

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DA CONSTRUÇÃO CIVIL
ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: AMBIENTE CONSTRUÍDO

ANA PRISCILLA ROMERO RODRIGUES MILLER

**ANÁLISE DO COMPORTAMENTO DE SUBSTRATO PARA
RETENÇÃO DE ÁGUA PLUVIAL PARA COBERTURAS VERDES
EXTENSIVAS EM CURITIBA - PR**

CURITIBA

2014

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DA CONSTRUÇÃO CIVIL
ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: AMBIENTE CONSTRUÍDO

ANA PRISCILLA ROMERO RODRIGUES MILLER

ANÁLISE DO COMPORTAMENTO DE SUBSTRATO PARA
RETENÇÃO DE ÁGUA PLUVIAL PARA COBERTURAS VERDES
EXTENSIVAS EM CURITIBA - PR

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia da Construção Civil, Área de concentração: Ambiente Construído, Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial para obtenção do grau Mestre.

Orientador: Prof. Dr. Sergio Fernando Tavares

CURITIBA

2014

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho ao futuro da minha família e ao futuro do planeta. Para uma vida mais equilibrada, saudável e sustentável para as futuras gerações, principalmente das minhas filhas, que com um mundo melhor, todos vivem melhor.

A partir da educação e percepção da melhoria da qualidade de vida, a evolução é certa.

Desejo com esta dissertação edificações mais sustentáveis. Sonho e acredito em uma visão aérea das cidades menos vermelho escuro e cinza e mais verde.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente ao meu orientador professor doutor Sergio Tavares por ter me ajudado na feliz escolha do presente tema: coberturas verdes, qual me dediquei com imenso prazer, também por ter me orientado durante o trabalho e me ajudado na construção do protótipo.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes) pela bolsa de estudos durante todo o curso.

Ao meu marido Mauro Miller, sua mãe Dora Miller e à minha mãe Mercedes Romero e às minhas filhas pela compreensão e ajuda durante as horas de dedicação ao curso e à construção do protótipo.

À amiga Ana Carolina Freire, pela ajuda prestada.

Aos colegas de curso: José Edwalto de Lima Junior e Alexandre Bessa Martins Alvez, por toda ajuda e atenção.

Agradecimentos às empresas e pessoas sem as quais o protótipo não teria sido construído:

A amiga Adriane Cordoni Savi, parceira do protótipo;

Ao Horto Florestal Guabirota, que forneceu o local para a execução do protótipo e o ao engenheiro agrônomo Daniel Salvador Schlichta (funcionário do Horto Florestal Guabirota), que mostrou o melhor caminho para a composição dos substratos com as mudas, assim como as regas e adubos necessários para o crescimento das plantas antes das medições;

A Sra. Eneida Hoffmann pela doação de madeiras e demolição;

À empresa LCC Construções, que forneceu os materiais e a mão de obra para a construção das sapatas em concreto;

À empresa Globalwood - Compensados e Madeiras, pelo fornecimento das chapas para os módulos;

À empresa Diprotec – Distribuidora de Produtos Técnicos para a Construção Civil, que forneceu a manta de proteção de raiz;

À empresa Impertech, que forneceu a borracha líquida para a impermeabilização dos módulos.

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

- ASTM - *American Standard Testing Methods* (Métodos Americanos de Testagem Padrão)
- CV - Cobertura verde
- FLL - *Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau* (Sociedade de pesquisa sobre paisagismo e desenvolvimento da paisagem)
- IGRA - *International Green Roof Association* (Associação Internacional de Coberturas Verdes)
- INMET - Instituto Nacional de Meteorologia
- PEAD - Polietileno de Alta Densidade
- UFPR - Universidade Federal do Paraná

LISTA DE FIGURAS

Figura 01 - Camadas do telhado verde extensivo.....	23
Figura 02 - Balanço energético de uma cobertura verde.....	27
Figura 03 - Política de controle e impacto quantitativo da drenagem urbana.	30
Figura 04 - Instalação para medir o peso das bandejas suspensas na balança de equilíbrio.....	32
Figura 05 - Cama de testes, Universidade de Sheffield, Reino Unido.....	33
Figura 06 - Imagem aérea do Horto Municipal Guabirota.....	38
Figura 07 - Protótipo.....	39
Figura 08 - Módulo 1.....	41
Figura 09 - Mapa mental do projeto.....	42
Figura 10 - Graduação da caixa d'água.....	43
Figura 11 - Imagem computadorizada do protótipo.....	44
Figura 12 - Imagem computadorizada do protótipo.....	45
Figura 13 - Imagem computadorizada do protótipo.....	46
Figura 14 - Localização do protótipo no Horto Municipal Guabirota.....	47
Figura 15 - Colocação dos pilares de madeira na espera das sapatas.....	48
Figura 16 - Estrutura pronta e chapa de compensado naval para os módulos.....	48
Figura 17 - Chapa colocada para receber os módulos.....	49
Figura 18 - Módulos sendo aparafusados.....	49
Figura 19 - Quatorze módulos prontos.....	49
Figura 20 - Colocação de impermeabilizante nas frestas.....	50
Figura 21 - Impermeabilizante nas laterais e fundo.....	50
Figura 22 - Impermeabilizante nas laterais e fundo.....	51
Figura 23 - Impermeabilização pronta.....	51
Figura 24 - Mantas PEAD colocadas.....	52
Figura 25 - Manta geotêxtil por cima da abertura de escoamento.....	52
Figura 26 - Camada de argila expandida.....	52
Figura 27 - Módulos recém plantados.....	53
Figura 28 - Soluções com galões de água de 20 L.....	53
Figura 29 - Colocação dos tubos de 32 mm e das caixas d'água.....	54
Figura 30 - Caixas d'água colocadas.....	54
Figura 31 - Medição do volume de água.....	55
Figura 32 - Caixa desconectada para esvaziamento.....	56
Figura 33 - Caixa sendo esvaziada.....	56
Figura 34 - Imagem do crescimento das plantas em 12/12/2013.....	58
Figura 35 - Módulos com plantas em 27/12/2013.....	59

Figura 36 - Aspecto do crescimento das plantas em cada módulo em 27/12/2013.....	59
Figura 37 - Pluviômetro do protótipo (módulo 6).....	60
Figura 38 - Aspecto das plantas em cada módulo em 27/01/2014.....	64
Figura 39 - Aspecto das plantas em cada módulo em 26/02/2014.....	64
Figura 40 - Aspecto das plantas em cada módulo em 08/03/2014.....	68
Figura 41 - Aspecto das plantas em cada módulo em 11/03/2014.....	68

LISTA DE TABELAS

Tabela 01 - Efeito dos aditivos de retenção na capacidade de armazenamento de água para as plantas, porosidade e densidade de massa de dois substratos de cobertura verde.....	37
Tabela 02 - Porcentagem das substancias nos substratos.....	40
Tabela 03 - Índices pluviométricos diários fornecidos pelo INMET e escoamento dos módulos em milímetros no mês de janeiro de 2014.....	41
Tabela 04 - Índices pluviométricos diários fornecidos pelo INMET e escoamento dos módulos em milímetros no mês de fevereiro de 2014.....	63
Tabela 05 - Índices pluviométricos diários fornecidos pelo INMET e escoamento dos módulos em milímetros no mês de março de 2014.....	67
Tabela 06 - Tabela de escoamentos em milímetros.....	70

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 01 - Índice de escoamento dos módulos e índice do INMET (jan/2014).....	61
Gráfico 02 - Índice de escoamento dos módulos e índice do INMET (fev/2014).....	63
Gráfico 03 - Índice de escoamento dos módulos e índice do INMET (mar/2014).....	66

SUMÁRIO

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS.....	05
LISTA DE FIGURAS.....	06
LISTA DE TABELAS.....	08
LISTA DE GRÁFICOS.....	09
1 INTRODUÇÃO.....	14
1.1 Problema.....	15
1.2 Objetivos.....	15
1.3 Hipótese.....	16
1.4 Justificativa.....	17
1.4.1 JUSTIFICATIVA AMBIENTAL.....	17
1.4.2 JUSTIFICATIVA TECNOLÓGICA.....	18
1.5 Contextualização no programa.....	19
2 REVISÃO DA LITERATURA.....	21
2.1 Sustentabilidade.....	21
2.2 Tipos de coberturas verdes.....	22
2.3 Redução do fluxo de calor e comportamento térmico das coberturas verdes.....	24
2.4 Gestão de águas pluviais e inundações.....	28
2.5 Desempenho e propriedades hidrológicas de telhados verdes.....	31
2.6 O Substrato em telhados verdes e aditivos de retenção de água.....	34
3 MATERIAIS E MÉTODO.....	38
3.1 Unidade de análise.....	38
3.2 Delimitação do trabalho.....	39
3.2.1 CARACTERIZAÇÃO E ESCOLHA DA PLANTA.....	40
3.3 Justificativa da escolha a partir do objetivo.....	41
3.4 Mapa mental.....	42
3.5 Testes de validade.....	42
3.5.1 VALIDADE DO CONSTRUCTO.....	42
3.5.2 VALIDADE INTERNA.....	43
3.5.3 VALIDADE EXTERNA.....	44
3.6 Projeto.....	44
3.7 Protocolo de coleta de dados.....	47
3.8 Método de análise dos dados.....	55
3.8.1 CONVERSÃO DOS DADOS.....	56
4 RESULTADOS.....	58
5 DISCUSSÃO.....	71
6 CONCLUSÕES.....	74
REFERENCIAS.....	76

ANEXOS..... 81

RESUMO

Os benefícios da cobertura verde vão desde o conforto térmico na parte interna da edificação, até a retenção do escoamento de águas pluviais de uma cidade, funcionando como uma área verde. Todavia, para que estas vantagens sejam aproveitadas é importante levar em consideração os componentes do solo e seu teor de umidade, a seleção de plantas e as condições climáticas, com ênfase na umidade relativa do ar, que está diretamente relacionada com a evapotranspiração. O objetivo deste trabalho foi conhecer qual a composição de substrato para cobertura verde extensiva que melhor se adapta ao clima de Curitiba - PR de modo a obter a maior capacidade de retenção/escoamento das águas da chuva em relação à umidade relativa do ar. Para atingir o objetivo proposto, foi construído um protótipo com cinco módulos com substratos diferentes e a mesma planta, testados em campo no período de 19 de janeiro de 2014 a 19 de março de 2014, tendo a retenção e escoamento sido comparadas com os dados pluviométricos do INMET. Os resultados mostraram que, no módulo de número 1, as plantas cresceram mais rapidamente e com melhor aparência em comparação com os outros quatro módulos e com uma melhor retenção entre todos. O módulo 5 apresentou os piores resultados. É possível afirmar que mais terra ou menos terra, mais turfa ou menos vermiculita (materiais usados no protótipo) fazem diferença no comportamento de uma cobertura vegetada. Entretanto, seriam necessários mais testes tanto em laboratório como mais recolhimentos pluviais no protótipo por mais no mínimo um ano. A repetição do mesmo substrato validaria cientificamente o resultado e seria interessante fazer apenas dois ou três substratos com diferentes composições e os repetir no mínimo três vezes no mesmo protótipo para obter uma curva de estatística com resultados mais precisos.

Palavras chave: Cobertura verde extensiva, substrato, composição, umidade, Curitiba.

ABSTRACT

The benefits of green coverage ranging from the thermal comfort inside the building, to the retention of stormwater runoff from a city, functioning as a green area. However, to take advantage of these benefits it is important to consider the components and moisture of the soil, plant selection and climatic conditions, with emphasis on the relative humidity, which is directly related to evapotranspiration. The aim of this study was to know what is the substrate composition for extensive green coverage that best fits the climate of Curitiba - PR in order to get the highest capacity retention/disposal of rainwater in relation to relative humidity. A prototype with five modules with different substrates and the same plant was build and field tested the period from 19 January 2014 to 19 March 2014, and the retention and drainage were compared with INMET's rainfall data. The results showed that, in the first module, the plants grew faster and better looking compared to the other four modules and with better retention among all. Module 5 showed the worst results. After these tests it is clear that the amount of soil, of peat, of vermiculite (materials used in the prototype) may have a difference in the behavior of a green roof. However, more tests would be needed in the laboratory and more rain gatherings in the prototype for at least one more year. Repeating the same substrate scientifically validate the result and would be interesting to just two or three substrates with different compositions and repeat at least three times in the same prototype for a curve with more accurate statistical results.

Key Words: Extensive green roofs, substrate, composition, humidity, Curitiba.

1 INTRODUÇÃO

A cobertura verde é conceituada como o recobrimento das edificações com vegetações horizontais, verticais ou inclinadas com o uso de plantas adaptadas às condições locais (UGALDE, 2004). Em sua forma mais simples, essas coberturas existem há milhares de anos, em diversas regiões do mundo.

A melhoria do conforto térmico interno da edificação constituiu-se na principal vantagem para a construção desse tipo de cobertura em uma época em que materiais naturais eram as únicas opções no mercado da construção. Sendo assim, nos climas frios, as coberturas verdes contribuía para o isolamento térmico do telhado enquanto que, nos climas quentes, protegiam a cobertura do calor. (THEODOSIOU, 2009)

Atualmente, o aquecimento, ventilação, sistemas de ar condicionado e o calor produzido por aparelhos industriais e de serviços (computadores), bem como luz, água e elevadores, contribuem para tornar as edificações uma fonte significativa para emissão de gases do efeito estufa e aumento do consumo de energia. Assim, o telhado verde constitui-se numa solução inovadora para proteger o meio ambiente e entre os benefícios de sua implementação em uma edificação estão a economia de energia para refrigeração, a capacidade dele funcionar como um filtro de água pluvial que poderá ser coletada e reutilizada ou despejada na rede pública, além de ser um habitat natural de pássaros, borboletas e outros animais (USGBC, 2009). Esta visão é compartilhada outros autores, que consideram como o maior benefício o fato do telhado verde representar uma economia real no consumo de energia embutida na edificação pela redução do consumo de energia nas construções e por esta razão, tem sido cada vez mais utilizado nos projetos nas grandes cidades (OULDBOUKHITINE *et al.*, 2011; STRAPASSON *et al.*, 2010).

Numa construção com telhado verde, o substrato tem uma composição de matéria orgânica específica para garantir condições de vida adequadas para a vegetação escolhida para ser plantada no telhado (OULDBOUKHITINE *et al.*, 2011) e tanto a densidade das folhas, como a camada de drenagem e a espessura do solo são importantes para impedir que solo seque e para aumentar a característica de refrigeração passiva que os tetos verdes asseguram (THEODOSIOU, 2009)

Diversos de tipos de telhados verdes estão sendo construídos em cidades de todo o mundo e inúmeros artigos na literatura relatam os resultados do comportamento de coberturas verdes por meio de simulações com *software* e experimentos permitindo, com isso, a oportunidade de controlar o comportamento desse tipo de cobertura em condições reais e avaliar as diferenças em relação aos telhados convencionais. Em consequência dos resultados positivos, em alguns países e regiões foram elaborados manuais com orientações para que as coberturas verdes fossem executadas de forma mais eficiente, como é o caso do *Design Guidelines and Maintenance Manual for Green Roofs in the Semi-Arid and Arid West* (TOLDERLUND, 2010) e o *German FLL Guidelines for Planning, Execution and Upkeep of Green-roof sites* (BREUNING e SCHOLZ-BARTH, 2008).

1.1 Problema

A literatura relata os benefícios obtidos com a utilização dos telhados verdes, tanto na escala de edificações individuais como em escala urbana. O caráter quantitativo desses benefícios está relacionado principalmente aos componentes do solo e seu teor de umidade, a seleção de plantas e as condições climáticas, com ênfase na umidade relativa do ar, que está diretamente relacionada com a evapotranspiração (THEODOSIOU, 2009).

Desse modo, no âmbito deste projeto, tornou-se importante conhecer todos esses aspectos para a construção de telhados verdes na cidade de Curitiba, PR. Como a umidade relativa do ar interfere diretamente no desempenho da cobertura verde, surgiu daí o problema de pesquisa: qual a composição de substrato para cobertura verde extensiva que melhor se adapta ao clima de Curitiba - PR de modo a obter a maior capacidade de retenção/escoamento das águas da chuva? Para responder a esta questão, foi construído um protótipo com módulos contendo diferentes substratos e seus resultados posteriormente avaliados.

1.2 Objetivos

O Objetivo Geral do presente projeto é a construção de um protótipo com substratos diferentes e a mesma planta para conhecer qual a composição de substrato para cobertura verde extensiva que melhor se adapta ao clima de Curitiba - PR de modo a obter a maior capacidade de retenção/escoamento das águas da chuva.

Constituem os objetivos específicos deste projeto:

1.2.1 Analisar qual a melhor composição para o substrato pela construção de um protótipo com cinco módulos contendo diferentes proporções de materiais para coberturas verdes extensivas;

1.2.2 Verificar o comportamento dos substratos em relação as retenções/escoamentos de águas pluviais e à umidade relativa do ar na cidade de Curitiba – PR;

1.2.3 Analisar o comportamento dos substratos em relação à retenção de água suficiente para a sobrevivência das plantas;

1.3 Hipótese

Uma vez que uma das vantagens do telhado verde é a reserva das águas pluviais, o substrato é parte importante em todo sistema. Desse modo, sua composição é significativa em se tratando da composição adequada para o armazenamento necessário de água e o crescimento das plantas.

Para a vida longa das coberturas vegetadas, é necessário que o substrato seja poroso, leve e com uma boa drenagem, e tudo isso em perfeito equilíbrio e com a retenção de água suficiente para o crescimento e sobrevivência das plantas (BREUNING e SCHOLZ-BARTH, 2008).

Tendo isso em vista, neste projeto cada um dos módulos utilizou diferentes proporções de terra, turfa, casca de arroz carbonizada e vermiculita para testar a hipótese de que solos com mais terra e mais turfa tendem a ser menos drenantes e que a casca de arroz carbonizada ajuda na drenagem (SCHLICHTA, 2013). Esses materiais foram também escolhidos de acordo com a disponibilidade e uso regionais.

1.4 Justificativas

1.4.1 Justificativa ambiental

Todos os países, estados e cidades têm algum tipo de compromisso verde que afeta a todos os níveis de desenho, desde a casa, a cidade e que reflete a responsabilidade de toda a sociedade (PLINY FISK III, 2010; DURAN e HERRERO, 2010).

Para a redução do consumo de energia das edificações e proteção do meio ambiente, várias soluções inovadoras para a construção têm sido propostas. Entre essas soluções, o telhado verde tem sido cada vez mais utilizado nos projetos de construção em cidades pelo mundo todo e efetivamente contribuem para possíveis soluções de vários problemas ambientais decorrentes das construções e do desenvolvimento urbano (OULDBOUKHITINE *et al.*, 2012)

Além das considerações estéticas, que se aplicam apenas à paisagem arquitetônica, os telhados verdes apresentam benefícios importantes, entre eles a contribuição para o isolamento térmico do edifício no qual estão instalados e a contenção de cheias.

No verão, os telhados verdes desempenham um papel regulador eficiente no fluxo de calor através do telhado, o qual se constitui na maior proporção de energia absorvida pela construção, permitindo que o consumo de energia necessário para refrigeração ou aquecimento possa ser significativamente reduzido. Do ponto de vista térmico, os telhados verdes protegem a cobertura de temperaturas extremas durante os dias quentes e de grandes flutuações de altas temperaturas, reduzindo o estresse térmico (OULDBOUKHITINE *et al.*, 2012).

Em todo mundo, o crescimento populacional e o desenvolvimento urbano tem substituído as superfícies permeáveis com edifícios, estacionamentos, ruas e calçadas e resultado em uma série de problemas ambientais, sendo um deles a geração de grandes volumes de águas pluviais. Quando os espaços verdes são substituídos por edifícios e ruas, a água da chuva não pode mais se infiltrar no solo e contribuir para a recarga das águas subterrâneas. Esta significativa mudança no sistema hidrológico urbano provoca grandes flutuações no volume de escoamento de águas pluviais, muitas vezes tornando-se extremamente alto durante os períodos

de chuvas e permanecendo muito baixo durante os períodos secos (ROEHR e KONG 2010).

De acordo com Baldessar (2012), para o controle das enchentes, é necessário gerenciar o excesso de água da chuva, que está ligado às áreas de enchente. A reorganização dos espaços urbanos é, em princípio, um dos fatores que surge para restabelecer as áreas naturais necessárias à inundação dos rios. Já os sistemas preventivos de inundações, como a drenagem urbana, são prejudicados por precisarem atender além dos seus limites de capacidade. Quando uma área se urbaniza, há aumento da pavimenta o e conseqüentemente a impermeabiliza o que contribuem para a eleva o da velocidade do escoamento, o aumento das enxurradas e a eleva o dos rios provocando erosões e causando outros tipos de desastres ambientais urbanos.

Os efeitos de redu o de escoamento de telhados verdes estão fortemente relacionados com as condi es climáticas locais, como a precipita o e evapotranspira o. Por exemplo, enquanto telhados verdes extensivos em Berlim podem reter 75% da precipita o anual, telhados verdes extensivos em Vancouver podem apenas manter 26% a 29% da precipita o anual (ROEHR e KONG, 2010)

O escoamento de águas pluviais dos telhados contribui significativamente para inunda es e problemas na qualidade da água no meio urbano. Nas cidades mais desenvolvidas, os telhados podem ser responsáveis por cerca de 40-50% das superfícies impermeáveis da área urbana. Técnicas que reduzam o volume de escoamento dos telhados podem contribuir para a melhoria da gestão das águas pluviais (STOVIN *et al.*, 2011).

