jacarepaguá, se repete. O Projeto HIDROCIDADES tomou como estratégia, entre outros, o monitoramento físico-ambiental de uma bacia hidrográfica representativa e experimental – a bacia do rio Morto. São monitorados níveis d'água e a qualidade das águas fluviais, assim como características climáticas como: alturas pluviométricas, velocidade e direção do vento, radiação, temperatura, umidade relativa e pressão atmosférica. Assim como os níveis d'água, as informações climatológicas são registradas a cada cinco (5) minutos. A Figura 1.1 e Figura 1.2 apresentam, respectivamente, a localização da bacia do rio Morto e a localização dos pontos de monitoramento. A estação climatológica foi posicionada dentro dos limites do Parque Aquático "Rio Water Planet". Ainda está inserida na bacia a Comunidade da Vila Cascatinha, que apoiou a implementação e participa do HIDROCIDADES (Figura 1.1 e Figura 1.3). CERQUEIRA E PIMENTEL DA SILVA (2007), apresentaram a caracterização da Comunidade da Vila Cascatinha. Destacam-se, dentre outras, a vocação agrícola da população local e a queixa da população às recorrentes enchentes que ocorrem no local e no bairro. Isso motivou uma outra linha de investigação do Projeto, que envolve a técnica de telhados verdes. A equipe do Projeto tem ainda interação com a Associação de Moradores de Vargem Grande e com as Escolas locais como parte das ações sócioambientais.

Durante o desenvolvimento do Projeto HIDROCIDADES têm sido organizados vários eventos com moradores do bairro e alunos das escolas. Nessas reuniões e workshops (Figura 1.4) são discutidos os problemas sócioambientais locais, possíveis soluções para os mesmos, assim como resultados parciais das

investigações do Projeto HIDROCIDADES, buscando a participação e envolvimento dos moradores com as questões do Projeto e, do Projeto com os problemas locais, de forma a contribuir para o desenvolvimento sustentável de forma mais efetiva.

Neste contexto, esta dissertação trata de uma das linhas de investigação do Projeto HIDROCIDADES, da utilização da tecnologia dos telhados verdes ou coberturas vivas em habitações de interesse social. Os telhados verdes podem representar uma medida de controle no lote (referência – trabalhos do Professor Nilo da UFMG – Técnicas compensatórias em drenagem urbana) nos estudos de drenagem, uma vez que retém uma parte, retardando o escoamento superficial das águas pluviais (tempo de detenção). Trata-se de uma ferramenta sustentável de drenagem urbana, podendo ser acrescida de outras ferramentas ecoeficientes, como reservatórios de acumulação ou detenção, para utilização da água pluvial para fins não potáveis. O plantio nos telhados pode contribuir ainda para a melhoria do conforto térmico das edificações. Ainda, aumenta ou restitui de alguma forma, a área verde urbana, reduzindo os efeitos de “ilha de calor” (NIACHOU, 2001). Adicionalmente, a possibilidade de produção de hortaliças, plantas ornamentais ou medicinais, com efeito sobre a segurança alimentar e geração de renda e inclusão social (ISLAM, 2004). Ressalta-se que, eventualmente, a implantação do plantio em telhados e lajes pode contribuir para o controle do crescimento vertical das áreas de ocupação informais das cidades e de suas periferias.

Embora ainda pouco conhecida e difundida no Brasil, essa técnica foi aprimorada e estimulada na Europa, onde mostrou sua importante função ecológica, social e econômica do ponto de vista energético, em função do seu comportamento térmico. Outro atrativo é a questão econômica para construção de um telhado verde, onde se equipara ao custo de uma construção com laje e telhas cerâmicas (CUNHA E MEDIONDO, 2004).

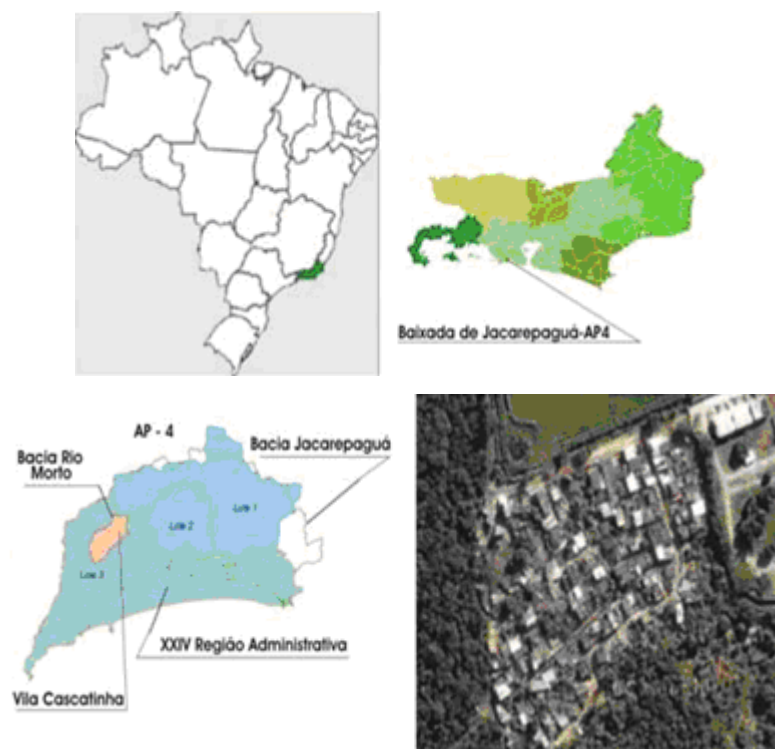


Figura 1.1 - Localização da Área de Estudo: Comunidade da Vila Cascatinha e Bacia Hidrográfica do Rio Morto - Baixada de Jacarepaguá, Rio de Janeiro. Fonte: Rosa (2003) apud Cerqueira et. al., 2008.

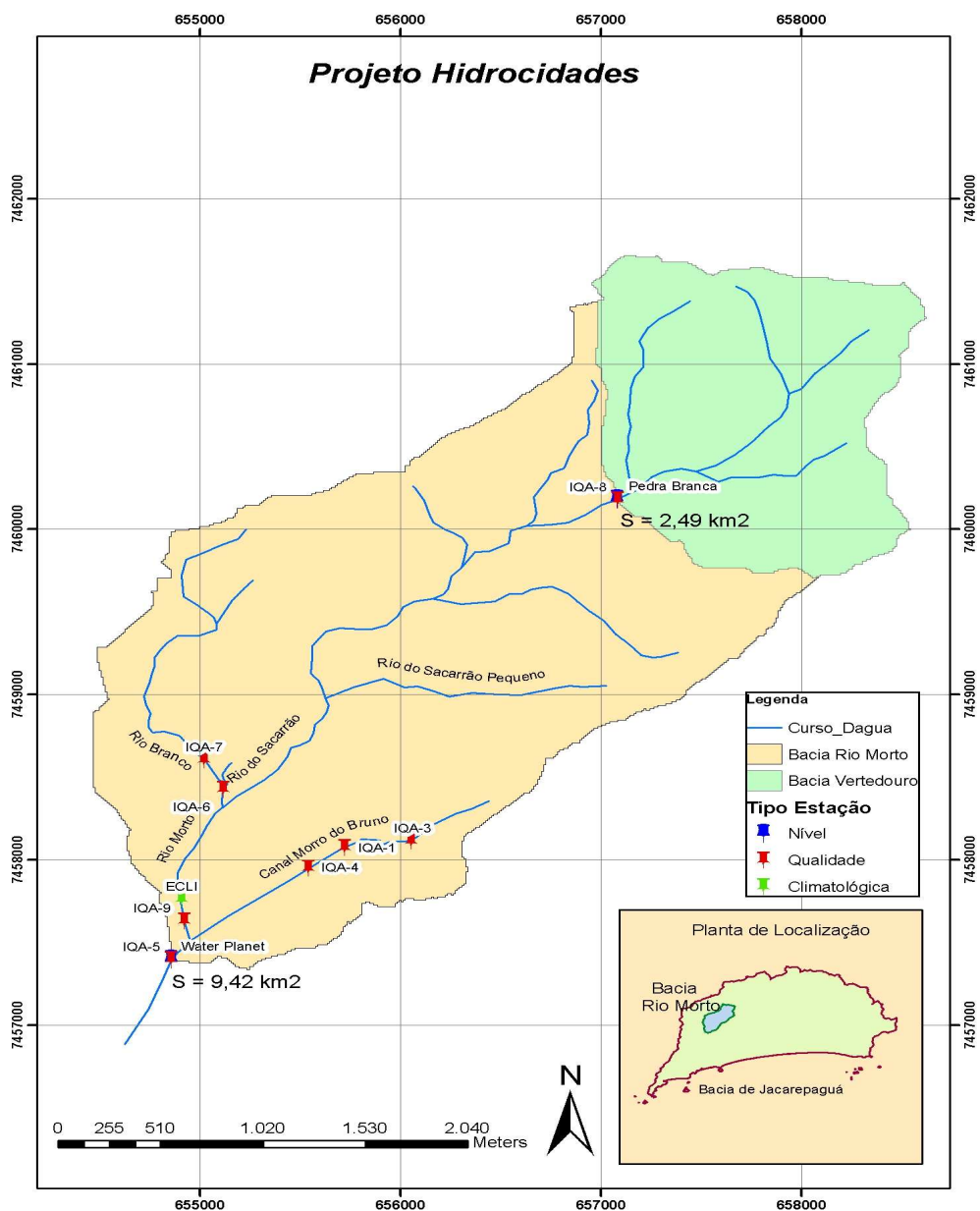


Figura 1.2 – Localização dos Pontos de Monitoramento Físico-Ambiental do Projeto HIDROCIDADES (fonte: PIMENTEL DA SILVA et. al., 2008).



Figura 1.3 – Paisagem da Comunidade da Vila Cascatinha



Figura 1.4 – “Conhecer para Preservar” – Evento de Mobilização do Projeto HIDROCIDADES realizado em junho de 2008 – Escola Professor Teófilo Moreira da Costa – Vargem Grande, RJ.

1.2 Objetivos Gerais e Específicos

Os objetivos gerais da dissertação estão relacionados ao desafio em adaptar a tecnologia convencional para implantação dos telhados verdes com a finalidade de atender tecnicamente a estrutura mais simples de uma edificação popular (telhado de fibrocimento). Adaptar a tecnologia do telhado verde para aplicação em edificações com cobertura de telhas de fibrocimento, utilizando o cultivo de hortaliças ou plantas ornamentais como possibilidade de geração de trabalho e renda.

Como objetivos específicos destacam-se:

- avaliar os impactos da implantação do telhado verde no conforto térmico das habitações;
- avaliar o impacto dos telhados verdes na retenção das águas pluviais;
- avaliar os custos associados à implantação do plantio em telhado de habitações de interesse social.
- avaliar preliminarmente o desempenho de diferentes espécies para o plantio sobre telhado;

1.3 Natureza da metodologia e estrutura da dissertação

A metodologia utilizada nesta dissertação é de natureza experimental. O experimento foi estabelecido em edificação, “tipo habitação popular”, preexistente, com pequenas adaptações, envolvendo o plantio em telhados. A estratégia envolveu a divisão do telhado em duas partes simétricas. Uma permaneceu inalterada como testemunha e na outra foi desenvolvido o plantio. Além da apropriação de todos os materiais utilizados, foram testadas diferentes espécies para cultivo no telhado. O experimento envolveu ainda, através de monitoramento remoto, um estudo sobre conforto ambiental e análise da retenção de águas pluviais. O sistema de irrigação foi usado para simular a precipitação pluvial sobre os telhados. Finalmente, foram inferidos os custos para implantação de telhado verde em habitações de interesse social. O texto é apresentado em cinco capítulos: no capítulo 1 é apresentada a introdução, onde são discutidas a problemática, justificativa da pesquisa, objetivos gerais e específicos, assim como a natureza da metodologia adotada na pesquisa. No capítulo 2 é apresentada a revisão bibliográfica envolvendo aspectos da agricultura urbana como forma de atividade sócioeconômica e plantio em telhados,

representando uma forma de naturalização das bacias hidrográficas para o desenvolvimento sustentável. É apresentada a tecnologia envolvida no plantio dos telhados, assim como suas funções. No capítulo 3, materiais e métodos, é descrita a metodologia adotada na pesquisa e os materiais empregados. Apresenta-se ainda o desenho do experimento desenvolvido. No capítulo 4 são apresentados e discutidos os resultados. Finalmente, no capítulo 5 são apresentadas as conclusões, as contribuições e limitações da pesquisa, assim como sugestões para trabalhos futuros.

2. AGRICULTURA URBANA (AU) E PLANTIO EM COBERTURAS

2.1 Atividades agrícolas em áreas urbanas e periurbanas

A iniciativa de utilização de telhados verdes nas áreas urbanas remete não somente ao esclarecimento da população da necessidade de reversão do processo de impermeabilização das áreas urbanas, mas também pode ser entendida por um processo histórico caracterizado pela migração de famílias oriundas de zonas rurais e que sofreram um processo de erosão de seus saberes e de transformação de seus costumes alimentares, onde inconvenientemente as cidades e os seus sistemas econômicos não conseguem torná-las economicamente ativas, desprovendo das condições apropriadas para satisfação das suas necessidades sócio culturais e de qualidade de vida (BELTRAN, 1995). Desta forma, assim como no Brasil e outros países em desenvolvimento, as raízes do homem com a terra não foram totalmente perdidas e vegetais e animais continuaram a ser produzidos ou criados nas áreas urbanas (UNDP, 1996), conferindo uma modalidade de produção que é a agricultura urbana (AU) e periurbana (AUP).

A AU consiste no cultivo de vegetais e criação de animais domésticos (incluindo a criação de peixes) dentro dos limites (agricultura intraurbana) ou na imediata periferia (agricultura periurbana) de uma cidade, visando principalmente a produção de alimentos para os seus habitantes. É uma prática difundida mundialmente, tanto nas grandes metrópoles quanto nas cidades menores, e que tem sido apoiada por diversos governos e agências internacionais (MACHADO & MACHADO, 2004).

O COAG/FAO¹ (1999) define a AU como regiões que se encontram dentro de uma cidade e destinadas à produção de cultivos e criação de pequenos animais para consumo próprio ou para a venda em mercados.

A AUP contemporânea vem ganhando destaque no cenário mundial e nacional, reafirmando-se como um fator permanente nos processos de resgate da cidadania e da sustentabilidade do ecossistema urbano (ARRUDA, 2006).

De acordo com MADALENO (2002), a AUP não é um fenômeno novo nas cidades, e atualmente é cada vez mais considerada como parte integral da gestão

¹ Comité on Agriculture/ Food and Agriculture Organization of the United Nations

urbana, sendo uma ferramenta para a diminuição da pobreza, por meio da geração de renda e empregos. E também uma forma de trabalhar com o manejo ambiental. Neste sentido, a AUP no Brasil passa a integrar o rol de opções de políticas públicas que buscam o resgate da cidadania e da sustentabilidade urbana.

A AUP é citada no PROJETO FOME ZERO (2001), uma vez que a conexão entre o abastecimento e a produção agroalimentar local é relacionada aos programas de abastecimento e programas voltados à promoção e apoio às hortas comunitárias, produzindo alimentos frescos de qualidade, gerando emprego e renda.

Apesar das vantagens da AUP, deve-se atentar para a prevenção de outros problemas potenciais decorrentes de sua prática que incluem a combinação de informação, orientação, monitoramento, fiscalização e regulamentação, baseadas em estruturas legais, administrativas e em cooperação com os produtores urbanos. Portanto, para que as importantes metas de fornecimento de alimentos saudáveis e a baixo custo sejam alcançados pela agricultura urbana, os sistemas de produção devem ser tais que não promovam ou agravem os problemas de contaminação, tanto do ambiente quanto dos próprios alimentos, constituindo, primordialmente, métodos bem adaptados às condições locais (MACHADO & MACHADO, 2004).

Em função da aplicação de AUP e suas variadas modalidades de cultivo e do conceito de “naturação”, atualmente podem-se observar iniciativas em nível mundial de produção de alimentos em áreas até então inimagináveis de cultivo, como é o caso de “Telhados Verdes”, em Dhaka, cidade de Bangladesh, onde mais de 60 variedades de frutas e vegetais foram identificadas com potencial de cultivo (ISLAM, 2004).

A idéia de se cultivar hortaliças em telhados, não é nova: “O cultivo de horta em telhados pode ser um método efetivo para garantir o suprimento de comida e satisfazer as necessidades nutricionais dos moradores” (Helen Keller International and Institute of Public Health Nutricion, 1985, in ISLAM, 2004). A utilização de espécies vegetais em cobertura de edificações e revestimento de paredes não é uma tecnologia contemporânea e nem mesmo inovadora. Registros históricos relatam que diferentes povos se utilizaram de diversas espécies vegetais para melhorar as condições adversas da natureza em suas moradias, obtendo conforto, bem estar e proteção de suas edificações (OSMUNDSON, 1999).

2.2 Telhados Verdes

Telhados verdes vivos, telhados verdes, telhados vivos, coberturas verdes, coberturas vivas, coberturas vegetais, biotelhas, ecotelhas e outras expressões podem ser encontradas na literatura para explicar o uso de vegetação plantada sobre coberturas. Plantio de vegetais sobre certa espessura de “solum” ou substrato capazes de funcionar como suporte dos mesmos, e estes diretamente sobre telhados, lajes ou estruturas de cobertura com impermeabilização e drenagem adequadas, mas sempre se observando se a carga prevista será suportada pela estrutura disponibilizada (VECCHIA 2005).

Os telhados verdes são compostos por várias camadas, conforme sua estrutura e necessidade. Para tanto procurou-se apresentar cada qual, com uma função específica. São elas:

1) Sobrelaje: deve-se buscar o confinamento da área a ser trabalhada, construção de platibandas mais altas e previsão de instalação de tubos de dreno.

