

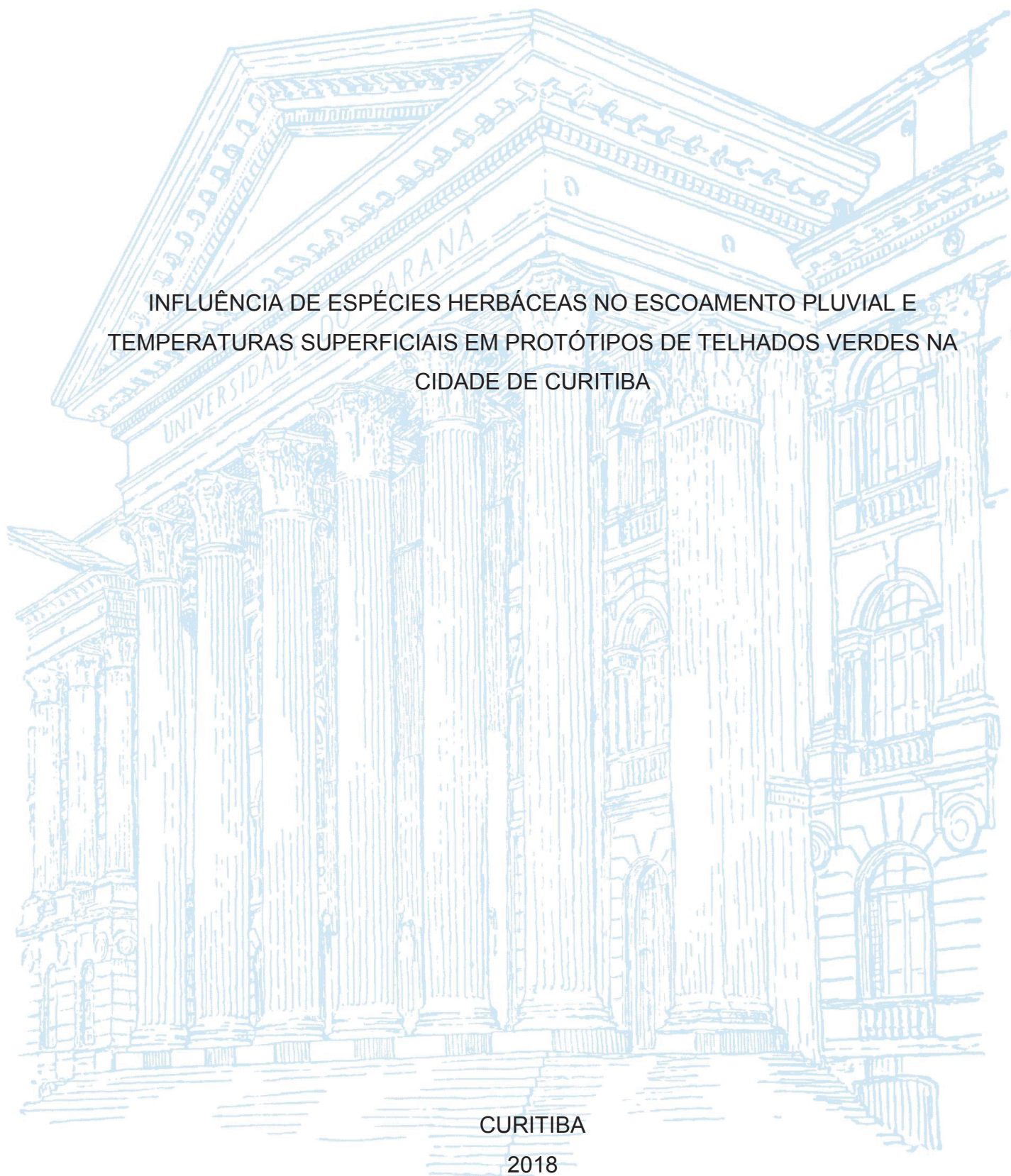
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

THAÍS VIEIRA LOPES

INFLUÊNCIA DE ESPÉCIES HERBÁCEAS NO ESCOAMENTO PLUVIAL E
TEMPERATURAS SUPERFICIAIS EM PROTÓTIPOS DE TELHADOS VERDES NA
CIDADE DE CURITIBA

CURITIBA

2018



THAÍS VIEIRA LOPES

INFLUÊNCIA DE ESPÉCIES HERBÁCEAS NO ESCOAMENTO PLUVIAL E
TEMPERATURAS SUPERFICIAIS EM PROTÓTIPOS DE TELHADOS VERDES NA
CIDADE DE CURITIBA

Dissertação apresentada ao Curso de Pós Graduação em Engenharia de Construção Civil, Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Engenharia de Construção Civil.

Orientador: Prof. Dr. Sérgio Fernando Tavares

CURITIBA

2018

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELO SISTEMA DE BIBLIOTECAS/UFPR
BIBLIOTECA DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA

L864i

Lopes, Thaís Vieira

Influência de espécies herbáceas no escoamento pluvial e temperaturas superficiais em protótipos de telhados verdes na cidade de Curitiba / Thaís Vieira Lopes. – Curitiba, 2018.
il. color.

Dissertação - Universidade Federal do Paraná, Setor de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Construção Civil, 2018.

Orientador: Sérgio Fernando Tavares.

1. Telhados verdes (Jardinagem). 2. Escoamento de águas precipitadas. 3. Temperaturas superficiais. I. Universidade Federal do Paraná. II. Tavares, Sérgio Fernando. III. Título.

CDD: 695

Bibliotecária: Romilda Santos - CRB-9/1214



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SETOR TECNOLOGIA
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO ENGENHARIA DE
CONSTRUÇÃO CIVIL

TERMO DE APROVAÇÃO

Os membros da Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em ENGENHARIA DE CONSTRUÇÃO CIVIL da Universidade Federal do Paraná foram convocados para realizar arguição da Dissertação de Mestrado de **THAÍS VIEIRA LOPES** intitulada: **INFLUÊNCIA DE ESPÉCIES HERBÁCEAS NO ESCOAMENTO PLUVIAL E TEMPERATURAS SUPERFICIAIS EM PROTÓTIPOS DE TELHADOS VERDES NA CIDADE DE CURITIBA**, após terem inquirido a aluna e realizado a avaliação do trabalho, são de parecer pela sua APROVAÇÃO no rito de defesa.

A outorga do título de mestre está sujeita à homologação pelo colegiado, ao atendimento de todas as indicações e correções solicitadas pela banca e ao pleno atendimento das demandas regimentais do Programa de Pós-Graduação.

Curitiba, 20 de Abril de 2018.



SÉRGIO FERNANDO TAVARES

Presidente da Banca Examinadora (UFPR)



MARIA DO CARMO DUARTE FREITAS

Avaliador Externo (UFPR)



MARIANA GRASSI NOYA

Avaliador Externo (UFPR)

AGRADECIMENTOS

A realização dessa pesquisa só foi possível pela contribuição de pessoas e empresas que acreditaram e colaboraram doando tempo, mão de obra e materiais que viabilizaram a construção, implantação e manutenção dos protótipos.

Desta forma, agradeço inicialmente ao Professor Luiz Renato Lazinski, meteorologista do INMET pela gentil disponibilização do espaço para realização do experimento.

À Jo, funcionária da Fazenda Experimental Cagüiri, pela atenção e disponibilização de mudas.

Agradeço às empresas HM Rubber pela doação da borracha líquida e a DIPROTEC pela doação da geomembrana de PEAD e o Geocomposto drenante utilizados.

À aluna de arquitetura Ingrid Schmaedecke pela colaboração no acompanhamento fotográfico do experimento.

Ao amigo Antônio Couto, por sua valorosa contribuição na confecção dos protótipos e pelo apoio e entusiasmo que o fez.

A colega mestranda Bruna Vogt, pela ajuda na construção do experimento e colaboração à esta pesquisa.

Ao meu orientador Professor Sérgio Tavares, pela paciência e dedicação e fundamental contribuição para a realização deste trabalho.

À Melissa, pela paciência, amor, carinho e apoio e compreensão incondicionais em todas as horas.

Aos meus pais, Claudemira e Luiz Carlos, que colaboraram de todas as formas para a realização deste trabalho, e foram fonte de amor, carinho, incentivo e exemplo e inspiração sempre.

A minha irmã Izabella pelo apoio e incentivo.

E por fim, aos meus amigos e familiares, pelo carinho, incentivo e compreensão das minhas ausências.

Dedico aos meus avós, Geralda, Claudiné, Joaquim e Adelina (In Memoriam)

RESUMO

O crescimento da população urbana de Curitiba trouxe consigo uma gama de problemas decorrentes da extensa urbanização, entre eles destaca-se a diminuição de áreas verdes e o proporcional aumento de áreas impermeabilizadas. A requalificação de seus espaços urbanos, bem como de suas edificações, é um desafio que leva em conta o entendimento das necessidades de mudança e readaptação no âmbito da urbanização das cidades. Assim como os fatores socioambientais e parâmetros de sustentabilidade e economicidade que a envolvem. É nesse sentido que o telhado verde se apresenta como uma ferramenta estratégica para proporcionar a requalificação de coberturas, promovendo melhoria no conforto térmico, retenção e auxílio no escoamento de águas precipitadas, além de redução de consumo energético das edificações. Esta pesquisa buscou responder a seguinte questão: Espécies vegetais herbáceas se adaptam e possuem desempenho favorável para uso em telhados verdes em Curitiba, em relação aos parâmetros de temperatura superficial, a água residual de chuva e a capacidade de desenvolvimento dessas espécies? Partiu-se dos pressupostos de que a utilização de variadas espécies herbáceas, bem como de diferentes espessuras de substrato influenciariam diretamente no desempenho de telhados verdes. O objetivo foi avaliar a influência de determinadas espécies herbáceas em diferentes espessuras de substrato, no desempenho de telhados verdes, testando variáveis como as temperaturas superficiais, retenção e escoamento de águas precipitadas e desenvolvimento das espécies. O experimento foi instalado na Estação Meteorológica do INMET de Curitiba, localizada no Centro Politécnico da UFPR. Foram organizados seis protótipos, sendo quatro módulos de telhados verdes com 7 cm de espessura de substrato e dois módulos com 15 cm de espessura (substrato), com nove espécies diferentes, dois módulos plantados em consórcios e quatro em formato de monocultivo. Para análise da variável temperatura foram instalados nos módulos termômetros do tipo K e para a variável retenção de escoamento foram acoplados em cada módulo, galões com capacidade de 20 litros cada. Os resultados demonstraram que existe uma variação no desempenho dos sistemas de cobertura verde, tanto entre as espécies utilizadas em relação às espessuras do substrato, quanto às variáveis que foram analisadas no experimento: temperaturas superficiais, retenção e escoamento de águas precipitadas e o desenvolvimento das espécies. Conclui-se também que as espécies *Lantana sellowiana*, *Aechmea nudicaulis* e *Bromelia balansae* demonstraram ser espécies potenciais para utilização em sistemas de telhado verde, tendo tolerado períodos de seca, frio, e insolação, enquanto que as espécies *Tropaelum majus*, *Neoregelia compacta*, *Axonopus compressus* e *Arachis repens* não são muito tolerantes a períodos longos de estiagem. Concluiu-se que espécies vegetais nativas se adaptam e apresentam desempenho favorável para utilização em sistemas de telhados verdes, entretanto, precisam ser selecionadas de maneira a garantir boa adaptação entre elas e o substrato.

Palavras-chave: Utilização de espécies herbáceas em telhados verdes. Escoamento de águas precipitadas. Temperaturas superficiais.

ABSTRACT

The growth of the urban population of Curitiba brought about a wide range of problems resulting from the extensive urbanization, among them the reduction of green areas and the proportional increase of waterproofed areas. The requalification of its urban spaces, as well as its buildings, is a challenge that considers the understanding of the need of change and readaptation in the urbanization of cities, as well as the socio-environmental factors and parameters of sustainability and economicity that revolve around it. In this regard the green roof is presented as a strategic tool to provide the requalification of roofs, promoting improvements in thermal comfort, retention of and aid to precipitated water flow, as well as reduction of energy consumption in buildings. This research sought to answer the following question: Do herbaceous plant species adapt and have favorable performance for use on green roofs in Curitiba, considering the parameters of surface temperature, residual rainwater and the development capacity of these species? The research was conducted under the assumption that the use of various herbaceous species, as well as different substrate thicknesses, should directly influence the performance of green roofs. The objective was to evaluate the influence of certain herbaceous species on different substrate thicknesses over the performance of green roofs, testing variables such as surface temperatures, precipitated water retention and flow, and species development. The experiment was conducted at the INMET Meteorological Station of Curitiba, located at UFPR Polytechnic Center. Six prototypes were organized, with four modules of 7 cm thick green roofs and two 15 cm thick modules in the semi-intensive format, with nine different species, two planted in consortia and the remainder in monoculture. For the analysis of the temperature variable, type K thermocouples were installed in the modules, and for the retention of flow variable, 20 liters gallons were attached to each module. The results showed that there is a variation in the performance of the green cover systems, either considering the species used in relation to the substrate thicknesses and considering the variables that were analyzed in the experiment: surface temperatures, retention and flow of precipitated water and species development. The species *Lantana sellowiana*, *Aechmea nudicaulis* and *Bromelia balansae* have shown to be potential species for use in green roof systems, having tolerated periods of drought, cold, and insolation, while the species *Tropaelum majus*, *Neoregelia compacta*, *Axonopus compressus* and *Arachis repens* are not very tolerant to long periods of drought. It was concluded that native plant species can adapt and present favorable performance for use in green roof systems, however, they must be selected in order to ensure good adaptation between them and their substrate.