1.4.2 Justificativa tecnológica

Sobre o comportamento hidrológico de coberturas verdes, na prática um telhado verde nunca vai conseguir estar totalmente seco para atingir níveis ideais de reten o total (STOVIN *et al.* 2011). A melhor indica o da reten o   obtida a partir de medi es de campo de precipita es e escoamento obtidos em tempestades reais, obtidos por meio de uma análise mais cuidadosa dos processos hidrológicos fundamentais do telhado, mais especificamente o fluxo de umidade para o interior e exterior do substrato, o qual pode variar em resposta às condi es ambientais e às

características físicas do substrato. O substrato da cobertura verde é um meio com elevada porosidade e, portanto, o fenômeno de transferência de umidade tem um impacto muito significativo na transferência de calor (OULDBOUKHITINE *et al.*, 2012).

Entretanto, a capacidade de retenção da umidade do sistema de telhado verde é claramente finita. Os eventos de chuva, o total de armazenamento de água do telhado será restaurado via evapotranspiração. Taxas de evapotranspiração variam sazonalmente e diariamente, dependendo das condições meteorológicas e da saúde e configuração das plantas (STOVIN *et al.*, 2011).

1.5 Contextualização no programa

O primeiro estudo relacionado ao tema desta dissertação desenvolvido no Programa de Pós-Graduação em Construção Civil da Universidade Federal do Paraná - PPGCC foi apresentado por Chaves (2003) sob o título “Viabilidade Técnico-Econômica da Utilização da Água de Chuva em Edifícios Residenciais: Estudo de Caso”. Reaproveitamento de água da chuva é um procedimento que as águas colhidas da cobertura ao invés de ser lançada na tubulação de águas pluviais são reaproveitadas. Para isto tem que se investir na construção de reservatórios, no sistema hidráulico de distribuição destas águas e pequena estação de tratamento de água. Estas águas após recolhida sofrem o processo de tratamento para ser reutilizada para fins não potáveis. Nesta pesquisa o autor aborda o processo de reutilização da água da chuva.

No âmbito do PPGCC, o primeiro trabalho com foco em coberturas verdes foi o “Coberturas verdes no contexto da região metropolitana de Curitiba - barreiras e potencial de estabelecimento” (NASCIMENTO, 2008). A autora explora opiniões de profissionais sobre o tema e os questiona sobre a falta de coberturas verdes na região metropolitana de Curitiba. Na pesquisa em questão, a inserção deste tipo de cobertura e também sua história no mundo é mostrada para então chegar às vantagens que coberturas verdes trazem aos projetos e aos usuários das edificações.

Outro estudo, conduzido por Aguiar (2009) faz uma abordagem sobre a reutilização da água da chuva para fins não potáveis. O autor descreve sobre a

reutilização da água no habitat humano e mostra que essa medida reduz a retirada de água de fontes abastecedoras. Na pesquisa também é citado um complexo residencial na Austrália, denominado D'LUX, que desenvolve um projeto para economizar energia e água para fins não potáveis. O projeto de conservação de água inclui reuso de água e água de chuva coletada na área de cobertura e áreas impermeabilizadas do próprio complexo. O autor ainda assinala que a captação da água da chuva da cobertura com telhas por meio de cisterna pode ser prejudicial dependendo do estado de limpeza e conservação dessas telhas.

Baldessar (2012) construiu um protótipo de cobertura verde extensiva com vegetação nativa para avaliar a real contribuição na redução da vazão da água pluvial escoada dos telhados verdes. Sua principal justificativa foi o fato das inundações serem causadas pela falta de permeabilidade no solo urbano das grandes cidades. Os métodos de medição da autora foram realizados por meio de recipientes que recolhiam a água da chuva comparado a outro recipiente recolhedor de um protótipo de laje impermeabilizada construída ao lado do protótipo de cobertura verde e também simulação feita através do *software* GreenRoof. As conclusões foram de que os telhados verdes realmente contribuem para a redução de água de chuva direcionada à galeria de águas pluviais através da evapotranspiração e armazenamento de água. A utilização do software também foi válida e com resultados semelhantes aos medidos pela autora.

2 REVISÃO DA LITERATURA

O conteúdo deste capítulo aborda em como pensar as cidades e as edificações de forma a contribuir para um desenvolvimento sustentável com foco nas coberturas verdes, tendo em vista os benefícios deste tipo de cobertura na melhoria do conforto térmico da edificação e na retenção das águas pluviais através do substrato. Para atingir a finalidade proposta, o capítulo trata da sustentabilidade, tipos de coberturas verdes, redução do fluxo de calor e comportamento térmico das coberturas verdes, gestão de águas pluviais e inundações, desempenho e propriedades hidrológicas dos telhados verdes e o papel do substrato.

2.1 Sustentabilidade

Sustentabilidade é um conceito utilizado para definir ações e atividades humanas que visam suprir as necessidades atuais dos seres humanos, sem comprometer o futuro das próximas gerações. Ou seja, a sustentabilidade está diretamente relacionada ao desenvolvimento econômico e material sem agredir o meio ambiente, usando os recursos naturais de forma inteligente para que eles se mantenham no futuro.

O papel que as edificações representam para o crescimento das cidades é fundamental para o desenvolvimento sustentável já que os edifícios são grandes consumidores de matérias primas. Edwards (2005) aponta que os edifícios consomem 50% de todos os recursos materiais do globo e 45% da energia gerada mundialmente é utilizada para esquentar, iluminar e ventilar edifícios em uso e 5% para construí-los. Ainda, 40% da água no mundo é utilizada para abastecer as instalações sanitárias e outros usos nos edifícios, 60% da melhor terra boa para cultivo deixam de ser utilizada para agricultura para ser utilizada na construção e 70% dos produtos derivados da madeira no mundo são usados para construção de edifícios (EDWARDS, 2005).

A crise do petróleo, na década de 1970, despertou para a necessidade de preservar o meio ambiente e esse fato resultou no surgimento da corrente da arquitetura sustentável. A arquitetura sustentável passou a envolver principalmente a

eficiência energética na construção e manutenção da edificação e passou a ser fundamental que um projeto arquitetônico seja planejado usando as feições naturais, como exposição à luz ou o aproveitamento da direção natural dos ventos (MENASSA, 2011; YUNG e CHANG, 2012). Os materiais ecológicos na arquitetura sustentável são aplicados para reduzir os impactos ambientais e, em alguns casos, para a redução dos custos. O movimento evidencia a consciência da preservação das áreas verdes no entorno da construção ou até mesmo levar essas áreas para o alto dos edifícios: o telhado verde (FRANÇA *et al.*, 2010).

A facilidade de avaliação do impacto das edificações sobre os recursos naturais pode ser explorada para a divulgação de uma nova arquitetura ecológica que promova o processo de mudança. As edificações podem reduzir os impactos ecológicos negativos por meio de projetos arquitetônicos que considerem os aspectos da sustentabilidade. A biodiversidade é uma responsabilidade de todos: arquitetos, engenheiros, agricultores, políticos, etc, e os arquitetos podem contribuir de duas formas: integrando os habitats naturais no processo de desenvolvimento do projeto arquitetônico, incluindo o plantio de árvores, coberturas-jardim, fachadas com trepadeiras, áreas de terreno com vegetação natural; e, especificando os materiais de construção de acordo com uma perspectiva ecológica, contribuindo para a manutenção da biodiversidade local ou regional pela escolha de produtos ou materiais empregados. Desse modo, quando a sociedade aceitar a idéia de projetos de edificação sustentáveis, o desenvolvimento sustentável das cidades será uma consequência (EDWARDS, 2005).

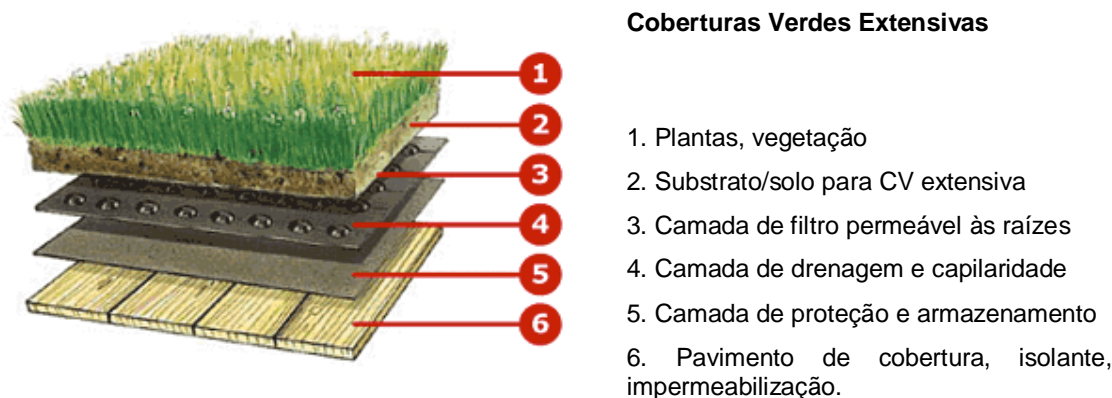
2.2 Tipos de coberturas verdes

De acordo com a *International Green Roof Association* – IGRA, as coberturas verdes podem ser classificadas em dois tipos principais: intensivas e extensivas. As coberturas intensivas precisam de uma profundidade considerável de solo e requerem mão de obra qualificada, irrigação e manutenção constante. São geralmente associadas com teto-jardim e plantas de maior porte. Coberturas extensivas têm uma fina camada de solo. São projetadas para serem praticamente auto-sustentáveis por exigirem o mínimo de manutenção, com vegetação rasteira e de menor porte (BIANCHINI *et al.*, 2011). Há um terceiro tipo de cobertura verde

chamada semi-intensiva, que é uma combinação de intensiva com extensiva (IGRA, 2014, HENEINE, 2008).

As camadas das coberturas verdes basicamente são: laje, proteção anti-raiz, camada de drenagem, filtro, substrato e vegetação (Figura 1).

Figura 1 - Camadas do telhado verde extensivo



Fonte: <http://www.tritonsystems.co.uk> (2004)

As funções da camada de proteção anti-raiz é proteger a laje da água e, como o próprio nome diz não deixar que a raiz cresça a ponto de destruir a laje e comprometer a estrutura do edifício. Os tipos de proteção anti-raiz são dois: físico e químico. O tipo físico consiste em uma fina camada de polietileno de baixa densidade e o tipo químico usa toxina como base de cobre para inibir a penetração da raiz na laje.

As formas dos materiais de camada de drenagem podem ser diferentes, dependendo do tipo de cobertura a se construir. Materiais leves e finos, como o polietileno e o polipropileno, são os preferidos para as coberturas extensivas devido ao peso. Os polímeros são escolhidos por sua flexibilidade, facilidade no transporte, facilidade de instalação, alta resistência, durabilidade e baixo custo de produção. Dependendo do tipo de cobertura a ser feita, a camada de drenagem pode variar de 1,0cm a 1,5cm. (BIANCHINI *et al.*, 2011)

Independentemente do sistema de telhado verde, a finalidade do filtro é evitar que as partículas das camadas superiores passem para as camadas inferiores

durante o processo de drenagem. Esta camada também mantém a integridade do substrato e da vegetação. Os materiais, tais como fibras poliméricas, são usados no processo de fabricação dos diferentes tipos de filtro (BIANCHINI, *et al.*, 2011).

Quase todas as camadas das coberturas verdes são à base dos polímeros. A limitação de peso, durabilidade, facilidade de instalação, resistência a água, flexibilidade levam sempre a escolha desses materiais por possuírem estas características. Além dessas e outras vantagens desse material, como resistência a corrosão e baixo custo, os polímeros podem ser produzidos com materiais reciclados. As camadas de drenagem e o filtro podem ser fabricados com 40% de polipropileno reciclado e a camada de retenção de água com 100% de fibra de polímero reciclada (BIANCHINI *et al.*, 2011).

2.3 Redução do fluxo de calor e comportamento térmico das coberturas verdes

A construção de uma cobertura verde pode melhorar o isolamento térmico de um edifício e assim reduzir o consumo anual de energia (THEODOSIOU, 2011; VECCHIA, 2005). A vegetação reduz a perda de calor no inverno e ganho de calor no verão, pois acrescenta uma massa térmica para ajudar a estabilizar a temperatura durante o ano todo (CASTLETON *et al.*, 2010).

Um dos benefícios da cobertura verde (CV), talvez o melhor deles, é o potencial em economia de energia com o conforto térmico nos dias quentes e nos dias frios (VACILIKIO e FLEISCHFRESSER, 2011). Muitos estudos têm sido realizados para avaliar a extensão da economia de energia com a CV extensiva, como os dois experimentos descritos por Vecchia (2005) e Parizotto e Lamberts (2011).

No experimento de Vecchia (2005), uma cobertura tradicional no Brasil, de laje pré-moldada cerâmica composta por vigotas de concreto e lajotas cerâmicas de 150 mm, sem a utilização de qualquer tipo de telha, atinge os 33° C das 12 horas às 20 horas em função de constituição termo-física, a exemplo de sua massa térmica e absorvância. O autor constatou que, ao contrário dos demais sistemas de cobertura, a cobertura verde não atinge os 33° C nas mesmas condições de todas as demais coberturas testadas (cobertura de fibrocimento, cerâmica e laje pré-moldada), uma vez que a sua temperatura superficial interna máxima verificada experimentalmente

foi de 26.7° C, ficando inclusive abaixo da temperatura máxima do ar registrada que foi de 28.8°. Esse fato significa que as superfícies interiores das coberturas verdes contribuem para a absorção do calor interno, no período crítico que ocorre na parte da tarde (VECCHIA 2005).

Para investigação do desempenho térmico das coberturas verdes, Parizotto e Lamberts (2011) fizeram um experimento com a cobertura verde de uma residência unifamiliar em Florianópolis (SC - Brasil), uma cidade do sul com um clima temperado. Medidas internas dos quartos foram tiradas durante um período de calor e durante um período de frio. Os autores observaram que o mecanismo de resfriamento das coberturas verdes está presente durante a parte quente do ano. No período de aquecimento, a cobertura verde reduziu o ganho de calor de 92 a 97% em comparação aos telhados cerâmicos e metálicos e, no período de frio, o telhado verde reduziu o ganho de calor de 70 a 84% e reduziu a perda de calor de 44 a 52% (PARIZOTTO e LAMBERTS, 2011).

Os estudos no desenvolvimento da tecnologia de telhados verdes consideram que no período mais quente do ano, a fim de proporcionar a conservação de energia, as especificações da cobertura verde devem levar em consideração as condições climáticas, principalmente a umidade relativa do ar, pois os fluxos térmicos são altamente dependentes da umidade do ar (THEODOSIOU, 2011). O autor explica que este comportamento térmico tem êxito, pois cada componente de um telhado verde desempenha um papel importante (figura 2) e funciona da seguinte forma: a vegetação fornece proteção solar para a superfície do solo, impedindo superaquecimento do telhado verde no verão.

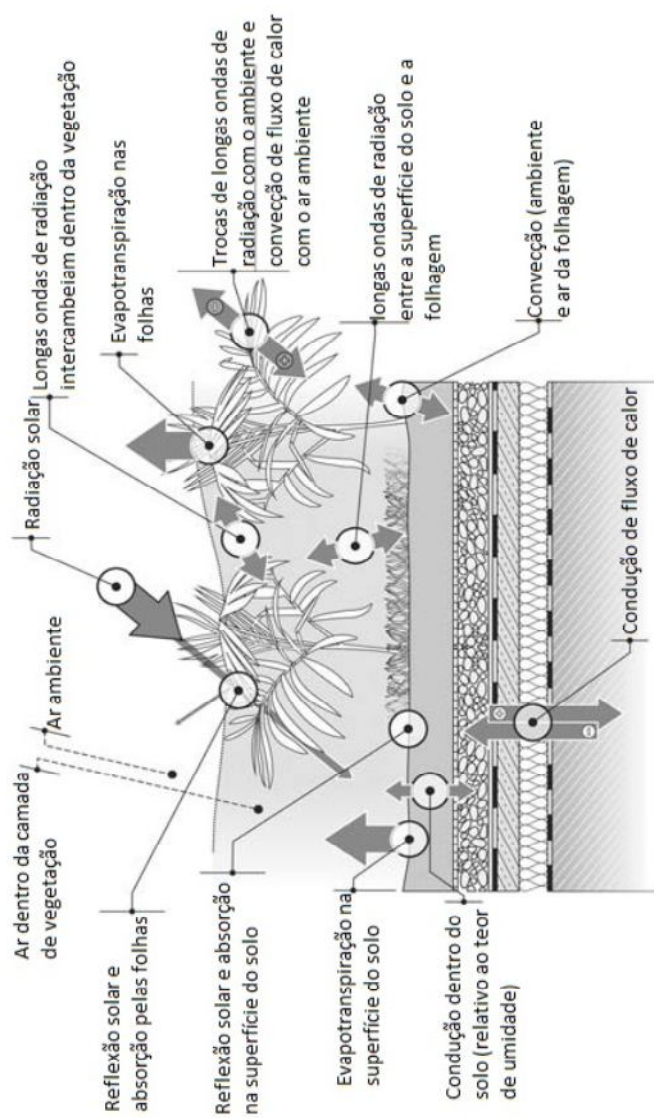
A eficiência do sombreamento depende do tipo de vegetação e da densidade de folhas. Embora o sombreamento possa ser alcançado pelo uso de sombra artificial, o material usado iria refletir ou absorver a radiação solar, resultando em reflexos solares para o ambiente construído ao redor ou transmitância térmica. A folhagem absorve a maior parte da radiação solar e a usa para suas funções biológicas como a evapotranspiração, fotossíntese. A primeira função é uma medida de proteção natural contra o sobreaquecimento nas folhas, o que pode destruir a planta. Biologicamente motivadas, a evaporação forçada das folhas diminuem a temperatura da superfície da folha e resfria o ar em contato com a folhagem. Enquanto houver umidade suficiente na camada de solo, a intensidade da

evapotranspiração é análoga ao estresse de calor, o que significa que este arrefecimento biológico é adaptado ao estresse térmico do ambiente e é maximizado durante os períodos de intensidade solar, quando a necessidade de arrefecimento em edifícios também é maximizada. Uma vez que o ar na camada de vegetação (o espaço entre a superfície do solo e a parte superior da folha) é mantido a uma temperatura baixa e o sombreamento é fornecido pela folha, a parte superior da camada de solo é mantida fria comparada com a temperatura ambiente. Considerando a elevada capacidade térmica da camada de solo, especialmente no caso de alto teor de umidade, os telhados verdes são na prática “dissipadores de calor”. (THEODOSIOU, 2011)

Após as análises feitas por Theodosiou (2011) em experimentos e simulações sobre a contribuição das coberturas verdes para o consumo de energia dos edifícios e outros benefícios, o autor conclui que o comportamento térmico de um telhado verde é variável, dependendo de um número grande de fatores. Fatores estes que não são sempre possíveis de controlar, como a densidade e outras características da vegetação. As variáveis podem ser concebidas durante o processo de criação, tais como as características do solo, componentes do solo, espécies vegetais, o programa de irrigação e o padrão de construção.

Além do desempenho hidrológico de contenção das águas pluviais, os telhados verdes têm sido investigados como estratégia bioclimática para melhorar a eficiência energética dos edifícios. Os dados quantitativos sobre o assunto ainda são necessários para muitas condições climáticas específicas (PARIZOTTO e LAMBERTS 2011).

Figura 2 - Balanço energético de uma cobertura verde



Fonte: Theodosiou (2011).

2.4 Gestão de águas pluviais e inundações

A água que cai em solo com vegetação é quase totalmente absorvida pelo solo, depois pelas plantas e através delas por transpiração voltam à atmosfera. No entanto, em superfícies construídas com concreto, asfalto, telhas, a água não pode ser absorvida pelo solo, e corre através de sistemas de drenagem para os rios. Conseqüentemente em áreas construídas, onde a cobertura do solo é impermeável, e o desenvolvimento residencial e industrial são grandes, a quantidade de água de chuva não absorvida provoca a rápida inundação dos rios, que atingem rapidamente seus níveis mais altos, provocando inundações (HENEINE, 2008).

Atualmente, as áreas urbanas são caracterizadas por grandes áreas impermeáveis que aumentam o escoamento das águas das chuvas e o potencial de inundações na superfície (SPEAK *et al.*, 2013). O crescente número de inundações catastróficas sofridas no Reino Unido, Itália, Camboja e Índia no ano 2000, põe em evidência a interação entre arquitetura e agricultura. Os efeitos da expansão urbana com a intensificação da agricultura ultrapassaram a capacidade do solo de absorver precipitações excepcionais. Como resultado do aquecimento global as chuvas têm sido mais intensas e concentradas. O desenho dos edifícios e paisagens deve contribuir para absorver a intensidade das chuvas para reduzir a sobrecarga dos sistemas pluviais e de drenagem. As superfícies duras devem ser substituídas por outras que atuem como esponjas, absorvendo a umidade e liberando-a gradualmente (EDWARDS, 2005).

O aumento das precipitações está previsto nas projeções de mudanças do clima atual, o que vai colocar ainda mais pressão sobre as populações e infraestrutura urbanas. Para investigar as alternativas de ação para minimizar os efeitos das precipitações, Speak e colaboradores (2013) estudaram um telhado verde antigo dentro do campus da Universidade de Manchester, no Reino Unido. Esse telhado foi escolhido porque que tinha uma área de cobertura convencional (900 m²), que consistia de lajes de pavimentação em concreto, adjacente a um grande telhado verde intensivo (408 m²), que tinha 43 anos e uma profundidade média de 170 mm. Para os autores, a investigação de um telhado verde real, bem estabelecido, que estava sujeito a padrões climáticos locais, iria revelar características do telhado verde que podiam ser aplicadas ao mundo real. Os autores concluíram que a

retenção anual de chuvas para o centro da cidade de Manchester pode ser aumentada em 2,3% se houver um incremento de 10 % na construção de telhados verdes intensivos. Os resultados deste estudo serão de particular interesse para os profissionais que implementam a adaptação de espaços verdes em climas temperados e litorâneos frescos.