- Laje: Elemento estrutural onde devem ser consideradas as cargas permanentes e as cargas acidentais; também pode ser utilizado um outro suporte estrutural.
- Camada de impermeabilização: para impedir a infiltração de água na laje, utilizando-se filme plástico, mistura de água cimento e látex ou sika, manta asfáltica e outros produtos comerciais, além de produtos químicos ante raiz.
- Camada de isolamento térmico: embora alguns trabalhos levem em consideração o uso desta, a própria composição do telhado verde completa, pode funcionar eficientemente para o conforto térmico das construções.
- Camada de proteção mecânica: para impedir danos na impermeabilização, onde utilizamos argamassa simples (areia + cimento) de traço 6 para 1.
- Camada de drenagem: responsável pela regulagem da retenção de água e da drenagem rápida e eficiente do excesso desta, onde podemos utilizar diversos materiais de densidades variáveis de acordo com o projeto.
- Camada de filtragem (facultativo): impede a passagem dos substratos, para a camada de drenagem, o que prejudicaria o sistema de drenagem e

a circulação do ar. Utilizamos normalmente uma manta geotêxtil comercial e até mesmo areia de diversas granulometrias.

- Camada de substrato: camada onde se encontram os nutrientes que dão suporte à vegetação, retendo e absorvendo água. O tipo de substrato, bem como a altura do mesmo, irá variar conforme a vegetação escolhida e o tipo de telhado. Em se tratando de telhados extensivos, normalmente a altura do substrato será de 5 a 15 cm e acima deste valor são telhados intensivos.
- Camada de vegetação: consiste na cobertura vegetal propriamente dita e que vai depender do tipo de telhado verde proposto, em função da altura do solo e substrato disponível, calculado pelo projetista. Nos telhados extensivos as espécies que podem ser utilizadas apresentam maior resistência ao estresse hídrico e menor taxa de crescimento vegetativo demandando baixa manutenção.

2) Sobre Telhados: deve-se estar atento, à inclinação do telhado e sua estrutura, para avaliar a capacidade de carga extra. Podemos optar por sistemas modulares.

- Camada de impermeabilização: para impedir a infiltração de água na telha, utiliza-se filme plástico, aditivado com proteção contra raios UV.
- Camada de substrato: camada onde se encontram os nutrientes que dão suporte à vegetação, retendo e absorvendo água. O tipo de substrato, bem como a altura do mesmo, irá variar conforme a vegetação escolhida e o tipo de telhado. Em se tratando de telhados extensivos, normalmente a altura do substrato será de 5 a 10 cm e acima dessa espessura aumenta o risco de erosão do solo e substrato.
- Camada de vegetação: consiste na cobertura vegetal propriamente dita; as espécies que podem ser utilizadas devem apresentar grande resistência ao estresse hídrico e baixa taxa de crescimento vegetativo, não necessitando de maiores cuidados com manutenção.



Figura 2.1 - Esquema de uma estratificação padrão de um sistema completo de cobertura verde com sistema de drenagem para lajes (<http://www.lid-stormwater.net/images/greenroof1.jpg>).

Os telhados verdes podem ser definidos ainda como acessíveis e inacessíveis, sendo o primeiro uma área aberta ao uso de pessoas, como um jardim suspenso ou um terraço, proporcionando benefícios sociais aos seus usuários e agregando valor comercial ao edifício e os inacessíveis, que não permitem a circulação de pessoas, podendo ser planos, curvos e com inclinações. A frequência da manutenção, irrigação, fertilização e poda de raízes dependerá das espécies escolhidas no projeto e os objetivos do mesmo, segundo concluiu Araujo (2007).

Estudos em telhados verdes extensivos², também conhecidos como Coberturas Verdes Leves (CVL's), identificaram espécies de plantas que resistiram bem em clima tropical, como *Portulaca grandiflora* (Onze-horas) (se é nome científico deve ser em itálico), *Tradescantia pallida* (Coração roxo), *Asparagus*

² telhados verdes extensivos são os que não necessitam de manutenção ou necessitam de pouquíssima manutenção, pois as plantas que dele fazem parte, são eficientes no uso da água e em função disto possuem um crescimento vegetativo menor.

densiflorus (Aspargo rabo de gato), *Senico confusos* (Margaridão) apresentaram melhores condições de adequação, segundo Laar (2001), podendo também ser em cultivadas dezenas de espécies como: Cebolinha, Louro, Jasmim amarelo, Magnolia, Azaleia, Amor-perfeito, Begônia entre outras. Por outro lado, a empresa Ecotelhados também utiliza plantas em telhados extensivos como Onze horas, musgos e crassuláceas em geral, nos seus trabalhos pelo Brasil, obtendo boas referências de seus clientes, desenvolvendo inclusive um sistema patenteado de implantação em módulos prontos, que reduz em muito o tempo de preparo e instalação de um sistema de telhados verdes e de tão prática podem ser executados cerca de 200 metros quadrados de cobertura verde por dia.

Em reportagem da revista CREA-RJ publicada em dezembro de 2008, na seção de meio ambiente, comenta o sucesso de implantação de um telhado verde numa comunidade carente no alto de um morro de uma favela carioca, cujos moradores sofriam com a falta d'água. O projeto do telhado verde teve como função recolher e armazenar água da chuva (reservatórios de detenção ou acumulação), para ser utilizada na creche (para fins não potáveis). Foi patrocinado pelo Massachusetts Institute of Technology (MIT), sendo o principal objetivo acabar com os problemas de abastecimento de água, tendo como executores os técnicos do Instituto Tibá – RJ. Ressalta ainda, que além dos inúmeros benefícios ambientais possui um benefício do bem estar (psicológico e estético).

Os reservatórios de detenção ou acumulação são obrigatórios para empreendimentos novos, públicos ou privados que tenham área impermeabilizada (piso) ou área de telhado maior que 500 m², onde a Resolução Conjunta SMG/SMO/SMU nº 1 de 27 de janeiro 2005, disciplina os procedimentos do Decreto nº 23940 de janeiro de 2004, para posterior descarga na rede de drenagem (piso), bem como para uso (telhados), para fins não potáveis.

Segundo Tucci (1995), o objetivo dos reservatórios de detenção é minimizar o impacto hidrológico da redução da capacidade de armazenamento natural da bacia hidrográfica, e podem ser denominadas de controle a jusante (*downstream control*).



Figura 2.2 - Telhado Verde Extensivo – Morro da Babilônia – Leme (fonte : Revista CREA-RJ, dez 2008(pag.58) – Instituto Tibá).



Figura 2.3 - Telhado Verde Intensivo (Arbóreo) – Praia de Boa Viagem - Niterói
(Fonte: Latitude Verde Paisagismo e Engenharia Ltda, 2006).

A boa implantação de um telhado verde depende do domínio técnico de seu executor, pois vários cuidados precisam ser tomados e elementos constituintes precisam ser calculados como sobrecarga na estrutura, bem como etapas de impermeabilização da cobertura que será a base do telhado. Outras informações são de suma importância como a ventilação do ambiente que será tratado e o nível de insolação e sua posição em relação ao movimento do sol sobre a edificação.

Os telhados verdes agregam em sua composição no mínimo duas camadas distintas de elementos minerais e orgânicos: solo ou substrato e vegetação. De acordo com a espessura do substrato e do tipo da camada de vegetação, são classificados como telhados verdes extensivos ou intensivos, segundo Laar (2001):

- Telhados intensivos caracterizam-se pela espessura ser maior que 20 cm de solo ou substrato. Tal espessura requer o uso de plantas que demandam maior consumo de água, adubo e manutenção em geral. As espécies mais comumente utilizadas são muitas vezes gramíneas, floríferas e pequenos arbustos (plantas de mecanismo fotossintético C3 ou

C4), neste caso não existe fator limitante, a não ser o porte da planta que deve ser compatível com altura de solo e substrato disponível.

- Telhados extensivos caracterizam-se por utilizarem plantas resistentes á seca e pela espessura de solo menor que 20 cm. Apresentam alta resistência às variações pluviais, tornando praticamente desnecessária a sua manutenção com o plantio de crassuláceas (cactáceas, bromeliáceas e outras suculentas) eficientes no uso da água e por isso baixa taxa de crescimento vegetativo (plantas com mecanismo fotossintético CAM). O uso de camadas mais estreitas e leves de substratos minimizam os custos com a estrutura.

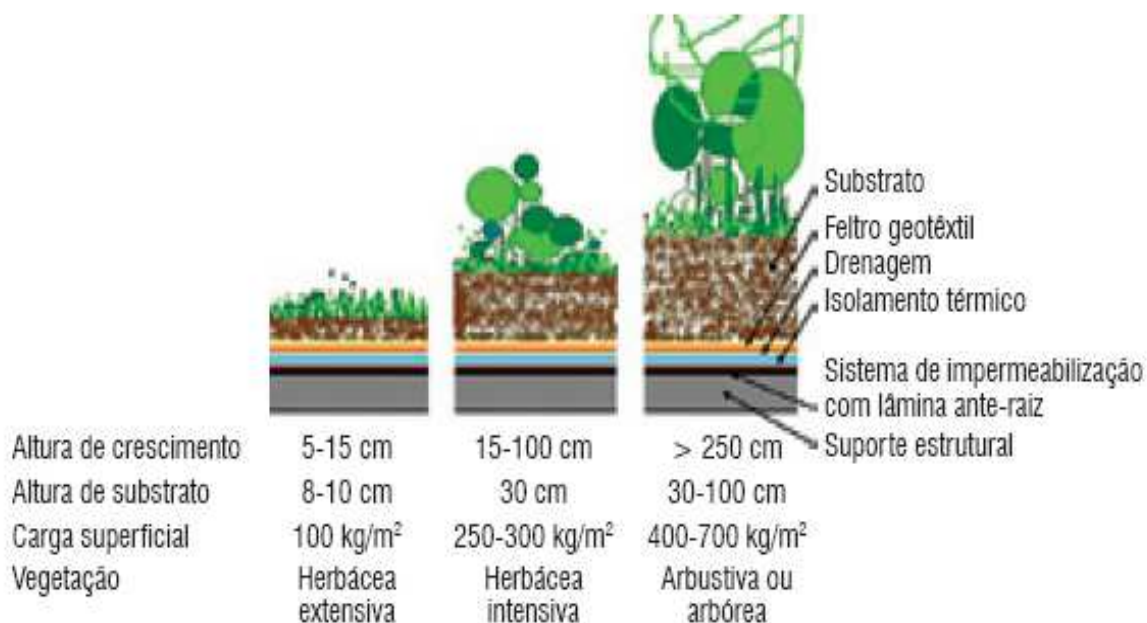


Figura 2.4 - Esquema geral de execução dos telhados verdes sobre estrutura de edificações (lajes ou telhados), mostrando estratificação básica padrão do sistema
fonte: Correa (2007)

2.3 Funções dos Telhados Verdes

O planejamento urbanístico sustentável de uma cidade pode ser beneficiado quando da utilização, pelos profissionais habilitados, da bioarquitetura - uma série de soluções pautadas na economia de energia, racionalidade do consumo, redução das emissões de poluentes e na manutenção do ciclo hidrológico local. Dentre várias

alternativas, a tecnologia dos “Telhados Verdes” é excelente, pois influi na retenção das águas pluviais, na insolação, no clima urbano, na biodiversidade e diminui a poluição do ar, conforme observado por Brenneisen (2004), na cidade de Basel, Suíça.

Em países como Alemanha, Áustria e Noruega, o conceito de telhado verde já é amplamente difundido, havendo, inclusive, empresas especializadas no assunto, sobretudo, devido ao antigo interesse desses países em combater a degradação ambiental e a rápida devastação dos espaços verdes em áreas de desenvolvimento urbano acelerado (ARAÚJO, 2007).

Em 1300 a.C na Mesopotâmia - clima essencialmente desértico com invernos suaves a frios e verões quentes, secos e sem nuvens - região correspondente ao Iraque e Kuwait, os sumérios, babilônicos e os assírios utilizaram-se de diferentes gramíneas, crucíferas, leguminosas e outras espécies vegetais para revestimento dos muitos terraços de seus templos religiosos, os chamados Zigurates ou pirâmides com degraus e rampas laterais em forma de torre (OSMUNDSON, 1999). Na Europa e na Índia, durante o Império Romano e Renascença e nos séculos XVI, XVII e XVIII respectivamente, foi comum o uso de trepadeiras e árvores em coberturas de varandas e mausoléus na Itália, França e Espanha. Na Escandinávia, os Vikings usavam nas paredes e coberturas de suas casas, camadas de grama para se protegerem das chuvas e ventos (OSMUNDSON, 1999).

Atualmente na Alemanha existem dez milhões de metros quadrados de telhados verdes, segundo informações de Peck (2002). Trata-se do resultado proveniente da pesquisa de desenvolvimento de tecnologia que selecionou espécies vegetais e diferentes tipos de substratos e ainda estímulos provenientes de leis municipais, estaduais e federais, através de subsídios governamentais (40 marcos/m²) para financiar e incentivar a construção de novos telhados verdes. Na Áustria, segundo Johnston (1996), o subsídio divide-se em três fases, sendo na preimplantação, na implantação e após três anos, a fim de garantir a manutenção do sistema e garantir seu pleno funcionamento, pois o maior interesse destes governos está no benefício qualitativo e quantitativo do gerenciamento das águas pluviais urbanas.

Segundo Correa & Gonzalez (2002), recuperar o meio consiste em reabilitar edifícios e espaços para as novas funções urbanas e ambientais. De acordo com Rivero (1998), a vegetação é um elemento rico em possibilidades, capaz de

promover a harmonia dos recursos, como a forma e a orientação dos edifícios, além das características de serem elementos arquitetônicos fixos ou móveis, que tem como finalidade principal o controle da radiação solar, procurando minimizá-la no verão e otimizá-la no inverno.

A vegetação contribui de forma significativa para a reabilitação do meso-clima urbano, pelo processo de fotossíntese que auxilia na umidificação do ar; o resfriamento evaporativo diminui a temperatura e aumenta a umidade do ar em dias quentes de verão, concluem Romero (2000) e Akbari (apud ARAÚJO, 2007). A vegetação contribui para estabilizar o meso-clima ao seu entorno, reduzindo a amplitude térmica, absorvendo energia e favorecendo a manutenção do ciclo de carbono que é essencial para a oxigenação do ar atmosférico (DIMOUDI & NIKOLOPOULOU, 2003).

Segundo Castanheira (2008), podemos definir, as variáveis de conforto térmico como a temperatura do ar, a temperatura média radiante, a umidade relativa, a velocidade do ar, a vestimenta e o metabolismo. Os índices de conforto térmico são parâmetros que tentam englobar todas essas variáveis em um só número, permitindo caracterizar, de forma rápida, uma situação de conforto ou desconforto térmico.

De acordo com Givoni (1976), as coberturas são os elementos que mais sofrem com as amplitudes térmicas devido a sua grande exposição aos efeitos climáticos. O impacto da radiação solar em dias de verão, as perdas de calor durante a noite e as chuvas afetam as coberturas mais do que qualquer outra parte da edificação, por isso sofrem grandes impactos de variações de temperaturas.

Segundo Velazquez (apud ARAÚJO, 2007), o desempenho térmico de uma cobertura com telhado verde em comparação com uma tradicional pode ser analisado através das medições do fluxo de energia nos dois sistemas de cobertura, considerando a temperatura do ar, temperatura de superfície do telhado, velocidade e sentido do vento e a umidade relativa do ar.

Atualmente o índice mais utilizado é o proposto por *Fanger* na Dinamarca em 1979. Denominado de *Voto Médio Predito* (*predicted mean vote – PMV*), utiliza uma complexa equação empírica para estimar as sensações de conforto, combinando as variáveis de conforto térmico. O PMV é um valor numérico que representa as respostas subjetivas para a sensação de desconforto, seja por frio, ou por calor. Para a situação de conforto, o valor do PMV é zero, para a sensações de

desconforto por frio é negativo e para as sensações de desconforto provocadas por calor é positivo (CASTANHEIRA, 2008). Conclui também, que os limites da zona de conforto são baseados nas temperaturas internas de edificações sem condicionamento artificial. Estes limites foram baseados em pesquisas conduzidas nos Estados Unidos, Europa e Israel por Givoni. É importante ressaltar que os limites superiores de temperatura e umidade aceitáveis são mais altos para pessoas vivendo em países em desenvolvimento e aclimatadas às condições quentes e úmidas. Assume-se que pessoas de países quentes em desenvolvimento, vivendo em edifícios não condicionados, estão mais aclimatadas e toleram temperaturas e/ou umidades mais elevadas. As zonas de conforto podem ser definidas como:

- temperatura limite inferior para o inverno de 18°C ;
- limite superior para o verão igual a 29°C.

Este limite só pode ser alcançado por ventilação natural durante o dia, vestimenta leve, com velocidade do ar interna de 2 m/s (leve brisa) e com um nível de atividade física considerado leve.

Em centros urbanos as superfícies verdes nas coberturas são de estimável benefício para o conforto ambiental e térmico dos usuários dessas edificações, além da economia de energia para climatização de ambientes internos e da redução do efeito urbano denominado “ilhas de calor”, causado devido ao crescimento urbano desordenado e sem comprometimento com o meio ambiente. Portanto, essas áreas verdes estão se tornando cada vez mais escassas, contudo, a composição de vegetação nas superfícies dos telhados urbanos tem sido uma opção eficiente na manutenção e no aumento das áreas verdes (NIACHOU, 2001).

Nas cidades, as coberturas verdes funcionam como um filtro contra a poluição e na manutenção da umidade relativa do ar, não tendo somente um caráter estético e ornamental (GOMEZ, 1998). No projeto urbanístico das cidades deve-se levar em consideração, não ser apenas uma edificação segura, adequada ao uso, confortável, durável e principalmente econômica, como também as contribuições hídricas para a bacia hidrográfica, tendo o urbanista a responsabilidade de adequar a sua cidade dentro da bacia de modo a evitar possíveis problemas em relação à drenagem natural do terreno, adequando às vias rodoviárias e as áreas residenciais, às linhas naturais de drenagem da bacia hidrográfica.