Keywords: Use of herbaceous species on green roofs. Runoff water precipitation. Surface temperatures.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 – MAPEAMENTO DOS PRINCIPAIS PRODUTORES DE PESQUISA SOBRE TELHADOS VERDES E ARTIGOS CONTEMPLADOS NESTA PESQUISA.	18
FIGURA 2 – CAMADAS DE UM TELHADO VERDE	25
FIGURA 3 – DISTRIBUIÇÃO DOS CINCO QUADRANTES AO LONGO DE UMA DIAGONAL DA SUPERFÍCIE VEGETATIVA EM CADA LOCAL DE ESTUDO.	49
FIGURA 4 – ILUSTRA OS CENÁRIOS: ATUAL, UM ANO E DEZ ANOS APÓS A LEI DE INSTALAÇÃO DOS TELHADOS VERDES.	55
FIGURA 5 – LOCALIZAÇÃO DO EXPERIMENTO JUNTO A ESTAÇÃO DO INMET	69
FIGURA 6 – MÓDULO DE TELHADO VERDE	72
FIGURA 7 – IMPLANTAÇÃO E ELEVAÇÃO DOS MÓDULOS DE TELHADO VERDE	72
FIGURA 8 – DESMONTAGEM DOS PALLETS	73
FIGURA 9 – REMOÇÃO DE PREGOS	73
FIGURA 10 – MONTAGEM E NIVELAÇÃO DOS PÉS	73
FIGURA 11 – PÉS SOBRE OS APOIOS	74
FIGURA 12 – VEDAÇÃO DAS FRESTAS.....	75
FIGURA 13 – BORRACHA LÍQUIDA APLICADA.....	75
FIGURA 14 – BORRACHA LÍQUIDA UTILIZADA PARA IMPERMEABILIZAÇÃO....	75
FIGURA 15 – LIGAÇÃO DO GALÃO AO MÓDULO	76
FIGURA 16 – FURAÇÃO DA CAIXA PARA POSTERIOR ENCAIXE DO TUBO DE QUEDA	77
FIGURA 17 – MÓDULOS COM MEMBRANA PEAD	77
FIGURA 18 – A ESQUERDA GEOCOMPOSTO DRENANTE, E A DIREITA MÓDULO COM MEMBRANA PEAD JÁ INSTALADA.....	78
FIGURA 19 – SUBSTRATO COMERCIAL UTILIZADO	79
FIGURA 20 – A ESQUERDA DETALHE DA ESPESSURA DO SUBSTRATO, E SUBSTRATO DISTRIBUÍDOS NOS MÓDULOS	79
FIGURA 21 – BROMÉLIAS SEPARADAS PARA PLANTIO	81
FIGURA 22 – MÓDULOS COM O PLANTIO COMPLETO	81

FIGURA 23 – MÓDULO SEMI EXTENSIVO COM A ESPÉCIE BROMELIA BALANSAE	82
FIGURA 24 – MÓDULO EXTENSIVO COM CONSÓRCIO DE BROMÉLIAS.....	82
FIGURA 25 – DA ESQUERDA PARA A DIREITA, CRYPTANTHUS ACAULIS, BEUCKERI E BIVITTATUS	84
FIGURA 26 – PITCAIRNIA FLAMMEA	85
FIGURA 27 – NIDULARIUM INNOCENTII	86
FIGURA 28 – NEOREGELIA COMPACTA	86
FIGURA 29 – AECHMEA NUDICAULIS	86
FIGURA 30 – BROMELIA BALANSAE	87
FIGURA 31 – LANTANA MONTEVIDENSIS.....	88
FIGURA 32 – TROPAEOLUM MAJUS - CAPUCHINHA.....	89
FIGURA 33 – THELYPTERIS DENTATA.....	89
FIGURA 34 – TILLANDSIA STRICTA.....	90
FIGURA 35 – ALTERNANTERA FICOIDEA	90
FIGURA 36 – EQUISETUM GIGANTEUM.....	91
FIGURA 37 – DATA LOGGER TD-890	92
FIGURA 38 – MÓDULO COM AS BROMÉLIAS EM CONSÓRCIO	95
FIGURA 39 – MÓDULO COM AS CAPUCHINHAS	96
FIGURA 40– MÓDULO COM OS PERIQUITINHOS	97
FIGURA 41– COM AS CRAVÍNEAS	98
FIGURA 42– MÓDULO 4 COM A GRAMA SÃO CARLOS.....	98
FIGURA 43 – MÓDULO COM AS CAVALINHAS.....	99
FIGURA 44 – MÓDULO COM AS TILLANDSIAS E SAMAMBAIAS.....	100
FIGURA 45 – MÓDULO 2 COM A ESPÉCIE <i>ARACHIS REPENS</i>	100
FIGURA 46 – MÓDULO COM AS BROMÉLIAS <i>BALANSAE</i>	101
FIGURA 47 – GRÁFICO DE ESCOAMENTO DE PRECIPITAÇÃO NOS MÓDULOS.....	104
FIGURA 48 – TERMOPAR NA SUPERFÍCIE DO MÓDULO	107
FIGURA 49 – TERMOPAR NA SUPERFÍCIE INFERIOR	107
FIGURA 50 – TERMÔMETRO INSTALADO NA GAIOLA SOB UM MÓDULO.....	107
FIGURA 51 – PASTA TÉRMICA UTILIZADA.....	107
FIGURA 52 – GRÁFICO DE TEMPERATURAS SUPERFICIAIS SUPERIORES E INFERIORES NO MÓDULO 1	111

FIGURA 53 – GRÁFICO DAS TEMPERATURAS SUPERFICIAIS SUPERIORES E INFERIORES NO MÓDULO 2.	114
FIGURA 54 – GRÁFICO DAS TEMPERATURAS SUPERFICIAIS SUPERIORES E INFERIORES NO MÓDULO 3.	116
FIGURA 55 – GRÁFICO DAS TEMPERATURAS SUPERFICIAIS SUPERIORES E INFERIORES NO MÓDULO 4.	118
FIGURA 56 – GRÁFICO DAS TEMPERATURAS SUPERFICIAIS SUPERIORES E INFERIORES NO MÓDULO 5.	120
FIGURA 57 – GRÁFICO DAS TEMPERATURAS SUPERFICIAIS SUPERIORES NOS 6 MÓDULOS	122
FIGURA 58 – GRÁFICO DAS TEMPERATURAS SUPERFICIAIS INFERIORES NOS 6 MÓDULOS	123

LISTA DE QUADROS

QUADRO 1 – RESULTADOS DE PESQUISA PELO TERMO “GREEN ROOF” NA PLATAFORMA WEB OF SCIENCE	17
QUADRO 2 – PROGRAMAS INTERNACIONAIS CONSIDERADOS MAIS EFICAZES.....	56
QUADRO 3 – MATERIAIS E PROPORÇÕES UTILIZADAS NA COMPOSIÇÃO DOS 15 SUBSTRATOS	62
QUADRO 4 – NORMAIS CLIMATOLÓGICAS DE CURITIBA (1961 -1990) FONTE: SAVI (2015).....	70
QUADRO 5 – ACOMPANHAMENTO DA VEGETAÇÃO DURANTE O EXPERIMENTO	94

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 – SÍNTESE DOS ARTIGOS UTILIZADOS NO ESTADO DA ARTE	65
TABELA 2 – DADOS CLIMATOLÓGICOS DE CURITIBA -2007a 2017	71
TABELA 3– ESPÉCIES UTILIZADAS NO INÍCIO DO EXPERIMENTO	83
TABELA 4 – BROMÉLIAS INICIALMENTE PLANTADAS EM CONSÓRCIO NO MÓDULO 3.....	95
TABELA 5 – ESPECIES UTILIZADAS NAS MEDIÇÕES.....	101
TABELA 6 – COMPARATIVO ENTRE DADOS DE PRECIPITAÇÃO.....	102
TABELA 7 – DADOS DO INMET NOS EVENTOS DE PRECIPITAÇÃO MEDIDOS	103
TABELA 8 – RETENÇÃO DE PRECIPITAÇÃO NOS MÓDULOS	103
TABELA 9 – ESPÉCIES UTILIZADAS EM CADA MÓDULO	105
TABELA 10 – CONDIÇÕES CLIMÁTICAS NOS EVENTOS MEDIDOS	106
TABELA 11 – CONDIÇÕES CLIMÁTICAS NO PERÍODO DO EVENTO 01.....	108
TABELA 12 – CONDIÇÕES CLIMÁTICAS NO PERÍODO DO EVENTO 2.....	108
TABELA 13 – CONDIÇÕES CLIMÁTICAS NO PERÍODO DO EVENTO 3.....	109
TABELA 14 – CONDIÇÕES CLIMÁTICAS NO PERÍODO DO EVENTO 4.....	110
TABELA 15 – CONDIÇÕES CLIMÁTICAS NO PERÍODO DO EVENTO 5.....	110
TABELA 16 – TEMPERATURAS E AMPLITUDES NOS SENSORES SUPERIORES	125
TABELA 17 – TEMPERATURAS E AMPLITUDES NOS SENSORES INFERIORES	128
TABELA 18 – TEMPERATURAS SUPERIORES MÁXIMAS	130
TABELA 19 – TEMPERATURAS INFERIORES MÁXIMAS	130

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	16
1.1	PROBLEMA.....	18
1.2	PRESSUPOSTO	19
1.3	OBJETIVO	21
1.3.1	Objetivo geral	21
1.4	CONTEXTUALIZAÇÃO NO PROGRAMA	21
2	REVISÃO DE LITERATURA	23
2.1	TELHADO VERDE	23
2.1.1	Tipologias e camadas.....	25
2.1.1.1	Estrutura	26
2.1.1.2	Impermeabilização.....	26
2.1.1.3	Camada anti-raízes	27
2.1.1.4	Drenagem.....	27
2.1.1.5	Membrana de retenção.....	27
2.1.1.6	Substrato	27
2.1.1.7	Vegetação	28
2.2	BENEFÍCIOS DA UTILIZAÇÃO DE TELHADOS VERDES	28
2.2.1	Redução das superfícies impermeáveis e efeitos de ilhas de calor	29
2.2.2	Limpeza do ar	30
2.2.3	Regulação de umidade e temperaturas.....	30
2.2.4	Aumento da durabilidade das coberturas.....	30
2.2.5	Efeito de isolamento térmico e acústico	31
2.2.6	Capacidade de retenção de água.....	32
2.2.7	Ciclo de vida dos telhados verdes	33
2.2.8	Redução do consumo de energia e emissão de CO2	34
2.3	ESPÉCIES NATIVAS E BENEFÍCIOS DA SUA UTILIZAÇÃO	35
2.4	CONSÓRCIO DE PLANTAS E BIODIVERSIDADE.....	36
2.5	ESTADO DA ARTE	40
2.5.1	Heim e Lundholm (2014) – Interações de espécies na vegetação de telhados verdes	40
2.5.2	O entusiasmo do uso de plantas nativas. Butler e Orians : Percepções, evidências e o futuro dos telhados verdes. Butler e Orians (2012).....	43

2.5.3	Composição da vegetação e antigos telhados verdes extensivos da Alemanha dos anos 80. Thuring e Dunnett (2014).....	45
2.5.4	Critérios para a seleção de espécies de plantas para implantação em telhados termicamente eficientes. Jiménez, Castrejón e Sanchez (2014).	47
2.5.5	Telhados verdes como habitats para espécies de plantas silvestres em paisagens urbanas: Primeiras informações de uma amostragem em grande escala. Madres et. al. (2014).	48
2.5.6	Os telhados verdes nas políticas ambientais como medida indutora para a sustentabilidade. Rangel et al.(2015).	52
2.5.7	Substratos para cultivo de plantas herbáceas perenes em telhados verdes extensivos. Nova Et Al (2017)..	59
2.5.8	Síntese do estado da arte.....	64
3	MÉTODO DE PESQUISA_	66
3.1	DEFINIÇÃO DA ESTRATÉGIA (MÉTODO) DE PESQUISA	66
3.1.1	Unidade de análise.....	66
3.1.2	Delimitação do trabalho	67
3.2	PROTOCOLO DE COLETA DE DADOS.....	68
3.3	EXPERIMENTO - CAIXAS PROTÓTIPOS.....	68
3.3.1	Localização.....	68
3.3.2	Projeto dos módulos de telhados verdes.....	71
3.3.3	Concepção dos módulos	72
3.3.4	Montagem dos módulos	77
3.3.5	Escolha das espécies	80
3.3.6	Sistema de coleta de dados de temperatura	91
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	93
4.1	DESENVOLVIMENTO DAS ESPÉCIES.....	93
4.2	RETENÇÃO E ESCOAMENTO DE PRECIPITAÇÃO	102
4.3	DESEMPENHO TÉRMICO.....	105
4.3.1.	Condições climáticas nos eventos de medição de temperatura.....	108
4.3.1.1	Evento 01 – de 19 de dezembro a 20 de dezembro de 2017	108
4.3.1.2	Evento 02 – de 26 a 29 de janeiro de 2018	108
4.3.1.3	Evento 03 – de 02 a 05 de fevereiro de 2018.....	109
4.3.1.4	Evento 04 - de 06 a 07 de fevereiro de 2018	109
4.3.1.5	Evento 05 - de 16 a 19 de fevereiro de 2018	110

4.3.2	Desempenho dos módulos 1 a 6.....	110
4.4	DISCUSSÕES	126
5	CONCLUSÕES.....	134
5.1	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	135
	REFERÊNCIAS	136

1 INTRODUÇÃO

A lei municipal nº 11.266/2004 que dispõe sobre a adequação do plano diretor de Curitiba ao Estatuto da Cidade, informa que 100% da população de Curitiba vive em área urbana (CURITIBA, 2004). No mundo, a população urbana é de 54%, e no Brasil algo em torno de 85%. A ONU prevê que em 2050 a população urbana dará um salto de 12%, alcançando um valor próximo de 66% da população mundial vivendo em áreas urbanas (ONU, 2014).

De acordo com o IBGE, pelo último Censo, datado de 2010, Curitiba contava com uma população de 1.751.907 habitantes, e a estimativa para 2017 é de que a população seja de aproximadamente 1.908.359 de habitantes (IBGE, 2010), um crescimento de quase 9% em sete anos. O crescimento dessa população urbana traz consigo uma vasta gama de problemas decorrentes da extensa urbanização, entre eles destaca-se a diminuição de áreas verdes e o proporcional aumento de áreas impermeabilizadas. Segundo o IBGE o município de Curitiba tem 76,1% de vias arborizadas e 59,1% de vias urbanizadas. Considerando que estes dados são do censo de 8 anos atrás há que se considerar que este número deve ter aumentado de maneira significativa. Desse modo, a cidade com suas extensas coberturas, asfaltos e calçadas, tem cada vez menos áreas de solo permeável, o que explica, em parte, o aumento crescente de cheias e inundações urbanas, cuja outra parcela pode ser atribuída a contribuição dos efeitos do aquecimento global no derretimento de geleiras, aumento de frequência e intensidade das chuvas.

As cidades, bem como as necessidades humanas têm afastado os seres humanos das soluções arquitetônicas vernaculares ou bioclimáticas, onde a preocupação com o impacto ambiental era primordialmente considerada. A requalificação dos espaços urbanos, bem como de suas edificações, é um desafio que considera o entendimento das necessidades de mudança e readaptação no âmbito da urbanização das cidades, assim como os fatores socioambientais e parâmetros de sustentabilidade e economicidade que a evoluem. Assim, o telhado verde é uma ferramenta para requalificar a edificação, promover uma melhoria no conforto térmico, retenção e auxílio no escoamento de águas pluviais, além de redução de consumo energético das edificações.

Dentro da utilização do telhado verde pesquisadores (Quadro 1) tem estudado diversos aspectos relacionados ao sistema construtivo, dada a

interdisciplinaridade ligada ao estudo de telhados verdes, uma vez que requer várias áreas de conhecimento, desde a engenharia que envolve o processo de projeto, construção, drenagem, impermeabilização, passando pela escolha de espécies vegetais, os fatores relacionados a física (térmica, trocas de calor), e outros tantos conhecimentos necessários. Os estudos relacionados a telhados verdes, dentro desse aspecto multidisciplinar, tem sido denominado de *Naturação* – uma vez que envolve estudos de biologia, arquitetura e engenharia, onde busca-se viabilizar a instalação de diversos tipos de vegetação sobre superfícies, tanto verticais como horizontais (Silva, 2016).

. Dentre os pesquisadores selecionados, Heim e Lundholm (2014) observaram as interações entre espécies em telhados verdes extensivos; Butler e Orians (2012) buscaram identificar quem estaria promovendo o uso de espécies de plantas nativas e quais seriam as razões para tal; Thurin e Dunnet (2014) realizaram um revisão sistemática da tecnologia e vegetação de telhados verdes extensivos na Alemanha; Jimenez et al (2014) elaboraram um guia para identificação das características consideradas mais importantes que as plantas deveriam ter afim de cumprir os critérios exigidos para implantação de telhados verdes na Cidade do México; Madre et al (2014) fizeram um estudo sobre diversidade de plantas silvestres em telhados verdes na França; No Brasil, Savi (2015) buscou avaliar a influência de espécies vegetais no desempenho de telhados verdes em Curitiba, e Noya et al (2017) elaboraram um estudo sobre a importância do substrato em cultivo de plantas perenes para telhados verdes extensivos.