No Brasil, o ciclo hidrológico sofre fortes alterações nas áreas urbanas devido principalmente à alteração da superfície e à canalização do escoamento, ao aumento de poluição devido à contaminação do ar das superfícies urbanas e do material sólido disposto pela população. A quantidade de material suspenso na drenagem pluvial apresenta uma alta carga considerando a vazão envolvida (TUCCI, 2004). As conseqüências negativas são as águas pluviais contaminadas por óleo, lixo e outras toxinas que acabam sendo direcionadas aos córregos e rios (BALDESSAR, 2012).

Após a ocupação, as soluções tais como canalizações, diques com bombeamentos, reversões e barragens, ficam extremamente caras. O poder público passa a investir uma parte significativa do seu orçamento para proteger uma parcela da cidade que sofre devido à imprevidência da ocupação do solo (TUCCI, 2004)

Assim, no Brasil, a gestão de águas pluviais tornou-se uma questão de urgência para muitos centros urbanos. Cada vez mais, a cidade é coberta por superfícies impermeáveis - ruas e edificações - que não retêm a precipitação e, assim, produzem mais e mais volume no escoamento de água (BALDESSAR, 2012).

Figura 3 - Política de controle e o impacto quantitativo da drenagem urbana



Fonte: Tucci (2004)

A atuação preventiva no desenvolvimento urbano reduz o custo da solução dos problemas relacionados com a água (Figura 3). Ao planejar a cidade com áreas de ocupação e controle da fonte da drenagem, distribuição do abastecimento e esgotamento, os custos serão menores do que quando ocorrem as crises e as soluções geram custos inviáveis para o município (TUCCI, 2004).

Assim, para a gestão de águas pluviais, os telhados verdes oferecem uma oportunidade para reduzir e atenuar o escoamento de uma tempestade. Telhados verdes extensivos geralmente se apresentam como um “tapete” de plantas de crescimento superficial e que recobrem a camada de drenagem, enquanto telhados verdes intensivos incorporam mais profundamente a vegetação plantada (STOVIN *et al.*, 2011).

Bianchini *et al.* (2011) afirmam que é necessário o desenvolvimento de práticas ecológicas de construção que contribuam na redução do consumo de

energia, reutilização e reciclagem de materiais. A implantação de cobertura verde em edificações existentes é uma forma de adequar as construções dentro de pelo menos um item de sustentabilidade, tornando possível diminuir a descarga das águas pluviais e controlar enchentes, diminuir também a poluição do ar e o consumo energético das edificações.

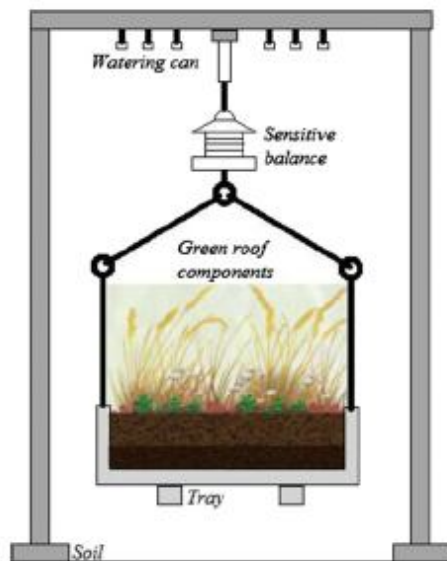
2.5 Desempenho e propriedades e hidrológicas de telhados verdes

Ouldboukhitine *et al.* (2012), por meio de testes de laboratório, avaliaram as propriedades físicas principais do telhado verde para determinar alguns de seus parâmetros-chave de modelagem. Primeiro, as propriedades termo-físicas do telhado verde foram caracterizadas pela correlação entre a condutividade térmica do substrato e a capacidade máxima de água. O armazenamento da umidade foi caracterizado pela técnica de adsorção de vapor dinâmico para determinar tanto a adsorção e dessorção.

As várias caracterizações do estudo desses autores foram realizadas com o propósito de utilizar parâmetros determinados como dados de entrada no desenvolvimento de um modelo de telhado verde, para avaliar de modo mais preciso o impacto dos telhados verdes no desempenho energético da construção e determinar os parâmetros a serem utilizados num modelo numérico de telhado verde.

Na primeira caracterização, a condutividade térmica foi medida para diferentes valores de teores de água, porque as alterações do conteúdo de água no substrato afetam a transferência de calor através do telhado. A avaliação da evapotranspiração (ETP) foi efetuada por meio de um experimento em que os componentes do telhado verde foram tomados na mesma escala em que foram utilizados na construção. Nesse experimento, os componentes do telhado verde foram colocados em bandejas e suspensos numa balança com sensor. O experimento começou pela saturação da bandeja com água. Utilizando uma técnica gravimétrica que consistiu em monitorar a evolução do peso da bandeja em intervalos, a evolução da reserva de água do substrato foi determinada, a qual representa a quantidade de água evapotranspirada. O equipamento experimental é mostrado na figura 4.

Figura 4 - Instalação para medir o peso das bandejas suspensas na balança de equilíbrio.



Fonte: Ouldboukhitine (2012).

O fluxo de calor conduzido depende da condutividade térmica do substrato do telhado verde que, por sua vez, depende de seu conteúdo de água. Existe uma diferença significativa entre as propriedades dos substratos, particularmente para as disponibilidades de água e as taxas de matéria orgânica (THEODOSIOU, 2011). Os resultados obtidos experimentalmente permitiram definir os critérios para selecionar o tipo de substrato a ser utilizado no telhado (OULDBOUKHITINE *et al.*, 2012).

Stovin *et al.* (2011) buscaram dados pluviométricos e de escoamento de um telhado com cobertura verde no Reino Unido que foram recolhidos quase ininterruptamente durante dois anos. Os autores utilizaram uma cama de teste (figura 5) com padrão comercial de telhado verde extensivo, composta por plantas suculentas, com camada de 80mm de substrato. A base do equipamento estava colocada numa inclinação de 1,5° e o substrato era composto por uma mistura de tijolos reciclados moídos. Uma fina membrana de filtragem separava o substrato da camada de drenagem Floradrain “caixa de ovo” FD25 subjacente. A camada de drenagem sozinha tinha capacidade nominal de retenção de 3l/m² (isto é, 3mm de precipitação). Durante este experimento descobriu-se que, em um evento de

tempestade, os mecanismos hidrológicos principais que operam no telhado verde são a interceptação da chuva pela camada de plantas, a infiltração e armazenamento no substrato e o armazenamento no reservatório da camada de drenagem. Qualquer excesso de umidade será direcionado para fora da camada de drenagem para o sistema de drenagem corrente. A umidade será perdida para a atmosfera como resultado da evapotranspiração durante os períodos secos.(STOVIN *et al.*, 2011).

Figura 5 - Cama de testes, Universidade de *Sheffield*, Reino Unido.



Fonte: Stovin *et al.*, 2011

Nos estudos conduzidos por Ouldboukhitine *et al.* (2012), os autores observaram que a capacidade tampão de umidade não é uma constante; ao contrário, ela varia dependendo do teor de umidade relativa considerado. Isso reflete o comportamento higrotérmico não-linear do meio poroso. A forma da curva de capacidade de umidade também reflete a capacidade do material de armazenar e liberar umidade, dependendo da umidade relativa do ar circundante(STOVIN *et al.*, 2011). Além disso, a variação relativa da capacidade de umidade pode exceder importantes valores para alguns materiais. Logo, a não-linearidade do comportamento higrotérmico pode levar aos erros de predição quando é considerada uma constante (OULDBOUKHITINE *et al.*, 2012).

Na sucessão de estudos, apareceram diversos modelos matemáticos para cálculo das taxas de evapotranspiração. São modelos de equações que funcionam em clima úmido, independente de latitude e longitude, frio, temperado, tropical e

equatorial. Em função dos diversos climas existentes, as pesquisas mostram que alguns modelos adaptam-se melhor do que outros. (BALDESSAR, 2012).

O balanço hídrico é dado pela quantidade de água de chuva, a quantidade de água drenada pelo telhado verde e a quantidade de água perdida pela evapotranspiração (ETP). O fluxo de calor no telhado verde depende da umidade contida no substrato (STOVIN *et al.*, 2011). Para determinar a quantidade de água do substrato é necessário calcular a quantidade de água perdida por ETP (SPEAK *et al.*, 2013; THEODOSIOU, 2011). A quantidade de água perdida por ETP é uma combinação da quantidade de água perdida pela transpiração das plantas e a quantidade de água perdida pela evaporação do solo (substrato do telhado verde) (OULDBOUKHITINE *et al.*, 2012). Isto significa que os telhados verdes podem trazer uma contribuição significativa para a redução do escoamento superficial das tempestades associado com as chuvas de alta frequência. (STOVIN *et al.*, 2011, TUCCI, 2004, BIANCHINI *et al.*, 2011)

Em equilíbrio, a capacidade de umidade aumenta dependendo da umidade do ar até atingir seu valor máximo, que corresponde ao ar saturado. A evaporação do substrato é particularmente importante quando o gradiente de umidade entre a umidade do substrato e a do ar for importante. (OULDBOUKHITINE *et al.*, 2012).

2.6 O substrato em telhados verdes e aditivos de retenção de água

O substrato é a base do telhado verde. Uma profundidade suficiente para a zona das raízes tem que estar disponível bem como um adequado abastecimento de nutrientes e um bom balanceamento da relação água-ar. Dependendo do tipo de cobertura verde e da necessidade da construção, uma variedade de diferentes sistemas de substratos está disponível. O principal critério dos sistemas de substratos é: o tamanho dos grãos; a proporção do material orgânico; resistência ao frio ou à geada, estabilidade estrutural, resistência à erosão pelo vento, permeabilidade de água, máxima capacidade de retenção de água, nutrientes satisfatórios, aeração e um bom pH (HENEINE, 2008).

Dentro das normas propostas por *Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau* - FLL, as condições climáticas regionais e o tipo de construção devem ser levados em consideração para a implantação de

coberturas verdes. Monitoramentos contínuos são feitos por tal sociedade a fim de descobrir qual distribuição granulométrica, nutrientes e a proporção de substâncias orgânicas para substratos e materiais para a drenagem se adaptam melhor às normas e ao clima de cada região (BREUNING e SCHOLZ-BARTH, 2008).

Para a vida longa das coberturas vegetadas, é necessário que o substrato seja poroso, leve e com uma boa drenagem, e tudo isso em perfeito equilíbrio e com a retenção de água suficiente para o crescimento e sobrevivência das plantas (LOSKEN *et al.*, 2008). Este equilíbrio pode ser conseguido com componentes de peso leve, no entanto, muitos componentes, particularmente os materiais orgânicos, encolhem e/ou se decompõem ao longo do tempo, portanto, substratos para telhado verde têm geralmente sua base mineral. Composições de substrato com base mineral variam de acordo com a disponibilidade e custo local. Muitos incluem produtos reciclados ou resíduos para maximizar os benefícios ambientais dos telhados verdes. Substratos feitos com materiais menos impactantes na natureza, são desenvolvidos de acordo com as diretrizes especificadas de desempenho e normas, nomeadamente as diretrizes FLL alemãs (LOSKEN *et al.*, 2008) ou os mais recentes métodos de teste do *American Standard Testing Methods* (ASTM, 2009a, b, BENNETT e MEADOWS, 2010). Ambos especificam faixas de valores e limites para as diferentes propriedades do substrato e as metodologias de testes necessários. (FARRELL *et al.*, 2013)

A propriedade física, a capacidade de retenção de água e a profundidade do substrato são os principais fatores para a conservação da cobertura verde (THEODOSIOU, 2011). Por sua intolerância a seca, as plantas suculentas são amplamente investigadas (MONTERUSSO *et al.*, 2005), porém há poucos estudos com comparação do desempenho de espécies sob condições de seca em diferentes substratos com propriedades físicas diferentes. (FARRELL *et al.*, 2013)

Além das suculentas, a porção de espécies de plantas para coberturas verdes extensivas é um desafio em função da profundidade limitada do substrato e da alta porosidade. A alta porosidade resulta em baixa retenção de água e falhas na disponibilidade de umidade. Os aditivos de retenção de água têm o potencial de aumentar a capacidade e armazenamento de água do substrato sem aumentar seu peso. (FARRELL *et al.*, 2013)

No experimento com substrato com aditivos de retenção realizado por Farrell (2013), foram escolhidos dois substratos de telhado verde, um deles com uma composição baseada em escória e o outro com base em telha cerâmica esmagada. Ambos os substratos foram desenvolvidos de acordo com as diretrizes da FLL (2008), como parte de uma pesquisa em telhados verdes para as condições australianas. As composições dos substratos estão listadas na Tabela 1. Foram feitas em laboratório dez réplicas para cada tratamento em três tipos: sem nenhum aditivo, com hidrogel e com silicato e duas espécies de plantas, todos dispostos em painéis com pouca profundidade de substrato, pois se assemelham com substrato de telhado verde extensivo, todos em estufa. Substratos sem aditivos também foram preparados para comparação.

Os dois aditivos de retenção usados no teste são amplamente utilizados na Austrália: os polímeros hidrofílicos ou hidrogel e os grânulos a base de silicato. O hidrogel, também descrito como polímero super absorvente, é uma forma de gel de poliacrilamida insolúvel que absorve e armazena água até 500 vezes seu próprio peso quando saturado. Os grânulos a base de silicato, como o *Sanoplant*®, contêm silicato natural a base de pó de pedra (SiO_2), compostos por carbono e celulose que aderem partículas à superfície do solo, aumentando a área de superfície disponível para adsorção de nutrientes e água.

A eficácia dos aditivos de retenção de água, em especial os de hidrogel, em relação ao armazenamento de água para o crescimento das plantas depende tanto do substrato e a propriedade de seus aditivos, como das diferenças entre as espécies de plantas. Os aditivos em questão podem aumentar a capacidade de armazenamento e água de solos ou substratos, mas isso não quer dizer um armazenamento de água para o crescimento das plantas. Para a comparação e testes de porosidade, capacidade de retenção de água e densidade do solo foram levadas em consideração as propriedades físicas do substrato e a água disponível para as plantas até o dia de murcha permanente e a biomassa de duas espécies de plantas contrastando suas raízes e tolerância à seca (FARRELL *et al.*, 2013).

Os resultados do experimento mostraram que a porosidade e a densidade dos dois substratos sem aditivos de retenção de água foram diferentes (Tabela 1). No entanto, ambos os substratos tinham capacidades semelhantes de retenção de água, entre 40 e 43%. Os aditivos também não surtiram efeito sobre a porosidade

do substrato com telhas enquanto o aditivo de silicato diminuiu a porosidade no substrato com escória. A água disponível para as plantas diferiram nos substratos em relação à espécie das plantas. (FARRELL *et al.*, 2013)

Tabela 1– Efeito dos aditivos de retenção na capacidade de armazenamento de água para as plantas, porosidade e densidade de massa de dois substratos de cobertura verde.

	ESCÓRIA			CERÂMICA ESMAGADA		
	Nenhum	Hidrogel	Silicato	Nenhum	Hidrogel	Silicato
Capacidade de armazenamento de água para as plantas (%)	40.12	44.86	49.56	43.54	41.94	45.35
Porosidade (%)	15.94	13.19	9.58	5.41	4.75	3.49
Densidade de massa (kgL ⁻¹)	0.83	0.83	0.82	1.16	1.21	1.20

* Silicato: refere-se a substratos com base em grânulos de silicato com adição de 10 g L⁻¹

** Hidrogel: refere-se a aditivos de hidrófilos de gel de poliacrilamida.

Fonte: FARRELL (2013)

Tradução: A autora (2014)

Neste experimento com diferentes substratos e plantas suculentas expostas a seca, o resultado foi de que substratos com maior capacidade de retenção de água mostraram maior sobrevivência das plantas e estabeleceram que a implementação de telhados verdes em climas quentes e secos é bem sucedida, pois os benefícios ambientais tendem a ser muito maiores que nos climas temperados. Até o momento, pouca pesquisa foi feita para determinar tolerância à seca de plantas suculentas para cobertura verde e da adequação dos diferentes substratos em todo o ano ou climas quente e seco. (MONTERUSSO, 2005).

A conclusão do estudo é a de que aditivos de retenção de água podem ser usados para aumentar a capacidade de retenção de água dos substratos de telhado verde extensivo, mas se comportam de forma diferente em diferentes substratos. A maior capacidade de retenção do substrato com aditivos também poderia aumentar a retenção do volume de águas pluviais e o aumento de arrefecimento devido a uma maior conversão de calor latente de evaporação.

3 MATERIAIS E MÉTODO

Este estudo trata-se de pesquisa exploratória cujo objetivo é a construção de um protótipo com substratos diferentes e mesma planta para conhecer qual a composição de substrato para cobertura verde extensiva que melhor se adapta ao clima de Curitiba – PR, de modo a obter a maior capacidade de retenção/escoamento das águas da chuva.

3.1 Unidade de análise

As análises e medições foram realizadas em cinco módulos contendo substratos com diferentes porções de matéria orgânica, todos com a mesma planta, para verificação de retenção/escoamento de águas pluviais na cidade de Curitiba – PR.

O estudo foi realizado em um protótipo com módulos de cobertura verde extensiva construído de Horto Florestal Guabirota em Curitiba – PR, situado na Rua Senador Salgado Filho, nº 1050, bairro Guabirota. (Figura 6)

Figura 6 - Imagem aérea do Horto Municipal Guabirota.



1 – acesso principal Horto
2 – localização do protótipo

Fonte: <https://www.google.com.br/maps> (2014)

3.2 Delimitação do trabalho

O protótipo foi feito com inclinação de 3%, com 14¹ módulos (figura 7) sendo cinco deles para os testes com o substrato, cinco módulos para testes com plantas e quatro módulos para comparação com coberturas convencionais: telha de barro, telha metálica, laje e telha de fibrocimento. Neste estudo, apenas os módulos para testes com o substrato foram utilizados. Cada módulo mede 0.74m x 1.00m.

Figura 7– Protótipo



Fonte: A autora (2013).

Para a vida longa das coberturas vegetadas, é necessário que o substrato seja poroso, leve e com uma boa drenagem (BREUNING e SCHOLZ-BARTH, 2008). Tendo isso em vista, para este projeto foi consultado o engenheiro agrônomo Daniel Salvador Schlichta, que sugeriu que cada um dos módulos utilizasse diferentes proporções de terra, turfa, casca de arroz carbonizada e vermiculita para testar a hipótese de que solos com mais terra e mais turfa tendem a ser menos drenantes e que a casca de arroz carbonizada ajuda na drenagem. Ainda, os materiais foram escolhidos de acordo com a disponibilidade e usos regionais (SCHLICHTA, 2013).

¹ O protótipo foi montado em parceria com a colega de mestrado Adriane Cordoni Savi, que irá fazer os testes com plantas e comparações com coberturas convencionais.

Para cada módulo foram utilizadas diferentes composições desses elementos, como pode ser observado na tabela 2.

Tabela 1 - Porcentagem das substâncias nos substratos

	TERRA	TURFA	CASCA DE ARROZ CARBONIZADA	VERMICULITA
MÓDULO 1	35%	20%	40%	5%
MÓDULO 2	35%	20%	35%	10%
MÓDULO 3	30%	30%	30%	10%
MÓDULO 4	25%	40%	25%	10%
MÓDULO 5	20%	50%	20%	10%

Fonte: A autora (2014).

3.2.1 Caracterização e escolha da planta

Tratando-se de telhado do tipo extensivo, a preocupação com a escolha da plantas e deu sobre aquela que demandasse menor manutenção em termos de rega e poda, e que suportasse o clima de Curitiba – PR. A planta utilizada para o plantio foi a de nome científico *Portulaca grandiflora*, de nome popular onze-horas (figura 8), pertencente à família *Portulacaceae* e é classificada como herbácea prostrada, suculenta, anual, nativa do Brasil, atingindo de 15 a 20 cm de altura. (LAAR *et al.*, 2001). A escolha por essa espécie se deve ao fato de ser uma das raras plantas suculentas que tem ciclo de vida anual, por servir como forração e suportar sol pleno e solo pouco fértil, características estas necessárias para plantas que compõem coberturas verdes.

Figura 6 - Módulo 1



Fonte: A autora (2013)

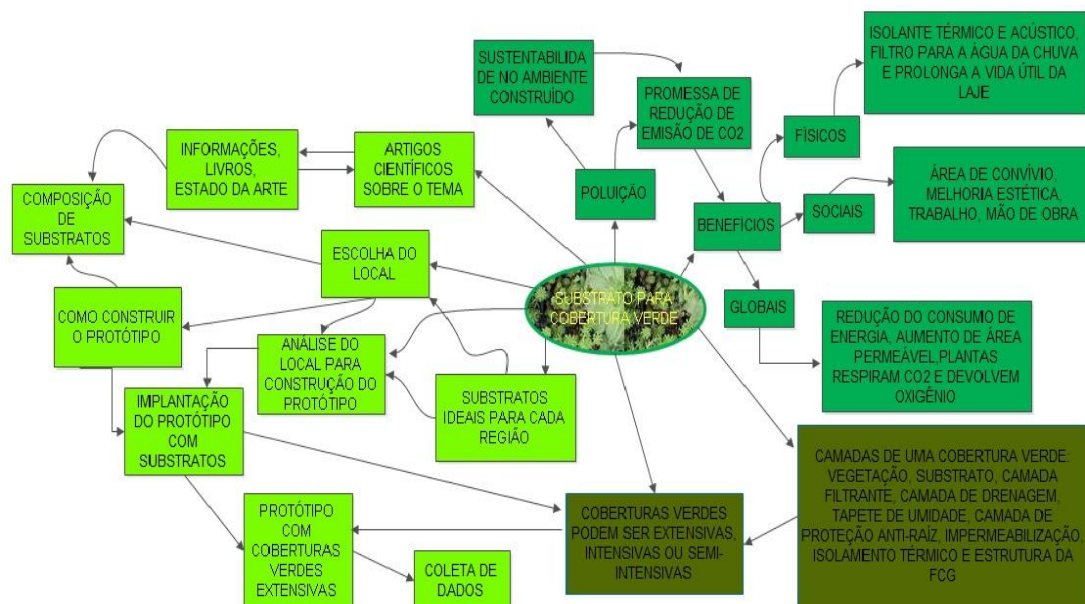
3.3 Justificativa da escolha a partir do objetivo

Em muitos lugares do mundo, como por exemplo o Centro Estadual Penn para Pesquisas em Telhados Verdes da Universidade de Sheffield, no Reino Unido, são realizados estudos contínuos com coberturas verdes acerca do tipo de vegetação, substrato de plantio, inclinação, tudo com monitoramento contínuo. Essas pesquisas são realizadas em instalações experimentais como, por exemplo, cama de testes, com diferentes tipos de plantas e substratos. (STOVIN *et al.*, 2011).