O ambiente oferece condições que permitem avaliar o nível de conforto, sendo condições isotérmicas, eletrodinâmicas e acústicas, da pureza do ar e do

conforto visual. As trocas térmicas são fatores que dependem dos materiais usados para acabamentos e vedações do ambiente interior e exterior, e o telhado verde tem um ótimo desempenho em relação ao conforto ambiental proporcionado em relação a outros materiais utilizados para a execução de coberturas tradicionais (GOMEZ, 1998).

Atualmente constata-se nas lojas de matérias de construção uma maior procura por materiais do tipo isolantes térmicos, tanto em regiões de clima quente, quanto em regiões de clima frio e isso se deve a uma exigência de mercado atual que é o conforto térmico, o que em consequência vem aumentar a demanda de energia nas grandes cidades, tanto para usuários residenciais, como comerciais e industriais. O projeto de desempenho térmico de edifícios urbanos depende da exigência térmica interna requerida, das condições climáticas externas e dos materiais de construção utilizados nas vedações do meio interno para o meio externo. Os raios emitidos pelo sol exercem grande influência nas estruturas dos edifícios, principalmente aqueles que não possuem uma proteção térmica adequada à região, sendo os telhados responsáveis pela maior área de incidência de raios solares nos edifícios e conseqüentemente o maior contribuinte para o fluxo de calor transferido ao ambiente interno. As variações que os telhados sofrem no decorrer do dia são de altas temperaturas, devido à insolação direta e, à noite em virtude do rápido resfriamento ocasionado pelas trocas de radiação de onda longa com a atmosfera (RIVERO, 1998).

O Rio de Janeiro possui, na maior parte do ano, regiões onde existe uma intensa insolação, sendo assim, os telhados, que sofrem as maiores variações térmicas diárias e anuais, deveriam ser o elemento com maior proteção térmica. Neste sentido, uma opção considerável, é a adequação da cobertura dos edifícios. A vegetação aplicada à cobertura pode protegê-la da radiação solar direta, assim como resfriá-la, por intermédio do efeito de refrigeração evaporativa (ARAUJO, 2007).

Segundo vários pesquisadores, as coberturas verdes têm comprovado eficiência nas questões relacionadas à resistência mecânica de impermeabilizantes e estruturas de proteção, segurança contra incêndios, isolamento acústico, proteção térmica e economia de energia, em relação a outros tipos de materiais utilizados em coberturas residenciais, industriais e comerciais, também contribuindo para o desenvolvimento racional e sustentável, utilizando práticas ecologicamente eficientes

e de preservação do meio ambiente, e em consequência melhorando a qualidade de vida em ambientes urbanos.

Quando a vegetação é utilizada estrategicamente em coberturas, é uma contrapartida natural (naturação) considerada como um complemento ecológico aos espaços verdes das selvas de concreto das cidades, além de contribuir para o benefício térmico interno da construção, tendo capacidade de alterar o seu entorno. Do ponto de vista térmico, os benefícios são inquestionáveis e ainda ajudam na manutenção de microclimas e mesoclimas (WONG, 2003).

Outra forma de intervenção verde, segundo Rola & Ugalde (2007) é a “naturação”, uma tecnologia de aplicação de vegetação sobre superfícies construídas que busca amenizar os impactos do desenvolvimento urbano, através da integração entre espaço urbano, cidadão e natureza. A proposta tecnológica da naturação é a difusão do conceito de utilização da vegetação em telhados verdes aplicados em superfícies de telhados, lajes, como também nas fachadas das construções e os muros verdes. A metodologia preconiza o aumento e ampliação de áreas verdes em áreas edificadas. As vantagens de sua aplicabilidade citadas pelos mesmos autores são as seguintes:

- Atuação positiva no clima de uma determinada localidade, propiciada pela retenção de poeira e substâncias contaminantes em suspensão;
- Aumento da área verde útil;
- Influência sobre o ambiente interior;
- Esfriamento dos espaços abaixo da coberta, no verão, provocado pela evapotranspiração das plantas, eventual economia de energia nos países tropicais;
- Diminuição das perdas de calor no inverno o que pressupõe economia de energia nos países mais frios;
- Aumento do isolamento térmico;
- Absorção do ruído;
- Prolongamento do tempo da cobertura em relação às coberturas somente impermeabilizadas;
- Melhora do grau de umidade do ar;
- Redução da carga de água que suportam as canalizações urbanas;
- Redução do efeito da ilha de calor.

Os telhados verdes possuem características positivas no que diz respeito ao conforto e bem estar dos seus usuários, pois a cor verde atua de forma positiva no organismo humano, passando sensações de espaço, liberdade, harmonia e equilíbrio. Várias pesquisas em ambiência demonstram os resultados positivos ao se utilizarem coberturas verdes, refletindo no estado psicoemocional dos seus usuários. Proporciona também atividade terapêutica, como a jardinagem em si, envolvida na manutenção dos telhados verdes e a sensação de bem estar por amenizar o ambiente urbano com a utilização de vegetação (LAAR, 2001).

Nos países escandinavos, e em especial na Alemanha, vários projetos residenciais, comerciais e até industriais de arquitetura que compõem coberturas verdes, vêm obtendo sucesso e grande aceitação pelos usuários, favorecendo esteticamente o projeto final da edificação, até por se tratar de uma técnica de tradição nestes países (PECK, 2002). Conclui também, que os interessados recebem incentivos fiscais por adotar a cobertura verde em sua residência, obtendo créditos por área verde (m²). Se as cidades possuírem metade de seus imóveis com as coberturas verdes, a sensação térmica irá melhorar em até cinquenta por cento, com a diminuição da temperatura e o aumento da umidade relativa do ar.

No caso do Brasil, um país de clima tropical, em especial o Rio de Janeiro, onde se verificam temperaturas médias altas, as coberturas verdes podem ser exploradas de maneira bastante positiva. Os projetos de arquitetura cada vez mais enfatizam o paisagismo das edificações sendo os telhados são ainda poucos explorados. Em geral ficam como elemento a ser trabalhado no projeto final, conclui Araujo (2007).

De acordo com Givoni (1976), o aspecto estético do telhado verde talvez seja uma das questões mais compensadoras contribuindo para a arquitetura. Paisagistas acrescentam que as plantas emolduram e realçam um projeto arquitetônico, tornando-o mais receptivo tanto para o futuro morador quanto para os vizinhos, concorrendo para um equilíbrio estético local e o conforto visual dos moradores. Ainda, como já mencionado anteriormente, têm também relação o aspecto psicológico, tendo em vista que áreas verdes tendem a trazer um certo equilíbrio emocional, gerando assim indivíduos mais tranquilos na sociedade. Vários psicólogos recomendam a jardinagem como atividade para terapias, tendo a certeza

que o cultivo de plantas bem como trabalhar a sua manutenção, para a saúde das mesmas, fazem bem ao ser humano.

A jardinagem praticada para a manutenção dos telhados verdes também é uma atividade que representa o lazer dos seus usuários podendo cultivar espécies florísticas e até medicinais, podendo também essas espécies serem para fins culinários, como temperos, por exemplo. A possibilidade, inovadora, aqui apresentada, de agregar valor a essas espécies, é uma proposta bastante interessante, podendo o cultivo tornar-se lucrativo. Ressalta-se, no entanto, que nesse caso, será necessária mais atenção por parte do responsável pelo plantio, para garantir a integridade das plantas ali cultivadas, para a segurança alimentar, e a comercialização das mesmas (GOMEZ, 1998).

Segundo Menciondo e Cunha (2004), um telhado verde leve (cobertura verde leve - CVL) com cerca de 15cm de espessura de solo é capaz de retardar o *runoff* proveniente de uma precipitação pluvial em cerca de 14mm, no momento de pico, isto significa, redução do volume inicial de escoamento. Os autores também concluíram que os custos tradicionais do telhado de barro sobre laje comparado ao do telhado verde é cerca de 10% maior.

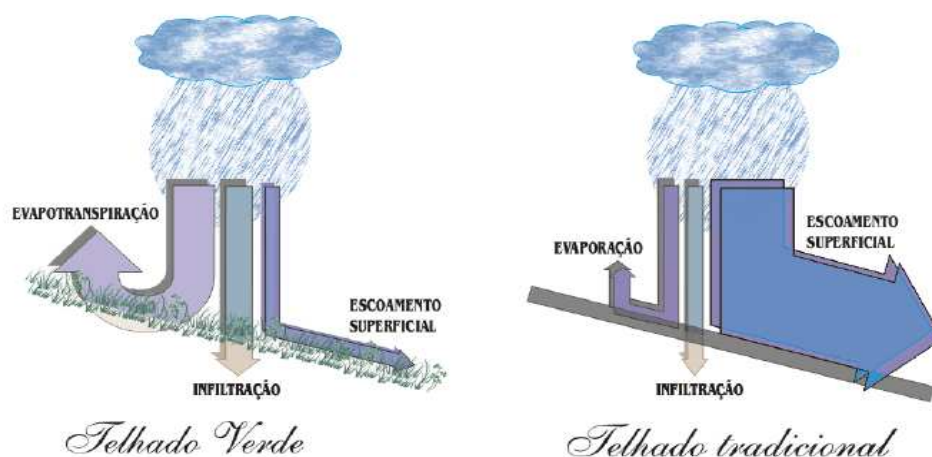


Figura 2.5 - Comparação do coeficiente de *runoff* entre um telhado verde com uma cobertura tradicional. (fonte: LAAR 2001).

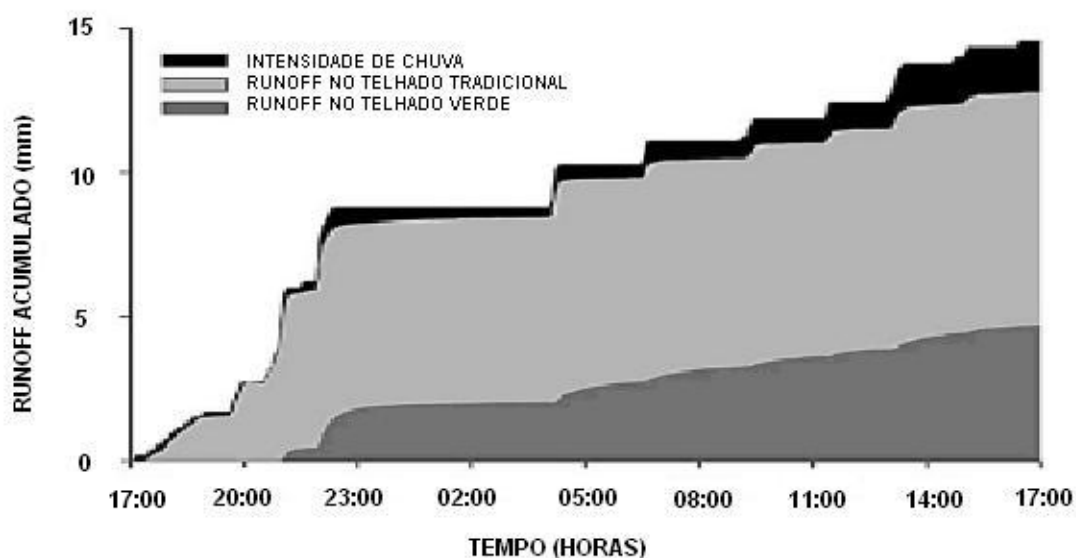


Figura 2.6 - Chuva acumulada durante 24 horas (14,6mm-Abril de 2003), analisou-se o escoamento superficial (*runoff*) entre um telhado tradicional e um telhado verde, ambos com mesma inclinação. (fonte: MENTENS et al, 2005)

Como de conhecimento de técnicos e cientistas, a altura do solo ou substrato tem relação direta com a capacidade de retenção de água sobre o mesmo, reduzindo o escoamento. Porém Uhl e Schiedt (2008) concluíram em experimento realizado durante dois anos (Muenster University of Applied Sciences - Alemanha), em construções de grande escala e em condições reais de clima, que baixos coeficientes de escoamento superficial eram verificados no verão, em relação aos resultados dos meses frios que registravam índices mais elevados. A evapotranspiração influencia a capacidade de retenção dos solos nos períodos mais quentes do ano, promovendo uma redução mais acentuada da umidade do solo, aumentando a capacidade de retenção de água e reduzindo, conseqüentemente o coeficiente de escoamento superficial.

Segundo Palla et al. (2008), a influência da cobertura de vegetação nos telhados reduz significativamente o pico de escoamento responsável pelas enchentes em áreas urbanas, bem como um efeito de retardo no escoamento superficial. Em seus estudos de modelagem, o mesmo autor determinou que na hora do pico da enchente, o telhado verde contribuiu com um tempo de defasagem (efeito de detenção) entre 7 e 15 minutos após o pico de enxurrada, para diferentes tratamentos, com modelagens de conversão de cenários de 10%, 20% e 100% das

áreas impermeáveis dos telhados. O mesmo autor pode verificar a ação da evapotranspiração das culturas na redução da umidade do solo entre eventos de precipitação, fazendo com que em dias mais quentes, o solo seja capaz de reter maior quantidade de água, em função do seu ressecamento mais rápido (evapotranspiração).

O benefício do conforto térmico realizado pela camada isolante promovida pelo telhado verde foi comprovada por Onmura (2000), que registrou diferença de 30 °C na temperatura na superfície interna de uma laje nua comparada com telhado verde, quando exposta a uma temperatura ambiente de 38°C durante o verão no Japão.

Os efeitos térmicos da água no substrato (solo) e na planta, para redução da temperatura nos ambientes, podem ser explicados, segundo Ottoni (1996), pelo seu calor específico, fazendo com que possa absorver ou liberar muito mais calor que qualquer outro material, com menor mudança de sua temperatura, caracterizado pelo processo de homeostasia da água.

O mesmo efeito de redução da temperatura interna foi comprovado por Vecchia (2005), utilizando uma cobertura com característica leve como telhado verde, registrando diferenças de até 8,0°C em relação à temperatura ambiente (34°C), como pode ser verificado na Figura 2.7 e Figura 2.8, sendo que a amplitude térmica média foi de 9,2°C e no ambiente externo 21,4°C.

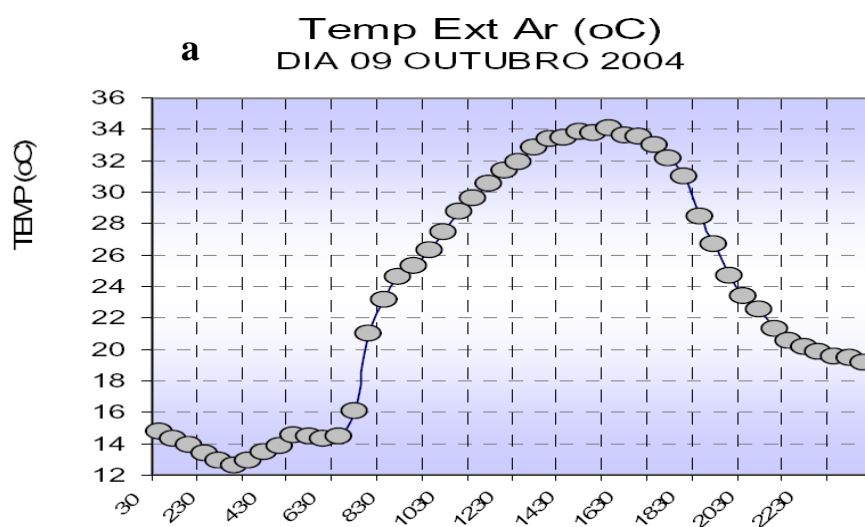


Figura 2.7 - a) Gráfico representativo do episódio de notável calor e tomado como referência para o estudo do comportamento e do desempenho térmico sistema de cobertura verde (CVL), construída no Campus da USP – São Carlos (SP)

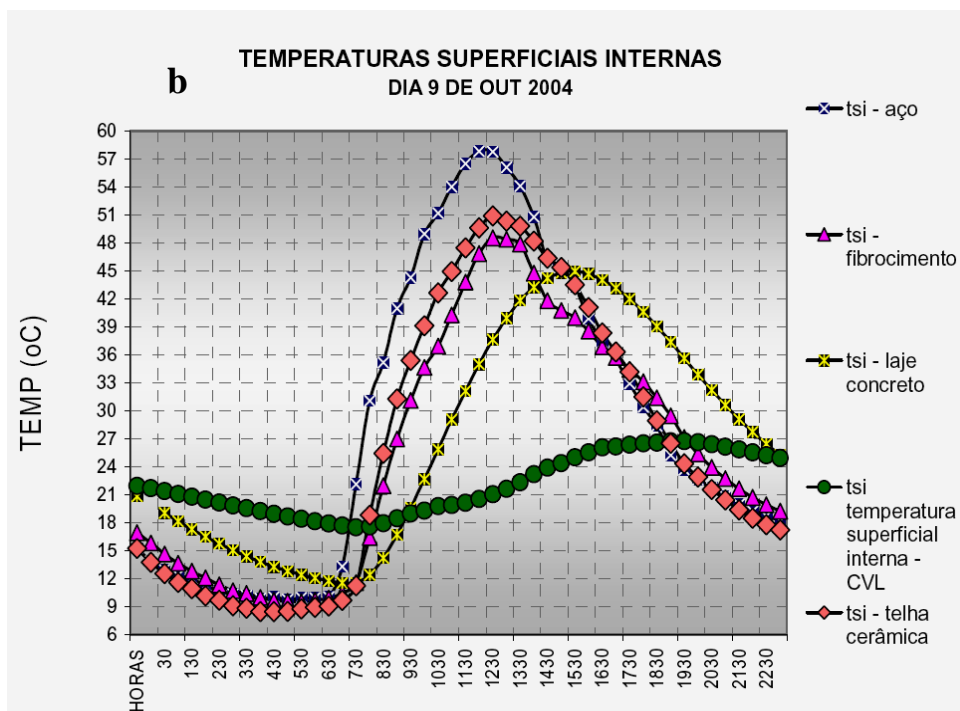


Figura 2.8 - b) Dispostas as temperaturas superficiais internas de cinco protótipos: 1. aço galvanizado; 2. fibrocimento ondulada; 3. laje premoldada cerâmica inclinada (sem telhas) e com impermeabilização de cor branca com resina de óleo vegetal (*Ricinus communis*); 4. Cobertura verde leve (CVL) e 5. Telhas de cerâmica. (fonte: VECCHIA, 2005)

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Localização do experimento

O experimento foi realizado na Escola Municipal Professor Teófilo Moreira da Costa (Figura 3.1) localizada na rua Esperança, s/n, Vargem Grande. A rua Esperança é transversal à Estrada dos Bandeirantes, dista cerca de 100 metros do Parque Aquático “Rio Water Planet”, onde foi locada a estação climatológica.