QUADRO 1- RESULTADOS DE PESQUISA PELO TERMO “GREEN ROOF” NA PLATAFORMA WEB OF SCIENCE

Palavra chave: "green roof" Período: de 1945 a 2018

Campo: País/Região	Contagem do registro	% de 1130	Gráfico de barras
USA	286	25.310 %	
PEOPLES R CHINA	141	12.478 %	
ENGLAND	87	7.699 %	
ITALY	74	6.549 %	
CANADA	67	5.929 %	
GREECE	51	4.513 %	
AUSTRALIA	47	4.159 %	
FRANCE	47	4.159 %	
SPAIN	40	3.540 %	
JAPAN	34	3.009 %	

FONTE: Autora, adaptado de Web of Science (2018)

FIGURA 1- MAPEAMENTO DOS PRINCIPAIS PRODUTORES DE PESQUISA SOBRE TELHADOS VERDES E ARTIGOS CONTEMPLADOS NESTA PESQUISA



FONTE: Autora, adaptado de Web of Science (2018)

Apesar do número de pesquisas em andamento pelo mundo (Quadro 1) com foco na utilização de telhados verdes, principalmente na tipologia de sistema extensivo, no Brasil a pesquisa ainda é pouco expressiva, sobretudo no que se refere a utilização de plantas locais, ou nativas, uma vez que seriam, na teoria, as melhores adaptadas às condições climáticas locais. Köhler et al. (2002) diz que são raros os estudos científicos experimentais com telhados verdes no Brasil.

Assim, esta pesquisa busca verificar o desempenho e comportamento de espécies herbáceas, preferencialmente nativas, bem como sua adaptação para utilização em sistemas de cobertura verde extensivos, de maneira experimental, avaliando seu desempenho térmico e de retenção de águas pluviais.

1.1 PROBLEMA

Existe uma íntima relação entre áreas verdes e temperaturas em áreas urbanas. A urbanização crescente traz consigo fatores como impermeabilização de solo e consequente diminuição de áreas verdes, consequentemente aumento de temperatura local. Curitiba conta com uma população estimada de 1,9 milhões de habitantes e tem um avanço populacional crescente (CIDADES, IBGE, 2010), que

traz consigo o crescimento de solo impermeável e diminuição de áreas verdes, além de uma gama de consequências relacionadas.

Por outro lado, o uso de vegetação - preferencialmente nativa - contribuirá para conservação da biodiversidade local, oportunizando uma série de interações ecológicas complexas entre os seres vivos, desde os microscópicos como fungos e bactérias até os macroscópicos como a fauna que normalmente é atraída pelo processo de fenologia das espécies vegetais (floração, frutificação e formação de sementes que atrai pássaros e outros animais).

Nesse sentido, a utilização de telhados verdes aparece como uma estratégia de redução ou mitigação de efeitos dos problemas ambientais que frequentemente ocorrem nos conglomerados urbanos, à medida que contribuem para redução de efeitos de ilha de calor urbana, redução de poluição do ar e sonora, sequestro de CO₂, melhoria de sensação térmica nos ambientes, bem como na redução de escoamento e drenagem de águas pluviais (*runoff*). Autores como Liu *et al* (2012) e Niachou *et al* (2001) falam que o tipo de vegetação, bem como a composição do telhado verde alteraram seu desempenho. Então, alterar a espessura do substrato e as espécies vegetais utilizadas gerará resultados diferentes de desempenho, o que leva ao problema desta pesquisa:

Espécies herbáceas se adaptam e possuem desempenho favorável para uso de telhados verdes em Curitiba, em relação aos parâmetros de temperatura superficial, a água residual de chuva e a capacidade de desenvolvimento dessas espécies?

1.2 PRESSUPOSTO

Em 2016, 175 países assinaram um pacto universal de luta contra as mudanças climáticas que, entre outras coisas, obriga seus signatários a agir para redução na elevação da temperatura média do planeta (BRASIL, 2016).

Neste contexto Berndtsson (2009), Mentis (2006) e Stovin (2007) afirmam que um telhado verde oferece muitos benefícios ambientais ao edifício que o abriga, bem como aos que o cercam. Entre eles, estão incluídos a redução no escoamento e gestão de águas pluviais, melhoria da qualidade do ar e da água, durabilidade da vida de uma cobertura além da redução dos efeitos de ilha de calor urbana.

WONG *et al* (2003) analisou a influência de espécies vegetais diferentes em coberturas, verificando que espécies mais densas, devido a sua área foliar, causaram maior sombreamento, obtendo temperaturas mais baixas. A densidade do substrato também está relacionada ao desempenho dos telhados verdes. SAADATIAN *et al* (2013) verificaram que os melhores desempenhos térmicos estão relacionados a substratos com maior profundidade, devido ao aumento de substrato e por consequência, da massa e condutividade térmica.

A partir desses pressupostos, acredita-se que a utilização de variadas espécies herbáceas, bem como diferentes espessuras de substrato influenciarão diretamente o desempenho de telhados verdes.

1.3 OBJETIVO

1.3.1 Objetivo geral

A pesquisa tem caráter experimental e busca avaliar a adaptação e influência de diferentes espécies herbáceas bem como espessuras de substrato adequadas ao desempenho de telhados verdes na cidade de Curitiba, testando variáveis como as temperaturas superficiais, retenção e escoamento de águas pluviais e o desenvolvimento das espécies.

1.4 CONTEXTUALIZAÇÃO NO PROGRAMA

Pesquisas relacionadas ao presente trabalho, apresentadas como dissertação no Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Construção Civil – PPGECC – UFPR:

No âmbito das coberturas verdes temos Nascimento (2008) analisando potenciais e barreiras das coberturas verdes na região metropolitana de Curitiba, que pesquisou o uso e existência de telhados verdes na Região Metropolitana de Curitiba e discutiu os benefícios e problemas relacionados; Baldessar (2012), que analisou a contribuição do telhado verde na redução de vazão de água pluvial escoada e verificou que os mecanismos de evapotranspiração e armazenamento contribuem para a redução de água de chuva direcionada às galerias de águas pluviais; Miller (2014) fez uma análise de comportamento de substratos para coberturas verdes extensivas em relação a retenção de águas pluviais em Curitiba - PR, demonstrando que as diferenças de composição de substrato influenciam na capacidade de retenção de água; Oliveira (2015) verificou a influência de fachada viva no ciclo de vida energético de uma residência unifamiliar em clima tropical em Vitória, Espírito Santo, utilizando do método de análise de ciclo de vida energético para avaliar a sustentabilidade energética e ambiental do sistema de fachada viva em manta com estrutura de madeira; Uhmman (2015) estudou a possibilidade de readequação de coberturas com telhados verdes em escolas públicas do estado do Paraná, comparando a substituição de telhados originais utilizados em projetos padrão por telhados verdes extensivos, analisando a possível contribuição da redução de índices de energia embutida (EE) e CO₂; Por fim, Savi (2015) fez uma

análise da influência de espécies vegetais no desempenho de telhados verdes em Curitiba, observando aspectos de capacidade de retenção de água, desempenho térmico e qualidade da água escoada.

2 REVISÃO DE LITERATURA

Este capítulo objetiva introduzir o tema e explorar aspectos de maior relevância em telhados verdes, bem como levantar uma breve síntese do estado da arte, e assim fundamentar os conceitos abordados neste trabalho.

2.1. TELHADO VERDE

A instalação de vegetação sobre as coberturas de espaços edificados é uma técnica que tem antecedentes muito recuados na História e variada ocorrência geográfica.

Oberndorfer *et al.* (2007) diz que os jardins no telhado (ou *roof gardens*), foram os precursores dos telhados verdes contemporâneos, os quais têm raízes antigas. Os primeiros jardins de telhado documentados foram os jardins suspensos de Semiramis (atual Síria), considerada uma das sete maravilhas do mundo antigo.

Entretanto, a disseminação das ideias precursoras das coberturas verdes (CVs) remonta aos primórdios do Movimento Modernista na Arquitetura, quando em 1923, Le Corbusier lançou os “cinco pontos da arquitetura”: *pilotis*, planta livre, *toit-jardin*, fachada livre e aberturas horizontais. Com os *pilotis*, a casa eleva-se do chão; a planta livre permite a organização do espaço interno independente da estrutura; as paredes externas liberadas de suporte estrutural podem desfrutar de grandes vãos e com o *toit-jardin* a casa recupera o espaço ocioso da cobertura para integrar moradores com a natureza (NASCIMENTO, 2008 *apud* DARLING, 2000).

Uma definição comum de telhado verde descreve uma cobertura que utiliza variados tipos de planta, entre elas a grama, arbustos espécies rasteiras, flores e até mesmo árvores. Também são conhecidos por coberturas verdes, eco-telhados, telhados naturais e telhados ecológicos, entre outros nomes, mas em comum têm a possibilidade de ser uma vida alternativa onde antes havia o tradicional telhado de barro, ou ainda a laje impermeabilizada.

Os telhados verdes são conhecidos há séculos, tanto em climas frios como os da Islândia, como nos quentes, a exemplo da Tanzânia. Nos locais frios “aquecem”, pela sua capacidade de armazenar calor nos ambientes interiores, e nos locais quentes, “esfriam”, já que tem a capacidade de isolar o espaço interior das altas temperaturas exteriores. (GERNOT MINKE, 2004).

Para Minke (2004), a composição de terra somada a vegetação utilizada nos telhados verdes, são capazes de moderar extraordinariamente as variações de temperatura dos ambientes de uma habitação.

Os telhados gramados também vem de uma linhagem antiga e global, muitas vezes utilizados em locais com escassez de materiais construtivos, mas que tinham necessidade de isolamento, devido a seus climas extremos, como a Escandinávia ou África Subsaariana (ARHENDT, 2007 *apud* THURING, 2014). Esses antigos telhados de grama geralmente apresentavam colonização espontânea por espécies de vegetação local, da flora da região. No final do século 18 os telhados verdes eram muito populares em cidades alemãs, como Berlim, por exemplo, utilizados como uma ferramenta para impedir a propagação de fogo em incêndios, e também fornecer isolamento térmico (KÖHLER e POLL, 2010). Esses telhados tinham uma espécie de padronização por cidade, em Göttingen tinha 50mm de espessura em cada camada (areia e cascalho), enquanto que os de Berlin tinham uma fina camada de areia, coberta por 10 a 15 cm de cascalho. A vegetação utilizada nesses sistemas antigos variava de espécies de *sedum* utilizadas em profundidades mais rasas, a gramíneas em substratos mais profundos (BORNKAMM, 1961 *apud* THURING, 2014).

Os telhados verdes do século XXI, ou EGTs (Extensive Green Roofs), se diferem de seus predecessores, na medida que evoluíram para sistemas mais finos e leves, concebidos como soluções socio-ambientais para o ambiente urbano (KRUPKA, 1992 *apud* THURING, 2014). Para Thuring (2014) a leveza – imposta pela necessidade de reduzir a sobrecarga nas coberturas – aparece aliada à manutenção reduzida, para assim equilibrar sua função e desempenho, e garantir um sistema de telhado verde padronizado e economicamente sustentável.

Os sistemas de telhados verdes modernos são compostos de, pelo menos, duas camadas: vegetação e substrato, mas geralmente são utilizadas múltiplas camadas (como, por exemplo, proteção de raízes, camada de impermeabilização e drenagem) (THURING, 2014).

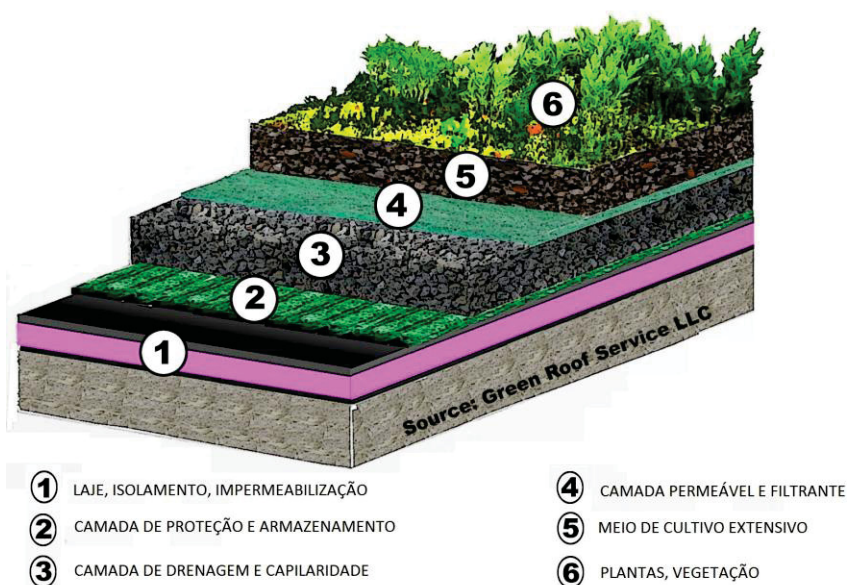
Seja qual for o tipo de telhado, todos tem um perfil de funcionamento semelhante, e são compostos em camadas mínimas na sua composição para garantir o bom funcionamento do sistema, entre elas uma camada de membrana impermeável; isolamento; barreira de raiz; sistema de drenagem; filtro não biodegradável; o substrato e a camada de vegetação. A preocupação com a

drenagem e também irrigação devem ser consideradas ao se pensar em um sistema de telhados verdes, de forma a manter as condições ideais para um funcionamento correto do sistema. O clima, as espécies de plantio também são fatores de grande impacto decisório sobre a adoção desse sistema de cobertura, pois o excesso ou falta de sol e de chuva ou ainda as altas ou baixas temperaturas influenciam diretamente na escolha das espécies que tem melhor resistência para um determinado clima.

2.1.1 Tipologias e camadas

Um telhado verde, pode ser extensivo ou intensivo, variando principalmente a espessura de substrato, o peso próprio do sistema, e principalmente o tipo de plantio que pode receber, sendo que telhados extensivos são mais leves, e por ter uma camada de substrato mais delgada (de 50 a 150mm) e por isso mais indicados para a adaptação em coberturas existentes, além de serem adequados a espécies de menor porte. Os do tipo intensivo, tem uma camada maior de substrato acima de 150mm, ou superior a 20cm (HEIN e LUNDHOLM, 2014) e conseqüentemente maior peso próprio, o que os torna mais adequados para serem concebidos no projeto de um edifício novo, por sua demanda de uma maior resistência estrutural, porém podem receber uma vegetação mais densa, pesada, como árvores e arbustos.

FIGURA 2 – CAMADAS DE UM TELHADO VERDE



FONTE: Autora, adaptado de Roof Systems Consultants (2017)

Seja qual for o tipo de telhado, todos tem um perfil de funcionamento semelhante, e devem ter algumas camadas mínimas na sua composição para garantir o bom funcionamento do sistema (Figura 2), entre elas uma membrana impermeável; uma camada de isolamento; camada de barreira de raiz; um sistema de drenagem; um filtro não biodegradável; a camada de substrato e a camada de vegetação. Em alguns casos o substrato é composto de duas camadas, sendo uma superior, onde ocorre o suporte da vegetação, o solo nutritivo que serve de ancoragem para o trabalho das raízes, e a camada inferior a este, de drenagem, que serve para desviar a água, mas também para sua armazenagem.