Pelos resultados obtidos nesses estudos, se pode constatar que com a construção de um protótipo em campo é possível fazer medições de temperatura e analisar o comportamento hidrológico das plantas e substratos em relação ao clima da região em que se insere o telhado verde.

3.4 Mapa mental

Figura 9 – Mapa mental do projeto



Fonte: a autora

3.5 Testes de validade

3.5.1 Validade do constructo

Nas técnicas de experimento já estudadas, as análises em cama de testes, como ocorrem na Universidade de Sheffield, no Reino Unido, são feitas com estrutura metálica com 3m² e com 15 cm de espessura de substrato, onde são realizadas as medições de temperatura e comportamento hidrológico das coberturas verdes.

O protótipo permite a coleta de dados adequados através do escoamento das águas pluviais que são coletadas em caixas d'água. A validação da pesquisa é obtida com o monitoramento do escoamento de cada módulo em períodos de chuva. Com a comparação da quantidade de água em cada caixa d'água e a observação do crescimento das plantas é que se tem o resultado de qual substrato garante a sobrevivência das mesmas e retém mais água.

3.5.2 Validade interna

O experimento foi construído para verificação da retenção/escoamento das águas pluviais na região do Horto Florestal Guabirota, no município de Curitiba-PR.

São seis caixas d'água de 100 L cada. Uma delas foi graduada a cada 2,5 L com um pote de 1 L. A cada 2,5 L um risco foi feito com uma serra e foi usada uma trena para se ter a equivalência em centímetros da quantidade de água. Nas medições realizadas, apenas a trena era necessária para avaliar a quantidade de água (Figura 10).

Figura7 - Graduação da caixa d'água



Fonte: A autora (2014).

O término do plantio se deu no dia três de dezembro de 2013. Após o plantio da última muda, foi colocado um adubo sólido (NPK 101010) e realizada a primeira rega. Para início da coleta de dados ou realização de medições, se fez necessário esperar o crescimento da planta para forrar e sombrear o substrato e, por este motivo, nos dias 12, 17 e 27 de dezembro de 2013 foram feitas fertirrigações, ou seja, irrigação com fertilizante diluído em água. No dia 16 de dezembro de 2013 foi necessário o replantio de algumas mudas e irrigação. A última rega foi no dia 27 de dezembro de 2013, pois as plantas já estavam grandes o suficiente para começar a coleta dos dados. A primeira medição aconteceu no dia 8 de janeiro de 2014.

3.5.3 Validade externa

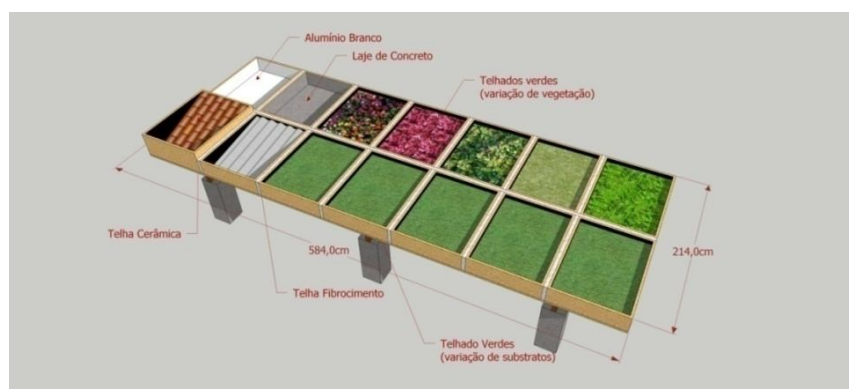
Quanto à validade externa, ou seja, a possibilidade de generalização do estudo é possível reaplicar o substrato escolhido no experimento de validação em coberturas extensivas no município de Curitiba – PR.

Em princípio, as teorias sobre a melhor retenção/escoamento do substrato nas coberturas verdes extensivas replicadas seriam o alvo aos quais os resultados poderiam ser generalizados mais tarde (YIN, 2001). A generalização não é automática, no entanto. Deve-se testar uma teoria através da replicação das descobertas em um segundo ou mesmo em um terceiro local, nos quais a teoria supõe que deveriam ocorrer os mesmos resultados. Uma vez que seja feita essa replicação, os resultados poderiam ser aceitos por um número muito mais amplo de edificações semelhantes (YIN, 2001).

3.6 Projeto

Para a idealização deste protótipo, a primeira etapa foi a do projeto, como mostram as figuras 11, 12 e 13. Foi decidido que, além dos testes com o substrato, testes com plantas também se faziam necessários para pesquisas e módulos com simulação de laje, telha de fibrocimento, telha cerâmica e telha metálica para uma comparação de comportamento em relação à água da chuva. O detalhamento da estrutura do protótipo encontra-se no anexo A.

Figura 11 - Imagem computadorizada do protótipo



Fonte: Adriane Savi²(2013)

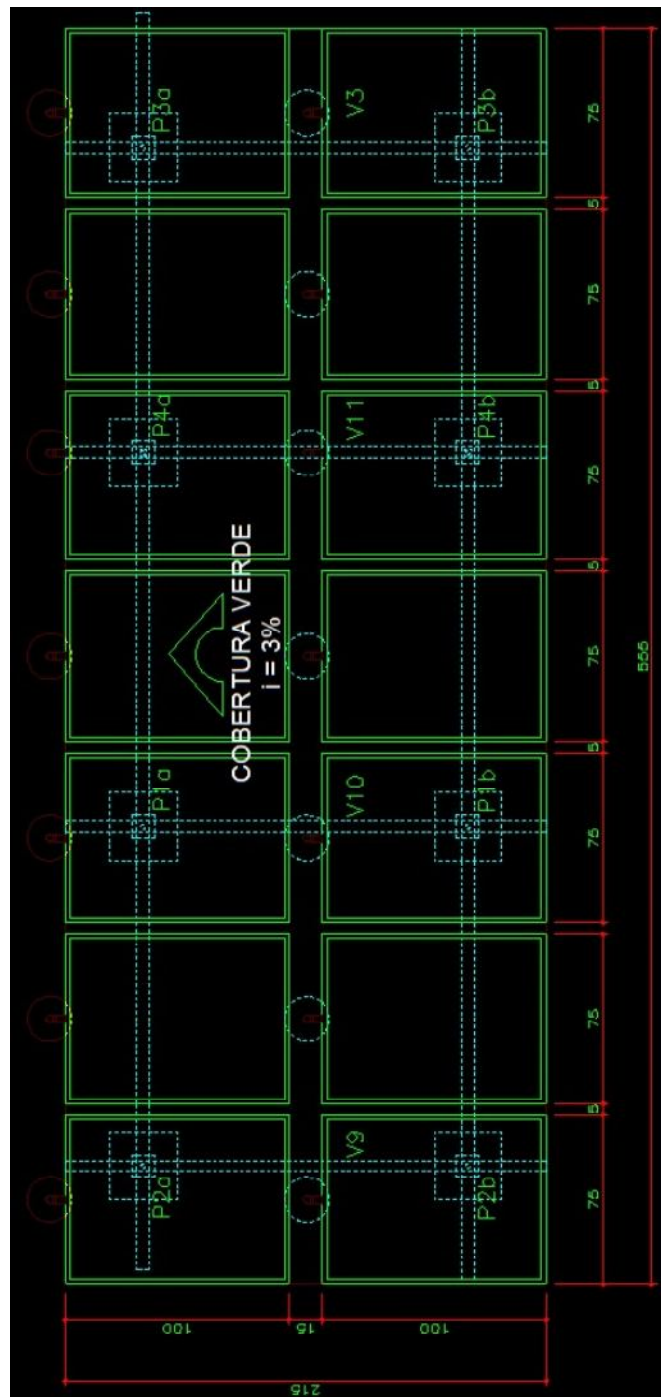
Figura 12 - Imagem computadorizada do protótipo



Fonte: Adriane Savi² (2013).

² O protótipo foi montado em parceria com a colega de mestrado Adriane Cordoni Savi, qual irá fazer os testes com plantas e comparações com coberturas convencionais.

Figura 13 - Imagem computadorizada do protótipo



Fonte: Adriane Savi² (2013).

3.7 Protocolo de coleta de dados

A revisão da literatura sobre o comportamento hidrológico das coberturas verdes revelou a importância do substrato para um melhor desempenho dos benefícios desse tipo de cobertura, e que a ação desse substrato depende diretamente da umidade presente no ar. Essas pesquisas mostraram que os testes com protótipo ou cama de testes são os que mais se aproximam da realidade e os autores concluem que um experimento de campo é o ideal para se descobrir uma composição ideal de substrato.

O protótipo para a realização do experimento de campo foi construído no Horto Florestal Guabirota, no município de Curitiba – PR. Durante a quantificação de materiais e avaliação do peso da estrutura do protótipo - em função de se ter obtido grandes vigas de madeira da demolição de uma residência – julgou-se necessário a construção de sapatas de concreto de 30 cm de profundidade necessárias para suportar o peso dos substratos saturados e do alicerce construído (Figura 14).

Figura14 - Localização do protótipo no Horto Municipal Guabirota.



Fonte: A autora (2013).

Foram feitas oito sapatas de concreto com 30 cm de profundidade (Figura 15), cada uma com uma barra roscada de espera para receber os pilares de madeira. Após as sapatas prontas, foi colocada a estrutura em madeira (vigas).

Sobre as vigas foi colocada a chapa em compensado naval e, por cima dessa chapa, os quatorze módulos (Figuras 16 a19).

Figura 15 - Colocação dos pilares de madeira nas esperas das sapatas.



Fonte: A autora (2013).

Figura 16 - Estrutura pronta e chapas de compensado naval para os módulos



Fonte: A autora (2013).

Figura 17 - Chapa colocada para receber os módulos



Fonte: A autora (2013).

Figura 88 - Módulos sendo aparafusados



Fonte: A autora (2013).

Figura 19 - Quatorze módulos prontos



Fonte: A autora (2013).

Após os módulos prontos, foi passado um impermeabilizante de cor azul, próprio para os compensados, somente nas bordas. Para a impermeabilização interna dos módulos foram utilizados dois tipos de impermeabilizantes: um produto que foi utilizado para as frestas dos fundos dos módulos, composto de borracha líquida com borracha de pneu moída, o qual foi passado com a mão e outro para as bordas laterais internas e fundos dos módulos, composto apenas de borracha líquida, o qual foi passado com rolo e pincel para as frestas (Figuras 20 a 23).

Figura 20 – Colocação do impermeabilizante nas frestas

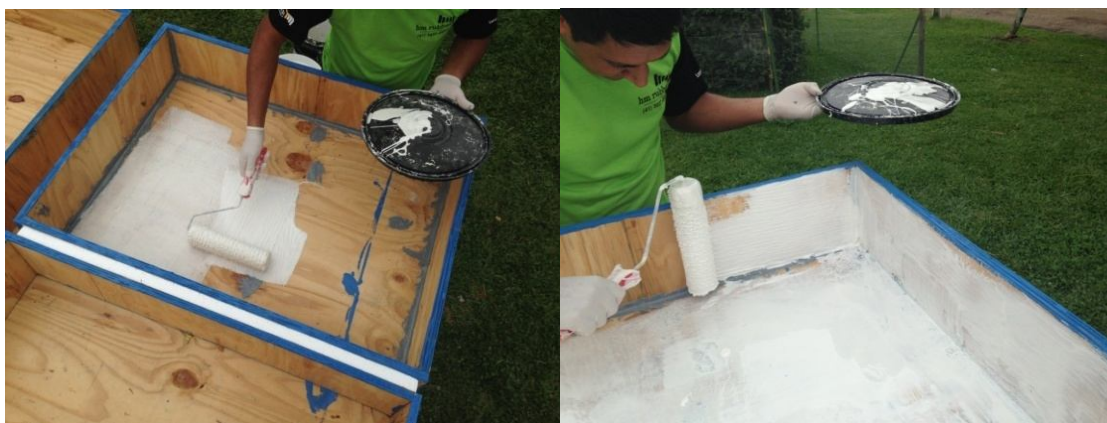


(a)

(b)

Fonte: A autora (2013).

Figura 21 - Impermeabilizante nas laterais e fundos



(a)

(b)

Fonte: A autora (2013).

Figura 22 - Impermeabilizante nas laterais e fundos



Fonte: A autora (2013).

Figura 23 - Impermeabilização pronta



Fonte: A autora (2013).

Entre os módulos foi feito o isolamento com placas de poliestireno expandido para as medições de temperatura não serem influenciadas pelos módulos vizinhos. Cada módulo tem sua saída de água separada para análise do escoamento individual. Com os módulos prontos, foi a vez da manta de Geomembrana de Polietileno de Alta Densidade -PEAD (Figura 24), que serviu não só como mais uma camada de impermeabilizante, mas também como uma camada de proteção de raiz. Por cima de cada abertura de escoamento foi colocado um pedaço do feltro para filtrar a água (Figura 25). Com estas fases prontas, foi colocada uma camada de drenagem com argila expandida (Figura 26), sobre ela uma manta geotêxtil, por fim, o substrato com 10 cm de profundidade e a planta nativa escolhida (Figura 27).

Figura 24 - Mantas PEAD colocadas



Fonte: A autora (2013).

Figura 25 - Manta geotêxtil por cima da abertura de escoamento



Fonte: A autora (2013).

Figura 26 - Camada de argila expandida



Fonte: A autora (2013).

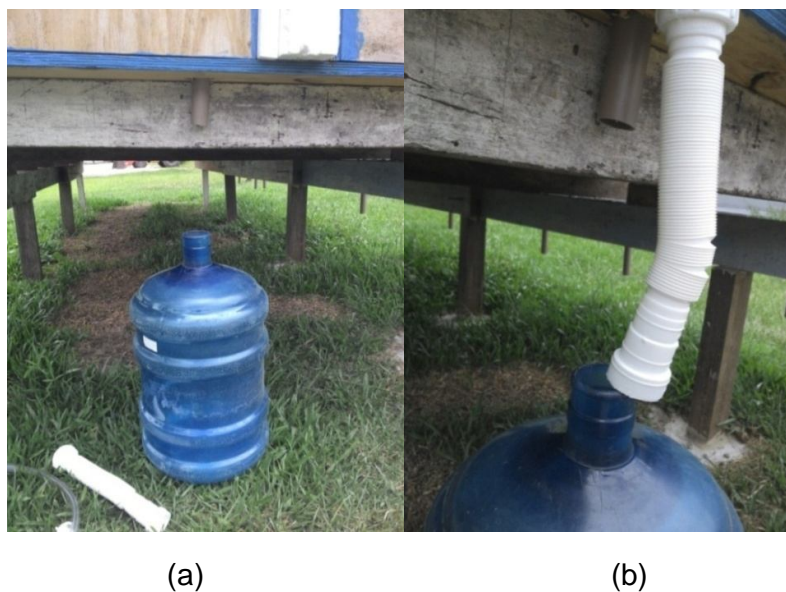
Figura 27 - Módulos recém plantados (03/12/13)



Fonte: A autora (2013).

Após o término do plantio e o crescimento das plantas, a coleta de dados já era possível e o método inicialmente considerado era de se coletar as águas pluviais com galões de água de 20L. Desse modo, para avaliação do escoamento, foi feita em cada módulo uma abertura de 32 mm para conexão ao galão (Figura 28).

Figura 28 - Soluções com os galões de água de 20L



Fonte: A autora (2013).

Porém, os problemas gerados com a utilização dos galões, tais como a fixação dos mesmos no chão, o escape para quando a água saturasse, o

esvaziamento do galão e até mesmo a ligação do cano de 32 mm com a boca do galão eram feitas com que uma alternativa diferente fosse considerada. Então, a proposta de coletar a água da chuva com caixas de água foi considerada uma alternativa melhor e menos passível de falhas (Figuras 29 e 30).

Figura 29 9-Colocação dos tubos de 32 mm e das caixas de água



(a)

(b)

Fonte: A autora (2014).

Figura 30 - Caixas de água colocadas



Fonte: A autora (2014).

3.8 Método de análise de dados

A análise de dados foi feita com o cruzamento das informações obtidas com os equipamentos para as medições com os dados pluviométricos das fontes (INMET – Instituto Nacional de Meteorologia). Comparou-se também – por meio do volume de água nos reservatórios colocados nos módulos – a quantidade de água que os substratos retêm e a quantidade de água que os outros tipos de cobertura escoam. Um sexto módulo foi deixado vazio e funcionou como pluviômetro. Através dele comparou-se a quantidade escoada no módulo vazio com aquela nos módulos em que havia substrato. As observações e medições foram feitas durante o verão de 2013 (dezembro) e 2014 (janeiro e fevereiro) e no primeiro mês do outono de 2014 (março).

Com o protótipo pronto e com o primeiro episódio de chuva, a primeira coleta dos dados aconteceu no dia 08 de janeiro de 2014. A cada período de chuva ocorreu uma medição. As caixas foram abertas e o volume de água verificado. Com uma trena, a quantidade de água era medida em centímetros (Figura 31), pois com a graduação de uma das caixas, era possível ter a quantidade de água a partir de 2,5L.

Figura 10 - Medição do volume de água



Fonte: A autora (2014).

Para o esvaziamento das caixas no caso de saturação, uma conexão denominada união foi instalada entre o flange (tubo receptor da caixa) e o joelho, como mostram as figuras 32 e 33.

Figura 3211 - Caixa desconectada para esvaziamento



Fonte: A autora (2014).

Figura 33 - Caixa sendo esvaziada



Fonte: A autora (2014).

3.8.1 Conversão dos dados

Para a conversão dos dados medidos dentro da caixa d'água em centímetros, elaborou-se uma regra de três a partir da graduação feita no reservatório. Desse modo, se dentro da caixa fossem medidos 2 cm, na tabela de equivalência feita pela autora está descrito que 5L equivalem a 2,4 cm, portanto:

Equação 1:

$$5 \text{ l} - 2,4 \text{ cm}$$

$$x \text{ l} - 2 \text{ cm}$$

Obtendo como resposta para o exemplo desta equação o valor de 4,16L, é necessário transformar os litros em milímetros se ter a convenção do índice pluviométrico adotado pelo INMET de modo a permitir o cruzamento dos dados. Sabendo-se que 1 litro equivale a 1 milímetro em 1 m² e que o módulo construído no protótipo tem 0,74 m², e já tendo obtido a quantidade de água em litros, portanto:

Equação 2:

$$\begin{array}{l} 1l - 1 \text{ mm} - 1m^2 \\ 4,16 l - x \text{ mm} - 0,74m^2 \end{array}$$

Utiliza-se uma regra de três com grandezas inversamente proporcionais. Para o cálculo se isola a incógnita (x) e se igualam as grandezas:

Equação 3:

$$\frac{1}{x} = \frac{1 l \times 0,74}{4,16 l \times 1 m^2}$$

A aplicação desta equação fornece a resposta em milímetros de quanto cada módulo captou de água pluvial.

4 RESULTADOS

A observação do crescimento das plantas tornou possível constatar que, no módulo 1, as plantas cobriram mais rapidamente o substrato que os demais módulos, o que fez com que, neste módulo, as plantas e flores ficassem mais altas e vistosas (Figura 34).

Figura 34–Imagem do crescimento das plantas em 12/12/2013



Fonte: A autora (2014).

Desse modo, a primeira constatação foi a de que o primeiro módulo - com menor quantidade de turfa e vermiculita e maior quantidade de casca de arroz carbonizada e terra – mais sustentou o crescimento das plantas em menor tempo em comparação com os outros quatro módulos. Como já mencionado, foi necessário o replantio de algumas mudas nos módulos 2, 3 e 5, pois é possível observar que são os módulos em que mais há “buracos” entre as mudas.