O experimento foi estabelecido em uma edificação existente onde funcionava anteriormente um vestiário (masculino e feminino) para serviços de apoio do bairro e atualmente fica ali localizado o almoxarifado da Escola. A construção é em alvenaria (tijolo e cimento) com dimensões de 6,0 x 4,0 metros de área, porém a área do telhado (cobertura) tem 7,0 x 4,5 metros, pé direito de 3,20 metros e telhado de fibrocimento (onduline 6,0mm) sem a presença de laje, porém com colunas e vigas em concreto, característica de uma construção simples e representativa da região. A inclinação do telhado é de 6%. Está dividida ao meio por uma parede, gerando assim dois ambientes de iguais dimensões. As portas de acesso são independentes (Figura 3.2). Todas as paredes internas e externas foram pintadas na cor branca. Essa construção não possui janelas, nos fundos em ambos ambientes encontramos tijolos vazados, para exaustão, com mesma dimensão e formato.

Antes do estabelecimento do experimento na Escola, foram investigados outros locais, até mesmo habitações existentes na Comunidade da Vila Cascatinha. Contribuiu para escolha do espaço do experimento em uma Escola, sua neutralidade, o caráter de espaço público e efeito multiplicador das escolas. Ainda, são nas escolas que se verificam os primeiros passos para o desenvolvimento do espírito científico (experimentação). Foram visitadas várias escolas na área de Vargem Grande, que entre outros, contribuíram para o estabelecimento do experimento na Escola Teófilo:

- Receptividade e apoio por parte da direção da Escola;
- O fato da escola no passado ter sido uma escola agrotécnica, atuando como polo de difusão de conhecimentos técnicos;
- Disponibilidade de espaço construído para realização do experimento, com características semelhantes às construções de interesse social

locais com cobertura de telhas de fibrocimento, infraestrutura de abastecimento de água e energia próprias;

- Localização da Escola;
- Público da Escola de ensinos fundamental e médio;
- Escola Municipal durante o turno diurno e Estadual no noturno;
- Atendimento a moradores da Vila Cascatinha, assim como referencial dos moradores da Vila Cascatinha com a escola Teófilo.



Figura 3.1 - Localização da Escola Municipal Professor Teófilo Moreira da Costa e do Experimento do Telhado Verde. Fonte: Google Earth – acesso em 03/02/09)

3.2 O desenho do experimento

A Figura 3.2 apresenta o desenho experimental adotado. O telhado da construção preexistente foi dividido em duas partes de forma simétrica. O lado direito foi destinado ao plantio e o outro permaneceu sem alteração (testemunha). Sob o lado a ser plantado foi feito reforço no madeiramento do telhado. Foram instalados

dois caibros (7,5 x 3,5 cm) além dos existentes, perfazendo um espaçamento de 0,60 m no sentido longitudinal, a fim de garantir a sobrecarga devido ao plantio sobre o telhado.

Foram instaladas calhas coletoras independentes em ambos os lados. Cada uma drenando de forma independente para um reservatório, cada um com capacidade de 250 litros. Os reservatórios coletam a água proveniente do escoamento superficial da água precipitada sobre o telhado. Os dois sistemas funcionam isoladamente, isto é, o telhado verde tem um sistema de captação de água separado do lado testemunha, que permite por comparação de dados quantitativos, avaliar os volumes retidos no sistema (telhado verde).

Em ambos os reservatórios foram instalados sistemas simples com mangueira transparente para monitoramento dos níveis d'água. Foi instalado sistema de irrigação em ambos os lados, conforme

Figura 3.3. O abastecimento de água desse sistema é feito por um pequeno reservatório d'água preexistente, que é abastecida pela rede pública, de forma independente do restante da Escola. Foram, no entanto, instalados um terceiro e quarto reservatórios (Figura 3.2) que recebem os excessos dos reservatórios 1 e 2. Através de bombeamento, os excedentes, armazenados nos reservatórios 3 e 4 são também, eventualmente, usados na irrigação do telhado. O sistema de irrigação é descrito em maiores detalhes na seção 3.4.

Na parede que separa os ambientes foi instalado um filme aluminizado para evitar a transferência de calor por radiação entre os espaços. O monitoramento ambiental das temperaturas foi realizado com a instalação de 24 sensores associados a um *datalogger*³ (Figura 3.5). Em cada um dos locais foram instalados nove sensores. Sendo quatro pares de sensores, dois a dois em cada uma das quatro paredes, e outro no centro de cada ambiente, a uma altura de 1,80 metros, sendo que este último é a referência para a temperatura interna que permite verificar a influência da radiação no ambiente interno. Os dois sensores, em cada uma das paredes, foram afastados 10 centímetros um do outro (sendo um deles encostado na parede), a fim de inferir as variações de transferência de calor, Os dados do ambiente externo e sobre os telhados foram coletados por 3 (três) psicrômetros

³ O sistema de monitoramento inclui um software que permite o registro das temperaturas em intervalos de tempo constantes que podem ser ajustados pelo usuário.

ventilados, dois deles instalados sobre as coberturas (telhado verde e testemunha) e outro distante 2,5 metros à direita da edificação.



Figura 3.2 - Desenho do Experimento do Telhado Verde. (fonte: Mary, 2008)

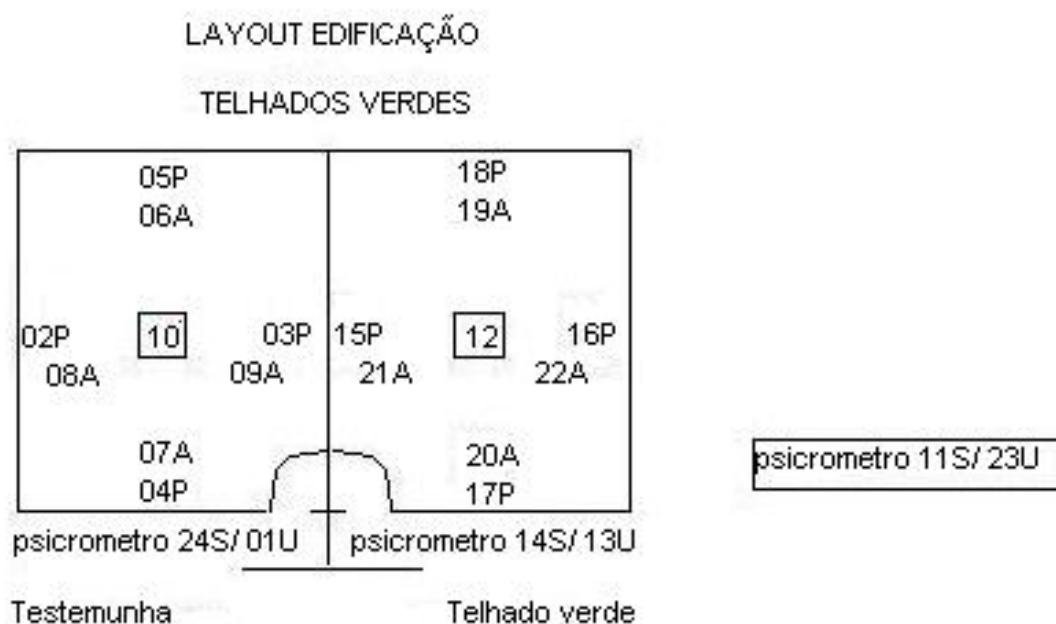


Figura 3.3 - Disposição da localização dos sensores de temperatura interna e externa (P = encostado parede / A = Afastado cerca de 10cm da parede / Bs = Bulbo seco / Bu = Bulbo úmido)



Figura 3.4 - Detalhe de instalação dos sensores dentro da edificação por parede (1 sensor encostado parede e 1 afastado dez centímetros).

Inicialmente, as temperaturas foram registradas a cada minuto durante 24 horas. Ao longo desse período, que foi dividido em função de coletas específicas para avaliar o efeito na temperatura externa e interna, em 3 etapas específicas:

- O efeito da microaspersão (irrigação) sobre o telhado.
- O efeito da cobertura do telhado com substrato agrícola.
- O efeito do plantio sobre o telhado (solo-água-plantas).

A primeira etapa previa comprovar o efeito da microaspersão sobre o telhado em um dia de calor (céu aberto), sobre a possível redução da temperatura interna (conforto ambiente) e externa (impacto sobre o meio ambiente). Neste teste o sistema de microaspersão possuía uma intermitência de trinta segundos ligada, tempo esse suficiente para molhar todo o telhado e dez minutos desligado, tempo esse suficiente para evaporação da água livre.

Na segunda etapa, mais um teste preliminar foi realizado para verificar apenas o efeito do substrato (sem a presença de vegetação) sobre o telhado,

avaliando o conforto térmico interno e externo e suas componentes de inércia e amortecimento térmico.

Na última etapa de monitoramento, os mesmos componentes térmicos foram avaliados para o sistema telhado verde (solo-água-plantas), em comparação com o telhado testemunha. Nesta etapa também foi simulada a ocorrência de duas intensidades pluviométricas uma de 42mm/h e outra de 8,77mm/h, para verificar qual o coeficiente de *runoff* e a capacidade de retenção e retardo (detenção).

3.3 *Runoff* (escoamento superficial)

Para o teste do *runoff*, tomou-se como base o mesmo parâmetro que a RIO-ÁGUAS adota para estudos de microdrenagem, o qual se baseia num período de duração de simulação igual a 10 minutos e calcular a intensidade pluviométrica crítica de precipitação para tempo de recorrência de 10 anos, conforme equação geral abaixo:

EQUAÇÃO GERAL

$$I = \frac{a \times T_R^b}{(t + c)^d}$$

e:

I = intensidade de chuva (mm/h)

T_r = tempo de recorrência (anos)

t = duração da chuva (min)

a , b , c e d = constantes determinadas a partir da análise dos dados históricos de precipitação.

Equações IDF - Coeficientes para a Equação Geral

Pluviômetro	a	b	c	d	Fonte
Santa Cruz	711,30	0,186	7,00	0,687	PCRJ- Cohidro -1992
Campo Grande	891,67	0,187	14,00	0,689	PCRJ- Cohidro -1992
Mendanha	843,78	0,177	12,00	0,698	PCRJ- Cohidro -1992
Bangu	1208,96	0,177	14,00	0,788	PCRJ- Cohidro -1992
Jardim Botânico	1239,00	0,150	20,00	0,740	Ulysses Alcântara (1960)
Capela Mayrink	921,39	0,162	15,46	0,673	Rio-Águas/CTO (2003), atual GPST
Via11 (Jacarepaguá)	1423,20	0,196	14,58	0,796	Rio-Águas-SUBAM/CPA – 2005, atual GPST
Sabóia Lima	1782,78	0,178	16,60	0,841	Rio-Águas-SUBAM/CPA – 2006, atual GPST
Benfica	7032,07	0,150	29,68	1,141	Rio-Águas-SUBAM/CPA – 2006, atual GPST
Realengo	1164,04	0,148	6,96	0,769	Rio-Águas-SUBAM/CPA – 2006, atual GPST
Irajá	5986,27	0,157	29,70	1,050	Rio-Águas-SUBAM/CPA – 2007, atual GPST
Taquara (Eletrobrás)	1660,34	0,156	14,79	0,841	Rio-Águas/GPST – 2009

Foram utilizados os parâmetros do posto Via 11 (Jacarepaguá) para a região de Vargem Grande, por questões de proximidade com o local do experimento. A intensidade pluviométrica crítica a ser aplicada, definida pela equação, é de 174,4 mm/h, porém as instalações do projeto para simulação de chuva não atendiam tais

necessidades. Foi utilizado o sistema de irrigação com uma capacidade de vazão para simular uma intensidade pluviométrica com cerca de 1/5 da prevista pela equação. A simulação da chuva foi realizada em duas condições básicas, com intensidade máxima do sistema de microaspersão disponível que era de 42 mm/h, a fim de simular uma chuva característica desta época do ano e com intensidade mínima 8,77 mm/h como parâmetro para análise do comportamento da capacidade de retenção e o tempo de retardo nos tratamentos.

Após a irrigação ter sido acionada, mediu-se a vazão efluente do telhado a cada minuto pela leitura nos níveis das caixas coletoras da água de cada um dos telhados. Esta simulação teve a duração de treze minutos, momento em que ambos telhados equilibraram suas respectivas lâminas de drenagem da água aspergida sobre o telhado verde.

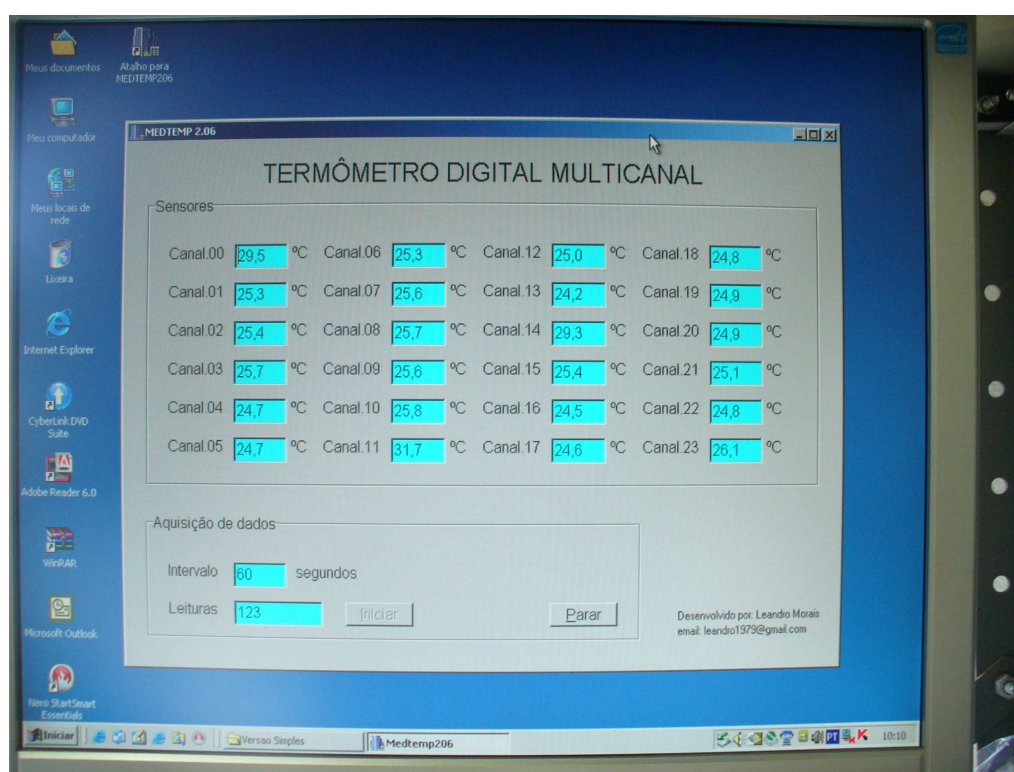


Figura 3.5 - Ilustração da tela do programa Medtemp 2.06, associado ao “*datalogger*” multicanal (24) onde são registradas as temperaturas interna e externa dos ambientes monitorados.

A Figura 3.5 apresenta uma ilustração da tela do software para registro de temperaturas no “*datalogger*”, permitindo acessar os registros em tempo real.

Após estes estudos, o intervalo de tempo para registro das temperaturas no *datalogger* foi ajustado para 5 minutos, associado ao intervalo de tempo de registros da estação climatológica do Projeto HIDROCIDADES, localizada no Parque de Águas “*Rio Water Planet*”.

O intervalo de acionamento da microaspersão sobre o telhado foi em função da evaporação da água irrigada sobre o mesmo, no dia de coleta de dados.

No telhado verde, foram utilizados materiais comerciais, de forma a ser de fácil aquisição, já que o objetivo é a implantação da técnica dos telhados verdes em habitações de interesse social. Sobre a telha (fibrocimento) foi aplicado um filme plástico de 150 micra de espessura e aditivado contra raios “UV”, para cumprir a função de impermeabilizante e, sobre esta, uma camada de 10 centímetros de substrato agrícola comercial BIOMIX (composto orgânico, casca de pinus compostada, vermiculita expandida, enriquecida e neutralizada quimicamente).