2.1.1.1 Estrutura

Uma cobertura verde ou telhado verde, permite que seja projetado ou instalado sobre tipos de estruturas variadas, desde lajes de concreto a telhados em *woodframe*, sobre chapas de compensado, ou ainda estruturas metálicas. O requisito fundamental é que a estrutura existente comporte a carga necessária para implementação de um sistema de telhado verde, bem como esteja prevista a sobrecarga eventual, demandada pela necessidade de manutenção ou circulação de pessoas.

2.1.1.2 Impermeabilização

A impermeabilização a ser escolhida, depende essencialmente da tipologia construtiva, a qual demanda um tipo de impermeabilização adequada ou específica. Etapa importante, pois a sua execução inadequada pode gerar patologias e problemas futuros.

Comercialmente existem produtos no mercado, podendo ser flexíveis ou rígidos, manta asfáltica – comumente utilizada, com grande aplicação em lajes de concreto, ou ainda as membranas flexíveis de PEAD, mais utilizadas em sistemas de *woodframe* sobre as chapas de madeira. Existe ainda uma tecnologia versátil e flexível, a borracha líquida, utilizada nesta pesquisa.

2.1.1.3 Camada anti-raízes

Minke (2004) reforça a importância da camada anti-raízes, localizada entre a drenagem e a superfície impermeabilizada, onde comumente é utilizada uma lâmina de polietileno, que impede a penetração das raízes.

2.1.1.4 Drenagem

A preocupação com a drenagem e irrigação são consideradas ao se pensar em um sistema de telhados verdes, de forma a manter as condições ideais para um funcionamento correto do sistema. Como a vegetação não resiste à excesso ou ausência de água, os telhados planos com vegetação de gramíneas (por exemplo) deverão prever uma camada de drenagem para canalizar a água excedente. São utilizados materiais porosos com capacidade de absorção de água (MINKE, 2004), mas existem materiais que permitem a substituição dessa camada por um elemento composto único, e extremamente mais leve e esbelto, como o utilizado neste trabalho.

2.1.1.5 Membrana de retenção

As camadas de drenagem e substrato são separadas por uma camada de feltro (ou manta geotêxtil). Essa camada impede que o solo se transforme em lama, barro líquido, e escorra na camada de drenagem (MINKE, 2004).

2.1.1.6 Substrato

O substrato é a camada de suporte da vegetação, e é também onde ocorre o trabalho das raízes. Serve como matéria nutriente e como armazenagem de água, e deve ter volume suficiente de ar em seus poros para oferecer às raízes a possibilidade de ancoragem. É necessária a harmonia entre substrato e vegetação (MINKE, 2004).

Os substratos do telhado verde tendem a ser baseados em minerais, com pequenas quantidades de matéria orgânica (aproximadamente 10% em peso). O componente mineral vem de uma variedade de fontes, e tem peso variável dependendo da capacidade de carga do telhado. Os grânulos de argila expandida e o tijolo triturado são dois materiais comuns. Existe um interesse crescente no uso de

materiais de resíduos granulares leves derivados localmente como fontes sustentáveis para substratos de telhado verde.

2.1.1.7 Vegetação

O clima, as espécies de plantio também são fatores com impacto decisório sobre a adoção desse sistema de cobertura, pois o excesso ou falta de sol e de chuva ou ainda as altas ou baixas temperaturas influenciam diretamente na escolha das espécies que tem melhor resistência para um determinado clima.

Para Minke (2004), como forma de garantir os efeitos de isolamento no inverno ou verão, deverá eleger uma vegetação que seja a mais densa possível. A quantidade e espessura do pasto ou vegetação crescidos, e, portanto, também a quantidade de superfície de folhas é decisiva para garantir as características positivas desse sistema.

Para a escolha das plantas de um telhado, existem fatores decisivos, destacando se: a espessura do substrato e sua capacidade de armazenamento de água; a inclinação do telhado (quanto mais inclinado, maior deverá ser a capacidade de retenção de água); exposição ao vento, que aumenta a evaporação de água; orientação solar – telhados orientados para o sol secam mais rápido; sombra; quantidade de chuva – deve-se ter em conta os setores onde eventualmente a chuva não chegue.

Porém, deverá considerar qual a função de máxima importância: efeito de isolamento térmico; resfriamento no verão; isolamento acústico; gasto com manutenção ou aspecto visual (MINKE, 2004).

Minke (2004) ainda salienta que, para a escolha da vegetação, tem-se outros critérios decisivos, tais como a resistência a períodos de seca, resistência a geadas, altura de crescimento, entre outras.

2.2 BENEFÍCIOS DA UTILIZAÇÃO DE TELHADOS VERDES

Para Oberndorfer *et al.* (2007) os telhados verdes (telhados com superfície vegetal e substrato) fornecem serviços ecossistêmicos em áreas urbanas, incluindo gerenciamento melhorado das águas pluviais, melhor regulação das temperaturas do edifício, efeitos reduzidos da ilha de calor urbano e aumento do *habitat* da vida selvagem urbana. Os edifícios mudam o fluxo da energia e matéria através dos

ecossistemas urbanos, o que causa diversos problemas ambientais. Tais problemas podem ser atenuados, se alteradas as propriedades superficiais dos edifícios.

Os telhados vivos também oferecerem benefícios estéticos e psicológicos para as pessoas nas áreas urbanas, mesmo que sirvam como uma espécie de alívio visual, podem ser benéficos como alternativa de relaxamento e restauração, contribuindo para a saúde humana. Telhados verdes também servem como promotor para a agricultura urbana, onde a produção de alimentos proporciona benefícios econômicos e educacionais à população urbana. Os telhados vivos também contribuem para a redução da poluição sonora, ao absorver ondas sonoras fora dos edifícios e impedir sua transmissão (OBERNDORFER *et al.*, 2007).

Köhler *et al.* (2003) afirma que o Brasil, além de ser um país enorme, conta com a maior biodiversidade vegetal do mundo, e tem potencial para telhados verdes, devido a sua grande quantidade de espécies de plantas. O autor afirma que os sistemas de telhados verdes também podem melhorar o clima interior nas habitações e reduzir a necessidade de resfriamento, devido ao bom desempenho térmico.

2.2.1 Redução das superfícies impermeáveis e efeitos de ilhas de calor

O fenômeno de ilha de calor já é observado em áreas urbanas há algum tempo, uma espécie de oásis inverso, onde as temperaturas do ar e da superfície são mais quentes do que em áreas rurais próximas. Gartland (2010) comenta que a primeira documentação sobre o efeito de ilhas de calor data de 1818, em Londres, e mais tarde surgiram relatos em Paris e Viena, no início do século XX os Estados Unidos começaram a publicar estudos sobre o tema. Para Nascimento (2015) as Ilhas de Calor Urbanas são consideradas o exemplo mais evidente da modificação climática que o homem provoca na cidade.

Gartland (2010) afirmou que as ilhas de calor se formam em áreas urbana devido aos materiais de construção utilizados, os quais comumente absorvem mais calor e o retêm mais do que em áreas não urbanizadas. Isto porque parte dos materiais de construção são estanques e impermeáveis, inibindo a dissipação do calor, já que não umedecem. Outro motivo para o efeito é que os centros urbanos combinam superfícies de pavimentos formadas por materiais escuros com configurações tipo cânions – tipo de configuração urbana onde edificações paralelas

formam paredes, diminuindo a visão de céu e obstruindo a abóboda celeste (NASCIMENTO, 2015) - fazendo com que a temperatura das superfícies possa chegar a 88°C durante o dia, enquanto que superfícies com vegetação e solo úmido nas mesmas condições chegam a medir apenas 18°C. Além disso, o calor produzido pelo homem, aliado a menores velocidades de vento – barrado pelos paredes – e maior poluição do ar nas áreas urbanas também são fatores contribuidores para a formação do efeito de ilhas de calor.

O clima urbano poderia melhorar a partir de um aumento de superfícies verdes, ajardinando edifícios e reduzindo as superfícies pavimentadas (MINKE, 2004). Segundo Minke (2004) superfícies ajardinadas com altura de vegetação entre 10 e 20cm e substrato de 15 cm comportam de 5 a 10 vezes mais superfícies de folhas do que a mesma área um parque aberto.

Oberndorfer *et al.* (2007), afirma que o efeito de ilha de calor pode ser reduzido pelo aumento do albedo (o reflexo da radiação recebida longe de uma superfície) ou pelo aumento da cobertura da vegetação com umidade suficiente do solo para promover a evapotranspiração.

2.2.2 Limpeza do ar

A vegetação presente nos telhados verdes captura CO₂ do ar e libera oxigênio, durante o processo de fotossíntese. No processo de respiração, um ser humano produz CO₂ e consome oxigênio. Quanto mais se aumenta a superfície de folhas verdes, mais se produzirá oxigênio e consumirá CO₂. Se existe um equilíbrio entre crescimento e morte das partes das plantas, sempre vai haver a vantagem de extração de CO₂ do ar, a ser armazenado nas plantas.

As plantas têm ainda a capacidade de filtrar pó e partículas de sujeira, que são aderidas à superfície das folhas, e posteriormente levadas ao solo ou substrato. Por sua vez, plantas podem absorver partículas nocivas que se apresentam na forma de gás ou aerossóis.

2.2.3 Regulação de umidade e temperaturas

A planta extrai calor do ambiente pela evaporação de água (evapotranspiração) e fotossíntese. Esse efeito de resfriamento, muito perceptível nos dias mais quentes, consome até 90% da energia solar recebida. Para a

evaporação de 1 litro de água, são consumidos cerca de 2,2,MJ (ou 530 calorias) de energia. A condensação do vapor de água na atmosfera passa a formar nuvens, onde a mesma quantidade de energia calórica é novamente liberada. A mesma coisa acontece a noite, quando se condensa a umidade nas plantas. A formação do orvalho matinal nas fachadas e telhados verdes traz consigo uma recuperação de calor. Assim, as plantas reduzem as oscilações de temperatura através da evaporação e condensação de água. Quando o ar está seco, as plantas evaporam uma quantidade considerável de água e elevam a umidade relativa do ar. O contrário disso é a redução da umidade do ar pela da formação do orvalho, onde se condensa a névoa presente no ar sobre as folhas e galhos, os quais passam à terra no formato de gotas de água (MINKE, 2004).

2.2.4 Aumento da durabilidade das coberturas

Os telhados convencionais, sejam eles cobertos por membrana de impermeabilização, telhas, chapas de metal ou similares, são limitadas à ação do tempo. Fatores como chuva, calor, raios ultravioletas, ventos e variação de temperatura causam danos à cobertura e reduzem sua durabilidade.

Na Europa, ao longo do ano, uma superfície tratada com manta betuminosa, pode ser exposta a uma variação de temperatura que vai de -20°C a 80°C, ou seja, uma amplitude de 100°C. Esse mesmo teto, se ajardinado, teria a diferença de temperatura reduzida a uma variação de apenas 30°, aproximadamente, e teria proteção total contra ação direta dos raios ultravioletas (MINKE, 2004).

As membranas impermeabilizantes em telhados convencionais deterioram-se rapidamente em luz ultravioleta (UV), o que faz com que as membranas se tornem frágeis. Tais membranas são conseqüentemente mais facilmente danificadas pela expansão e contração causadas por temperaturas de telhado amplamente flutuantes. Ao proteger fisicamente contra a luz UV e reduzir as flutuações de temperatura, os telhados verdes prolongam a vida útil da membrana de impermeabilização do telhado e assim contribuem para melhorar a conservação de energia do edifício (OBERNDORFER *et al.*, 2007).

2.2.5 Efeito de isolamento térmico e acústico

No verão, os telhados verdes reduzem o fluxo de calor que perpassa o telhado promovendo a evapotranspiração, protegendo fisicamente o telhado e aumentando o isolamento e a massa térmica (OBERNDORFER *et al.*, 2007).

As camadas componentes dos telhados verdes formam um efeito de proteção térmica e isolamento, sobretudo atribuída a alguns fenômenos:

- a) A camada de ar presente no substrato e demais componentes;
- b) Uma parte da radiação calórica emitida pelo edifício é refletida pelas folhas e outra parte é absorvida por elas, o que diminui a perda de radiação do calor do edifício;
- c) A densidade da vegetação impede que o vento chegue a superfície do substrato. Edifícios isolados, sem proteção térmica, a perda média de calor por convecção pode passar de 50%;
- d) A formação de orvalho na superfície das folhas contribui para a redução da perda de calor da superfície;

2.2.6 Capacidade de retenção de água

Oberndorfer *et al.* (2007) diz que as áreas urbanas são dominadas por superfícies duras e não porosas que contribuem para o escoamento intenso, o que pode sobrecarregar os sistemas de drenagem e causar o excesso de esgoto combinado em lagos e rios. Além de exacerbar as inundações, a erosão e a sedimentação, o escoamento urbano também é rico em poluentes, como pesticidas e resíduos de petróleo, potencialmente nocivos ao meio ambiente.

Os sistemas convencionais de drenagem e armazenamento de águas pluviais incluem reservatórios de armazenamento e lagoas, além de construção de zonas úmidas e filtros de areia. Tais tecnologias muitas vezes podem ser difíceis de implementar em grandes centros urbanos já adensados. Assim, telhados verdes podem ser sistemas ideais para o gerenciamento de águas pluviais urbanas porque usam o espaço de telhado existente e evitam o escoamento antes que ele saia do terreno. Os telhados verdes armazenam água durante a chuva, o que atrasa o escoamento até depois do pico de chuva e permite o retorno da água à atmosfera com a evapotranspiração (OBERNDORFER *et al.*, 2007).

A taxa de escoamento varia em função da profundidade do substrato, inclinação do telhado, tipos de planta e em função dos padrões de precipitação locais. Oberndorfer *et al.* (2007) relata estudos realizados nos EUA, que mostraram que a retenção de chuvas de telhados verdes chegou de 66% - 69% em telhados com mais de 10 cm de substrato, e outros estudos mostraram que a retenção variou entre 25 a 100% em substratos de menor espessura.

Köhler *et al.* (2003) demonstram que telhados verdes podem reduzir o escoamento anual total do edifício em percentuais entre 60% e 79%.

2.2.7 Ciclo de vida dos telhados verdes

Para Bianchini (2011) existem mais vantagens do que desvantagens na utilização dos telhados verdes para redução da poluição do ar. Telhados verdes são construídos com composições de camadas, que variam de acordo com o tipo de telhado, ou condições meteorológicas que influem no processo de escolha. Os sistemas de telhado verde normalmente consistem em: barreira de raiz; drenagem; meio de cultura, e a camada de vegetação. Tecnologias recentes permitiram o uso de polímeros na composição das camadas dos telhados verdes, entre eles o polietileno de baixa densidade e o polipropileno. O uso desses materiais acaba por reduzir o peso dos telhados verdes, uma vez que diminui a espessura e peso o que implica na redução do custo total, sendo que com menos sobrecarga diminui-se também o reforço estrutural necessário para sustentar esse peso extra na edificação existente, além de evitar custos excessivos na construção de novos edifícios. O processo de fabricação desses polímeros tem muitos efeitos negativos para o meio ambiente, além da poluição do ar.