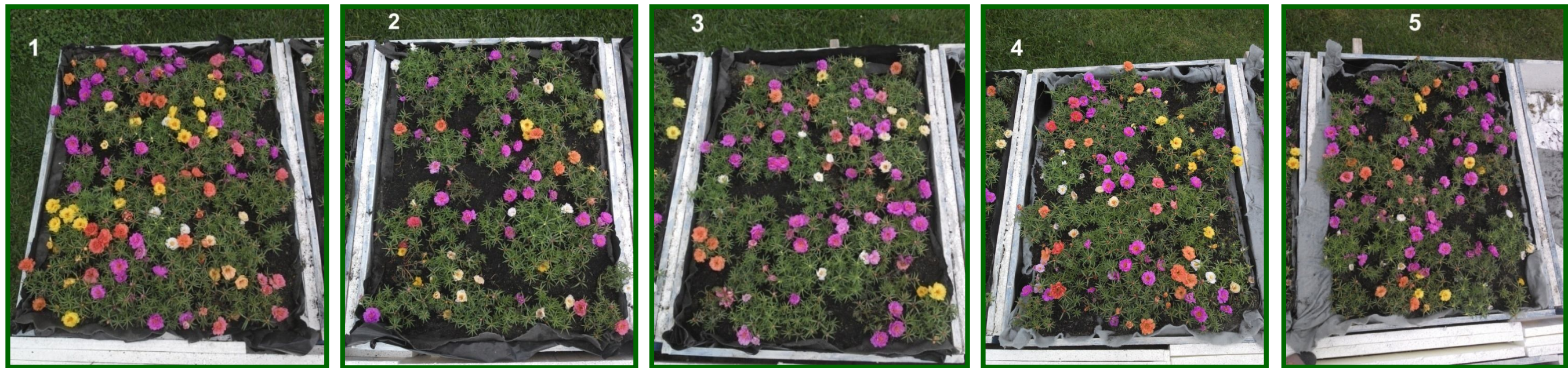
O crescimento das plantas em cada um dos módulos no dia 27 de dezembro de 2013 pode ser observada nas figuras 35 e 36. Na evolução do crescimento mostrado nas figuras fica evidente que as plantas já estão no ponto certo para o início da coleta de dados.

Figura 35 – Módulos com plantas, em 27/12/2013



Fonte: A autora (2014)

Figura 36 – Aspecto do crescimento das plantas em cada módulo, em 27/12/2013.



(a)

(b)

(c)

(d)

(e)

Fonte: A autora (2014)

As caixas d'água foram instaladas no dia 06 de janeiro de 2014 e as medições começaram dois dias depois, em 08 de janeiro. Até o dia 17 deste mesmo mês, as caixas foram esvaziadas todos os dias para medição. Este período de dez dias foi considerado como um teste com caráter exploratório, isso é, um período de descoberta sobre como considerar as retenções e escoamentos nas caixas d'água.

Neste mês de janeiro, o módulo de número 03 foi o que mais reteve água pluvial, com 59,19mm escoados e uma retenção de 57,5%. Em segundo lugar veio o módulo 1, com 78,38mm escoados e retenção de 43,4%. O módulo 2 escoou 89,12mm, o módulo 4 escoou 92,14mm e o escoamento do módulo 5 foi de 89,28mm. No módulo a que se atribuiu o número 6 e considerado como o pluviômetro do protótipo foram coletados 139,5mm de água. (Figura 37).

Figura 37 - Pluviômetro do protótipo (módulo 6)



Fonte: A autora (2014)

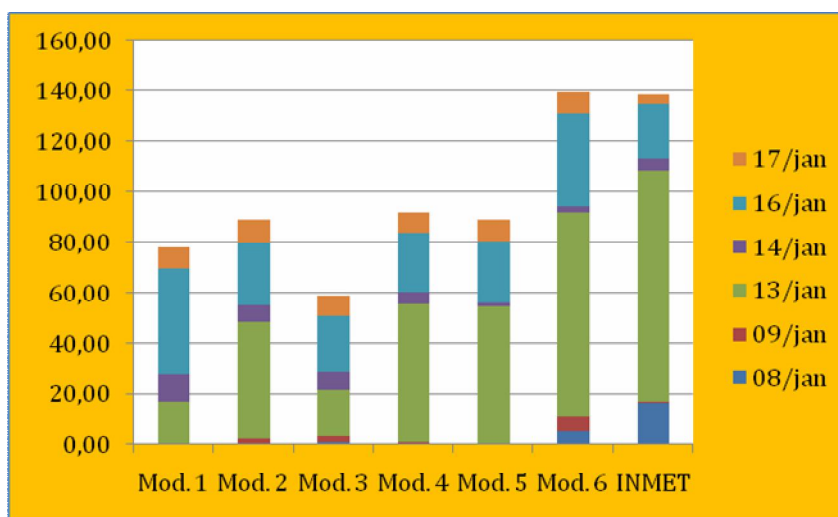
A soma do índice pluviométrico do INMET foi de 167,92 mm no período de 08/01 a 17/01/14, conforme mostra a tabela a seguir. As porcentagens de retenção foram calculadas em relação ao índice pluviométrico do módulo 6 do protótipo. A margem de erro do módulo 6 em relação ao INMET foi de 16,7 % para menos (Gráfico 1).

Tabela 3 - Índices pluviométricos diários fornecidos pelo INMET e escoamento dos módulos em milímetros no mês de janeiro de 2014.

Dias	INMET	Mod. 1	Mod. 2	Mod. 3	Mod. 4	Mod. 5	Mod. 6
08/01/2014	17	0,28	0,41	0,96	0,20	0,23	5,27
09/01/2014	0,2		2,09	2,23	0,61	0,38	5,47
10/01/2014	0						
11/01/2014	0,6						
12/01/2014	1,2						
13/01/2014	91,2	16,58	45,99	18,70	54,73	54,05	81,08
14/01/2014	5	11	6,76	6,76	4,78	1,41	2,43
15/01/2014	30,2						
16/01/2014	21,8	41,84	24,91	22,38	23,65	24,59	37,16
17/01/2014	3,4	8,68	8,96	8,16	8,16	8,68	8,16
18/01/2014	0,2						
19/01/2014		78,37	89,11	59,19	92,14	89,34	139,58

Fonte: A autora (2014)

Gráfico 1 - Índice de escoamento dos módulos e índice do INMET (jan/14)



Fonte: A autora (2014)

Tendo em vista que o esvaziamento das caixas gerava erro nas medições, pois o substrato tem um retardo para o escoamento da chuva e quanto maior o volume de água, menor a possibilidade de erro, a partir do dia 17 de janeiro nenhuma caixa foi esvaziada. A água dos reservatórios seria retirada caso estivesse próxima da saturação.

A primeira medição do mês de fevereiro realizou-se no dia 17, às 15h00min. No módulo 01 havia 3,24mm de água, sendo este o módulo que mais reteve água pluvial. Os módulos 4 e 5, com 13,51mm cada, foram os que mais escoaram água pluvial. O módulo 2 continha 8,68mm e o módulo 03 continha 16,89 mm de água. Neste período (do dia 17/01 a 17/02/14) foram constatados 72,8mm de chuva pelo INMET e o pluviômetro (módulo 6) registrou 85,26mm.

No dia 21 de fevereiro, às 17h00min, foi realizada a segunda medição do mês. O módulo 1 acumulou mais 2,38mm de água, o módulo 2 obteve 3,32mm de acúmulo de água, o módulo 3 acumulou 5,18mm e os módulos 4 e 5 acumularam 3,38mm cada. O índice pluviométrico do INMET para o período de 17/02 a 21/02 foi de 8,4mm. No pluviômetro do protótipo havia 9,34mm a mais de água.

A terceira e última medição do mês de fevereiro ocorreu no dia 26, às 17h15min. O índice pluviométrico do INMET no período de 21/02 até 26/02 foi de 7 mm. Os módulos 1, 3 e 4 não escoaram água de seus substratos, porém o módulo 2 escoou mais 1,51mm e o módulo 5 escoou 10,61mm. O pluviômetro (módulo 6) deixou de reter mais 10,61mm de água, somando no reservatório 29 cm de água, o que equivale a 77 litros. Como para vaziar água da caixa é necessário atingir 89 litros, todas as caixas foram esvaziadas.

A soma de todas as retenções do mês de fevereiro para o módulo 1 foi de 94,6% da água da chuva. O módulo 2 reteve 86,5%, o módulo 3 reteve 79%, o módulo 4 reteve 83% e módulo 5 com retenção de 77%. Todos os cálculos foram realizados em relação ao pluviômetro do protótipo (módulo 6), que escoou 105,21 mm de água pluvial. Desse modo, no mês de fevereiro a margem de erro da captação pelo pluviômetro do protótipo foi para mais 16% de água da chuva do que o índice do INMET, que foi de 88,2 mm de chuva (Gráfico 2).

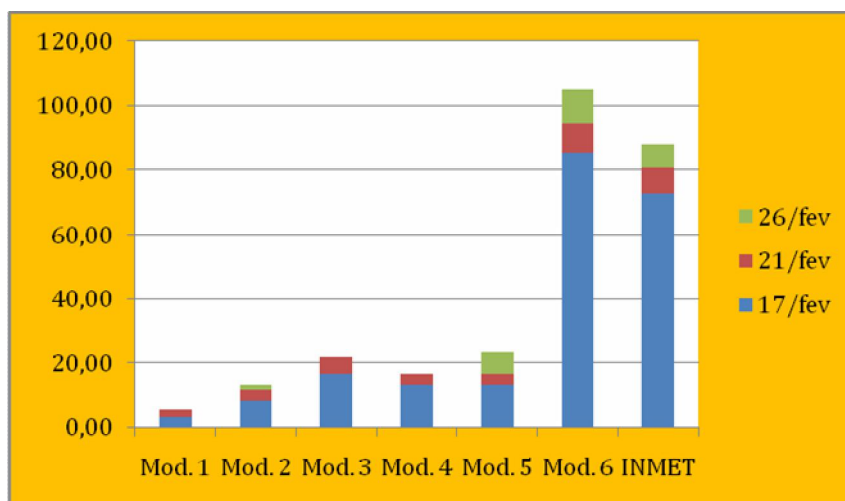
Até o dia 27 de janeiro de 2014, era notável o crescimento das plantas em todos os módulos, como pode ser observado na Figura 38. E, em 26 de fevereiro, com 88,2 mm de índice pluvial (Tabela 4), as plantas começaram a dar sinais de podridão, como mostra a Figura 39.

Tabela 2 - Índices pluviométricos diários fornecidos pelo INMET e escoamento dos módulos em milímetros no mês de fevereiro de 2014

Dias	INMET	Soma mm	Mód 1	Mód 2	Mód 3	Mód 4	Mód 5	Mód 6
01/02/2014	0							
02/02/2014	0							
03/02/2014	0,8 mm							
04/02/2014	10,8 mm							
05/02/2014	2,4 mm							
06/02/2014	0,2 mm							
07/02/2014	7,6 mm							
08/02/2014	0							
09/02/2014	0							
10/02/2014	0							
11/02/2014	0							
12/02/2014	0							
13/02/2014	0,2 mm							
14/02/2014	30 mm							
15/02/2014	3,4 mm							
16/02/2014	8,8 mm							
17/02/2014	4,4 mm	72,8	3,24	8,68	16,89	13,51	13,51	85,26
18/02/2014	8,4 mm							
19/02/2014	0							
20/02/2014	0							
21/02/2014	0	8,4	2,38	3,32	5,18	3,38	3,38	9,34
22/02/2014	3 mm							
23/02/2014	3 mm							
24/02/2014	0,6 mm							
25/02/2014	0,4 mm							
26/02/2014	0	7	0	1,51	0,00	0	6,76	10,61
27/02/2014	12,2 mm							

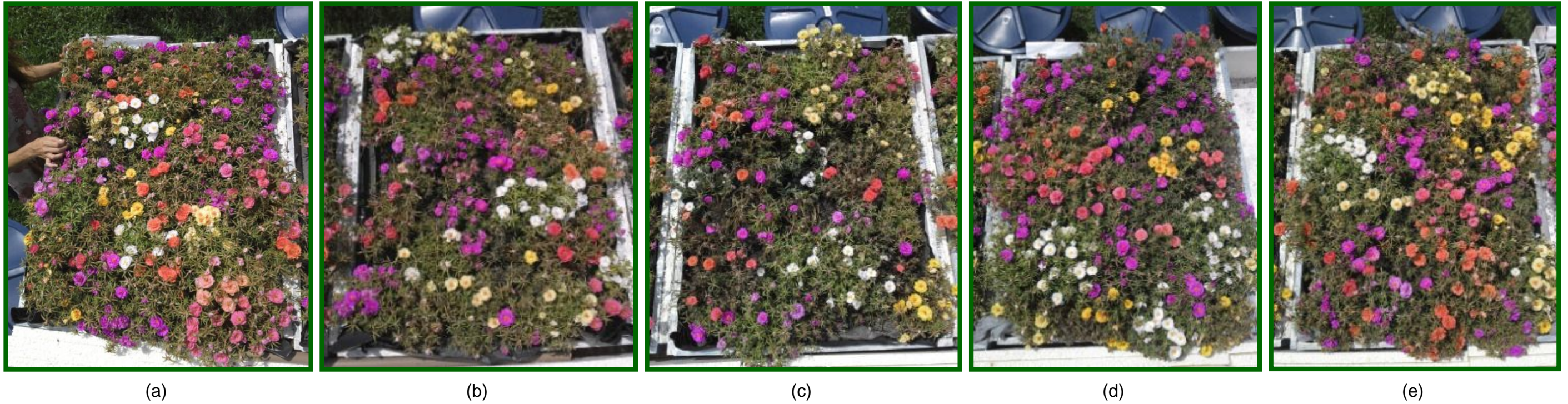
Fonte: A autora (2014)

Gráfico 2 - Índice de escoamento dos módulos e índice do INMET (fev/14)



Fonte: A autora (2014)

Figura 38 – Aspecto das plantas em cada módulo, em 27/01/2014.



Fonte: A autora (2014)

Figura 39 – Aspecto das plantas em cada módulo, em 26/02/2014.



Fonte: A autora (2014)

No mês de março, a primeira medição ocorreu no dia 8, às 12h33min. Observou-se que o módulo 1 reteve 15 mm, volume maior de água do que os quatro outros módulos. O módulo 2 escoou 56,27 mm de água, o módulo 3 escoou 51,74 mm, o módulo 4 teve escoamento de 72,32mm e o módulo 5 escoou 75 mm de água. O índice pluviométrico do INMET desde a última medição foi de 83,8 mm. O pluviômetro continha 79,19 mm de água e estava com nível próximo da saturação, do mesmo modo como ocorrera na medição anterior; sendo assim, todas as caixas foram esvaziadas novamente.

A segunda medição do mês de março foi realizada no dia 11/03, às 16h30min. Observou-se que as retenções foram inferiores às medições anteriores. Com 71 mm de chuva acumulados em três dias, de acordo com o INMET, episódios de chuva constantes e sem período de seca anterior, os substratos escoaram praticamente toda água. Nesta medição, o módulo 3 escoou menos água que os demais (54,73 mm), o módulo 1 escoou 76,04mm, o módulo 2 escoou 77,77 mm, o módulo 4 escoou 85,26 mm. O módulo 5, com 92,80 mm escoados, não reteve nada e estava com o mesmo nível de água que o pluviômetro. Mais uma vez os reservatórios tiveram de ser esvaziados.

No dia 14/03, às 16h30min, foi efetuada mais uma medição. O índice pluviométrico do INMET desde a medição anterior foi de 44 mm de chuva. No pluviômetro foram medidos 60,81 mm de água. O módulo 1 continha 67,57 mm, o módulo 2 continha 60,81 mm e os módulos 4 e 5 continham valores iguais de 67,57 mm de água. O módulo 3 estava com o cano de drenagem entupido por uma pedra de argila e em função deste problema a medida deste módulo foi desconsiderada. A questão de as medições terem sido maiores do que o pluviômetro havia escoado pode se dever ao retardo de escoamento dos substratos.

No dia 19 de março, às 17h05min, se deu a última medição do mês e desta vez a medida foi de acúmulo – com exceção do módulo 3 que não foi mensurado – pois não se tirou água de nenhum reservatório no dia 14. O módulo 1 apresentava 16,62 mm de acúmulo, o módulo 2 tinha acumulado 17,30 mm, o módulo 3 acumulou 107,03 mm (não houve medição anterior para acúmulo), o módulo 4: apresentava 13,14 mm de acúmulo e módulo 5 acumulou 14,19 mm de água. O pluviômetro do protótipo acumulou mais 24,42 mm de água. O índice fornecido pelo INMET do dia 14 até o dia 19/03 foi de 19,4 mm.

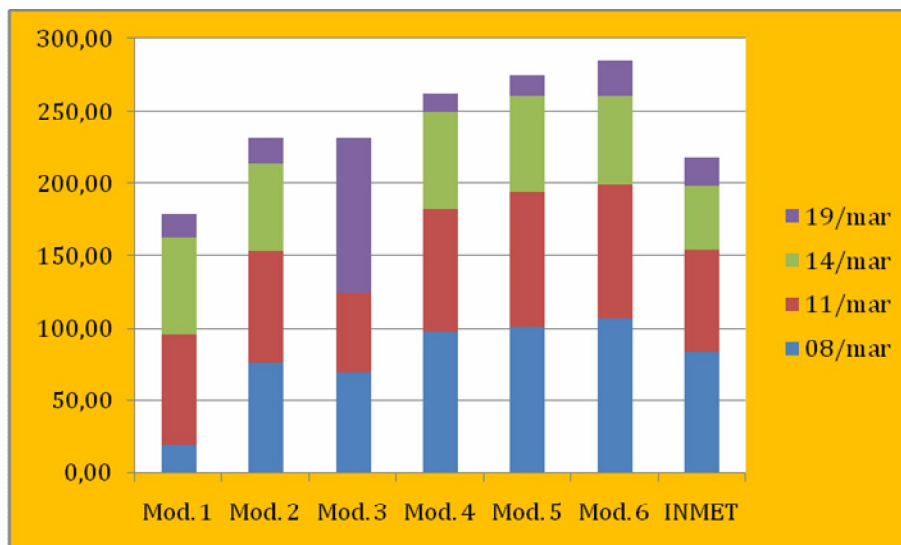
No mês de março a diferença entre os dados do INMET (que mediu 218,2 mm de chuva) e o pluviômetro do experimento foi de 30% a mais de chuva no protótipo. As porcentagens de retenção foram calculadas com base no resultado do pluviômetro (módulo 6). No mês de março o módulo reteve 36,9% das águas pluviais, os módulos 2 e 3 retiveram 18% das chuvas cada um, o módulo 4 reteve 7% e o módulo 5 reteve somente 3% de água. O gráfico 3 e a tabela 5 mostram o escoamento de cada módulo no mês de março de 2014 e a comparação desse escoamento com o índice pluviométrico fornecido pelo INMET.

Tabela 5 - Índices pluviométricos diários fornecidos pelo INMET e escoamento dos módulos em milímetros no mês de março de 2014

Dias	Inmet	Soma mm	Mód 1	Mód 2	Mód 3	Mód 4	Mód 5	Mód 6
01/03/2014	0							
02/03/2014	0							
03/03/2014	0,2 mm							
04/03/2014	21,2 mm							
05/03/2014	8,4 mm							
06/03/2014	0,2 mm							
07/03/2014	3,4 mm							
08/03/2014	21,4 mm	83,8	20,27	76,04	69,92	97,73	101,35	107,01
09/03/2014	35,8 mm							
10/03/2014	0							
11/03/2014	13,8 mm	71	76,04	77,77	54,73	85,26	92,80	92,80
12/03/2014	18,6 mm							
13/03/2014	25,4 mm							
14/03/2014	0,8 mm	44	66,89	60,81	entupido	66,89	66,89	60,81
15/03/2014	0							
16/03/2014	0							
17/03/2014	9,6 mm							
18/03/2014	0							
19/03/2014	9,8 mm	19,4	16,62	17,30	107,03	13,14	14,19	24,42

Fonte: A autora (2014)

Gráfico 3 - Escoamentos dos módulos do protótipo em março de 2014



Fonte: A autora (2014)

Em 08/03, as plantas estavam com aparência pior do que do dia 26/02, com mais buracos entre as mudas, isto é, sombreando menos o substrato, o que pode ser uma justificativa para a pouca retenção de água no mês de março (Figura 44). No dia 11/03 a deterioração das plantas mostrava-se maior, como pode ser observado na Figura 40.

Figura 40 – Aspecto das plantas em cada módulo, em 08/03/2014.



Módulos 1 e 2

Módulos 3 e 4

Módulos 4 e 5

Fonte: A autora (2014)

Figura 41 – Aspecto das plantas em cada módulo, em 11/03/2014.



(a)

(b)

(c)

(d)

(e)

Fonte: A autora (2014)

Apesar de no período de testes do mês de janeiro o módulo 3 ter escoado menos água, o módulo de número 1 foi o qual deu melhores resultados, tanto no crescimento das plantas como em melhor retenção de água pluvial. Neste mês, o índice pluviométrico medido no pluviômetro do protótipo nos dias 8, 9, 13, 14, 16 e 17 foi de 139,57 mm e o índice de chuva fornecido pelo INMET (soma dos dias 8 a 17/01) foi de 167,62 mm. Neste primeiro mês de coleta de dados, as plantas estavam cheias, vistosas e floridas, indicando que estariam utilizando os nutrientes do substrato e retendo mais água.

Durante o mês de fevereiro choveram 81,2 mm e o módulo 1 reteve ao todo 94,6%, o que ainda confirma o resultado de que o substrato deste módulo é o que mais retém água da chuva. Os módulos 3 e 5 tiveram uma média de retenção de 78% e os módulos 2 e 4 obtiveram uma média de 84,5% de retenção.

No mês de março os episódios de chuva foram mais intensos em menor tempo. Portanto ocorreu menos retenção, mais escoamento em função de substratos saturados - e mais um agravante, o fato de as plantas terem adoecido. Durante este mês, o índice de águas da chuva foi de 285,03 mm no protótipo enquanto o INMET apontou o índice de 218,2 mm. Entre os cinco módulos, o módulo 1 continuou a apresentar maior retenção, ao todo o valor de 37% em todo mês. Os módulos 2 e 3 retiveram 18% de água e os módulos 3 e 5 uma média de 5%.

A tabela 6 mostra, em milímetros, a soma dos escoamentos gerais de todos os módulos nos meses em que aconteceram as medições. É possível notar que os escoamentos no mês de janeiro foram medianos, o mês de fevereiro apresentou valores baixos e no mês de março os valores de escoamento foram elevados.