3.4 Produção das mudas

Foi construído um estufim, (estufa em túnel baixo), usado para germinação das sementes e crescimento das mudas utilizadas para cobertura do telhado. Esse estufim foi apoiado e nivelado sobre estrutura de metal com 1,00 metro de altura. Sua estrutura foi toda feita com materiais em tábuas, filme plástico, PVC, filme incolor e areia. Foi construída uma caixa de madeira com dimensões de 8,00 x 1,20 x 0,20 metros, toda forrada com filme plástico (impermeabilização). Colocou-se areia no fundo todo, cerca de 10 centímetros. Um sistema de alimentação de água com boia regula a altura da lâmina de água dentro do estufim ao nível da areia. Uma canaleta formada pelo corte longitudinal em três partes iguais de um tubo PVC de 40 milímetros, formando canaletas e perfurada com fendas de 3 á 5 centímetros um do outro alternadamente. Foi utilizada para garantir suporte hídrico ao substrato, ascendência de água por capilaridade. A manutenção da umidade através deste, garantiu a germinação e o desenvolvimento das plântulas. O substrato agrícola utilizado foi BIOMIX® pela sua baixa densidade (leve) e sua boa capacidade de

retenção de água (características em anexo) e semeada com rúcula (Figura 3.6, Figura 3.7 e Figura 3.8).



Figura 3.6 - Detalhes construtivos do estufim utilizado para germinação das sementes.



Figura 3.7 - Preenchimento com substrato agrícola (Biomix) nas canaletas de semeadura e transporte das mudas para o telhado verde e semeadura com sementes de rúcula.



Figura 3.8 - Rúcula com 15 dias após germinação.

3.5 Sistema de irrigação e drenagem

Os sistemas de irrigação foram projetados e instalados sobre o telhado para realização dos testes de resfriamento evaporativo, runoff e a complementação das necessidades hídricas da cultura. Conforme, análise das normais climatológicas, da região, nos últimos 10 anos (**Erro! Fonte de referência não encontrada.** e Figura 3.10). Foram instalados dois sistemas de irrigação: um sistema por microaspersão com acionamento manual utilizado para monitoramento e ensaio dos testes de conforto térmico e ensaios de *runoff* superficial nos dois telhados e um sistema de irrigação por gravidade em canais, com utilização de microtubos, um em cada canaleta da telha, ligados a um *timer* programado em função das necessidades da cultura.



Figura 3.9 - Sistema de irrigação por aspersão utilizado para simular efeitos da chuva nos testes de conforto térmico interno e *runoff* superficial dos telhados.



Figura 3.10 - Sistema de irrigação por gravidade com microtubos utilizado para irrigar cada canaleta da telha de fibrocimento, correspondente a linha de plantio da cultura, sobre o telhado verde.

A retenção de escoamento superficial de água da chuva (*“runoff”*) foi mensurada com a realização de um ensaio com microaspersão sobre substrato comercial, por meio de um sensor de nível/tempo. O ensaio foi feito comparando-se as duas metades do telhado, uma com substrato comercial e outra sem nenhum revestimento.

O sistema de drenagem foi construído para coleta de água proveniente do *runoff* superficial dos dois sistemas separadamente, conforme Figura 3.11. Com isso podemos avaliar e comparar, através do volume recolhido de cada sistema, os resultados de eficiência de retenção e de retardo do escoamento do telhado verde (detenção). Outro fator importante foi o de regularizar a disponibilidade hídrica proveniente das precipitações, armazenadas ao longo do período chuvoso e distribuída de acordo com as necessidades hídricas da cultura ao longo do seu desenvolvimento. Foi utilizada somente a água armazenada, proveniente do *runoff* dos dois sistemas estudados (Figura 3.11).



Figura 3.11 - Caixas de coleta da água proveniente do *runoff* nos dois telhados – sistemas independentes.

O substrato foi colocado sobre um filme plástico que reveste externamente as telhas, a fim de evitar infiltração, utilizando um dreno sobre a parte inferior do telhado, para controlar a perda do substrato em caso de chuvas intensas (Figura 3.12). O dreno foi feito com argila expandida envolta por tela de sombreamento, formando uma espécie de bolsa, que por ser moldável, possibilitou o fechamento das ondulações das telhas.



Figura 3.12 - Instalação do filme plástico e colocação do substrato; detalhe da confecção do dreno

Inicialmente foi semeada rúcula no estufim e após 20 dias de germinada foi transferida para o telhado. Porém ocorreram imprevistos de clima que não favoreceram o desenvolvimento desta cultura na época do ano em que se iniciou o monitoramento e o ensaio das componentes envolvidas no escopo do projeto. Baseado neste fato, optou-se por utilizar outras hortaliças e plantas ornamentais de crescimento rápido (ciclo curto), que pudessem ocupar o espaço deixado pela rúcula no telhado. Ainda, foi realizado um plantio de cebolinha, alface roxa, tomate cereja anão e lírio-pe (ornamental). As sementes de rúcula foram semeadas em linha

diretamente no sistema de canal de cultivo que elimina o risco de acidentes oriundos da necessidade de presença humana sobre o telhado leve, uma vez que o plantio será realizado com auxílio de uma escada convencional externa.



Figura 3.13 - Ensaio preliminar da utilização do sistema de produção de mudas semeada em canal de PVC para posterior plantio sobre a telha.

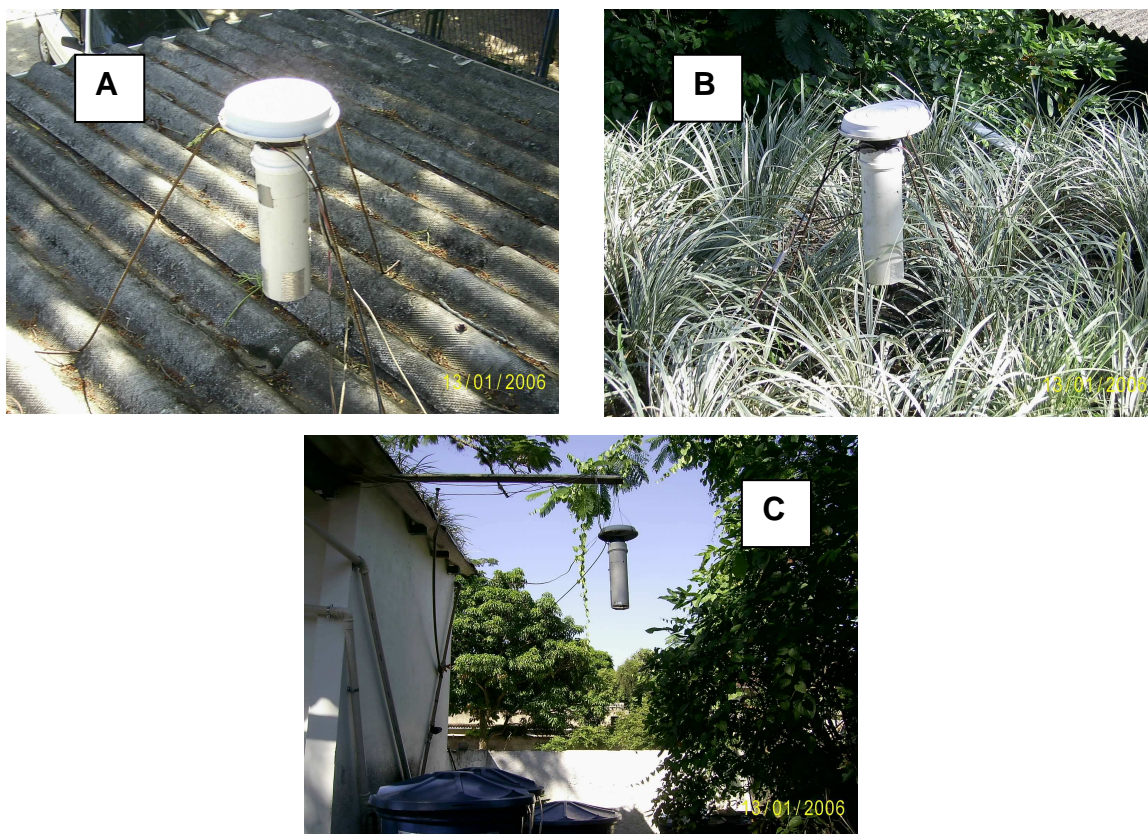


Figura 3.14 - Detalhe dos três psicrometros em seus ambientes de monitoramento, (A- Telhado testemunha; B - telhado verde; C - ambiente externo).

Foram coletados dados de temperatura de bulbo seco e de bulbo úmido armazenados em um *DataLogger*, através de 3 psicrômetros - dois sobre o telhado e um na área externa para mensuração das condições ambientais (Figura 3.14) .

3.6 Cultivo da rúcula

A rúcula (*Eruca sativa*) é uma hortaliça herbácea anual de porte baixo, com folhas verdes e recortadas, normalmente com altura de 15-20 cm. Caracteriza-se por ser uma hortaliça de fácil adaptação ao clima ameno (tropical de altitude). Apresenta características favoráveis em âmbito nutricional e medicinal (rica em proteínas e vitaminas A e C), além de possuir maior valor econômico dentre outras hortaliças de tratos culturais semelhantes. Nos últimos anos seu cultivo vem se destacando, devido a um aumento de demanda do mercado consumidor (REGHIN et al., 2005).

Gusmão et al. (2002) relatam que a rúcula produzida nas condições de clima tropical (Belém do Pará) se adaptou muito bem, não observando diferenças entre épocas de cultivo, bem como em relação a sabor e aroma. Uma das características desejada da rúcula pode ser acentuada quando exposta a alta temperatura, que são o grau de pungência, aroma e sabor acentuados (CAMARGO,1992). A possibilidade de semeadura direta (NARDIN, et al., 2002b; SANTOS et al., 2002) é muito importante, uma vez que minimiza a mão de obra e promove maior uniformidade do dossel, que será importante para a colheita de cada linha de cultivo.



Figura 3.15 - Detalhe sequencial do sistema desenvolvido para plantio da rúcula em canaletas (de dentro do estufim para o telhado).

A fim de se obter resultados da cobertura verde sobre o telhado e, que da mesma forma, pudessem ser comercializadas ou mesmo introduzidas na dieta alimentar diária. Optou-se pelas espécies; *Allium cepa* (cebolinha), *Liriodopsis spicata* (lírio), *Lactuca sativa* (alface roxa) e *Lycopersicon esculentum* (tomate cereja anão). Todas foram plantadas em linha da mesma forma que o plantio da rúcula, porém respeitando o crescimento de cada espécie, manutenção do espaço para desenvolvimento vegetativo, e conseqüente fechamento do solo. Avaliou-se

crescimento e resposta fisiológica das espécies consorciadas e sua influência sobre ambiente interno e externo.

3.7 Relação dos Materiais Usados para Construção do Telhado Verde

MATERIAL	QTDE
"T" 40mm	1
Adaptador 3/4"x32mm	6
Bóia automática de nível	1
Bóia caixa d'água	1
Caibro (metros)	14
Calha completa em PVC marca tigre ou similar (metros)	7
Caps 40mm	2
Escada articulada de 8 graus	1
Filtro de vela (caseiro)	1
Filme Agrícola	35 m ²
Filtro de linha 1"	2
fio elétrico 2,0mm ² (metros)	20
fio elétrico paralelo 1,0mm ² (metros)	20
Flange 32mm	1
Flange 40mm	1
Joelho 32mm	4
joelho 45°esgoto 50mm	2
joelho 90° esgoto 50mm	1
Mangueira PVC 1/2" (metros)	2
Motobomba elétrica 1/4 CV	1
Pressostato máquina de lavar	1
Quadro de energia com disjuntor 15	1
Reservatório 1000L	2
Tela de sombreamento 7,2 x 0,40m	3
tubo de esgoto 50mm (6,0m)	2
Tubo PVC 32mm (6m)	2
Tubo PVC 40mm (m)	9
Válvula simples LAV.CWC 22 de máquina de lavar roupa	2
Muda de ornamental - hortaliça	750
Substrato Agrícola (saco 25 kg)	10

Tabela 3.1 -Relação de material, que foi empregado na construção (adequação) da edificação para receber o experimento.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Desenvolvimento do Experimento

A construção utilizada para realização do experimento cumpriu sua função como suporte estrutural do telhado verde sem ressalvas, porém a localização espacial do imóvel, em relação ao movimento do sol (pontos cardeais), e em relação a obstáculos próximos (muros e árvores). O reforço estrutural sob telhado, com colocação de caibros extras, diminuindo o espaçamento entre eles, funcionou perfeitamente, sem apresentar nenhum sinal de selamento ou fissura.

Tanto os termômetros (sensores) como o programa gerenciador (*logger*) foi por diversas vezes testados antes da coleta de cada dia experimental de monitoramento específico. Os psicrômetros, sim, apresentaram problemas nos sensores úmidos, apenas por falta d'água; foram de ordem física, entupimentos dos microtubos que abastecem os mesmos. Já o *logger* que estava ligado a um computador apresentou problemas de perda de dados, em função de falta de luz. Corrigiu-se esse problema com a colocação de um *nobreak*.

Os sistemas de irrigação gravimétrico com microtubos funcionou a contento e supriu as demandas de acordo com o objetivo do experimento. Embora o gerenciador do sistema tenha sido substituído, por um atuador mais específico, estes funcionaram sempre de acordo com a demanda da cultura, sem apresentar problemas. O sistema de irrigação por microaspersão foi utilizado para simular uma intensidade pluviométrica mínima de 8,77 mm/h e máxima de 42 mm/h para ambos os telhados. A princípio foi utilizado para avaliações preliminares de influência de água sobre um telhado, gerando informações sobre possível redução da temperatura nos ambientes interno e externo (resfriamento evaporativo). A coleta de dados reais de chuva na hora do evento não foi possível, levando à utilização do sistema de irrigação por micro-aspersão para simulação nos ensaios de chuva. O sistema de irrigação por gravidade foi utilizado para suprir a demanda hídrica da cultura. No início utilizou-se um *timer*, porém esse equipamento não avalia as condições de umidade do substrato e funcionam mesmo durante a ocorrência de um evento de chuva. Foi substituído por um pressostato de máquina de lavar, que ligado a um filtro poroso de cerâmica enterrado no substrato. É acionado sempre que o solo diminui sua umidade (tensiômetro), permitindo assim um contato elétrico que

abre as válvulas (três) de máquina de lavar liberando a água. Quando o solo umedece, a tendência da água por capilaridade é entrar pelo tubo poroso, desta forma, desliga o pressostato, que fecha as válvulas e a entrada de água no sistema.

O filme plástico, que cobre toda a área do telhado tratado, funciona como uma camada impermeabilizante do sistema, mas apresentou um problema de vazamento, quando o sistema de irrigação por gravidade era acionado por um *timer*.

O substrato agrícola é comercializado ensacado (sacos de 40 litros), o que facilitou o transporte até o telhado e seu espalhamento. Apresentou boa fertilidade inicial, porém uma necessidade de correção nutricional para as mudas de hortaliça com cerca de trinta dias de plantadas no local (telhado). Apresentou também pouca resistência ao arraste de partículas, favorecendo um processo erosivo preocupante, pelo motivo dele ter ocorrido com uma intensidade de chuva média (42 mm/h), ocorrência natural durante a época de verão.

4.2 Espécies Cultivadas

As espécies escolhidas foram *Allium cepa* (cebolinha), *Liriopsis spicata* (liríope), *Lactuca sativa* (alface roxa) e *Lycopersicon esculentum* (tomate cereja)., onde todas tiveram ótimo desenvolvimento exceto a alface, que também não suportou a insolação direta do verão sem nenhum tipo de proteção. O tomate cereja obteve seu desenvolvimento pleno, apesar do ataque de insetos. Não foi aplicado nenhum defensivo para controle, para poder se avaliar a resistência das plantas sem tal manejo. Não foi possível nesse curto espaço de tempo, colher a produção. Estima-se uma produção média para comercialização de liríope com cerca de 25 mudas / m².

4.3 Custos detalhados da Implantação do Telhado Verde

Material	Quantidade	R\$ Unitário	R\$ Total
"T" 40mm	1	1,9	1,90
Adaptador 3/4"x32mm	6	1,3	7,80
Bóia automática de nível	1	29,9	29,90
Bóia caixa d'água	1	4,8	4,80
Caibro (metros)	14	4,6	64,40
Calha completa em PVC marca tigre ou similar (metros)	7	35,43	248,01
Caps 40mm	2	1,1	2,20
Escada articulada de 8 graus	1	350	350,00
Filtro de vela (caseiro)	1	5,9	5,90
Filme Agrícola	35 m ²	1,8	63,00
Filtro de linha 1"	2	60	120,00
fio elétrico 2,0mm ² (metros)	20	1	20,00
fio elétrico paralelo 1,0mm ² (metros)	20	1,4	28,00
Flange 32mm	1	17,8	17,80
Flange 40mm	1	19,8	19,80
Joelho 32mm	4	1,9	7,60
joelho 45°esgoto 50mm	2	2,6	5,20
joelho 90° esgoto 50mm	1	2,1	2,10
Mangueira PVC 1/2" (metros)	2	5	10,00
Motobomba elétrica 1/4 CV	1	341	341,00
Pressostato máquina de lavar	1	22,5	22,50
Quadro de energia com disjuntor 15	1	15	15,00
Reservatório 1000L	2	530	1060,00
Tela de sombreamento 7,2x0,40m	3	2	6,00
tubo de esgoto 50mm (6,0m)	2	14,4	28,80
Tubo PVC 32mm (6m)	2	31,4	62,80
Tubo PVC 40mm (m)	9	2,6	23,40
Válvula simples LAV.CWC 22 de máquina de lavar roupa	2	20	40,00
Muda de ornamental - hortaliça	750	0,5	375,00
Substrato Agrícola (saco 25 kg)	10	10,5	105,00
TOTAL			R\$ 3.087,91
ÁREA TELHADO		30,1 m2	R\$102,59/m2

Tabela 4.1 - Tabela com relação de material, onde obtivemos um custo por metro quadrado implantado da ordem de R\$ 102,59 (cento e dois reais e cinquenta e nove centavos)/ m2.

4.4 Retenção das Águas Pluviais

Os dias para realização da simulação e avaliação do comportamento da retenção das águas pluviais em ambos telhados (testemunha e verde) apresentaram condições climáticas de céu aberto e baixa incidência de ventos. Antes do início da realização dos dois testes foi retirada uma amostra do substrato para análise de umidade em laboratório. A Tabela 4.2 demonstra que a umidade em ambas amostras está com cerca de 50% de umidade e a CRA⁴ (capacidade de retenção máxima de água) do substrato comercial é de 60%, sendo assim são capazes de reter apenas cerca de 10% (POTmáx%), de acordo com informações técnicas do produto.