Utilizando-se da ferramenta *SigmaPro* Bianchini (2011) realizou uma análise dos impactos ambientais dos materiais comumente utilizados para a construção do telhado verde, analisando quatro principais substâncias poluentes (NO₂, SO₂, O₃ e PM₁₀) e concluiu que apesar de a poluição causada por esses poluentes, no processo de fabricação dos polímeros, o uso de telhado verde pode compensar – entre 13 e 32 anos – o uso desses materiais na sua composição, no entanto o estudo também demonstrou que polímeros não-reciclados emitem cerca de 2,8 vezes mais substâncias tóxicas para o ar do que polímeros reciclados, salientando a

importância de desenvolvimento de mais pesquisas acerca de novos materiais para uso nos telhados verdes, em substituição aos polímeros.

2.2.8 Redução do consumo de energia e emissão de CO₂

Segundo Dutil *et al.* (2011) a redução do consumo de energia, especialmente a gerada por combustíveis fósseis, é uma necessidade mundial. Para diminuir os efeitos das mudanças climáticas, o mundo precisa reduzir suas emissões de CO₂ em pelo menos 50% até o ano de 2050.

A Organização Mundial de Meteorologia (OMM, 2017) relata que em 2016 a concentração de dióxido de carbono (CO₂) na atmosfera aumentou em uma velocidade, alcançando o nível mais alto em 800 mil anos, segundo o Boletim da OMM sobre os Gases de Efeito Estufa. Traduzindo em números, a OMM alerta que a concentração média mundial de CO₂ passou das 400,00 partes por milhão (ppm) em 2015 para 403,3 ppm em 2016, e classifica esse crescimento como sendo resultado das atividades humanas combinadas com a um intenso episódio do fenômeno climático El Niño.

A OMM informa que esse rápido incremento dos níveis atmosféricos de CO₂ e de outros gases de efeito estufa ocasiona mudanças sem precedentes nos sistemas climáticos, causando sérios distúrbios econômicos e ecológicos.

Desde da década de 90 observa-se um aumento de 40% na radioatividade total – o que gera um efeito de aquecimento no clima - causado pelo conjunto de gases de efeito estufa de longa duração e um incremento de 2,5% no período de 2015 a 2016.

A OMM faz um alerta, ao dizer que se não houver redução das emissões de gases CO₂ e outros de efeito estufa, iremos enfrentar um aumento mundial de temperatura, ocasionando um possível planeta inóspito para as futuras gerações (OMM, 2017).

Reduzir a energia incorporada em materiais de construção é um assunto em foco no momento. O cálculo de energia incorporada é utilizado para medir o impacto ambiental das construções, e é considerado um indicador de sustentabilidade de edificações. Considera-se como energia incorporada toda aquela utilizada para a fabricação dos materiais que serão usados na construção de um edifício, e contempla desde a extração desses materiais até o destino final na obra, incluindo

nisso o transporte das matérias primas e dos produtos finais, (GRAF e TAVARES, 2010).

Para dimensionar o tamanho do impacto da construção civil no consumo de energia produzida, apenas em 2010 os Estados Unidos utilizaram 50% de toda a energia produzida por eles na construção civil, e com isso geraram metade do total de emissão gases do efeito estufa do país, apenas com a construção de edifícios (MENASSA, 2011). Assim como os telhados frios, os telhados verdes são também um método para reduzir os efeitos ilha de calor urbano e melhorar a eficiência energética dos edifícios (PARIZOTTO e LAMBERTS, 2010).

2.3 ESPÉCIES NATIVAS E BENEFÍCIOS DA SUA UTILIZAÇÃO

O artigo VII da Resolução SMA Nº 32, de 03 de abril de 2014 conceitua espécie nativa como sendo uma espécie, subespécie ou táxon inferior ocorrente dentro de sua área de distribuição natural. O artigo VIII define espécie exótica como: espécie, subespécie ou táxon inferior introduzido ou propagado fora de sua área natural de distribuição, incluindo qualquer parte, gametas, sementes, ou propágulos dessa espécie que possam sobreviver e posteriormente reproduzir-se. O artigo IX define espécie exótica com potencial de invasão como: espécie exótica cuja introdução, reintrodução ou dispersão ameace ecossistemas, ambientes ou outras espécies.

O Brasil abriga uma das maiores floras do planeta, cerca de 19% do total mundial (Giulietti et al. 2005), o que soma cerca de 56 mil espécies distribuídas em um território repleto de biomas e formações vegetais variados.

As condições climáticas, especialmente as chuvas e as temperaturas extremas, restringem o uso de certas espécies ou ditar o uso da irrigação. As plantas nativas geralmente são consideradas escolhas ideais para paisagens devido às suas adaptações aos climas locais, e a flora nativa tem tolerância ao estresse (especialmente pastagens secas, costeiras e alpinas). Além disso, as políticas de biodiversidade e conservação da natureza favorecem o estabelecimento de comunidades de plantas localmente distintas e representativas. Por outro lado, muitas plantas nativas parecem não ser adequadas para os sistemas convencionais de telhados verdes extensivos devido às condições ambientais difíceis dos telhados e às profundidades de substrato superficialmente baixas.

Algumas espécies têm destaque por tolerarem ambientes estressantes, como as epífitas, plantas que vegetam sobre árvores e arbustos, com pouco ou nenhum substrato (SILVA, 2016). No entanto, as condições do telhado verde tendem a ser desafiadoras para a sobrevivência e crescimento da planta (OBERNDORFER *et al.*, 2007). As estratégias especiais de sobrevivência das plantas é que vão determinar a tolerância vegetal ao estresse.

Mecanismos morfológicos e bioquímicos, que envolvem a estrutura e fisiologia das plantas e permitam uma busca por crescimento e reprodução, são uma dessas estratégias. (SILVA, 2016). Plantas de metabolismo tipo CAM (metabolismo ácido das crassuláceas). que permite que a abertura do estômato da planta ocorra a noite e minimize a perda de água das folhas. Podemos citar ainda as plantas que possuem parênquimas aquíferos nos caules e folhas, como orquídeas e suculentas, que permitem armazenamento de água, ou ainda a armazenagem de água que ocorre nas bromélias, através da estrutura das folhas, nas bromélias-tanque (Benzing, 2000).

2.4 CONSÓRCIO DE PLANTAS E BIODIVERSIDADE

Consórcio é o sistema de cultivo que envolve o plantio de duas ou mais espécies em uma área comum, de modo que uma das culturas conviva com a outra ou outras durante todo o seu ciclo, ou grande parte dele. Há consórcio simultâneo e de substituição. O consórcio simultâneo consiste em se plantar duas ou mais espécies ao mesmo tempo para crescerem juntas. Nesse caso concorrerão mais intensamente pelos fatores abióticos, como radiação solar, CO₂, água e nutrientes. Do ponto de vista da luminosidade as plantas fixam carbono usando uma das três rotas fotossintéticas diferentes: C₃, C₄ e CAM. Os tipos fotossintéticos C₃ e C₄ apresentam moléculas de três e quatro carbonos respectivamente, que são os primeiros produtos estáveis da fotossíntese nessa rota. Já as plantas CAM assim chamadas aludindo as plantas *Crassulaceae* (saião-acre), na qual o fenômeno foi descoberto. A maioria das plantas exibe a rota C₃ e essas rotas são encontradas em todo o lugar em que exista vegetação. (PORTES, 1984).

Para Peroni e Hernández (2011), o conceito de biodiversidade diz respeito e contempla toda a imensa variedade que encontramos nos organismos vivos, nos mais diferentes níveis, incluindo seus genes. Esses organismos compõem as populações, que são formadas por espécies, que por sua vez formam comunidades

que integram os ecossistemas. A maneira como esses componentes estão organizados e interagem faz toda a diferença. Pois são essas interações e os processos e fluxos de energia que preservam e mantêm comunidades e ecossistemas.

Dobson, (1996) entende biodiversidade como variedade e variabilidade existentes entre organismos vivos e as complexidades ecológicas em que estão inseridos. São componentes hierárquicos: ecossistemas, comunidades, espécies, populações e genes em uma determinada área.

Outros componentes importantes da diversidade são as formas de vida, o número de habitats, o tamanho do nicho das espécies, a sazonalidade, observada na fenologia de vegetais, no ciclo de vida de vegetais e animais e no comportamento dos animais, substâncias utilizadas como defesas químicas por plantas e por animais e a sucessão ecológica e suas várias seres (MANTOVANI, 1996).

A distribuição relativa dos componentes da biodiversidade no espaço geográfico é uma de suas principais características, isso significa que a abundância de espécies é variável em um determinado ambiente e que existem gradientes geográficos de biodiversidade. (GUERRA; NODARI, 2007).

O tamanho da biodiversidade brasileira ainda não é totalmente conhecido dada a sua complexidade. Os cientistas estimam a existência de mais de dois milhões de espécies distintas de plantas, animais e microrganismos. O Brasil é considerado o país com a maior diversidade genética vegetal do mundo, com mais de 55.000 espécies catalogadas de um total estimado entre 350.000 e 550.000, sendo que mais da metade dessas espécies estão nas florestas tropicais, que estão sobre uma área correspondente a 7% da superfície do planeta. (GUERRA; NODARI, 2007).

Nesse sentido, a Floresta Atlântica brasileira tornou-se uma das principais prioridades mundiais para a conservação da diversidade biológica. (MYERS, et al. 2000). Estima-se que esta floresta possua 20.000 espécies de plantas vasculares, sendo 8.000 endêmicas. (TABARELLI, 2007).

No Paraná, a Floresta Atlântica recebe várias denominações, de acordo com a altitude, clima e tipo de vegetação. Por isso, termos Floresta Ombrófila Densa ou Mista, Restinga e outros que confundem estudiosos de outras áreas. Na verdade, esses termos dizem respeito a um sistema de classificação, que em outras épocas já recebeu outros nomes e abordagens no âmbito da classificação fitogeográfica. Tudo

começou em 1824 com a classificação sugerida por Martius que usou nomes de divindades gregas para denominar cinco regiões florísticas existentes no Brasil. Depois dele naturalistas sugeriram nomes e distintas abordagens. Em 1982, um sistema de classificação enquadrando os tipos de vegetação existentes no Brasil, foi organizado por Veloso e Góes-Filho. Na verdade, esses autores criaram uma escola fitogeográfica que teve por base um sistema apoiado em critérios fisionômicos e ecológicos já sugeridos em 1965 por Ellenberg e Mueller Dombois. Deram o nome de “Classificação Fisionômico-Ecológica das Formações Neotropicais”. Em 1991, essa classificação passou por algumas alterações e adequações inseridas no documento “Classificação da Vegetação Brasileira”, organizados por Henrique Pimenta Veloso por intermédio do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE. (ATLAS DA FLORESTA ATLÂNTICA NO PARANÁ, 2005).

Esta classificação utilizada pressupõe o seguinte sistema hierárquico de unidades vegetacionais: uma Região Fitoecológica, corresponde a um tipo de vegetação. No primeiro momento é separada a Classe de Formação. Assim uma população vegetacional classifica-se como Floresta, Savana, Estepe, etc. O que decide isso é sua estrutura fisionômica, que é determinada pelos indivíduos dominantes (árvores, arbustos, ervas). Cada Classe de Formação origina uma Subclasse de Formação, cujas características são influenciadas pelo clima. Nesse sentido, diz-se que determinada Subclasse é Ombrófila¹ ou Estacional². Em seguida, vem os Grupos de Formação (Higrófila/Distróficos), Xerófila/Eutróficos...), diferenciados por fatores fisiológicos como tipos de transpiração estomática e fertilidade dos solos. O próximo passo é classificar o Subgrupo de Formação, assim, uma floresta pode ser Densa³, Mista, Semidecidual, entre outras possibilidades. E por fim, a Formação é: Aluvial, Montana, Submontana, entre outras, dependendo de condições geomorfológicas como relevo e altitude. No Paraná, a Floresta Atlântica abrange diferentes categorias vegetacionais: Floresta

1 A denominação “floresta ombrófila” surgiu em substituição a “floresta pluvial tropical. Ambos os termos têm o mesmo significado, remetendo à “chuva”. O termo “ombrófilo” é de origem grega (ombros = chuva + philos = amigo) enquanto o termo “pluvial” é de origem latina (pluviale). Caracterizam as fisionomias ecológicas tropicais e costeiras. Florestas ombrófilas têm chuvas intensas e constantes.

2 Relativo as estações; que se refere as épocas do ano. 2. [Eco.] Suscetíveis as mudanças e/ou transformações que são ocasionadas pelas estações do ano.

3 é uma mata perenifólia, ou seja: sempre verde com dossel de até 50 m, com árvores emergentes de até 40 m de altura. ... por Ellenberg & Mueller-Dombois substituiu Pluvial (de origem latina) por Ombrófila (de origem grega), ambos com o mesmo significado “amigo das chuvas”.

Ombrofila Densa (conhecida por Floresta Atlântica), Floresta Ombrófila Mista⁴ (Floresta com Araucária), Áreas de Formações Pioneiras com Influência Marinha, Fluviomarinha ou Fluvial (Restinga, Manguezal, Caxetal, e outras), Refúgios Vegetacionais, dentre outras. (ATLAS DA FLORESTA ATLÂNTICA NO PARANÁ, 2005).

4 (Floresta com Araucária): também conhecida como mata das araucárias ou pinheiral, é um tipo de vegetação do planalto meridional. É considerado um clímax climático, embora apresente disjunções florísticas em refúgios situados nas Serras do Mar e Mantiqueira. A Floresta Ombrófila Mista apresenta os subtipos Aluvial, Submontana, Montana e Alto-Montana.

2.5 ESTADO DA ARTE

Ao longo do tempo, pesquisadores têm trabalhado na busca pela compreensão das contribuições dos telhados verdes em situações diversas, como o uso de espécies nativas, as contribuições para redução de temperaturas nas coberturas, a origem e composição dos sistemas mais antigos, ou para entendimento dos critérios que fundamentam a escolha das espécies, seja para aferição da fixação de carbono ou o desempenho das plantas e quais são as mais adequadas, bem como os tipos de substrato mais adequados para o cultivo. O objetivo deste tópico é destacar pesquisas que possam embasar e justificar a necessidade de analisar uma gama ampla de aspectos relacionados aos telhados verdes, uma vez que são organismos vivos, que reagem diferentemente de acordo com as situações observadas.

2.5.1 Heim e Lundholm (2014) – Interações de espécies na vegetação de telhados verdes

Heim e Lundholm (2014) Descrevem os resultados da interação entre espécies em telhados verdes extensivos.

A interação entre espécies pode ser usada para aumentar o número de espécies de plantas que sobrevivem em um telhado verde extensivo. Isso porque telhados verdes extensivos estão associados a altas temperaturas de substrato e perda de água, fatores que levam a morte da planta. Assim, os autores dizem que utilizar espécies conhecidas por resfriar o substrato e reduzir sua perda de água, podem ser capazes de atuar como facilitadoras para o desempenho de telhados verdes.