Com as diferenças entre os dados do INMET e os obtidos com o pluviômetro do protótipo, foi necessário buscar outra fonte de dados pluviométricos para comparação. Utilizaram-se, então, os dados do Instituto Tecnológico Simepar, localizado no Centro Politécnico da UFPR, em Curitiba – PR. Os dados obtidos foram os dos meses de janeiro, fevereiro, março e abril de 2014. As diferenças entre as duas fontes foram de apenas 7 mm a maior no INMET. Dados do Simepar são apresentados no anexo B.

Tabela 6 - Tabela de escoamentos em milímetros*

PERÍODO	MÓD. 1	MÓD. 2	MÓD. 3	MÓD. 4	MÓD. 5	MÓD. 6	INMET
JANEIRO							
8 a 17	78,37	89,11	59,19	92,14	89,28	139,7	167,62
% DE ESCOAMENTO*	56,09	63,79	42,37	65,95	63,90		
FEVEREIRO							
19/01 a 26/02	5,62	13,51	22,07	16,89	23,65	105,2	88,2
% DE ESCOAMENTO*	5,34	12,84	20,97	16,05	22,48		
MARÇO							
27/02 a 19/03	179,82	231,92	231,68	263,01	275,23	285,04	218,2
% DE ESCOAMENTO*	63,08	81,36	81,37	92,27	96,55		

*Porcentagens em relação ao módulo 6, pluviômetro do protótipo.

Fonte: A autora (2014)

Como já mencionado, no início de março as plantas estavam com aparência pior do que no mês de fevereiro, com mais buracos entre as mudas. Em 11/03 a deterioração das plantas mostrava-se maior. Foi então realizado um teste em laboratório (anexo C) para descartar a possibilidade de lixiviação, ou seja, um processo de perda mineral do solo em função de água pluvial, ou mesmo a probabilidade de perda dos nutrientes do solo em vista do alto índice pluviométrico.

Em 11 de março cinco amostras de solo de cada um dos módulos foram levadas ao laboratório para a realização dos testes, tendo o laudo ficado pronto no dia 31 de março. Os testes foram realizados pelo professor Antonio Motta, coordenador do Laboratório de Fertilidade do Solo da UFPR, que considerou que apenas os testes de rotina para análise das propriedades químicas do solo seriam necessários, pois o outro teste suposto, o teste físico - para análise da quantidade de areia, argila e silte existentes na terra - era irrelevante. O laudo emitido pelo referido professor afirma que o solo é fértil, com pH adequado e toxicidade adequada para plantio. Portanto, o adoecimento das plantas não se deveu à falta de nutrientes do solo.

5 DISCUSSÃO

O substrato é a base do telhado verde e deve ter, em sua composição, matéria orgânica específica para garantir condições de vida adequadas para a vegetação plantada (HENEINE, 2008). Os benefícios da cobertura verde estão relacionados principalmente com os componentes do solo e seu teor de umidade, a seleção de plantas e as condições climáticas, com ênfase na umidade relativa do ar, que está diretamente relacionada com a evapotranspiração. (THEODOSIOU, 2009).

Uma variedade de diferentes sistemas de substratos está disponível e os principais critérios dos sistemas de substratos são: o tamanho dos grãos; a proporção do material orgânico; resistência ao frio ou à geada, estabilidade estrutural, resistência à erosão pelo vento, permeabilidade de água, máxima capacidade de retenção de água, nutrientes satisfatórios, aeração e um bom pH (HENEINE).

De acordo com a FLL, o substrato ideal tem que ser altamente eficiente na absorção e retenção de água, enquanto que ao mesmo tempo deve ter livres propriedades de drenagem. Ele também deve estar apto para absorver e suprir de nutrientes as plantas, e reter este volume todo o tempo, bem como prover ancoragem para as plantas da cobertura. Isto é geralmente atingido por materiais minerais granulares que absorvem água e criam espaços porosos misturado com finas partículas (em relativamente pequena proporção) para que a água “agarre a essas partículas” (BREUNING e SCHOLZ-BARTH, 2008).

Embora inúmeras pesquisas em todo mundo estejam sendo realizadas com relação ao substrato ideal para telhados verdes intensivos ou extensivos, ainda não há relatos na literatura sobre esta questão no Brasil. A partir destas observações, neste trabalho se buscou verificar a hipótese de que testes em campo com diferentes substratos se faziam pertinentes para averiguar o comportamento dos mesmos na cidade de Curitiba – PR.

Tendo isso em vista, neste projeto foram utilizadas cinco diferentes proporções de terra, turfa, casca de arroz carbonizada e vermiculita para testar a

hipótese deque solos com mais terra e mais turfa tendem a ser menos drenantes e que a casca de arroz carbonizada ajuda na drenagem (SCHLICHTA, 2013).

Os resultados obtidos neste trabalho mostram que realmente diferentes porções/composições de materiais no substrato influenciam nas retenções de água. Para a região da cidade de Curitiba - PR, o substrato de número 1 se mostrou mais adequado ao crescimento das plantas e apresentou maior retenção de água pluvial em relação aos outros. Este tem em sua composição 60% de matéria orgânica divididos em 35% de terra, 20% de turfa, 40% de casca de arroz carbonizada e 5% de vermiculita. Por outro lado, o substrato do módulo 5, composto por 70% de matéria orgânica, 10% de composto mineral e 35% de terra, mostrou baixa retenção pluvial e crescimento insatisfatório das plantas. No entanto, as cinco composições de substrato testadas, embora contivessem os mesmos elementos, tinham diferenças tênues nas proporções desses elementos, não sendo possível conhecer qual componente pesou mais na retenção ou ajudou mais no escoamento.

Neste projeto, que trata de um protótipo de telhado verde extensivo, a preocupação com a escolha da plantas e deu sobre aquela que demandasse menor manutenção em termos de rega e poda, e que suportasse o clima de Curitiba – PR. Estudos em telhados verdes extensivos identificaram espécies de plantas que resistiram bem em clima tropical, como a *Pilea microphylla*, a *Pedilanthus tithymaloidese* a *Portulaca grandiflora*, conhecida como Onze horas (TAVARES *et al.*, 2001).

A planta escolhida para o plantio foi a *Portulaca grandiflora*, nativa do Brasil e que atinge de 15 a 20 cm de altura. (LAAR *et al.*, 2001), pelo fato de ser uma das raras plantas suculentas que tem ciclo de vida anual, por servir como forração e suportar sol pleno e solo pouco fértil. De acordo com BALDESSAR (2012), a *Portulaca grandiflora* é uma espécie indicada para bordaduras e conjuntos em canteiros a pleno sol e em cobertura de telhados verdes.

Apesar do crescimento exuberante inicial da *Portulaca grandiflora* em todos os módulos do protótipo, em três meses as plantas sofreram grande deterioração e adoeceram. No entanto, Baldessar (2012) e Laar *et al.* (2001) utilizaram em seus estudos esta mesma planta, obtendo resultados diversos dos nossos. Por essa

razão, amostras do substrato de cada um dos módulos foram enviados para análise no Laboratório de Fertilidade do Solo da UFPR e os resultados mostraram que o solo era fértil, com pH adequado e toxicidade adequada para plantio e, portanto, o adoecimento das plantas não se devia à falta de nutrientes do solo.

Procurando conhecer as possíveis razões para o adoecimento das plantas deste estudo, foram consultados os professores do Departamento de Agronomia da UFPR e os agrônomos Daniel Schlichta e Toni Backes que levantaram três hipóteses para o ocorrido.

A primeira hipótese foi de que a *Portulaca grandiflora* era uma espécie ornamental e não rústica, não sendo possível a união das duas qualidades. Para os entrevistados, as espécies rústicas tendem a ser mais resistentes e as espécies ornamentais são de curta duração e menos resistentes à abundância ou falta de água. A segunda hipótese era de que as mudas foram compradas já com grande florescência e, como essa espécie possui ciclo rápido, isso poderia significar que a planta havia começado seu ciclo. A terceira hipótese foi que a morte das plantas havia sido causada por fungos devido ao grande índice pluviométrico anterior, mas não foram realizados testes laboratoriais que pudessem comprovar essa hipótese.

6 CONCLUSÕES

O objetivo geral deste projeto foi a construção de um protótipo com substratos diferentes e a mesma planta para conhecer qual a composição de substrato para cobertura verde extensiva que melhor se adaptaria ao clima de Curitiba – PR, de modo a obter a maior capacidade de retenção/escoamento das águas da chuva.

Embora os melhores resultados de retenção e escoamento tenham sido obtidos com o substrato do módulo 1, as diferenças de porcentagens entre os elementos dos substratos deste projeto foram tênues, não sendo possível responder ao objetivo de conhecer a composição de substrato para cobertura verde extensiva que melhor se adaptaria ao clima de Curitiba.

Mais testes de laboratório seriam relevantes para a obtenção de mais dados, como por exemplo, o teste físico do solo para saber qual a quantidade de areia, silte e argila há na terra usada e também testes para saber a umidade existente em cada módulo de substrato. Os testes em laboratório ou equipamentos para medir a umidade do substrato são importantes na hora de avaliar sua retenção de água.

Foram encontradas dificuldades na hora de relacionar os dados do pluviômetro do protótipo com os dados do órgão que coleta e mede os índices pluviométricos (INMET), os quais são medidos em centímetros. Como a capacidade do módulo do pluviômetro era de $0,75 \text{ m}^2$ e a da caixa de coleta do INMET tinha 1 m^2 , foi necessário estabelecer equações para equivalência das medidas. Esse procedimento pode ter gerado erro e essa pode ser a explicação das divergências da quantidade de chuva entre o pluviômetro do protótipo e os dados do INMET.

Entre as críticas ao método de pesquisa estão a questão de definição dos elementos do substrato, a falta de repetição dos substratos e o pouco tempo de pesquisa.

Para um resultado significativo seria necessário isolar um dos componentes para saber qual foi o elemento que mais propiciou o crescimento das plantas e que realmente ajudou na retenção pluvial.

Uma segunda questão é que não houve repetição de substratos e, sem a repetição, não há como obter resultados com significância. A repetição do mesmo substrato validaria cientificamente o resultado e seria interessante fazer apenas dois

ou três substratos com diferentes composições e os repetir no mínimo três vezes no mesmo protótipo para ter a curva de estatística e resultados mais precisos.

A literatura mostra que as retenções e escoamentos são irregulares e que dependem de fatores como umidade relativa do ar, estação do ano, planta escolhida, composição do substrato. Por essas razões, torna-se necessário conhecer o comportamento da cobertura verde em pelo menos todas as estações do ano. Uma terceira crítica ao método foi o pouco tempo de pesquisa. Para se obter resultados com maior significância seriam necessárias mais medições por no mínimo um ano.

Os testes de campo são importantes para a avaliação do comportamento das coberturas verdes, tendo em todo vista as mudanças climáticas bruscas em todo o mundo. Na cidade de Curitiba – PR, a capital mais fria do país e onde o inverno é rigoroso, os testes de campo com este tipo de cobertura se tornam mais próximos de resultados reais.

Desse modo, para a continuidade do estudo é interessante a realização de novos estudos com a finalidade de:

- dar seguimento aos testes no protótipo construído em outras estações do ano;
- realizar testes com aditivos de retenção e também a observação de retenções durante pelo menos dois anos consecutivos;
- realizar testes de comparação de temperatura entre as coberturas convencionais e os módulos com substratos;
- realizar testes em laboratório e com aparelhos de medição de umidade em solo para avaliar a umidade do substrato;
- realizar testes com componentes de solo isolados em diferentes módulos com repetição para correlação de resultados.

REFERENCIAS

AGUIAR, C. A. *Acesso ao modelo integrado do edifício*. Dissertação [Mestrado no Programa de Pós-Graduação em Construção Civil] - Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2009.

ASTM E2396-11 (2009a) Standard Test Method for Saturated Water Permeability of Granular Drainage Media [Falling-Head Method] for Vegetative (Green) Roof Systems.

ASTM E2788-11 (2009b) Standard Specification for Use of Expanded Shale, Clay and Slate (ESCS) as a Mineral Component in the Growing Media and the Drainage Layer for Vegetative (Green) Roof Systems.

BACKES, T. Engenheiro agrônomo. Entrevistas concedidas à autora durante os anos de 2013 e 2014.

BALDESSAR, S. M. N. *Telhado Verde e sua contribuição na redução da vazão da água pluvial escoada*. Dissertação [Mestrado em Construção Civil], Universidade Federal do Paraná, 2012, 115p.

BENNETT, A. R. K.; MEADOWS, D. F. (Editors) *Common Ground, Consensus Building and Continual Improvement: International Standards and Sustainable Building*. 2010. Disponível em http://www.astm.org/DIGITAL_LIBRARY/STP/SOURCE_PAGES/STP1503_foreword.pdf. Acesso em 27/02/2014.

BIANCHINI, F. How “green” are the green roofs? Lifecycle analysis of green roof materials. *Building and Environment*. Disponível em www.sciencedirect.com. Acesso em 22/03/2012.

BREUNING, J.; SCHOLZ-BARTH, K. German FLL-Guideline for the Planning, Execution and Upkeep of Green-Roof Sites. 2008. Disponível em <http://www.greenrooftechnology.com/fll-green-roof-guideline>. Acesso em 25/04/2013.

CASTLETON, H. F.; STOVIN, V.; BECKC, S.B.M.; DAVISON, J.B. Green roofs; buildings energy savings and the potential for retrofit. *Building and Environment*. Disponível em www.sciencedirect.com. Acesso em 22/03/2012.

DURAN, S.; HERRERO, J. Ecoatlas – Arquitetura ecológica contemporânea. In: Fisk, P. *La evolucion de una arquitectura em equilibrio*. Barcelona: Loft Publications, 2010, p. 9-13.

EDWARDS, B. *O Guia básico para a sustentabilidade*. Barcelona: Gustavo Gili, 2005.

FARRELL, C.; ANG, X.; RAYNER, P. Water-retention additives increase plant available water in green roof substrates. *Ecological Engineering*. Disponível em <http://www.journals.elsevier.com/ecological-engineering>. Acesso em 12/12/2013.

- FARRELL, C.; MITCHELL, R.E.; SZOTA, C.; RAYNER, J.P; WILLIAMS, G.Green roofs for hot and dry climates: Interacting effects of plant water use, succulence and substrate. *Building and Environment*.Disponível em www.sciencedirect.com. Acesso em 12/05/2013.
- FRANÇA, L. C. J. O uso do telhado verde como alternativa sustentável aos centros urbanos: opção viável para a sociedade moderna do século XXI. *Revista Húmus*. 2012; 4: 104-113.
- HENEINE, M. C. A. S. *Cobertura Verde*. [Monografia de Especialização em Engenharia Civil]. Universidade Federal de Minas Gerais, 2008, 49p.
- INTERNATIONAL GREEN ROOF ASSOCIATION – IGRA. *Green Roof Types*. Disponível em http://www.igra-world.com/types_of_green_roofs/. Acesso em 23/02/2014.
- LAAR, M; SOUZA, C; ASSUNÇÃO PAIVA, V.L; AUGUSTA DE AMIGO, N; TAVARES, S; GRIMME, F.W; GUSMÃO, F; KOHLER, M; SCHMIDT, M. Estudo de aplicação de plantas em telhados vivos extensivos em cidades de clima tropical. In: VI Encontro Nacional e III Encontro Latino-Americano sobre Conforto no Ambiente Construído, São Pedro, SP, Brasil – 11 a 14 de novembro de 2001.
- LÖSKEN,G.; DROOG,S.; FRICKE,J.; MANN,G.; STEINER, E. The new Guideline for The Planning and Upkeep of Green-Roof Sites - Roof-Greening Guideline – 2008. Disponível em http://www.efb-greenroof.eu/verband/aktuell/1_FLL-Guideline_for_greening-roof_sites_Report-KBK.pdf. Acesso em 24/02/2014.
- MENASSA, C. C. Evaluating Sustainable Retrofits In Existing Buildings Under Uncertainty. University of Wisconsin-Madison, USA.2011. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378778811004324>. Acesso em: 26/03/2012.
- MONTERUSSO, M. A.; ROWE, D. B.; RUGH C.L. Establishment and Persistence of *Sedum* spp. and Native Taxa for Green Roof Applications. Disponível em <http://hortsci.ashspublications.or.short>. Acesso em 12/03/2013.
- NASCIMENTO, W. C.Coberturas verdes no contexto da Região Metropolitana de Curitiba: barreiras e potencialidades. Dissertação [Mestrado em Construção Civil]. Universidade Federal do Paraná, 2008, 204p.
- OULDBOUKHITINE S.E., S-E; BELARBI, R; DJEDJIG, R; Characterization of green roof components: Measurements of thermal and hydrological properties. *Building and Environment*. Disponível em: www.sciencedirect.com. Acesso em 12/05/2013.
- PARIZOTTO, S; LAMBERTS, R. Investigation of green roof thermal performance in temperate climate: A case study of an experimental building in Florianópolis city, Southern Brazil. *Building and Environment*. Disponível em www.sciencedirect.com. Acesso em 22/03/2012.
- PLINY FISK III. Eco-Dynamic™ Architecture and Planning. 2010. Disponível em http://www.cmpbs.org/sites/default/files/ad2.4eco-dyn_architecture.pdf. Acesso em 24/02/2014.

- ROEHR, D; KONG, Y. Runoff Reduction Effects of Green Roofs in Vancouver, BC, Kelowna, BC, and Shanghai, PR China. *Canadian Water Resources Journal*.2010 Disponível em <http://www.tandfonline.com>. Acesso em 20/03/2013.
- SPEAK , A.F.; ROTHWELL , J.J.; LINDLEY , S.J.; SMITH, C.L.Rainwater runoff retention on an aged intensive green roof. *Science of the Total Environment*. 2013. 461: 28-38.
- STRAPASSON, D. C.; FREITAS, M. C. D.; SANTOS, A. Estudo Comparativo do Consumo Energético do Telhado Convencional e Verde Leve em uma edificação. 5º Encontro de Engenharia e Tecnologia dos Campos Gerais; Curitiba, 2010, 10p. Disponível em www.5eetcg.uepg.br/Anais/artigospdf/50007_vf3.pdf; acesso em 12/08/2012.
- THEODOSIOU, T. Green Roofs in Buildings: Thermal and Environmental Behaviour. *Taylor and Francis*. Disponível em <http://www.tandfonline.com/loi/taer20>. Acesso em 25/04/2013.
- TOLDERLUND, L. Design Guidelines and Maintenance Manual for Green Roofs in the Semi-Arid and Arid West. Denver: Colorado University, 2010. Disponível em <http://www2.epa.gov/sites/production/files/documents/GreenRoofsSemiAridAridWest.pdf>. Acesso em 25/04/2013.
- TUCCI, C. Gerenciamento integrado das inundações urbanas no Brasil. Instituto de Pesquisas Hidráulicas – UFRGS. Associação Brasileira de Recursos Hídricos. Disponível em <http://www.abrh.org.br/>. Acesso em 12/01/2014.
- SCHLICHTA, D. S. Engenheiro agrônomo. Entrevistas concedidas à autora durante o ano de 2013.
- SPEAK, A.F; ROTHWELL, J.J; LINDLEY, S.J; SMITH, C.L; *Rainwater runoff retention on an aged intensive green roof*. Disponível em: <http://www.elsevier.com/>. Acesso em 15/01/2014.
- STOVIN, V; VESUVIANO, G; KASMIN, H. The hydrological performance of a green roof test bed under UK climatic conditions. *Building and Environment*. 2011. Disponível em www.sciencedirect.com. Acesso em 12/05/2013.
- TAVARES, S.; LAAR, M.; SOUZA, C.; ASSUNÇÃO PAIVA, V. L.; AUGUSTA DE AMIGO, N.; GUSMÃO, F. *Estudo de aplicação de plantas em telhados vivos em cidades de clima tropical*. In: Encontro Nacional sobre Conforto no Ambiente Construído -ENCAC, São Pedro, 6, 11-14 de novembro de 2001.
- TRITON SYSTEMS. Triton Roof Systems Brochure, 2004. Disponível em <http://www.tritonsystems.co.uk/litrat.php#p7>. Acesso em 23/09/2013
- UGALDE, J. Contribuição da natureza para a eficiência energética na Arquitetura. 3º Relatório Semestral. UFRJ/COPPE/PPE - CNPq/Energia, 2004.
- USGBC - US Green Buildings Council, 2009. Disponível em <http://www.usgbc.org> , acesso em 05/08/2012.

VACILIKIO, D.; FLEISCHFRESSER, L. Comparação entre Telhado Verde e Convencional nas Temperaturas Internas de Ambientes. In: II Simpósio Ambiental da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – 6 a 10 Junho, 2011. Disponível em http://www.grupointegrado.br/concepar2011/?action=anais_resumo&id=659. Acesso em 25/04/2012.

VECCHIA, F. *Cobertura verde leve (CVL): ensaio experimental*. In: VI Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído (ENCAC) e IV Encontro Latino-americano sobre Conforto no Ambiente Construído (ELACAC), 2005. CD ROM VI Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído (ENCAC) e IV Encontro Latino-americano sobre Conforto no Ambiente Construído (ELACAC).

YIN, R. K. *Estudo de caso: planejamento e métodos*. Porto Alegre: Bookman, 2001.

YUNG, E. H. K.; CHAN, E. H.W. Implementation Challenges to the Adaptive Reuse of Heritage Buildings: Towards the Goals of Sustainable, Low Carbon Cities. *Habitat International*, 2012. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0197397511000877>. Acesso em: 20/03/2012.

REFERÊNCIAS DE CONTEXTUALIZAÇÃO NO PROGRAMA

AGUIAR, C. A. *Acesso ao modelo integrado do edifício*. Dissertação [Mestrado no Programa de Pós-Graduação em Construção Civil] - Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2009.