Amostra de substrato antes da simulação	Umidade amostra de substrato (%)	Biomix (substrato agrícola comercial)
Solo dia 16/02	UA = 50,65%	CRA = 60%
Solo dia 22/02	49,45%	CRA = 60%

Tabela 4.2 - Comparação da umidade do substrato antes da simulação da retenção nos telhados.

O potencial máximo de retenção de água do substrato no momento da simulação pode ser expresso por:

$$\text{POTmáx.\%} = \text{CRA\%} - \text{UA\%}$$

- Onde temos:
1. POTmáx% = Potencial máximo de retenção de água pelo substrato ou solo num dado instante
 2. CRA% = capacidade de retenção de água do substrato comercial (valor tabelado)
 3. UA% = Umidade da amostra do substrato antes da simulação de chuva (num dado instante).

⁴ CRA – Capacidade máxima de retenção de água pelo substrato (valor tabelado e fornecido pelo fabricante).

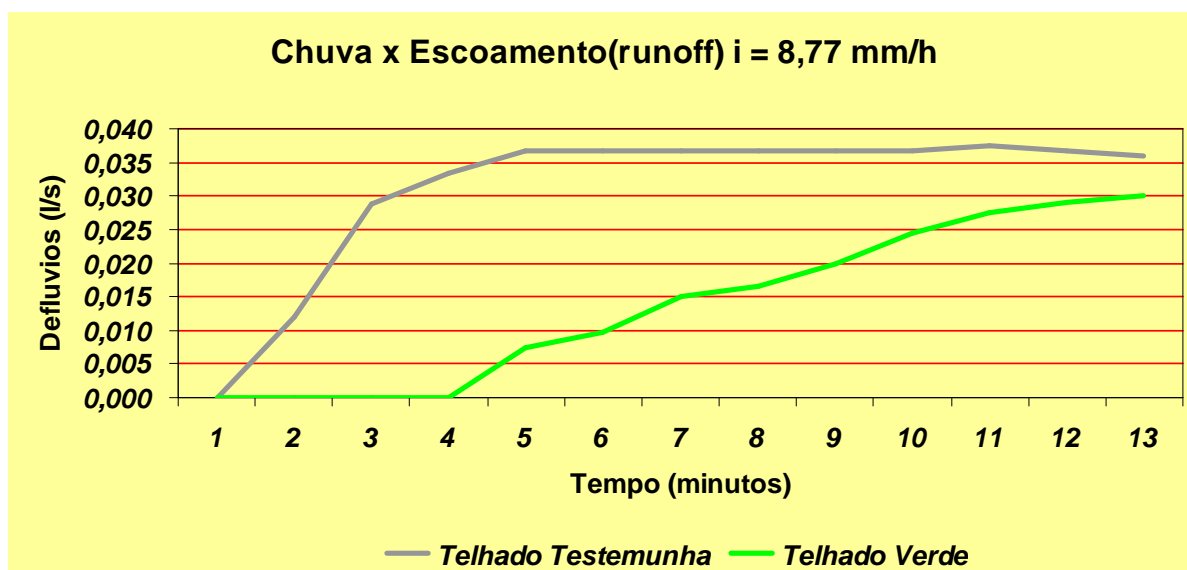


Figura 4.1 - Comportamento do *runoff* no telhado testemunha e no telhado verde durante simulação de chuva através do sistema de microaspersão com intensidade de 8,77 mm/h durante período de 13 minutos de avaliação.

No dia 22 de fevereiro de 2009 foi feita a simulação de chuva com intensidade de 8,77mm/h realizado o fechamento do registro geral na tubulação de recalque do sistema de microaspersão em cerca de 45°, sem que comprometesse a distribuição da água aspergida. Em seguida foi medida a vazão para determinação da intensidade pluviométrica simulada. Conforme pode ser examinado na Figura 4.1, foi possível observar o comportamento e retardo do escoamento (*runoff*) do telhado verde em comparação ao telhado testemunha (fibrocimento). Enquanto o pico de *runoff* na testemunha ocorre aos 5 minutos do início da simulação, o do telhado verde ocorre aos 13 minutos do início, ou seja, ocorreu um retardo no pico de 8 minutos, se comparado ao telhado testemunha. Esse volume retido inclui toda diferença de água escoada entre o telhado testemunha e o telhado verde até a hora em que este alcança o pico de *runoff* (estabiliza a lâmina do efluente drenado) Essa capacidade de retenção e de retardo varia em função da altura da camada de substrato, da inclinação do telhado e do grau de umidade do substrato no momento em que ocorre a simulação. Neste caso, o potencial de retenção de água era de apenas 10,55% (CRA% -UA%), segundo especificações técnicas do produto comercial e de acordo com análise de umidade da amostra de solo que foi

submetida ao teste de laboratório⁵. Esses resultados se assemelham aos obtidos em pesquisa realizada por Palla et al.(2008), que observou valores entre 7 e 15 minutos para diferentes tratamentos. Esse tempo de retardo se refere à diferença de tempo entre o pico de escoamento do telhado testemunha e o do telhado verde.

Observou-se no ensaio que o telhado verde foi capaz de reter 13,48 litros de água até o tempo de pico do *runoff*, ou seja reteve 55% da chuva simulada até o fim do ensaio (0,9mm/m² de telhado verde).

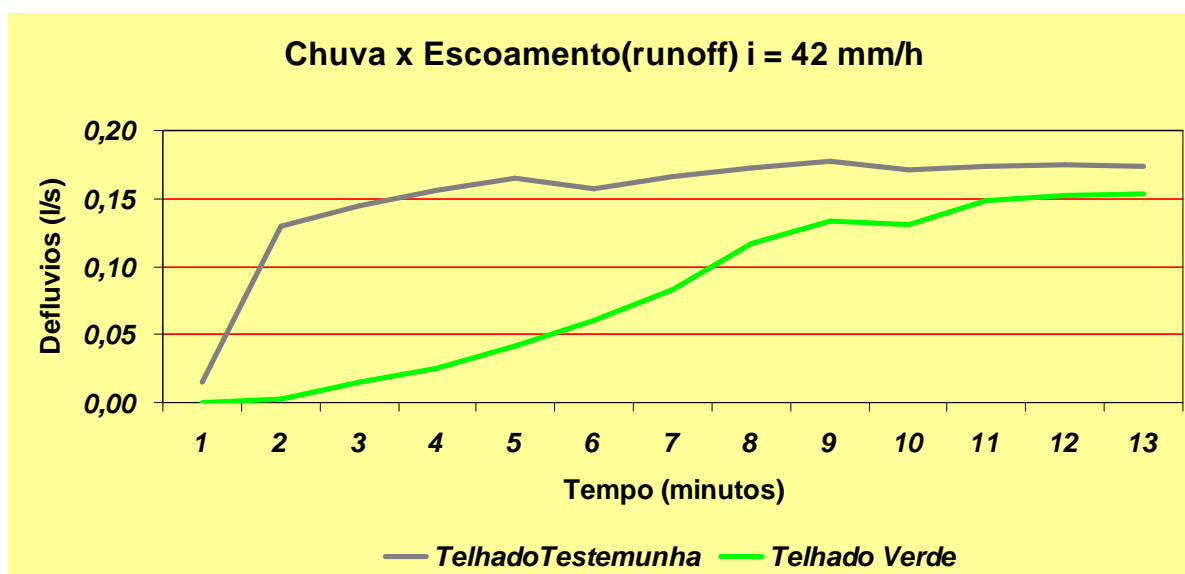


Figura 4.2 - Comportamento do *runoff* no telhado testemunha e no telhado verde durante simulação de chuva através do sistema de microaspersão com vazão de 42 mm/h durante período de 13 minutos de avaliação.

A simulação de chuva com intensidade de 42 mm/h (Figura 4.2), equivalente à máxima intensidade pluviométrica possível do sistema de micro-irrigação. Possibilitou avaliar o comportamento de retenção e retardo do escoamento (*runoff*) do telhado verde em comparação ao telhado testemunha (convencional). Enquanto o pico de *runoff* na testemunha ocorre aos 5 minutos após o início da simulação, o do telhado verde ocorreu aos 11 minutos, ou seja, ocorreu um retardo no pico de 6

⁵ Processo gravimétrico: de análise de umidade em amostras de solo: 10g amostra e cadinho pesados antes de irem ao forno a 105 °C por 24 horas, após esse período esfriar em um dessecador e novamente pesar o conjunto amostra e cadinho. Por diferença de peso determina-se o teor de umidade% (UA%).

minutos. O potencial de retenção de água foi de apenas 9,35% (CRA% – UA%), segundo especificações técnicas do produto comercial e de acordo com análise de umidade da amostra de solo que foi submetida ao teste de laboratório.

O telhado verde foi capaz de reter um volume de 52,22 litros, ou seja, cerca de 56% de capacidade retenção/retardo até o pico de escoamento (*runoff*), cerca de 3,00mm por metro quadrado de telhado verde.

A Tabela 4.2 resume os valores encontrados de umidade do solo para estudo da capacidade de retenção das águas pluviais pelos telhado verde e testemunha (convencional), em ambas simulações, e suas capacidades máximas de retenção de água.

Observa-se que nos dois ensaios não foi possível registrar o ramo descendente do hidrograma de vazões efluentes (*runoff*) dos telhados, verificando-se assim uma incerteza na observação do tempo para o pico. A retenção estudada corresponde apenas ao ramo ascendente do hidrograma. Ainda assim, especulando-se sobre os efeitos da implantação do telhado verde como medida de controle no lote para efeitos de controle de enchentes, observa-se uma contribuição razoável do telhado verde, demonstrando sua eficiência nesse sentido. Ressalta-se, no entanto, que foram observadas no período de desenvolvimento do experimento chuvas com durações mais longas e maiores intensidades do que as simuladas.

O substrato comercial apresentou erosão superficial em virtude de sua densidade e granulometria (Figura 4.3), mesmo em função da baixa declividade do telhado (6%) e da baixa vazão dos microaspersores, podendo-se detectar o arrasto de partículas provocando erosão do substrato, principalmente onde a cobertura vegetal era menor. Desta forma, justifica-se a necessidade de adição de algum material mais fibroso ou utilização de um material mineral com melhor drenagem e maior densidade (atenção ao sobrepeso), para que a sua contenção sobre o telhado se torne mais eficaz. Podemos pensar também na possibilidade de cultivo de mudas com maior área foliar, o que dificulte o impacto de gota direto sobre o substrato, responsável pela erosão pluvial, desagregando a camada mais superficial e carreando pela declividade, partículas mais finas e leves.



Figura 4.3 - Detalhe da erosão causada pela simulação de chuva sobre o telhado verde – intensidade pluviométrica máxima de 42 mm/h.

Os estudos foram realizados, segundo os critérios da Rio Águas que adota um procedimento de cálculo para microdrenagem urbana baseado em informações de intensidades pluviométricas críticas com tempo de recorrência de 10 anos. No caso do local do experimento a lâmina de chuva calculada com tempo de duração de 10 minutos era de cerca 174 mm/h de chuva. Nosso sistema possui uma intensidade pluviométrica máxima que possibilita simulação de chuva de 42 mm/h. Um dos objetos de estudo do Projeto HIDROCIDADES foi o de avaliar a contribuição dos telhados verdes como ferramenta de drenagem urbana sustentável, limitada pela capacidade de vazão imposta pelo sistema implantado. Através dos valores preliminares encontrados pela simulação, pode-se estimar a contribuição⁶.

⁶ A RIO-ÁGUAS adota critérios padronizados com base em informações de séries longas de chuvas, para avaliar intensidade pluviométrica crítica para diferentes regiões e assim estimar um projeto de microdrenagem urbana personalizado que atenda às reais necessidades do local estudado.

⁷ Microdrenagem Urbana é definida pelo sistema de condutos pluviais à nível de loteamento ou de rede primária urbana.

4.5 Conforto Térmico

4.5.1 Análise preliminar do comportamento térmico da microaspersão sobre o telhado de fibrocimento (resfriamento evaporativo) em comparação com o testemunha.

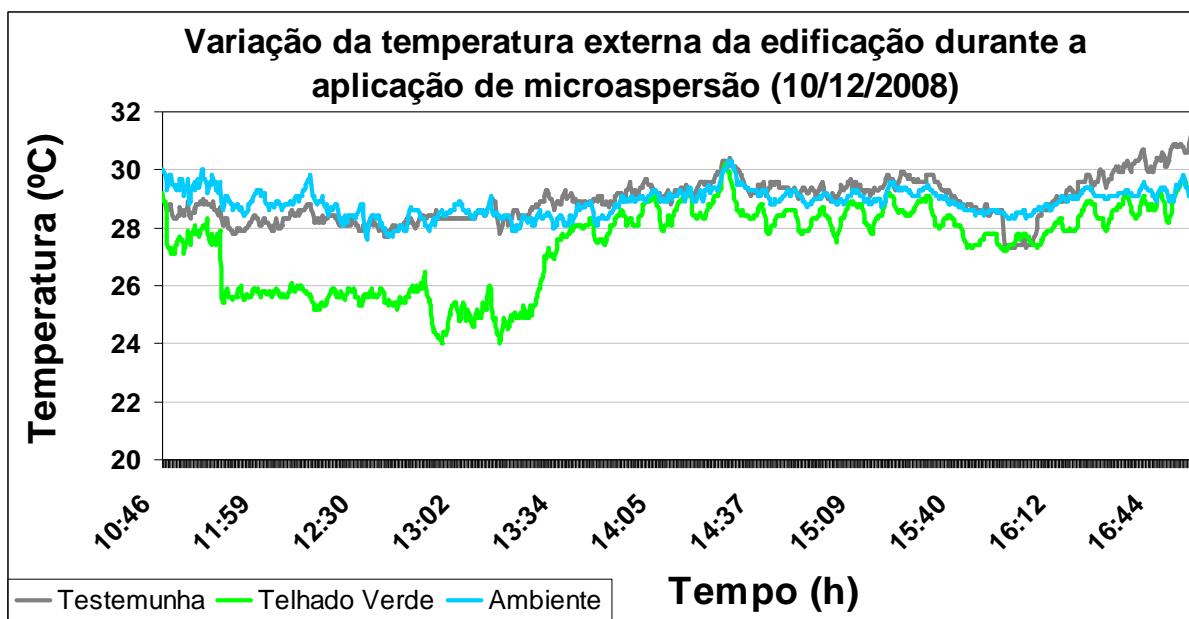


Figura 4.4 - Resultados do comportamento térmico externo do telhado sob efeito da microaspersão em relação ao resultado da testemunha sem efeito da água aspergida (resfriamento evaporativo).

Durante o período de teste, como vemos no gráfico da Figura 4.4, apresentou no dia 10, dia da simulação, uma resposta de redução da temperatura externa (sobre o telhado irrigado) em cerca de 4,0°C em relação à temperatura ambiente, durante a simulação (intermitência de 30 segundos ligado, por 10 minutos desligado). No período da manhã essa redução foi mais expressiva, ficando em torno de 2,5 °C. A partir das 14 horas esta diferença diminuiu e não ultrapassa 1,0 °C de redução, devido provavelmente ao acúmulo de energia no ambiente interno e do próprio material da telha.

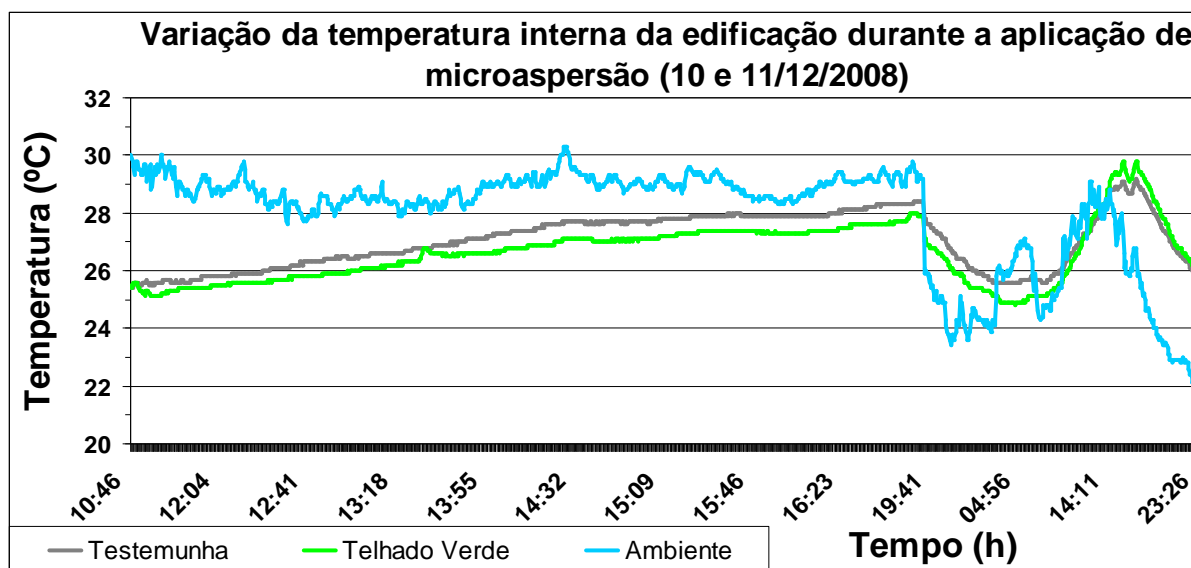


Figura 4.5 - Resultados do comportamento térmico interno do telhado sob efeito da microaspersão em relação ao resultado da testemunha sem efeito da água aspergida (resfriamento evaporativo).