No experimento elaborado pelos autores foram testadas três espécies tolerantes à seca, originárias de mata nativa da região de Nova Escócia, região leste Canadense que beira o Oceano Atlântico. Essas três espécies, compostas de *Cladonia* spp (líquen), *Polytrichum commune* (musgo acrocarpo) e *Danthonia spicata* (capim bunchgrass) foram as escolhidas para comporem o experimento, em conjunto com a espécie “alvo” que era o *Solidago Bicolor*. Os experimentos ainda utilizaram uma planta artificial, e também módulos de vizinhança coespecífica (*S. bicolor* rodeado por outros *S. bicolor*), além de um experimento chamado de “controle”, com uma planta isolada. O experimento teve a duração de 2 anos, em 60

módulos de telhado verde instalados no alto de um edifício de 5 andares, na cidade de Halifax, Nova Escócia. O experimento foi feito em dois blocos separados, sendo um bloco adjacente a três edifícios vizinhos de maior altura, que ocasionou um sombreamento, ao passo que o bloco dois estava completamente exposto ao sol. Uma estação meteorológica a cerca de 50 m de distância do experimento registrou a temperatura e precipitação mensais. O estudo foi realizado entre junho de 2012 a setembro de 2013, iniciando no verão, e terminando no outono deles.

O experimento contou com seis regimes de plantio diferentes, onde em cada um havia um indivíduo de *S. bicolor* plantado ao centro. A escolha pela *S. bicolor* ocorreu devido ao seu desempenho em esferas ecossistêmicas (temperatura da superfície, perda e captura de água) em um sistema de telhado verde similar testado por Ludholm et al. (2010), contudo apresentou um desempenho fraco em períodos de seca, constatados por Heim et. al (2014). Os autores contavam ainda com uma previsão de que o desenvolvimento da espécie poderia ser facilitado por espécies vizinhas. O estudo utilizou um controle, que consistia em uma única planta de *S. bicolor* cercada apenas por substrato. Os módulos vizinhos incluíam *S. bicolor* rodeada por indivíduos da mesma espécie, além de *S. bicolor* rodeada por musgo (*P. commune*), Líquen (*Cladonia*) e capim (*D. spicata*) além de uma planta artificial. A planta artificial foi utilizada com o objetivo de determinar o efeito que o sombreamento do solo poderia ter na *S. bicolor* sem o efeito de absorção de água e potencial competição de raízes, que plantas verdadeiras poderiam apresentar. *Cladonia*, *P. commune* e *D. spicata* foram escolhidas devido aos seus baixos requisitos de água e por terem uma forma de crescimento emaranhada, que podem ser capazes de resfriar o substrato e evitar a perda de umidade por evaporação da superfície do substrato. Todas as espécies escolhidas são nativas e foram coletadas na região. Os módulos foram plantados e regados uma vez por semana durante um mês, antes de começarem os registros iniciais do experimento. Essa rega inicial era para incentivar o estabelecimento das plantas.

Como resultado do experimento, a exceção de um módulo de repetição, todos os módulos tiveram sobrevivência de *S. bicolor* de 100%. embora apenas uma *S. bicolor* não tenha sobrevivido ao experimento de dois anos, observaram-se diferenças significativas na perda de água, temperatura, substrato e crescimento nos vários módulos experimentados. Apesar de não terem sido observados efeitos facilitadores, os experimentos com o cultivo conjunto de musgos, líquens e plantas

artificiais não prejudicaram o crescimento da *s. bicolor*. Ao contrário, nos experimentos com musgo e líquen, obtiveram temperaturas mais baixas no substrato do que no experimento controle, o que poderia ser atribuído a cobertura que proporcionaram. Considerando que substratos com alta temperatura podem causar danos fatais as plantas, esse efeito pode ter tido influência no desempenho da *s. bicolor* nesses módulos.

Os pesquisadores mencionam estudos de outros autores, que mostram que musgos podem aumentar a disponibilidade de umidade para plantas vasculares em suas proximidades. No entanto, neste estudo, a perda de água nos módulos com musgo não foi diferente dos módulos de controle.

Em um sistema de telhado verde, a menor perda de água é associada a maior cobertura de vegetação, bem como à diminuição de temperatura na superfície do substrato. Nos módulos não foi observado benefício em termos de perda de água e temperatura de substrato.

Embora o estudo tenha observado que nos módulos de controle as plantas *s. bicolor* aumentaram de tamanho em relação aos módulos com plantio compartilhado, não ficou claro que o tamanho menor da *s. bicolor* seja prejudicial para o funcionamento do telhado verde. Se plantas menores forem mais propensas a sobreviver em épocas de seca, este nível de desenvolvimento poderia até ser benéfico. Muitas funções ecossistêmicas podem ser determinadas pelas propriedades que são agregadas a vegetação e não pelo tamanho das plantas individualmente, de modo que indivíduos menores de uma determinada espécie podem não afetar o desenvolvimento do ecossistema, se a cobertura geral for a mesma. Além disso, o tamanho, crescimento e a saúde das plantas individualmente podem afetar diretamente serviços como o provisionamento de recursos de polinização para os insetos, por exemplo. Este estudo indicou que a diversidade de plantas poderia ser utilizada como um melhorador para os benefícios de um telhado verde, como o resfriamento da superfície do substrato. Além disso, a diversidade de espécies contribui para o aumento do valor estético do sistema. Compreender quais são as espécies mais compatíveis, além de melhorar o desempenho do telhado verde, poderia agregar valor para o consumidor final.

2.5.2 O entusiasmo do uso de plantas nativas: Percepções, evidências e o futuro dos telhados verdes. Butler e Orians (2012)

Nos últimos anos, o uso de plantas nativas para a composição de telhados verdes tem atraído considerável atenção, isso pelo pressuposto implícito de que plantas nativas seriam melhores adaptadas, esteticamente mais agradáveis, além de proporcionar maiores benefícios ambientais do que espécies exóticas.

No artigo intitulado *“Native plant enthusiasm reaches new heights: Perceptions, evidence, and the future of green roofs”* Butler et. al. (2012) elaboram um estudo com revisão de publicações em revistas científicas e trabalhos apresentados na conferência anual de telhado verde, ocorrida na América do Norte, afim de identificar quem promove o uso de plantas nativas em telhados verdes, quais as suas razões para fazê-lo, e se existem evidências científicas que apoiem a afirmação de que plantas nativas são melhores adaptadas.

A revisão dos autores incluiu artigos de revistas acadêmicas, e artigos apresentados na conferência anual de telhados verdes, ocorridos entre 2003 e 2009. Os autores informam que foram incluídos artigos de conferência porque a pesquisa de telhados verdes ainda está pouco representada em artigos científicos, e documentos de conferência seriam as fontes mais prevaletes à época. Além disso, reforçam, os telhados verdes existem principalmente fora do âmbito acadêmico, sendo mantidos e projetados por profissionais, não por acadêmicos. Assim, muitas das vozes mais influentes na área da indústria dos telhados verdes não fazem publicações em revistas científicas. Essa pesquisa não incluiu livros que não foram revisados por pares, no entanto foram discutidos na seção “discussão”.

As pesquisas foram baseadas nas plataformas *Web of Science* e na *Scopus*, pesquisando sobre “telhado verde” ou “*ecorooft*” ou “telhado vivo”. Os termos “nativos” ou “indígenas” eram buscados no texto completo de todos os artigos. Foram incluídos apenas periódicos onde seus autores promoveram direta ou indiretamente o uso de plantas nativas em telhados verdes. Documentos onde houve apenas uma discussão sobre o “sentimento” geral obtido por outras pessoas não foram incluídos.

Em cada artigo lido, foi identificada a carreira do autor, e concentrada em quatro carreiras mais comuns: arquiteto, arquiteto paisagista, biólogo e engenheiro.

Em cada carreira foi calculada a porcentagem de artigos que promovem as plantas nativas.

Foram identificados 410 artigos escritos sobre telhados verdes. Destes, 26% (ou 105 *papers*) promoveram o uso de nativas em telhados verdes. A carreira teve um efeito significativo na probabilidade de promover o uso de plantas nativas, sendo os arquitetos os mais propensos a promover as nativas, com 49% dos documentos. Os engenheiros, com apenas 2% das publicações, foram os menos propensos, enquanto que os arquitetos paisagistas e biólogos, ocuparam posições intermediárias.

Uma definição para o termo “nativo” ocorreu em apenas 58% dos artigos, sendo mais comum as definições baseadas em ocorrência geográfica. Os autores também afirmam que houve uma grande variabilidade de definições, variando desde o local de construção até o país.

72% das publicações utilizaram uma razão científica para promover o uso de nativas. Arquitetos e paisagistas, frequentemente usavam uma razão científica acompanhado de uma estética, ao passo que a maioria dos biólogos se deteve apenas em razões científicas. Entre as três razões científicas apresentadas, a Adaptação e o Habitat, foram os mais comuns, enquanto que a Invasividade foi usada com muito menos frequência.

Os biólogos forneceram uma razão científica alternativa, como o aumento da transpiração. Dentre os artigos revisados, apenas dois forneceram uma razão que não poderia ser considerada científica ou estética. Esses artigos referenciaram regulamentos que exigiam o uso de plantas nativas em projetos de paisagismo. 22% dos trabalhos verificados pelos autores não forneceram motivo.

Dentre as três principais razões científicas apresentadas (Adaptação, Habitat e Invasividade, foram encontrados documentos que abordaram o conceito de adaptação. Foram identificados 14 artigos que explicaram a metodologia do seu experimento e também apresentaram dados quantitativos sobre sobrevivência e crescimento de nativas em telhados verdes. Nove artigos compararam de maneira direta a sobrevivência entre nativas e não-nativas, utilizando solo superficial, sem irrigação artificial. Destes apenas apresentou maior sobrevivência de nativas. Um dos experimentos relata que espécies nativas e exóticas sobreviveram, mas que os resultados devem ser interpretados com cautela, porque o estudo utilizou apenas uma espécie nativa e duas não-nativas.

Estudos relatam ainda ter encontrado alta taxa de sobrevivência em nativas em experimento na Nova Escócia, bem como o aumento de sobrevivência de nativas em experimento com irrigação, ou sombreamento.

Os resultados geram uma tendência de pensamento em que as exóticas sempre superam as nativas, mas analisa quais os tipos de planta testadas nesses experimentos. Na maior parte, as plantas atribuídas à categoria não-nativas eram suculentas, ao passo que as nativas eram gramíneas ou herbáceas.

Nenhum dos experimentos comparou diretamente a qualidade do habitat das plantas nativas *versus* não-nativas, portanto isto não foi objeto de discussão deste artigo. Também não foram encontrados documentos que explorassem o potencial de plantas exóticas em telhados verdes se tornarem invasivas.

Os resultados encontrados nessa revisão de Butler *et. al.* (2012) ressaltam que existe uma onipresença do argumento pro nativo, e que também não existe um consenso na definição de “nativo”, tampouco o por que as plantas nativas devem ser preferidas em relação às exóticas ou não-nativas.

2.5.3 Composição da vegetação e antigos telhados verdes extensivos da Alemanha dos anos 80. Thuring e Dunnett (2014).

Thuring e Dunnett (2014) em seu artigo *Vegetation composition of old extensive green roofs (from 190s Germany)* apresentam uma revisão sistemática da tecnologia de telhados verdes extensivos (TVE), desde o início da indústria Alemã. Geralmente, os telhados verdes extensivos são plantados com espécies selecionadas, de maneira a garantir uma cobertura e desempenho consistentes ao longo dos anos.

A pesquisa apresentada por Thuring e Dunnett, teve acesso a uma amostra de TVE instalados há mais de duas décadas na região sudeste da Alemanha, tendo pesquisado a vegetação e substrato, e descrever a substituição desses parâmetros no espaço-tempo.

Os autores relatam que as primeiras diretrizes encontradas, para nortear o planejamento, construção e manutenção de sistemas de telhados verdes data de 1982, e foi elaborada pela Sociedade Alemã de Desenvolvimento da Paisagem (FLL-Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau). Esses padrões técnicos contribuem para o desenvolvimento da indústria e mercado de telhado verde na Alemanha. A pesquisa de Thuring e Dunnett (2014) contemplou 9 telhados

na região sudoeste da Alemanha (Stuttgart), que possui um clima de característica continental. Esses 9 telhados foram pesquisados no decorrer de duas estações de crescimento, entre 2010 e 2011, e datavam de 1977 a 1991 (épocas de implantação). Mesmo tendo diferenças de localização, idade, área e inclinação, todos os telhados observados possuem substratos típicos de telhados verdes extensivos, e também foi confirmado que utilizaram sistemas multicamadas. Embora não houvessem dados iniciais disponíveis, todos os telhados objetos da pesquisa foram construídos no início da indústria de telhados verdes alemães, e teriam aderido aos padrões propostos pela FLL.

Havia pouca informação escrita disponível, no entanto alguns telhados dispunham de desenhos técnicos que incluíam a lista de espécies e profundidades de substrato utilizados. Infelizmente dados como a profundidade original ou detalhes de composição do substrato não podem ser conhecidos com certeza.

Para a descrição florística, foi utilizado um quadrado de 1m² - comumente utilizado como ferramenta da ecologia quantitativa das plantas – para registros da cobertura. Foi realizada uma amostragem florística no início de junho até meados de julho, onde cada telhado teve uma amostra de 12 a 18 quadrados, dependendo do tipo de telhado e área superficial.

Considerando que a amostra pesquisada era pequena, e a falta de documentação original, os resultados obtidos acerca de como as propriedades da vegetação e substrato se desenvolvem nos telhados extensivos ao longo do tempo são meramente especulativos. Portanto, estabelecer relações causais ou de interligação entre as variáveis seria inadequado, podendo haver correlações supostas entre outras variáveis que não as identificadas.

A pesquisa de Thuring e Dunnett (2014) encontrou correlações entre idade do telhado e vegetação (diversidade de espécies e abundância de cobertura) e propriedades do substrato, como por exemplo pH, nutrientes e profundidade. A idade do telhado também teve relação com o conteúdo orgânico presente no solo. A inter-relação entre as variáveis do solo se deve ao fato que substratos ácidos de pouca profundidade tendem a criar condições mais favoráveis a decomposição. Observou-se ainda que o conteúdo orgânico do solo teve um relacionamento negativo com a diversidade de espécies e cobertura, na maioria das espécies, somente tendo associação positiva com as espécies sedum.

2.5.4 Critérios para a seleção de espécies de plantas para implantação em telhados termicamente eficientes. Jiménez, Castrejón e Sanchez (2014).

Jiménez *et al.* (2014) em seu artigo *Criteria for Selection of Plant Species for its Deployment in Thermally Efficient Architectural Green Roofs in the Metropolitan Area of Mexico City: Methodological Guidelines* afirmam que o desempenho térmico de um telhado verde está relacionado ao bom estado dos materiais que o compõem. Seu estudo apresenta uma espécie de guia, demonstrando quais as características que uma vegetação deve ter para que cumpra os rigorosos requisitos exigidos para telhados verdes extensivos e semiextensivos na área Metropolitana da Cidade do México.

Para este estudo, o principal parâmetro de avaliação utilizado para a seleção de plantas foi a capacidade de sobrevivência das espécies nas condições climáticas da MAMC (Área metropolitana da cidade do México), com baixo consumo de água e manutenção. Pesquisas tem demonstrado que o sucesso ou o fracasso de desempenho ambiental são derivados de uma correta seleção de espécies. Considerando que o peso de um sistema de telhado verde pode acarretar em aumento de custo, em geral os sistemas extensivos ou semiextensivos são considerados os mais adequados.

A região metropolitana da Cidade do México tem características climáticas diferentes, por ser uma região extensa. Na maioria das zonas o clima é temperado, com dias extremos e temperatura com oscilação média diária de 13,8°C, com verão fresco, claro e prolongado e inverno seco. A variação isotérmica ao longo do ano é de 5°C a 7°C, e sua temperatura média anual é de 23,4°C, embora existam registros de temperatura diária de até 33°C. A temperatura mínima média é de 9,6°C, com registros ocasionais de temperaturas abaixo de 0°C.