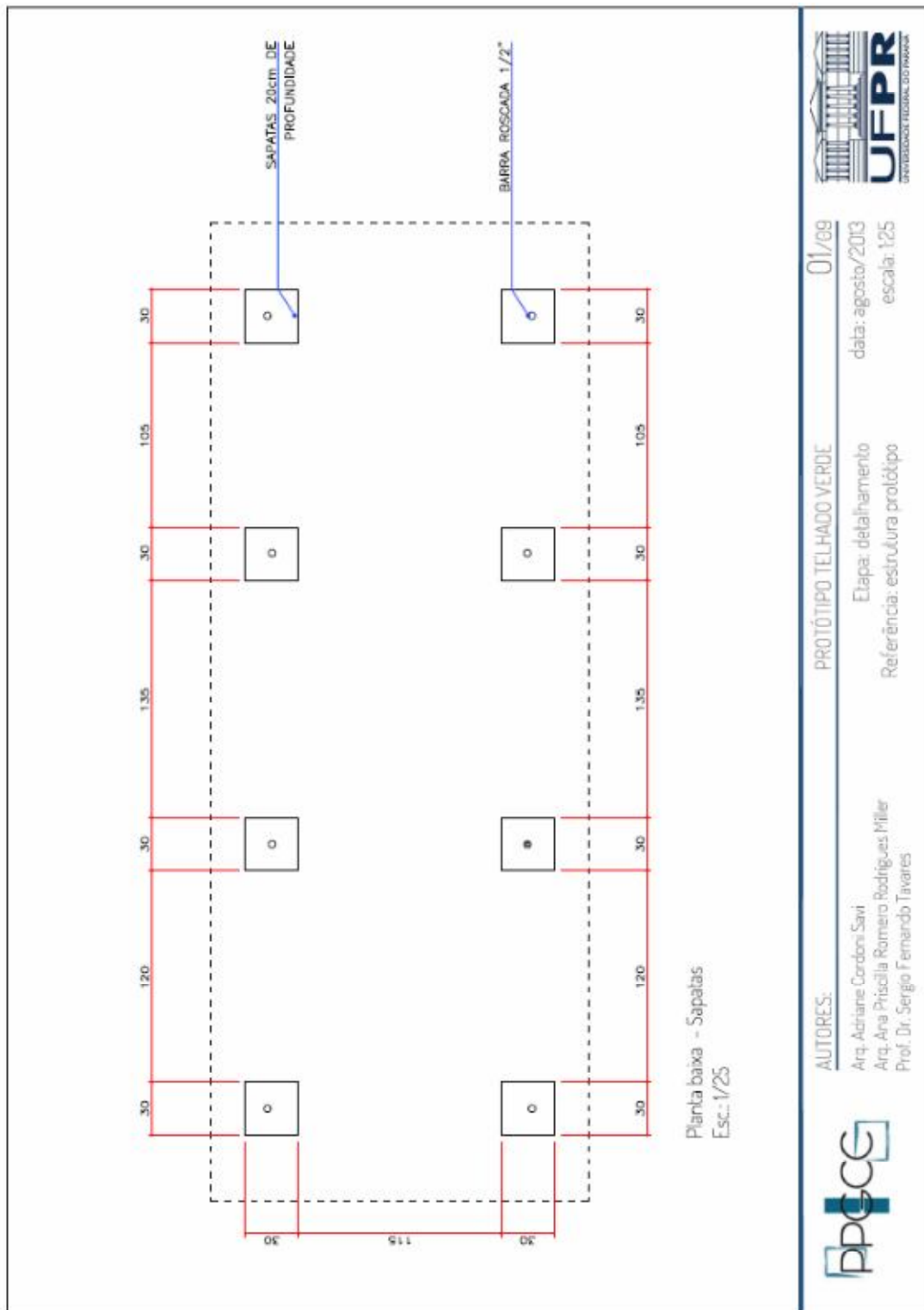
BALDESSAR, S. M. N. *Telhado Verde e sua contribuição na redução da vazão da água pluvial escoada*. Dissertação [Mestrado em Construção Civil], Universidade Federal do Paraná, 2012, 115p.

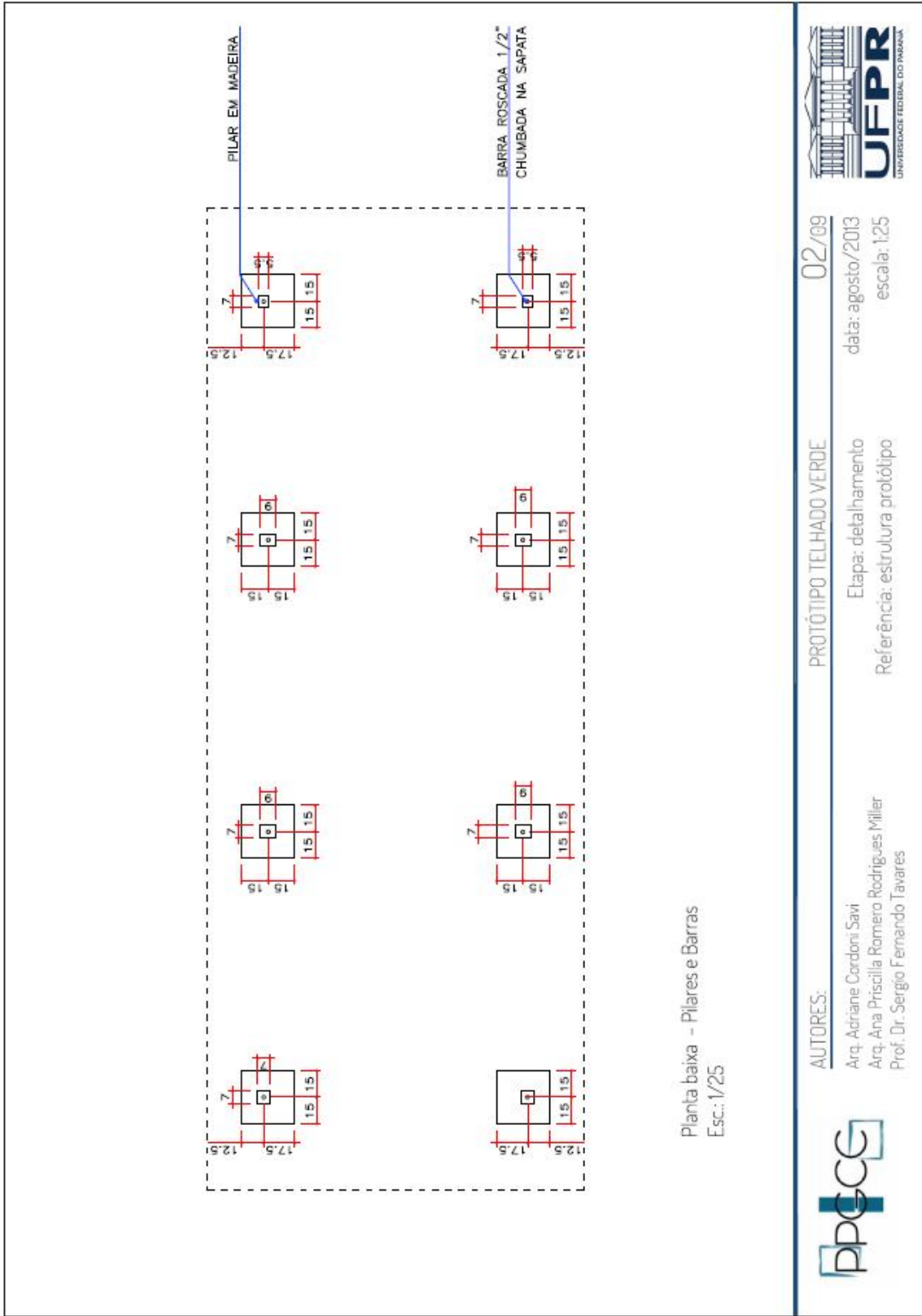
CHAVES, Francisco Carneiro. *Viabilidade Técnico-Econômica da Utilização da Água de Chuva em Edifícios Residenciais: Estudo de Caso*. Dissertação [Mestrado no Programa de Pós-Graduação em Construção Civil], Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2003.

NASCIMENTO, W. C. *Coberturas verdes no contexto da Região Metropolitana de Curitiba: barreiras e potencialidades*. Dissertação [Mestrado em Construção Civil]. Universidade Federal do Paraná, 2008, 204p.

ANEXOS

Anexo A – Detalhamento da estrutura do protótipo





Planta baixa - Pilares e Barras
Esc.: 1/25



AUTORES:

Arq. Adriane Cordoni Savi
Arq. Ana Priscilla Romero Rodrigues Miller
Prof. Dr. Sergio Fernando Tavares

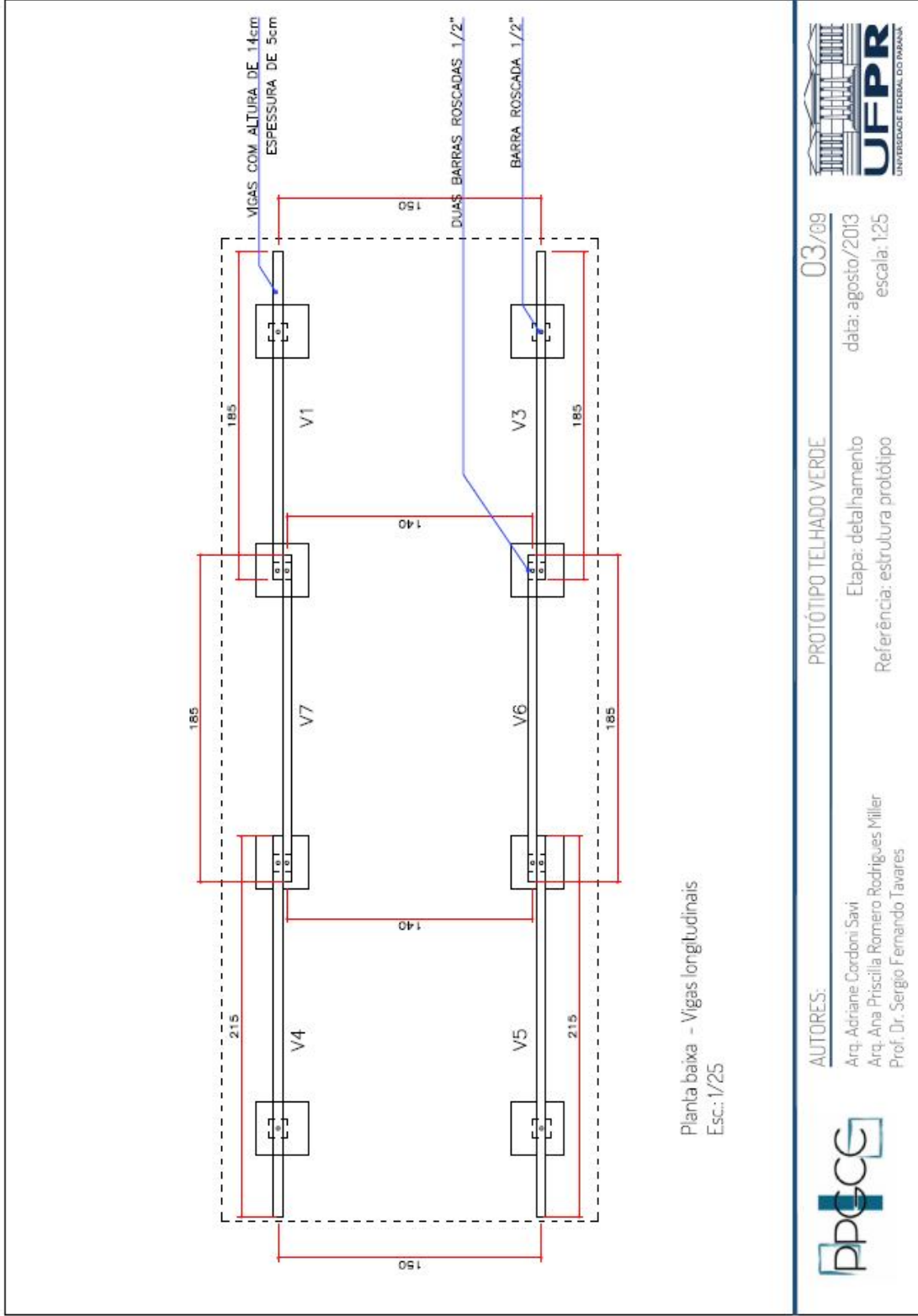
PROTÓTIPO TELHADO VERDE

02/09

data: agosto/2013
escala: 1:25

Etapa: detalhamento
Referência: estrutura protótipo





AUTORES:

Arq. Adriane Cordoni Savi
 Arq. Ana Priscilla Romero Rodrigues Miller
 Prof. Dr. Sergio Fernando Tavares

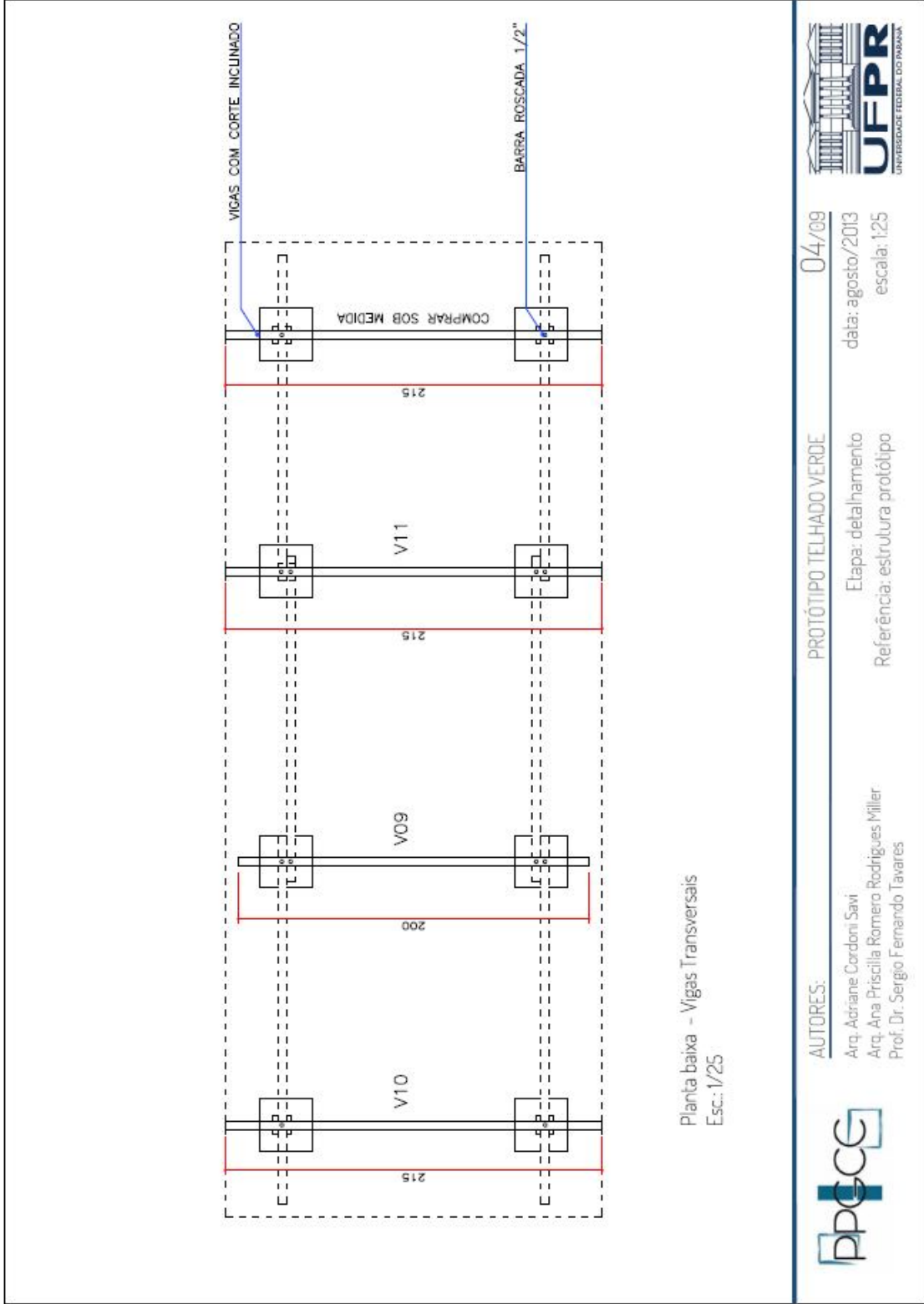
PROTÓTIPO TELhado VERDE

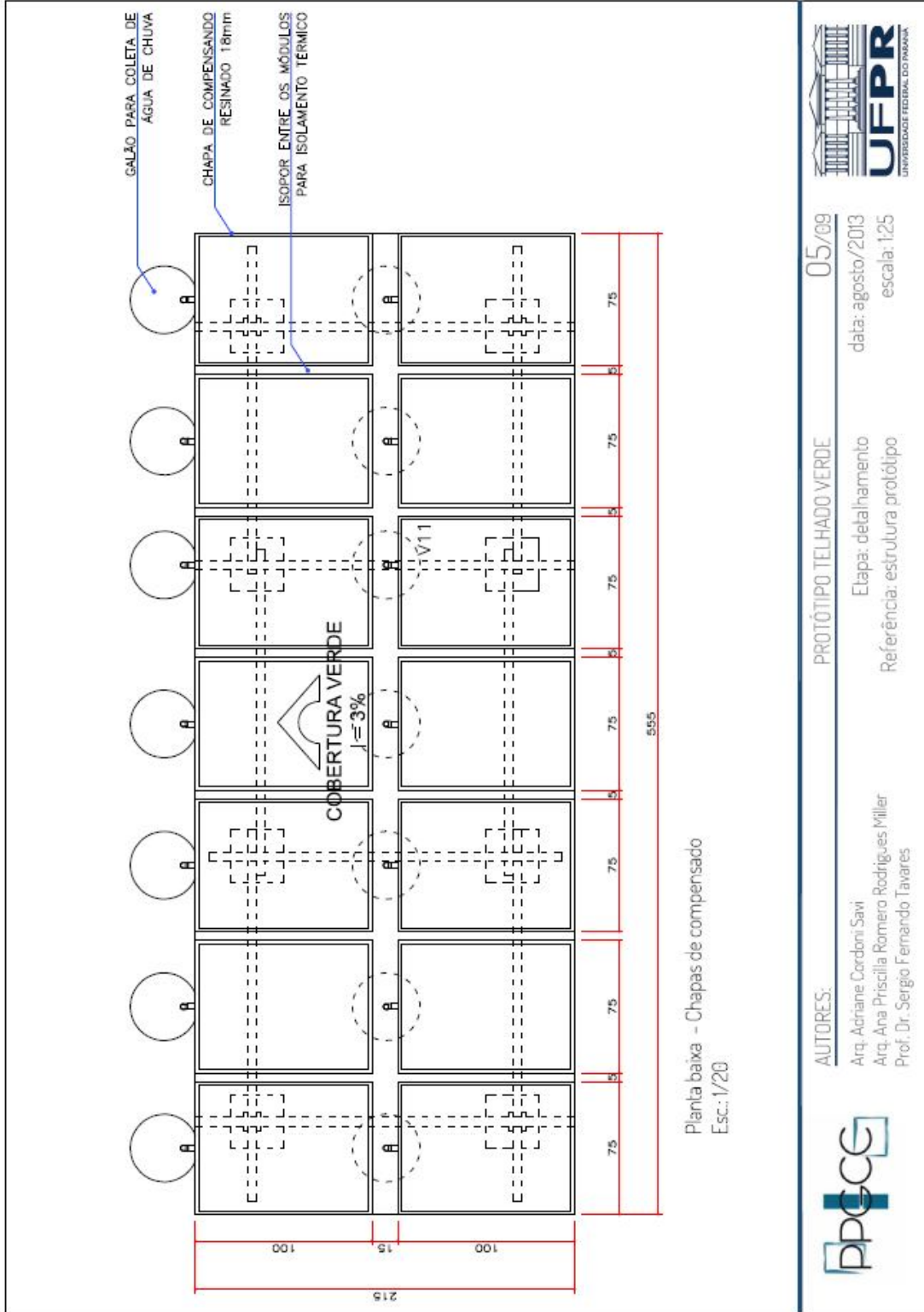
03/09

data: agosto/2013
 escala: 1:25

Etapa: detalhamento
 Referência: estrutura protótipo



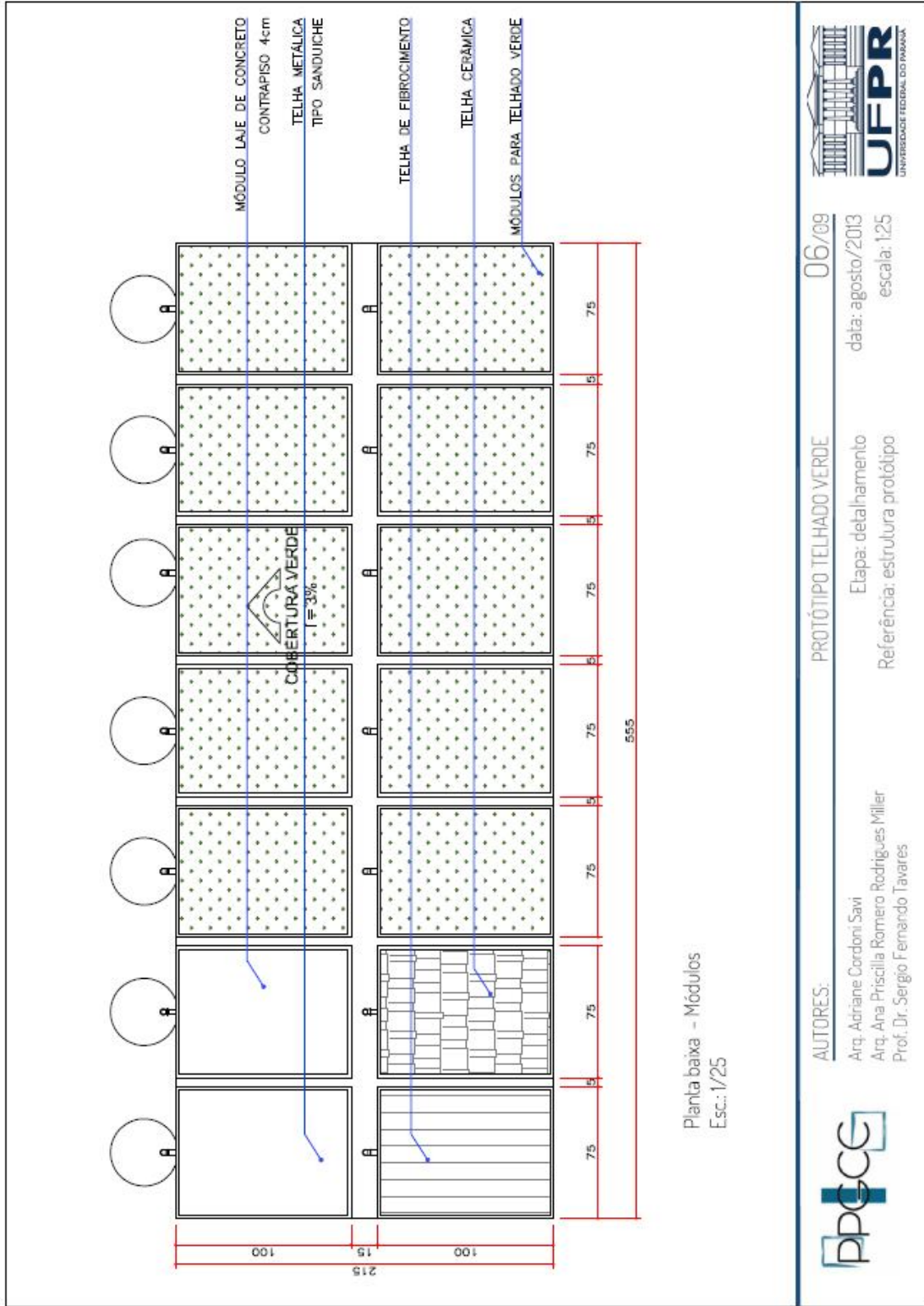




PROTÓTIPO TELHADO VERDE 05/09
 data: agosto/2013
 escala: 1:25
 Referência: estrutura protótipo
 Etapa: detalhamento