Com relação ao desempenho térmico interno, nota-se uma inércia térmica do ambiente com elevação crescente da temperatura ao longo do dia, porém entre os ambientes, durante a simulação, verifica-se que a resposta do telhado com microaspersão foi cerca de $0,7^{\circ}\text{C}$ menor que o telhado sem tratamento. Essa diferença de temperatura interna entre os tratamentos mostrou que o sistema de micro-aspersão funcionou para reduzir a temperatura interna durante a simulação. Porém essa redução não é expressiva, levando-se em consideração os custos fixos para instalação de tal sistema, o consumo de água e energia, implicando em uma inviabilidade econômica, em detrimento ao resultado para o conforto térmico gerado pelo processo. Nos dias subsequentes não houve o tratamento, dessa forma pôde-se avaliar o comportamento térmico interno e também avaliar suas componentes de inércia térmica e de amortecimento.

Pode-se observar também que a elevação da temperatura interna está sendo influenciada, também, pelo acúmulo da radiação solar nas paredes, gerando um efeito de inércia térmica observado durante o final da tarde e início da noite.

4.5.2. Análise preliminar do comportamento térmico do telhado somente com o substrato sobre o mesmo em comparação com o telhado testemunha.

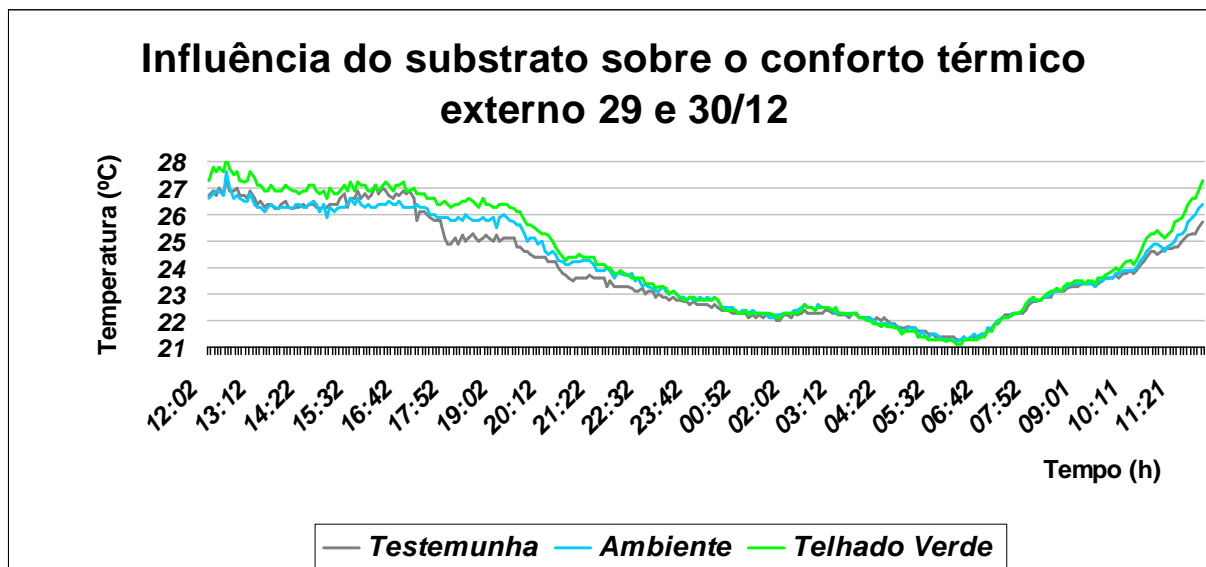


Figura 4.6 - Variação da temperatura externa em função da utilização de camada de substrato sobre um telhado em comparação com o testemunha no período de 29 a 30/12 (24 horas)

A presença de substrato sobre o telhado durante o dia (efeito da radiação) fez com que a temperatura deste fosse mais elevada que em comparação a testemunha e ao próprio ambiente. Observou-se ao longo da tarde, uma menor variação da temperatura externa, em relação ao período da manhã. O comportamento da temperatura externa da testemunha ficou mais próximo da variação do ambiente do que com o substrato, porém a partir das 15:40 h, observa-se o aumento da temperatura sobre o telhado testemunha, provavelmente devido ao acúmulo de energia no ambiente sob este telhado (Figura 4.6). Durante o período noturno, conforme esperado, houve uma redução das temperaturas externas dos dois telhados. Na parte externa, porém, esta diferença de temperatura em relação à testemunha foi pouco expressiva, em torno de 0,5°C. Por sua vez, a troca de calor da testemunha com o ambiente, durante as primeiras horas do período noturno, obteve diferença de até 1,5 °C menor em relação ao telhado com substrato, devido às características de ausência do efeito de amortecimento e inércia térmica que ocorreu no substrato. Houve uma tendência de elevação da temperatura externa, nos diferentes ambientes (testemunha, telhado com substrato e ambiente). A

temperatura sobre telhado com substrato foi maior do que a testemunha, devido provavelmente ao maior acúmulo de energia oriundo da radiação sobre o substrato de matiz escura e troca de calor sobre a água retido na estrutura do mesmo.

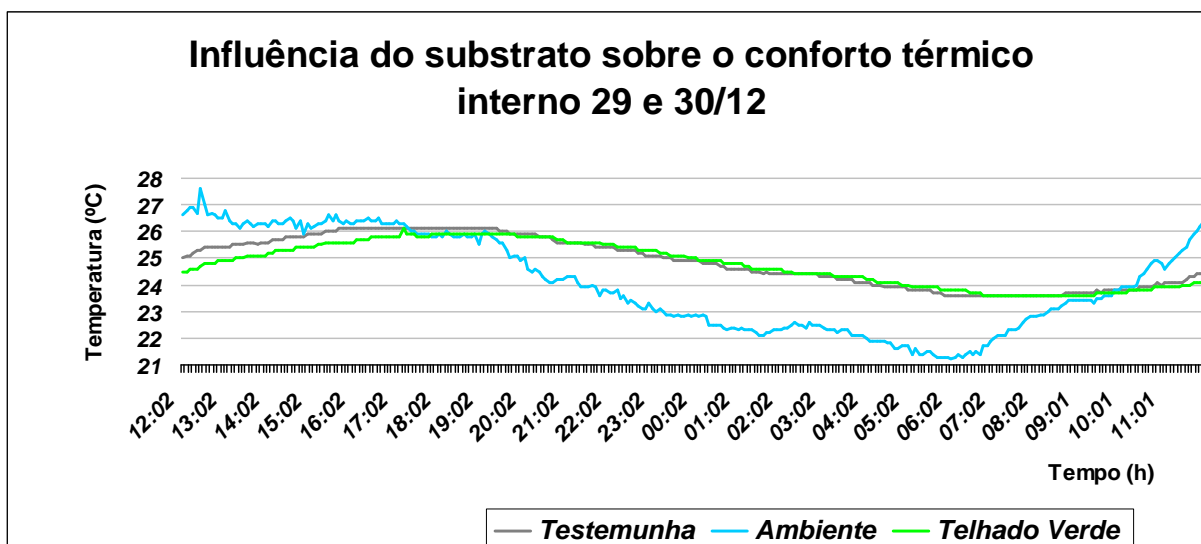


Figura 4.7 - Variação da temperatura interno em função da utilização de camada de substrato sobre um telhado em comparação com o testemunha no período de 29 a 30/12 (24horas)

Conforme o esperado, houve inversão das temperaturas internas entre os tratamentos, em função da inércia térmica e conseqüente amortecimento térmico pelo isolamento do substrato, quando comparado ao testemunha, entre o dia e a noite. Observa-se pequena variação entre as temperaturas ambientes (interna), como esperado, demonstrando que no ambiente interno as temperaturas se mantêm mais elevadas no período noturno e início da madrugada em função da inércia térmica causada pela edificação, com influência mínima do substrato sobre o telhado tratado. Ao longo da manhã, por outro lado a testemunha absorveu radiação solar e transmitiu parte desta para o ambiente interior, como pode ser observado pela avaliação e resposta das temperaturas internas, que obtiveram resultados inversos, ou seja, o substrato acumulou energia sem transferir esta para o ambiente interno.

4.5.3 Análise dos resultados de comportamento térmico do telhado verde (solo-água-plantas) em comparação com a testemunha.

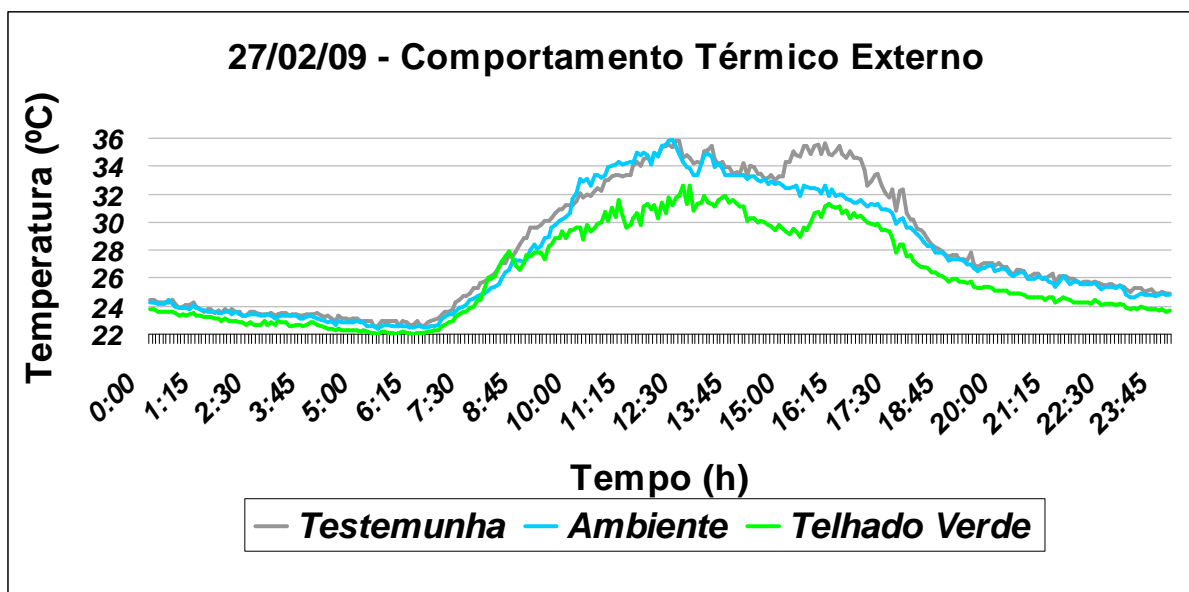


Figura 4.8 - Comportamento térmico do ambiente externo ao longo das 24 horas do dia 27/02/09, comparando os telhados verde e testemunha em função da temperatura ambiente registrada que foi de 35,9 °C.

O comportamento térmico sobre o telhado verde também se mostrou muito eficiente para a redução da temperatura, quando comparado ao ambiente e a testemunha. Durante o horário de pico de radiação solar entre 10 h e 15 h, foram registradas diferenças de até 4°C (amortecimento térmico). Isto comprova a alteração do microclima e mesoclima da região, pois o uso dos telhados verdes reduz a emissão de calor, contribuindo para redução da temperatura local (microclima). Este fator pode ser explicado pela absorção da radiação solar pelas plantas e evapotranspiração, uma vez que absorvem parte da radiação para seu metabolismo perdem água via estômatos, gerando o aumento da umidade relativa e reduzindo a temperatura, segundo Romero (2000), Akbari (apud ARAÚJO, 2007) e Velazquez (apud ARAÚJO, 2007).

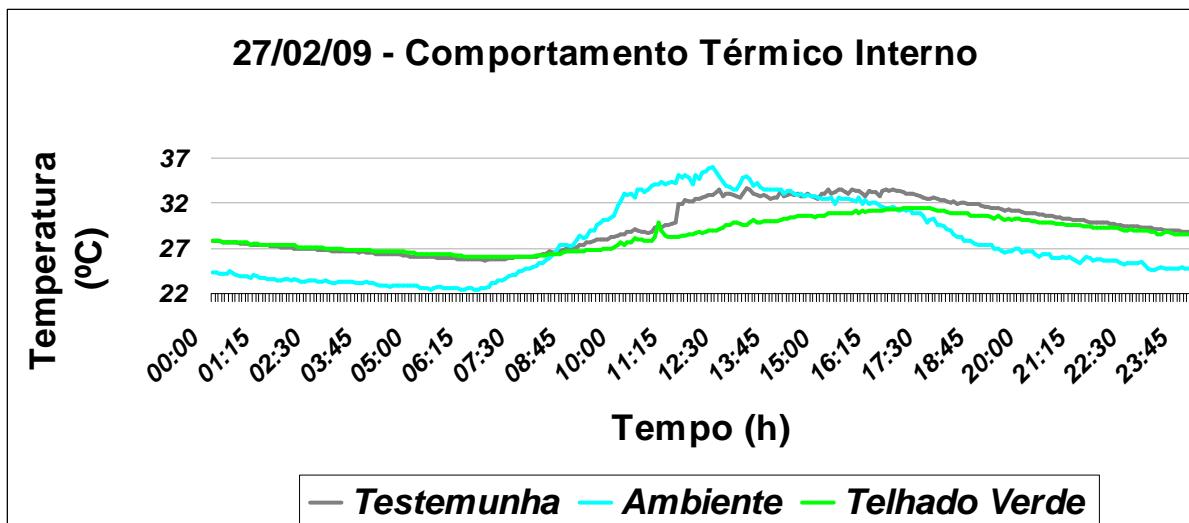


Figura 4.9 - Comportamento térmico do ambiente interno ao longo das 24 horas do dia 27/02/09, comparando o telhado verde e testemunha em função da temperatura ambiente registrada que foi de 35,9 °C.

Pode-se verificar uma amplitude térmica interna do ambiente com telhado verde menor que a testemunha e também em relação à temperatura ambiente, ficando a primeira em cerca de 5,5 °C quando se comparado com os 14 °C do ambiente e 8 °C registrados no testemunha. A temperatura ambiente máxima registrada no dia foi de 35,9 °C às 12:15h. No telhado verde a temperatura interna máxima registrada foi de 31,5 °C às 17:20h, demonstrando um efeito de atraso térmico de 5 horas e amortecimento térmico durante o período mais quente do dia de 4,4°C, conforme observado por Vecchia *et. al.* (2004). Em função do posicionamento em relação aos eixos cardiais do protótipo do experimento, duas paredes pegam todo o sol da tarde, contra apenas uma parede da testemunha. Até às 17h, a diferença de temperatura interna entre o telhado verde e testemunha foi de no mínimo 2 °C (de diferença).

5. CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Esta dissertação de mestrado foi desenvolvida no contexto do Projeto de Pesquisa HIDROCIDADES (CNPq/CTHIDRO/CTAGRO) que está relacionado às questões associadas à conservação da água em meios urbanos e periurbanos através de ações de cidadania e inclusão social. Esta dissertação abordou um experimento sobre telhados verdes em habitações de interesse social e suas funções na melhoria do conforto ambiental e retenção das águas pluviais. Observa-se a aplicação desta pesquisa como ferramenta importante na gestão dos recursos hídricos entre outras tecnologias também ecoeficientes. As principais conclusões desta dissertação são:

- a) A técnica construtiva adotada mostrou-se adequada e possibilitou a implantação do plantio em telhado sobre telhas de fibrocimento. O sistema de canaletas adotado para implantação das muda no telhado, evitando a necessidade de caminhar sobre o telhado, minimizando os riscos de acidente, mostrou-se interessante, mas necessita de adaptações. O plantio de certa forma foi facilitado, porém na manutenção da cultura e na colheita, essa prática não se mostrou eficiente e viável para uso ao longo do ciclo da cultura, sendo necessário subir no telhado.
- b) Com relação ao estudo preliminar sobre a adaptação e desenvolvimento de espécies com potencial de geração de renda, foi baseado somente na vocação da região e possibilidade de expansão comercial já preexistente (paisagismo e polo gastronômico)
- c) Com relação aos custos de implantação do telhado verde, chegou-se ao valor de R\$102,59 / m². Um valor relativamente alto quando se fala numa estratégia de utilização sobre coberturas de casas populares. O nosso experimento foi capaz de preliminarmente compor uma renda estimada, na densidade de plantio adotada, de cerca de R\$ 50,00/ m² (plantio de Liríope) após um ciclo de 6 meses de cultivo. Ou seja, uma recuperação do capital investido em cerca de 2 anos de trabalho. Podemos julgar como um investimento alto, principalmente quando se quer possibilitar a geração de renda através dos telhados verdes. Outro fator importante, é que esse valor encontrado, preliminarmente, não está levando em conta a durabilidade do material. O tempo curto de experimentação não foi capaz

de avaliar a durabilidade dos materiais utilizados, e determinar sua vida útil. Também não foram contabilizados custos de manutenção.