Os pesquisadores informam que existe no México uma única norma específica para coberturas verdes, a NADF-013-RNAT-2007. Segundo essa norma, sistemas extensivos buscam uma vegetação de manutenção zero, que suporte altas radiações, períodos longos de seca, temperaturas extremas e altura inferior a 50 cm. Esta norma define critérios para as plantas a serem utilizadas tais como serem duráveis, de rápido crescimento e cobertura do solo, resistentes à ação do vento, longos períodos de seca, a temperaturas extremas, resistência a poluição urbana. A norma ainda inclui orientação não restritiva, de plantas apropriadas para telhados

extensivos: gramíneas, gramíneas selvagens, plantas C-4, plantas de metabolismo CAM, plantas de cobertura de solo denso, herbáceas perenes, subarbustos, suculentas e plantas perenes. Assim, os critérios demonstrados na norma para seleção, embora corretos, são muito vagos. Dessa forma os autores dizem que o artigo busca aprofundar e complementar os critérios para escolha da vegetação adequada para um telhado verde que seja termicamente eficiente, e também responda às necessidades de uma vegetação funcional e sustentável.

Os telhados verdes no MAMC deveriam priorizar o uso de espécies nativas, ou, como uma segunda opção, espécies naturalizadas. Deve-se evitar espécies exóticas, sendo incorporadas apenas se fornecerem benefícios que possam ser claramente identificados e comprovadamente não causarem danos ambientais importantes.

Os autores concluíram que o uso de telhados verdes como forma de melhoria do desempenho energético relacionado a transferência de calor nos edifícios é um tema recente. Existe ainda uma confusão com relação ao uso adequado de vegetação, conforme seu especificador seja um projetista, desenvolvedor ou uma agência reguladora.

Foram identificadas quatro espécies de suculentas que poderiam servir de maneira eficiente em um sistema extensivo. Também levantaram outras sete espécies de plantas nativas resistentes, que se combinadas possuem um desempenho satisfatório em telhados verdes. Além disso quatro espécies de gramíneas foram identificadas como atendendo a todos os requisitos de telhados verdes, sendo que 12 espécies de gramíneas respondem especificamente aos requisitos para um sistema de telhado verde no MAMC. Assim, concluem que pode-se desenvolver sistemas de coberturas verdes sustentáveis e termicamente eficientes, desde que se reconheça os requisitos para a escolha das plantas.

2.5.5 Telhados verdes como habitats para espécies de plantas silvestres em paisagens urbanas: Primeiras informações de uma amostragem em grande escala. Madres et. al. (2014).

Madres et. al. (2014) realizaram um estudo extenso, observando 115 telhados verdes no norte da França, e se concentraram em comunidades de plantas selvagens e nas variáveis que moldaram sua diversidade e suas composições

taxonômicas e funcionais. O estudo abordou as seguintes questões específicas: Que espécies colonizam? Quais são os fatores que moldam as comunidades? O que são as composições taxonômicas e funcionais das comunidades? Finalmente, os autores discutiram seus resultados e seus impactos nos campos de ecologização urbana e propuseram uma tipologia ecológica para telhados verdes.

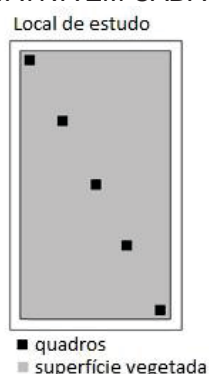
A partir de bancos de dados de empresas de cobertura verdes, foi possível identificar locais com coberturas verdes, dos quais 115 locais foram visitados entre abril e junho de 2011 nas áreas urbanas e suburbanas de várias cidades francesas. Cada local foi visitado uma vez para este estudo comparativos, sendo que as visitas foram ocorreram do oeste para leste.

A primavera do ano de 2011 foi de clima seco, com déficit de chuva e temperaturas acima das normais sazonais. Os locais foram selecionados de acordo com as estruturas de vegetação plantadas no telhado que se referem a diferentes soluções técnicas (ou seja, plantações de musgo / sedum, plantações de ervas e plantações de arbustos).

A maioria dos telhados verdes são do tipo ao "extensivo" e "simple intensivo" , de acordo com as diretrizes FLL .

As espécies cultivadas foram plantadas em um substrato artificial, muitas vezes um substrato altamente mineral (pozzolana), e raramente em compostos mais clássicos. Os pesquisadores selecionaram 45 telhados extensivos de sedum, 38 semiextensivos, e 32 telhados intensivos simples (jardins de telhado). Para obter dados padronizados entre os locais, 5 quadrados (1 m × 1 m) foram colocados uniformemente ao longo de uma diagonal da área verde do telhado (3 quadrados no meio do telhado e 2 quadrados nos cantos, ver figura 3).

FIGURA 3 DISTRIBUIÇÃO DOS CINCO QUADRANTES AO LONGO DE UMA DIAGONAL DA SUPERFÍCIE VEGETATIVA EM CADA LOCAL DE ESTUDO.



FONTE: A autora (2017) adaptado de Madres et. Al. (2014).

As listas das espécies plantadas e selvagens foram estabelecidas com os dados das empresas, bem como com base em observação direta. Todas as plantas, exceto a seção Rolfalia de *Taraxacum* foram Identificados ao nível da espécie de acordo com o Índice de Flora Francesa.

Para cada telhado, um conjunto de variáveis qualitativas e quantitativas foram registrados a partir das bases de dados das empresas, observações sobre os telhados, e as indicações dos responsáveis ou gestores dos locais. Os dados foram classificados de acordo com a escala espacial: 1- local (escala de construção) e 2- paisagem (ambiente em torno dos prédios). Foram utilizadas as seguintes variáveis para a análise:

A profundidade do substrato (em cm), a altura do edifício (em metros), a área da superfície do telhado verde (em m²), a idade do telhado verde (em anos) e a intensidade de gerenciamento (Manutenção) foram consideradas variáveis locais.

A intensidade de gerenciamento foi definida ao longo de uma escala de 0 (Sem manutenção) a 3 (manutenção intensiva, mais de 6 Dias / ano, capina, corte, corte, irrigação e fertilização); 1 refere-se a manutenção simples (uma vez por ano, desmatamento e Fertilização) e 2 refere-se a manutenção média (menos de 6 Dias / ano, capina, corte, corte, irrigação ocasional e fertilização).

A porcentagem de habitat potencial para espécies de plantas colonizadoras foi medida em um buffer de rádio de 2 km em cada local, representando a variável da escala de paisagem.

Utilizando o software ArcGIS 9.3. o tamanho do buffer foi selecionado para integrar a distância máxima da dispersão da maioria das plantas, incluindo a dispersão de sementes de longa distância. Os efeitos potenciais dos processos biogeográficos (expressos ao longo dos gradientes latitudinais e longitudinais) foram corrigidos utilizando uma auto correlação espacial variável. Como algumas dessas variáveis foram correlacionadas, foram realizados sistematicamente dois conjuntos de análises para obter os efeitos de cada variável: a- profundidade do substrato, altura e superfície e b - idade, manutenção e habitat.

Foram usados Modelos Lineares Generalizados (GLMs) corrigidos para auto correlação espacial para analisar os efeitos das variáveis ambientais descritas acima na diversidade das espécies de plantas colonizadoras (índice Shannon). Os GLMs foram computados com um erro de distribuição de Poisson. Os autores analisaram os efeitos das variáveis sobre a composição taxonômica das comunidades que

utilizam análise de redundância parcial baseada em distância (db-RDA), que modela explicitamente as variáveis de resposta como uma função das variáveis explicativas.

A significância estatística de todo o modelo e de cada variável foi avaliada utilizando os testes de permutação de Monte Carlo.

Como resultados, foram observadas um total de 176 espécies de plantas selvagens nos quadrantes, e 122 espécies estavam presentes em mais de um local. Presente em mais de 50 lugares, as espécies mais frequentes foram *Cerastium glomeratum*, *Taraxacum section ruderalia*, *Poa annua*, *Sonchus oleraceus*, *Epilobium tetragonum* e *Hypochaeris radicata*. Também foram identificados espécimes de *Orchis laxiflora* e outras 18 espécies consideradas protegidas. Além disso, observaram 3 espécies consideradas invasivas: *Buddleja davidii*, *Fallopia japonica*, e *Senecio inaequidens*. Entre as 176 espécies estudadas, 85,8% eram nativas, 10,2% protegidos e apenas 1,7% foram considerados invasivos; em relação às espécies plantadas, os autores identificaram 250 espécies nos quadrantes, e apenas 75 espécies (30%) foram listadas como nativas.

Nos 115 telhados observados a profundidade do substrato variou de 2 a 60 cm (com uma média: $12,7 \pm 11,3$). A altura do edifício variou desde o nível do solo (0 m) até 25 m (média: $5,7 \text{ m} \pm 4,7$), e a superfície dos telhados verdes foi altamente variável (média: $415 \text{ m}^2 \pm 518$). A idade do telhado verde variou de 1 a 42 anos (média: $8 \text{ anos} \pm 8$) e a escala de manutenção variou de 0 a 3 (média: $0,8 \pm 0,79$). A paisagem em torno dos locais de telhado verde era predominantemente urbana, com uma proporção de habitats potenciais para plantas selvagens variando de 0 a 87% (média: $22\% \pm 23$) em um raio de 2 km.

Os resultados GLM mostraram que a única variável com influência significativa no índice de diversidade de Shannon para as espécies colonizadoras do telhado verde é a profundidade do substrato ($= 8.925e-03 \pm 4.248e-03$, $p < 0,05$). As outras variáveis não mostraram efeito significativo sobre a diversidade das espécies colonizadoras.

Os resultados de db-RDA mostraram que a composição taxonômica das comunidades de plantas selvagens em telhados verdes foi significativamente estruturada pela profundidade do substrato ($p \leq 0,01$) e também pela idade do telhado verde ($p \leq 0,01$), com uma importância menor da área superficial e da intensidade de manutenção ($p \leq 0,05$). Os telhados verdes com um substrato profundo foram caracterizados por espécies como *Elytrigia repens*, *Plantago*

lanceolata, *Taraxacum Ruderalia*, *Calystegia sepium*, *Poa trivialis*, *Ranunculus repens* e *Rumex obtusifolius*. Por outro lado, os telhados verdes com um substrato mais fino foram caracterizados por *C. glomeratum*, *Arenaria serpyllifolia* e *Stellaria media*. *Parietaria judaica*, *Acer pseudoplatanus*, *Senecio jacobaea* e os esteris de *Bromus* caracterizaram os telhados verdes mais antigos, enquanto o álbum *P. annua* e *Chenopodium* dominava os telhados mais recentemente desenvolvidos (mais novos).

Os telhados verdes com uma grande área hospedaram espécies de plantas selvagens como *Trifolium arvense*, *Plantago major* e *Epilobium parviflorum*.

Os telhados altamente conservados foram caracterizados por *Taraxacum Seção ruderalia*, *Veronica persica*, *Trifolium repens* e *Anagallis Arvensis*; por outro lado, os telhados sem manutenção hospedavam espécies como *Conyza canadensis*, *A. serpyllifolia* e o *Bromus tectorum*.

Por fim, os autores identificaram que a profundidade do substrato foi o principal fator que influenciou a diversidade das plantas colonizadoras, e esse fator também moldou a composição taxonômica e funcional das comunidades de plantas selvagens. Ainda, em menor grau, a idade do telhado verde, área de superfície, altura e intensidade de manutenção também influenciaram o desenvolvimento dos telhados.

2.5.6 Os telhados verdes nas políticas ambientais como medida indutora para a sustentabilidade. Rangel *et al.* (2015).

Rangel *et al.* (2015) realizaram uma pesquisa, baseada em revisão bibliográfica, que abrangia temas como telhados verdes, políticas públicas, direito ambiental e seus princípios, além de temas afins, com o objetivo de delinear os principais conceitos originários de doutrina e legislações ambientais, apontar os princípios e ordenamentos jurídicos relacionados ao estudo de telhados verdes e ainda, apresentar quais as políticas públicas existentes no âmbito internacional e nacional, referentes a telhados verdes.

No início do artigo os autores apresentam um breve histórico das políticas ambientais no âmbito de utilização de telhados ou coberturas verdes.

Destacam que o delineamento de políticas públicas ocorre quando há compreensão de como as ações de um governo são divididas em atividades ou

serviços produzidos pelo próprio estado, e também em atividades de regulação que possam permitir influenciar sobre as realidades sociais, econômicas ambientais, espaciais, etc. Destaca-se que a política ambiental é um conjunto de objetivos, instrumentos de ação e diretrizes a disposição do poder público visando produzir efeitos desejáveis no meio ambiente. Dentro da política ambiental, classifica-se como política regulatória – compreende a legislação regulamentadora de uso e acesso ao meio ambiente; política estruturadora: órgãos não governamentais, além do poder público, atuando na proteção do ambiente; e ainda a política indutora, que objetiva influenciar o comportamento social, esta mais próxima do conceito de desenvolvimento sustentável. Estas modalidades utilizam-se de linhas de financiamento, bem como incentivos tributários e fiscais, e são as linhas que caracterizam o objeto de estudo do trabalho apresentado no artigo.

Os autores enumeram as políticas indutoras de estímulo para a criação de telhados verdes como sendo:

- Incentivos diretos, podendo ser subvenções ou subsídios;
- Incentivos indiretos, gratificações ou reduções de taxaço;
- Normas regulamentadoras de incentivo;
- Incentivos intangíveis, ou seja, pesquisa, educação, premiações e outros desta natureza.

Apesar dos recursos disponíveis, Rangel et al (2015) destacam que o Brasil tem um contradição entre as políticas ambientais e as “políticas modernizantes”, como por exemplo a área do Turismo, cuja busca pelo crescimento e aumento de infraestrutura renega, e vai na contramão de aspectos ambientais, bem como demais políticas desenvolvimentistas em implantação desde o início da industrialização no país.

No âmbito internacional, os autores destacam a Alemanha, frisando que desde a década de 1960 o país busca aliar o desenvolvimento de projetos e técnicas de construção de telhado verde, através de subsídios de estímulo para expansão de áreas de cobertura verde, sem contudo deixar de lado as questões ambientais e de desenvolvimento.

Diversos países europeus – com destaque para a Países como Noruega , Áustria, Suíça, Suécia , Hungria, , Reino Unido, Itália - vêm adotando o telhado

verde em construções e em sua maioria têm incentivos fiscais ou regulamentação legal oficial. Na América do Norte destaca-se os Estados Unidos e o Canadá.

Os EUA concedem incentivos em créditos tributários federais de até US\$ 1.80/m² para projetos de construção verde que atendam aos padrões da American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers (ASHRAE). Estes benefícios são concedidos de acordo com o plano de política energética americano (2005).

Vários estados estadonudenses preveem incentivos fiscais para fomentar o uso de telhados verdes, como por exemplo em Chicago, onde projetos que incorporam técnicas de construção verde tem os processos de licença acelerados. No Tennessee, existe redução das taxas de esgoto para cada m² de telhado verde. Em nova Iorque o governo concede crédito fiscal por m² de telhado verde que ocupe pelo menos 50% da cobertura.