AUTORES:
 Arq. Adriane Cordoni Savi
 Arq. Ana Priscila Romero Rodrigues Miller
 Prof. Dr. Sergio Fernando Tavares





Planta baixa - Módulos
Esc.: 1/25



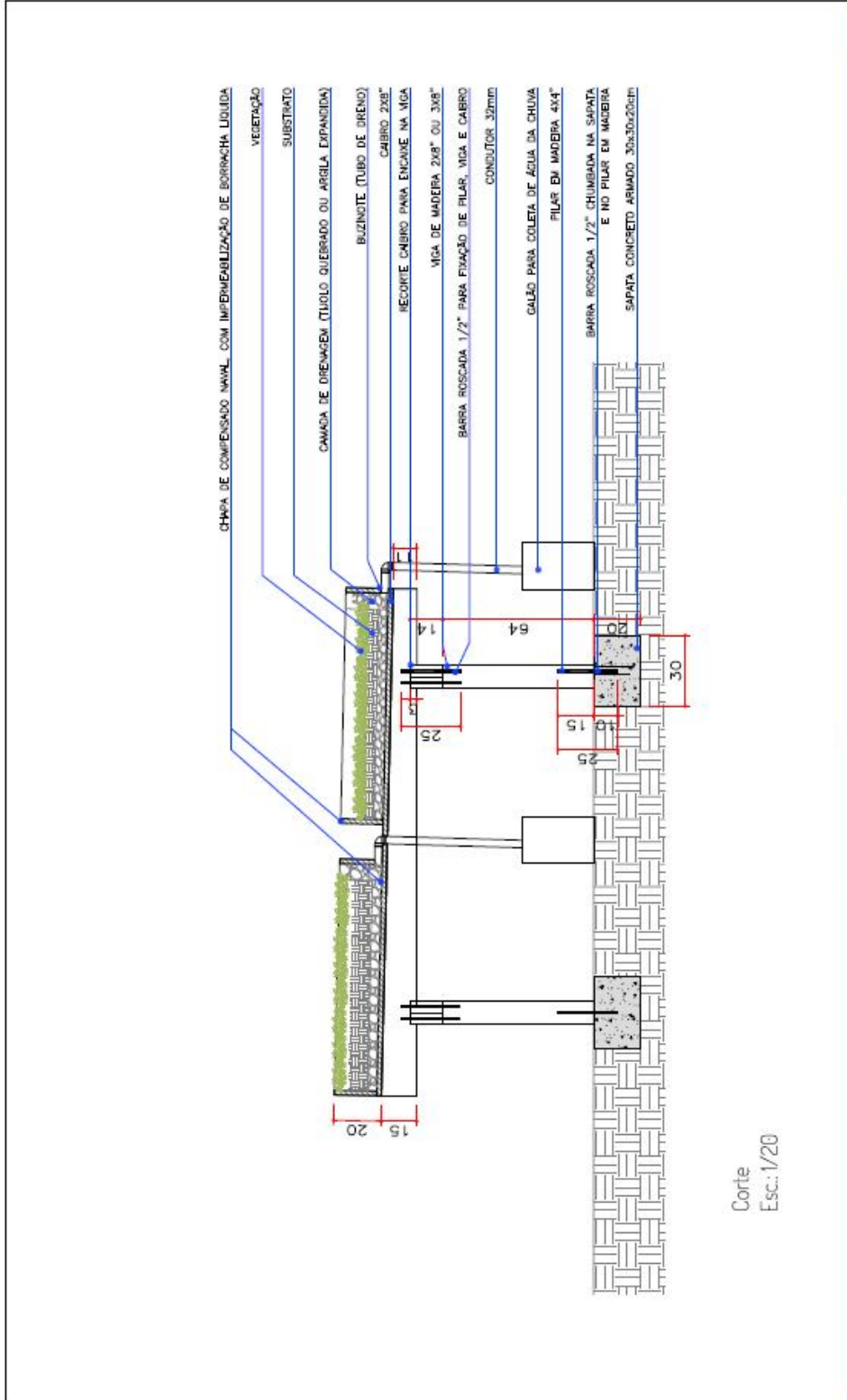
06/09
data: agosto/2013
escala: 1:25

PROTÓTIPO TELHADO VERDE
Etapa: detalhamento
Referência: estrutura protótipo

AUTORES:

Arq. Adriane Cordoni Savi
Arq. Ana Priscilla Romero Rodrigues Miller
Prof. Dr. Sergio Fernando Tavares





Corte
Esc.: 1/20

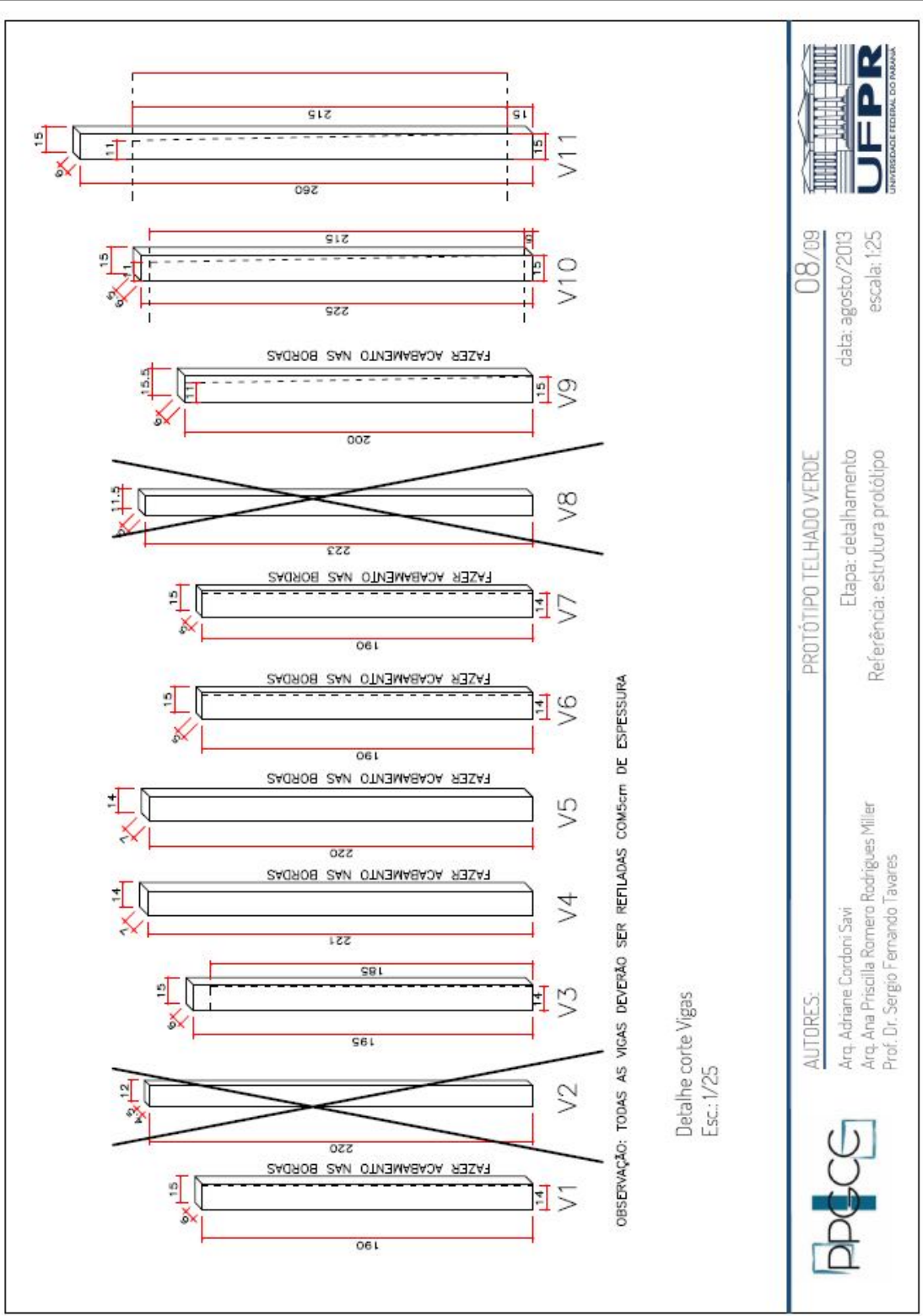


07/09
data: agosto/2013
escala: 1:20

PROTÓTIPO TELHADO VERDE
Etapa: detalhamento
Referência: estrutura protótipo

AUTORES:
Arq. Adriane Cordoni Savi
Arq. Ana Priscilla Romero Rodrigues Miller
Prof. Dr. Sérgio Fernando Tavares





Detalhe corte Vigas
Esc.: 1/25

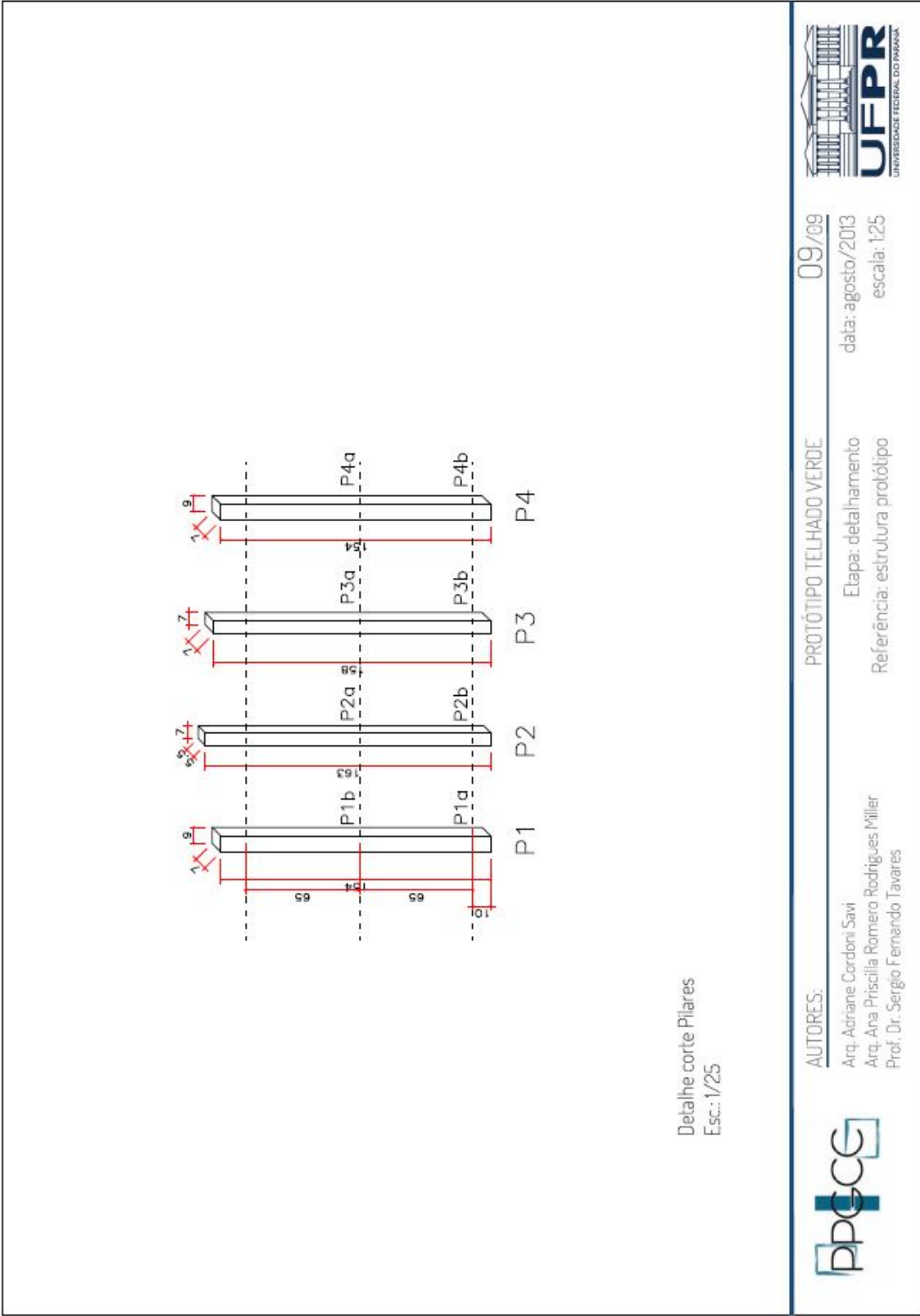


AUTORES: **08/09**
 PROTÓTIPO TELhado VERDE
 data: agosto/2013
 escala: 1:25



Arq. Adriane Cordoni Savi
 Arq. Ana Priscilla Romero Rodrigues Miller
 Prof. Dr. Sergio Fernando Tavares

Etapa: detalhamento
 Referência: estrutura protótipo



Detalhe corte Pilares
Esc.: 1/25



AUTORES:

Arq. Adriane Cordoni Savi
Arq. Ana Priscila Romero Rodrigues Miller
Prof. Dr. Sérgio Fernando Tavares

PROTÓTIPO TELHADO VERDE

Etapa: detalhamento
Referência: estrutura protótipo

09/09

data: agosto/2013
escala: 1:25



Anexo B - Dados Simepar

Estação: Curitiba

Código AANEL: 2549101

Município: Curitiba

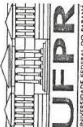
Intervalo: 01/01/2014 a 27/04/2014.

Data de geração: 28/04/2014

Data	Precipitação (mm)	Data	Precipitação (mm)
01/01/2014	51.0	02/01/2014	1.2
03/01/2014	5.6	04/01/2014	4.4
05/01/2014	0.0	06/01/2014	1.8
07/01/2014	0.6	08/01/2014	18.2
09/01/2014	0.0	10/01/2014	0.0
11/01/2014	0.4	12/01/2014	84.6
13/01/2014	8.8	14/01/2014	2.8
15/01/2014	30.8	16/01/2014	23.4
17/01/2014	0.2	18/01/2014	0.0
19/01/2014	0.0	20/01/2014	0.0
21/01/2014	3.8	22/01/2014	0.0
23/01/2014	0.0	24/01/2014	0.0
25/01/2014	0.0	26/01/2014	0.0
27/01/2014	0.0	28/01/2014	0.0
29/01/2014	0.0	30/01/2014	0.0
31/01/2014	0.0	01/02/2014	0.0
02/02/2014	0.0	03/02/2014	0.6
04/02/2014	11.4	05/02/2014	2.4
06/02/2014	0.0	07/02/2014	0.0
08/02/2014	7.8	09/02/2014	0.0
10/02/2014	0.0	11/02/2014	0.0
12/02/2014	0.0	13/02/2014	0.0
14/02/2014	31.6	15/02/2014	1.2
16/02/2014	9.8	17/02/2014	2.2
18/02/2014	7.2	19/02/2014	0.0
20/02/2014	0.0	21/02/2014	0.0
22/02/2014	3.6	23/02/2014	3.6
24/02/2014	0.0	25/02/2014	0.2
26/02/2014	0.0	27/02/2014	27.0
28/02/2014	3.0	01/03/2014	0.0
02/03/2014	0.0	03/03/2014	0.0

04/03/2014	23.4	05/03/2014	9.0
06/03/2014	0.0	07/03/2014	3.4
08/03/2014	24.2	09/03/2014	38.2
10/03/2014	0.0	11/03/2014	15.0
12/03/2014	23.4	13/03/2014	23.6
14/03/2014	0.0	15/03/2014	0.0
16/03/2014	0.0	17/03/2014	11.0
18/03/2014	3.8	19/03/2014	6.8
20/03/2014	18.2	21/03/2014	12.2
22/03/2014	0.0	23/03/2014	0.0
24/03/2014	0.0	25/03/2014	0.0
26/03/2014	0.2	27/03/2014	0.0
28/03/2014	0.0	29/03/2014	0.0
30/03/2014	12.2	31/03/2014	0.8
01/04/2014	0.0	02/04/2014	1.6
03/04/2014	14.4	04/04/2014	1.0
05/04/2014	0.0	06/04/2014	0.0
07/04/2014	0.0	08/04/2014	0.0
09/04/2014	8.4	10/04/2014	0.0
11/04/2014	0.0	12/04/2014	25.8
13/04/2014	0.2	14/04/2014	0.2
15/04/2014	17.0	16/04/2014	0.0
17/04/2014	0.0	18/04/2014	0.0
19/04/2014	0.6	20/04/2014	0.0
21/04/2014	0.0	22/04/2014	0.6
23/04/2014	0.6	24/04/2014	0.0
25/04/2014	0.0	26/04/2014	0.0
27/04/2014	0.4		

Anexo C - Laudo do laboratório do Setor de Ciências Agrárias - UFPR

 UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ SETOR DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS DEPARTAMENTO DE SOLOS E ENGENHARIA AGRÍCOLA	Solicitante: ANA PRISCILA MILLER	Tel: 9943-9595
	Endereço:	
	Cidade: CURITIBA	Estado: PR

CERTIFICADO N 14797 LAUDO DE ANÁLISE DE SOLO - ROTINA Data: 31/3/2014

Nº LAB	Identificação da Amostra	pH		Al ³⁺	H ⁺ +Al ³⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	SB	T	mg/dm ³			Ca/Mg		
		CaCl ₂	SMP								P	S	C	V	m	%
69898	01	5,10	5,70	0,00	11,10	7,20	4,40	0,46	12,06	23,16	40,90	-	56,9	52	0	1,64
69899	02	5,00	5,60	0,00	7,10	7,50	4,00	0,44	11,94	19,04	52,00	-	53,2	63	0	1,88
69900	03	4,80	5,20	0,20	10,20	7,10	4,30	0,68	11,98	22,18	54,00	-	59,9	54	2	1,65
69901	04	5,00	5,40	0,00	8,50	8,20	4,40	0,75	13,35	21,85	65,00	-	62,5	61	0	1,86
69902	05	4,40	4,60	0,40	17,20	7,30	4,00	0,49	11,79	28,99	44,00	-	77,1	41	3	1,83



Resultados restritos às amostras recebidas. Neste laudo não constam recomendações.

Prof. Antonio C.V. Menezes
Coord. Lab. de Fertilidade do Solo

Rua dos Funcionários, 1540 - Curitiba - PR - CEP 80035-050 - Fone (041) 350 5673 - E-mail: depeolos@ufpr.br

1 de 1

Anexo D – Entrevista por e-mail com o engenheiro agrônomo Toni Backes.

Toni Backes, engenheiro agrônomo, Mestre em Floricultura_UFRGS, palestrante e professor. Fundador da escola de paisagismo 'Perau do Encanto' e do curso 'Técnico em Paisagismo' na Escola Bom Pastor, em Nova Petrópolis. Paisagista com mais de 25 anos de experiência em paisagismo ecológico, é especialista em telhados vivos.

Ana Priscilla: Toni, como você analisa o teste no protótipo construído com os cinco módulos de substrato?

Toni Backes: o mais crítico realmente foi falta falha de metodologia científica em uma análise de cultivo. É realmente impossível concluir de maneira segura sem repetições ou estatística.

Ana Priscilla: sobre o substrato, como você analisa as composições?

Toni Backes: substratos: são muito semelhantes entre si, não tem teste cego, e nem ausência de um ou outro. Não obstante, os resultados demonstram que a composição é de qualidade.

Ana Priscilla: Sobre a planta usada no protótipo?

Toni Backes: a planta é ornamental. Como foi plantada já em muda com florescência, estava com seu ciclo começado. Plantas ornamentais tem ciclo de vida curto.