- d) Com relação à capacidade de retenção das águas pluviais nos telhados verdes pôde-se observar através de dois ensaios em que o sistema de irrigação foi usado para simular chuva sobre os telhados verde e testemunha (convencional – telha de fibrocimento) em carga plena e carga parcial, pode-se constatar através do hidrograma resultante a eficiência do telhado verde no retardo do tempo para o pico e no volume retido, o potencial do telhado verde como medida de controle no lote, nos projetos de drenagem sustentável e controle de enchentes urbanas. Observou-se uma retenção de até 56% do volume precipitado. Observou-se o retardo da ocorrência do pico de até 8 minutos no telhado vegetado em relação ao telhado testemunho (convencional de fibrocimento). Mostrou-se uma importante ferramenta na gestão das águas pluviais, principalmente em áreas urbanas, onde esta pode ser uma forma de controle no lote. Os reservatórios 3 e 4 do experimento (reservatórios de detenção) tem a capacidade de minimizarem o impacto hidrológico da redução da capacidade de armazenamento natural da bacia hidrográfica, também se mostra de acordo com o Decreto Municipal do Rio de Janeiro nº 23940 de 30 de janeiro de 2004. O volume armazenado pelo sistema de drenagem (reservatórios de detenção), pode reduzir a pressão pelo uso de águas superficiais de abastecimento, e até mesmo reduzir a pressão pelo uso da água subterrânea, em função de seu uso para fins não potáveis.
- e) Nas investigações sobre conforto ambiental observou-se o efeito da irrigação (microaspersão) sobre o telhado de fibrocimento como ferramenta para redução da temperatura. Efeito do substrato sem presença de vegetação e sua contribuição para redução da temperatura. Efeito do telhado verde (solo-água-planta) para redução da temperatura. A microaspersão sobre o telhado de fibrocimento como técnica de redução de temperatura interna, não se mostrou eficiente. Foi observada apenas uma redução de cerca 0,5°C, não sendo viável o custo de aquisição do equipamento e os custos com água e energia elétrica para o efeito obtido. O efeito da utilização de substrato sobre o telhado de fibrocimento, sem cultivo, aumentou a temperatura sobre o telhado em 1,5°C em relação ao

testemunho em função da inércia térmica pela presença do substrato, e cerca de 0,5°C em relação ao ambiente. Na parte interna, a redução da temperatura ocorreu nas horas mais quentes do dia ficando cerca de 0,3°C menor que a testemunha. O efeito do telhado verde se mostrou muito eficiente tanto no comportamento térmico interno como também no externo, reduzindo a amplitude térmica interna em dia característico de verão (temperatura ambiente de 35,9 °C) que foi de apenas 5,5 °C . Foi capaz de reduzir a temperatura interna em cerca de, 4,4 °C nos períodos mais quentes do dia em relação à testemunha e redução em cerca de 4,0 °C no ambiente externo em comparação com a testemunha, sendo eficiente sobre a modificação do micro-clima local. Outro dado importante se refere ao atraso térmico da temperatura interna que ficou em cerca de 5 horas. Embora essa redução seja expressiva, esses valores estão acima dos valores considerados como ótimo para conforto térmico interno que seria de 29 °C, para o verão de acordo com índices da zona de conforto utilizados.

- f) Os resultados encontrados são novos e a pesquisa pioneira. Muitos outros testes e investigações deverão ser feitos para se inferir novos resultados. De qualquer forma a contribuição desta pesquisa é um ponto de partida para novas investigações.
- g) A utilização do telhado verde para cultivo de hortaliças e ornamentais, embora possuam uma razão social nobre e real, em função dos tratamentos culturais necessários no desenvolvimento e na colheita, pressupõem um aumento no risco da atividade sobre o telhado, que merece atenção dos pesquisadores no desenvolvimento de técnicas mais seguras.

A pesquisa foi desenvolvida sobre o telhado de fibrocimento (amianto), pelo motivo de ser representativo seu uso nas comunidades em questão, além de ser de conhecimento da sociedade e das autoridades competentes que sua comercialização, embora proibida, ainda ocorra. A pesquisa em questão não tem a pretensão de incentivar seu uso, mas sim mitigar os efeitos térmicos das construções já existentes e que o usam como cobertura, bem como auxiliar e reduzir os efeitos das enchentes nas áreas urbanas, além de outras vantagens. Mas a

técnica desenvolvida na pesquisa não se limita a este tipo de cobertura, podendo eventualmente ser desenvolvida sobre outros tipos de cobertura ou telhas.

O uso de coberturas verdes em residências deve ser muito bem elaborado, principalmente no reforço estrutural bem como na impermeabilização, para evitar acidentes e garantir que não ocorram infiltrações em função do desenvolvimento de fungos e mofo nas paredes e na parte interna das telhas, pois isso afeta a saúde de seus usuários, e certamente a saúde pública da população. Outro dado importante se refere à inclinação do telhado. A declividade pode dificultar a implantação da cobertura verde.

No desenvolvimento desta pesquisa foram, no entanto, observadas algumas limitações destacadas a seguir.

- a) O local do experimento, pelo fato de não estar orientado em relação aos eixos cardinais influenciou o ambiente tratado (telhado verde) no final de tarde ao incidir maior quantidade de radiação solar sobre duas paredes, em comparação a testemunha, onde apenas uma parede recebeu essa radiação.
- b) O local do experimento possuía uma árvore que sombreava parte do telhado testemunha em alguns momentos. Embora tenha sido feita a poda da árvore, eventualmente alguns resultados podem ter sido influenciados pela mesma.
- c) A área de parede influenciou o comportamento térmico, uma vez que sua área é maior que a área do telhado verde.
- d) O sistema de aspersão (microaspersão) não foi projetado para simular a intensidade pluviométrica de projeto estabelecida pela Rio-Águas para cálculos de microdrenagem urbana, associada a 10 anos de tempo de recorrência.
- e) O cultivo da rúcula, que foi estabelecido inicialmente como objeto destes estudos, em virtude de contratempos na definição do local e dos requisitos mínimos para instalação acabou por adiar o início do plantio, culminando no final da primavera o início da semeadura. Esta cultura, como também várias hortaliças, não produz bem durante os meses mais quentes do ano (desde que não protegidas adequadamente). Com este inconveniente optou-se por um conjunto de plantas

(comestíveis e ornamentais) de modo a garantir produção e cobertura do telhado para avaliação das condicionantes ambientais propostas neste experimento.

A seguir são apresentadas algumas sugestões para futuras investigações:

- a) Análise da qualidade da água efluente do telhado testemunha e do telhado verde, inclusive estudar diferentes tipos de solo e substrato e a drenagem de nutrientes essenciais a plantas.
- b) Avaliar outras combinações de declividade de telhados e substratos diferentes e sua influência na capacidade de retenção e de retardo determinando um hidrograma completo para cada tratamento e comparar resistência ao processo erosivo.
- c) Avaliar as plantas cultivadas que possuem maior valor agregado e mercado potencial, para determinar a vocação agrícola (AU/AUP) da região.
- d) Avaliar crescimento vegetativo e reprodutivo das plantas cultivadas em telhados verdes para comercialização levando-se em conta critérios fisiológicos e morfológicos das culturas.
- e) Estudos de simulação para avaliação do impacto da implementação de telhados verdes na bacia hidrográfica como um todo;
- f) Modelagem da capacidade de retenção e retardo de águas pluviais dos telhados verdes para intensidades pluviométricas mais críticas.
- g) Desenvolvimento de novas políticas públicas (Planos Diretores), onde o telhado verde seja uma proposta para contribuição aos problemas de drenagem juntamente com outras técnicas capazes de reduzir o consumo de energia e água e, que utilizem conhecimentos técnicos ecoeficientes, como melhoria da luminosidade interna dos ambientes, reservatórios de detenção de águas pluviais (telhados), reservatórios de acumulação de águas pluviais (pisos), aproveitamento das correntes de ar predominantes, aproveitamento da radiação solar para aquecimento de água e geração de energia, aproveitamento do relevo para abastecimento e escoamento dos efluentes e tratamento de efluentes com polimento e zona de raízes entre outras.

O período de experimentação não foi suficiente para observação do desgaste dos materiais. Sugere-se, portanto que essa questão seja acompanhada na continuidade dos estudos experimentais.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AL SANEA, S. A. *Thermal performance of building roof elements*. Building and environments. v. 37, n. 7, p.665-675, 2002.
- ARAÚJO, S.R. *Telhados verdes*, Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Florestal, como requisito parcial para a obtenção do Título de Engenheiro Florestal, Instituto de Florestas da Universidade Federal Rural do Rio Janeiro, 2007, 22p..
- ARRUDA, J. *Agricultura urbana e periurbana em Campinas/SP: análise do programa de hortas comunitárias como subsídio para políticas públicas*. Dissertação (Mestrado em Planejamento e Desenvolvimento Rural Sustentável) – Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2006
- BAPTISTA, M. B. ; NASCIMENTO, N. O.; BARRAUD, S. *Técnicas compensatórias em drenagem urbana*. 1ª ed. Porto Alegre. ABRH, 2005 V 1000, 266p
- BELTRAN, J. *Hacia un imaginario de desarrollo sostenible*. En: A la búsqueda de ciudades sostenibles. Seminario especializado. Memorias. II Encuentro Internacional Habitat-Colombia. Pereira 20-24 de septiembre, 1994. Editorial Guadalupe Ltda. Bogotá. 369 p. 1995.
- BRENNEISEN, S. *Green roofs - how nature returns to the city*. Acta Horticulturae, ISHS, International Conference on Urban Horticulture, 2004, v. 643, p289-293.
- CAMARGO, L. de S.A. *As hortaliças e seu cultivo*, 3 ed. Campinas, Fundação Cargill, 1992, 252p.
- CASTANHEIRA, R. G. *Conforto térmico*, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Instituto de Tecnologia, Departamento de Arquitetura e Urbanismo, 2008 COAG/FAO. *Urban and periurban agriculture*. COAG/99/10. Presented at 15th Session of the COAG, FAO, Rome, p. 25-29, jan. 1999.

CORREA, C. B.; GONZALEZ, F. J. N. *O uso de coberturas ecológicas na restauração de coberturas planas*. In: Núcleo de Pesquisa em Tecnologia de Arquitetura e Urbanismo - NUTAU. Anais... São Paulo: Pró-reitoria de Pesquisa, Universidade de São Paulo, 2002.

CNPq – Conselho Nacional de Pesquisa e Desenvolvimento, Cidades, Qualidade de Vida e Recursos Hídricos: *Gestão integrada dos recursos hídricos e planejamento urbano da região da baixada de Jacarepaguá, processo no. 500129/2006-1*, Edital 05/2006 Águas Urbanas.

CREA-RJ em revista *Relatório de Gestão*, n. 75, p.58-60, dez de 2008

CUNHA, A. R.; MEDIONDO, E. M. *Experimento hidrológico para aproveitamento de águas de chuva usando coberturas verdes leves (CVL)*. USP/SHS – Processo FAPESP 03/06580-7 – São Carlos – SP, 2004

DIMOUD, A.; NIKOLOPOULOU, M. *Vegetation an urban environmet: Microclimatic analysis and benefits*. Energy and Buildings, v. 35, n. 1, p. 69-73, 2003.

GIVONI, B. *Man, climate and arquitetura*. 2 ed. London; Applied Science Publishers Ltda. 1976.

GOMEZ, F. et al. *Vegetation and climates changes in a city*. Ecological Engineering, v. 10, n. 4, p.355-360, 1998.

GUSMÃO, S. A. L. de; LOPES, P. R. A.; SILVESTRE, W. V. D.; OLIVEIRA, C. F. N.; *Cultivo de rúcula nas condições do trópico úmido em Belém*. Horticultura Brasileira. v.20, n.2, julho 2002 (suplemento 2).

ISLAM, K.M.S. *Roof top gardening as a strategy of urban agriculture for food security: the case of Dakar city, Bangladesh*. Acta Horticulturae, ISHS, International Conference on Urban Horticulture, 2004, v. 643, p241-247.

JONHSTON, J.; NEWTON, J. *Building green: a guide for using plants on roofs, walls and paviments*. London: The London Ecology Unit, 1996.

- KOHLER M, Schmidt, M, Grimme F. W., Laar M., Paiva V. L. A., Tavares S. [2001] *Green roofs in the temperate climates and in the hot-humid tropics*. The 18th Int. Conference on Passive and Low Energy Architecture, PLEA Proc., Florianopolis, Brasil 493 – 499.
- KOELLER, M. SCHMIDT. *Green Roofs in the temperate climates and in the hot humid tropics*. 18th Int. Conference and Passive and Low Energy Arqitetur, PLEA Proc. Florianopolis, Brasil, p. 493-499, 2000.
- LAAR, M. et al. *Estudo de aplicação de plantas em telhados vivos extensivos em cidades de clima tropical*. In. Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído - ENCAC, 6. Anais. São Pedro, São Paulo, 2001.
- MACHADO, C. T. T.; MACHADO, A .T. *Agricultura urbana e periurbana: benefícios e riscos potenciais*. 2004. <http://www.agriculturaurbana.org.br/> (Acesso em 19/05/08)
- MADALENO, I. M. *A cidade das mangueiras: agricultura urbana em Belém do Pará*. Lisboa: Fundação Calouste Gulbekian, 2002. 193 p.
- MENTENS, J. et al. *Green roofs as tool for solving the rainwater runoff problem in the urbanizing 21th century?* Department of Land management. LFNLR Belgium, 2005
- MORGADO, J. M. *Coberturas verdes*. Impermeabilizar. São Paulo, n. 78, p.62-76, 1995.
- NARDIN, R. R.; CASTELAN, F.; CECÍLIO FILHO, A. B. *Efeito da consorciação sobre as produtividades de rúcula e da beterraba estabelecida por transplântio de mudas*. Brasília, Horticultura Brasileira.v.20, n.2, julho 2002 (suplemento 2).
- NIACHOU, A . et. al. *Analysis of green roof thermal properties and investigation of its energy performance*. Energy and Buildings, v. 33, n. 7, p. 719-729, 2001.

- OLIVEIRA, T. A. e RIBAS, O. T. *Sistemas de controle das condições ambientais de conforto*, L Série Saúde & Tecnologia — Textos de Apoio à Programação Física dos Estabelecimentos Assistenciais de Saúde — Sistemas de Controle das Condições Ambientais de Conforto. -- Brasília, Ed. Brasília, 1995. 92 p. bvsms.saude.gov.br/bvs/publicacoes/sistemas_conforto.pdf, acesso em 27/05/2008.
- ONMURA, S; MATSUMOTO, M.; HOKOI, S. *Study on evaporative cooling effect of roof lawn gardens*. <http://www.sciencedirect.com/science> acesso em 27/05/2008.
- OSMUNDSON, T. *Roofs gardens: history, desing and construction*. New York: W.W. Norton e Company, Inc, 1999.
- OTTONI, A. B. *Tecnologia do manejo hídrico em bacias urbanas visando sua valorização sanitária e ambiental*. Tese de Doutorado – Escola Nacional de Saúde Pública ENSP/FIOCRUZ, Fundação Oswaldo Cruz, 1996.
- PALLA, A. et. al. *Modelling storm water control operated by green roofs at the urban catchment scale University of Genoa – Italy*, 11th International Conference on Urban Drainage, Edinburgh, Scotland, UK, 2008
- PECK, S. W. et. al. *Greenbacks from green roofs: forging a new industry in Canadá*. Peck and associates, 2002.
- POUEY, M. T. F. *Estudo experimental do desempenho térmico de coberturas planas - vegetação e terraço*. 148 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia)- Escola de Engenharia, Universidade Ferederal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1998.
- PROJETO FOME ZERO. *Uma proposta de política de segurança alimentar para o Brasil*. [S.l.]: Instituto Cidadania, versão 3, 2001. 118 p.
- REGHIN,M.Y.;OTTO,R.F.;OLINIK,J.R.; JACOBY,C.F.S. *Efeito do espaçamento e do numero de mudas por cova na produção de rúcula nas estações de outono e inverno*. Ciência agrotécnica, Lavras, v. 29, n. 5, p. 953-959, set./out., 2005.

- RESOLUÇÃO CONJUNTA SMG/SMO/SMU nº 1 de 27 de janeiro de 2005 –
Disciplina o Decreto nº 23940 de 30 janeiro de 2004. Prefeitura da Cidade do Rio
de Janeiro, 2005
- RIVERO, R. *Arquitetura e clima: acondicionamento térmico natural*. Porto Alegre: D.
C. Luzzatto Editores: Ed. da Universidade, UFRGS, 1998.
- ROLA, S.; UGALDE, J. *Sustentabilidade de cidades por coberturas ajardinadas*.
http://www.ivig.coppe.ufrj.br/pbr/proj_natur.htm, acesso em 10/09/2007.
- ROMERO, M. A . B. *Princípios bioclimáticos para o desenho urbano*. São Paulo.
ProEditores, p.31-32, 2000.
- SANTOS, H.S.; ZATARIM, M.; GOTTO,R. *Influência da densidade e do sistema de
semeadura na produção de rúcula*. Brasília, Horticultura Brasileira. v.20, n.2, julho
2002 (suplemento 2).
- SIMÕES, S.J.C. *Variabilidade, fragilidade e dinâmica da paisagem em área de
transição urbano-rural*. Tese (Doutorado em Filosofia, Letras e Ciências
Humanas) - Universidade Estadual de São Paulo, São Paulo, 1996.
- TUCCI, C. E. M. *Estudos hidrológicos - hidrodinâmicos do rio Iguaçu na região
metropolitana de Curitiba*. Prosan-Suceam Curitiba 2 volumes, 1996.
- TUCCI, C. E. M. e Genz, F. *Drenagem Urbana – Capítulo 7 – Controle do Impacto
da Urbanização – Coleção ABRH de Recursos Hídricos, v.5*. Editora da
Universidade UFRGS, 1995
- VECCHIA, F. *Cobertura verde leve (CVL): Ensaio Experimental, Maceió*, In: VI
Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído (ENCAC) e IV Encontro
Latino-americano sobre Conforto no Ambiente Construído (ELACAC), 2005.
http://www.shs.eesc.usp.br/pessoal/docentes/technotes/14/cobertura_verde_leve-ensaio_experimental.pdf, acesso em 27/05/08.
- UHL, M. e SCHIEDT, L. *Green roof storm water retention –monitoring results*
Muenther University, Hannover, 11th International Conference on Urban Drainage,
Edinburgh, Scotland, UK, 2008

UNDP. *Urban agriculture: food, jobs and sustainable cities*. United Nations Development Programme. New York: Publication Series for Habitat II, v. 1, 1996.

WONG, N. H. et. al. *Investigation of thermal benefitsof rooftop garden in the tropical environment*. Building and Environmet, v. 38, n. 2, p. 261-270, 2003.

WONG, N. H. et. al. *The efects of rooftop garden on energy consumption of a commercial building in Singapore*. Energy and Buildings, v. 35, n. 2, p.353-364, 2003.