No Canadá, construções acima de 200m² exigem a utilização de telhados verdes. A cidade de Toronto (Canadá) foi a primeira cidade da América do Norte a exigir telhados verdes em todos os novos empreendimentos, inclusive os residenciais. A fim de demonstrar o crescimento em áreas de cobertura verde gerados através após as legislações locais, alunos da Universidade de Toronto produziram imagens para ilustrar as mudanças que devem ser geradas, desde 2012 (época do estudo), após um ano da aplicação da lei, e dez anos depois (2022).

Para demonstrar este crescimento em metros quadrados de telhados verdes, alunos da Universidade de Toronto desenvolveram imagens ilustrando estas mudanças, dividindo os cenários em uma perspectiva atual (para o ano de 2012), um ano e dez anos após a publicação da referida Lei, conforme figura 4 a seguir:

FIGURA 4 - ILUSTRA OS CENÁRIOS: ATUAL, UM ANO E DEZ ANOS APÓS A LEI DE INSTALAÇÃO DOS TELHADOS VERDES.



FONTE: Benfield, 2012

Em Vancouver (Canadá) existe uma a Lei sobre telhados verdes que obriga todos os edifícios residenciais e comerciais com mais de 5.000 m² a utilizar telhado verde. Além disso, a cidade isenta os edifícios das taxas de licenças, se previsto a utilização de telhados verdes nos projetos.

Os autores relacionaram em uma tabela (Quadro 2) programas considerados mais eficazes (internacionalmente), e que incluem educação e engajamento em suas políticas públicas.

QUADRO 2 – PROGRAMAS INTERNACIONAIS CONSIDERADOS MAIS EFICAZES

TABELA 1 – Programas internacionalmente eficazes com os Telhados Verdes.

Copenhague, Dinamarca	Copenhague estabeleceu metas para ser neutra em carbono até 2050 e vê os telhados verdes como uma ferramenta chave para atingir esta meta. Todos os novos telhados com menos de 30 graus de inclinação necessitam ter telhados verdes.
Alemanha	Primeiro país a desenvolver padrões nacionais de telhado verde na década de 1970. Sua implantação recebe o apoio nos níveis nacional, regional e local. Mais de 80 cidades alemãs oferecem programas de incentivo de telhado verde. Cerca de 100 mil hectares (mais de 15% de todo o território alemão) possuem telhados verdes.
Líncia, Austria	O rápido processo de urbanização no final dos anos 70 levou a uma perda de espaço aberto e problemas de qualidade do ar. As políticas introduzidas na cidade em 1985 levaram à instalação de um número significativo de telhados verdes. Atualmente, esta cidade possui mais de 15% de todos os telhados como telhados verdes.
Nova Iorque, EUA	Na porção sudoeste do Município de Nova Iorque (South Bronx) foram registradas taxas de asma sete vezes maiores que as médias nacionais, em razão da produção local de diesel. A cidade fundou um projeto de demonstração de telhados verdes financiado a baixos juros e empréstimos rotativos para apoiar a política de telhados verdes.
Toronto, Canadá	Apoia a implantação de telhados verdes com orientações técnicas, oficinas, locais de demonstração, auxílios e subvenções. Em 2009, a Câmara Municipal de Toronto tornou a política de telhados verdes obrigatória por lei para todos os empreendimentos com mais de 2.000 m ² . Antes da referida lei, Toronto tinha cerca de 36 mil m ² de telhados verdes. Nos poucos anos desde que a lei municipal foi introduzida, mais de 170 mil m ² de telhados verdes são planejados ou estão em fase de construção.

FONTE: RANGEL, 2015

No âmbito nacional, os autores relatam ações pontuais em estados do Brasil, destacando exemplos no Rio de Janeiro, São Paulo e João Pessoa.

Em São Paulo, capital e municípios, tem trabalhado em projetos de lei para incentivar a utilização de telhados verdes, com destaque para Jundiaí, onde o executivo criou uma lei, alterando o código de obras e posturas para prever o uso de telhados verdes em edificações residenciais e comerciais.

Na capital de São Paulo, em 2009 foi aprovado projeto que prevê a utilização de telhados verdes em todos os prédios cuja altura seja superior a 3 andares, no entanto o projeto ainda não foi efetivado.

No estado do Rio de Janeiro, na cidade de Niterói, o Projeto de Lei nº 090/2013 fala sobre a instalação de telhados verdes em projetos de edificações, de mais de três andares (verticais), e contempla incentivos fiscais e financeiros para quem adotar a utilização de telhados verdes.

No estado da Paraíba, a lei estadual nº10047/2013 institui a obrigatoriedade da instalação de telhado verde em áreas acima de três unidades agrupadas verticalmente, a partir da data da promulgação daquela lei. Juntamente com a legislação estadual a prefeitura de João Pessoa adotou desconto no IPTU para imóveis que adotarem medidas sustentáveis em sua construção, e esse desconto pode chegar a 50% do valor do imposto.

Os autores destacam que os efeitos desejáveis dos instrumentos de PPA (políticas públicas ambientais) dependem de que exista o objetivo de eliminar ou minimizar os problemas ambientais.

Rangel et al (2015) levantam uma dúvida, os instrumentos fiscais conseguem influenciar o comportamento das pessoas e das organizações em relação à implementação de políticas públicas ambientais relativas ao telhado verde, e ao meio ambiente ? Talvez seja uma questão a ser levantada.

Os autores relatam questões que eles intitularam de “principiologia constitutiva das políticas públicas pertinentes às coberturas verdes” onde destacam que os princípios se diferenciam em relação as regras devido ao seu alto grau de abstração e servem como peso nos processos decisivos, ao passo que regras valem ou não. Nos princípios realiza-se a ponderação de valores, que dependem de um caso fático.

Princípios Jurídicos são proposições fundamentais que vão formar a consciência das pessoas e grupos, partindo de certa realidade que, depois de formada, irá direcionar a compreensão, a reprodução e a recriação desta realidade.

Rangel et al (2015) apresentam os princípios que norteiam o Direito Ambiental, com destaque aqueles dedicados à instituição de políticas públicas voltadas para os Telhados Verdes, objeto do artigo, sendo eles: Desenvolvimento Sustentável, Natureza Pública da Proteção Ambiental, Prevenção e Direito à Sadia Qualidade de Vida.

- Princípio do Desenvolvimento Sustentável – que todos têm direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado, sendo a sua proteção parte integrante para se atingir este desenvolvimento.
- Princípio da natureza pública da proteção ambiental - Administração Pública, *lato sensu*, deve se empoderar dos meios e instrumentos públicos necessários e existentes, condizentes com seu poder-dever de agir, a fim de criar e estimular políticas públicas tendentes à preservação do meio ambiente.
- Princípio da prevenção - necessidade de prevenir algum ato ou serviço especificado cujo dano ambiental seja iminente ou efetivamente comprovado ou de adotar medidas de precaução geral para afastar ou minimizar danos causados ao meio ambiente em virtude da atividade humana
- Princípio do direito à sadia qualidade de vida - salienta o direito que todo o ser humano tem de viver em um ambiente sadio, com adequadas condições de vida, plena e saudável.
- Princípio do direito à sadia qualidade de vida - decorre do direito à vida, tutelado nas Constituições escritas (Machado, 2013, p. 69), bem como do princípio do desenvolvimento sustentável,

Os autores concluem o artigo, relatando que no âmbito internacional – destaque para Europa e EUA, as iniciativas na área de Telhados Verdes são mais consistentes, ainda sendo um modelo incipiente no Brasil, com poucas edificações com este uso, o que resulta em uma perda de oportunidade de desenvolvimento e implementação de políticas nesse setor. Entretanto, com a ênfase que o mundo tem dado para as questões ambientais, futuramente espera-se uma mudança de comportamento do homem em relação à natureza, através de algumas ações, destaque àquelas estimuladas pelo Estado, incluindo nisto as iniciativas do setor econômico e da sociedade.

Consideram fundamental o estímulo indutivo e preventivo do setor público para a consecução deste fim, já que há responsabilidade do setor público no sentido de proteção do patrimônio e qualidade ambiental, cujos reflexos são globais.

Ademais, ressaltam que a questão ambiental é uma crise atual da civilização, que deve ser enxergada como um limite do crescimento econômico, surgindo, a partir dela, novos paradigmas que internalizem as condições ecológicas e sociais.

Para isso, o discurso do desenvolvimento sustentável, proposto como um dos Princípios do Direito Ambiental aplicado neste artigo às coberturas verdes, e que, além dessas três dimensões – crescimento econômico, preservação ambiental e equidade social –, ressalta os aspectos político e cultural, são de extrema relevância para que aquelas tecnologias possam ser definitivamente implementadas.

O telhado verde representa um exemplo de tecnologia que visa o começo de uma era de sustentabilidade; também não sendo um solucionador dos problemas urbanos, mas sim uma ferramenta que surge para contribuir e somar esforços para estas áreas do conhecimento. As políticas ambientais que citam e estimulam o telhado verde por meio de incentivos, como apresentadas no artigo, estão gerando uma contribuição com o fim de promover a sustentabilidade.

Nesta perspectiva, as políticas que incluem o uso de telhados verdes são mecanismos que ajudam a compor um cenário mais sustentável. Este raciocínio deve estar imbutido nas políticas ambientais, bem como nas estratégias de participação da sociedade objetivando somar esforços com os diversos atores comprometidos com a promoção da sustentabilidade, a fim de promover a construção de um outro presente e um futuro com valores para as gerações futuras.

2.5.7 Substratos para cultivo de plantas herbáceas perenes em telhados verdes extensivos. Noya *et al* (2017).

Neste artigo, os autores elaboram estudo que teve como objetivo desenvolver e recomendar substratos para telhados verdes extensivos na região sul do Brasil. Relatam que foram desenvolvidas 15 amostras de substratos com diferentes composições. Quatro amostras foram escolhidas e utilizadas para cultivar duas espécies de plantas - com base em suas propriedades físicas e químicas, , *Sedum acre* Lineu e *Arachis repens* Handro, sendo ambas herbáceas perenes recomendadas para este tipo de prática. O experimento localiza-se no Centro de Estudos Experimentais da Universidade Federal do Paraná – UFPR, sendo realizado

no período de 11/2014 a 11/2015. O cultivo foi realizado em estruturas de madeira, simulando um telhado convencional, dividido em módulos, sendo compostos por telhas de fibrocimento e inclinação de 5%. A cobertura vegetal foi verificada por meio de fotografias, realizadas a cada 15 dias.

Para as duas espécies, os substratos constituídos por serragem e esterco de aves foram os que apresentaram maior cobertura vegetal. Entretanto, a espécie *S. acre* não tolerou o excesso de chuvas e, portanto, não é indicado para uso isolado (monocultura) em regiões de clima subtropical. No entanto, os autores relatam que esta espécie atingiu quase 100% de cobertura em temperaturas mais altas e durante um período mais longo. *A. repens* teve uma cobertura vegetal em torno de 80% em períodos chuvosos, sendo indicado pelos autores para o cultivo em tais condições.

No início do artigo Noya *et al* (2017) destacam que os substratos utilizados em telhados verdes são a base de um desenvolvimento bem sucedido da vegetação, devendo ser leve, com porosidade em torno de 85% e com alta capacidade de absorção de água.

Assim, os autores consideram avaliar a estrutura física do substrato, com base em propriedades como densidade e porosidade, é essencial para o cultivo em telhados, pois é um dos fatores determinantes para o desenvolvimento de plantas e também influi na avaliação completa da capacidade de carga do telhado.

A maioria dos substratos para telhados verdes listados na *Roof Greening Guideline*, não está disponível no Brasil. Então, isto indicaria uma necessidade para o desenvolvimento de substratos compostos por materiais facilmente obtidos e adquiridos na região. Tais substratos devem ser preferencialmente subprodutos das indústrias, a fim de mitigar a produção de resíduos que, se não forem reutilizados, tornam-se um potencial poluente ambiental.

Os materiais facilmente encontrados e comercializados, como o estrume de aves, disponível na produção intensiva de aves no Sul do Brasil, serradura, casca de pinus e agulhas de culturas madeireiras, casca de arroz carbonizada e húmus têm propriedades físicas e químicas que podem promover condições satisfatórias para o crescimento das plantas (Kämpf, 2005 apud Noya, 2017). As plantas utilizadas devem ser perenes, tanto para *Arachis repens* como para *Sedum acre*. *A. repens* é uma planta herbácea perene brasileira, pertencente à família Fabaceae e com um metabolismo tipo C3. Quando cultivada como cobertura do solo sob a plena intensidade do sol atinge de 0,1 a 0,2 m de altura. Foi selecionado por sua

rusticidade e enraizamento rápido, bem como por sua interação simbiótica com bactérias benéficas para o desenvolvimento. *S. acre* tem um metabolismo tipo CAM, pertence à família Crassulaceae e é originária de Portugal. Tem sido amplamente utilizado em telhados verdes na Europa, e tem adaptação rápida e tolerância aos períodos de seca, recorrentes no final do verão e início do outono.

Assim, os autores evidenciam que objetivo deste estudo é desenvolver e recomendar substratos para telhados verdes extensivos no sul do Brasil, buscando avaliar as espécies herbáceas sugeridas para este tipo de cultivo.

O estudo foi realizado no Centro de Estudos Experimentais da Universidade Federal do Paraná – UFPR, cujo clima é classificado como Cfb, com geadas frequentes, realizado no período entre novembro de 2014 a novembro de 2015.

Durante a primeira etapa de trabalho, os autores desenvolveram 15 composições de substrato e analisaram suas propriedades físicas e químicas. Os materiais e as respectivas proporções utilizadas na composição dos vários substratos estão relacionados no quadro 3 a seguir.

QUADRO 3 – MATERIAIS E PROPORÇÕES UTILIZADAS NA COMPOSIÇÃO DOS 15 SUBSTRATOS

Materials and their respective proportions used in the composition of the 15 substrates.

Substrate (samples)	Materials	Gravimetric ratio (kg kg ⁻¹)
S1	Carbonized rice husk; sand; expanded clay (0.5–1 mm)	4:1.66:1
S2	Carbonized rice husk; shredded pine bark	1:1
S3	Carbonized rice husk; <i>Sphagnum</i> peat; vermiculite	1:1.33:1
S4	Carbonized rice husk; <i>Sphagnum</i> peat	1:1
S5	Poultry manure; sawdust	1:1
S6	Poultry manure; humus; bone meal; sand	4.5:3:1.5:1
S7	Poultry manure; <i>Sphagnum</i> peat; coniferous needles	1:1.33:1
S8	Humus; castor bean meal; vermiculite	1.33:1:1
S9	Humus; castor bean meal; sawdust; sand	3:3:3:1
S10	<i>Sphagnum</i> peat; perlite	1:1
S11	<i>Sphagnum</i> peat; vermiculite	1:1
S12	<i>Sphagnum</i> peat; sand; vermiculite	2:1:2
S13	<i>Sphagnum</i> peat; sawdust; coconut fiber	1.33:1:1
S14	<i>Sphagnum</i> peat; perlite; vermiculite	1.33:1:1
S15	Commercial substrate for horticulture	1

FONTE: NOYA ET AL (2017)

Na segunda etapa, os autores selecionaram quatro substratos que melhor atendessem às propriedades físicas e químicas identificadas como ideais na literatura. Para isso, as principais propriedades consideradas foram água prontamente disponível, capacidade de retenção de água, e densidade, uma vez que a absorção de água em plantas utilizadas requer alto consumo de energia, descartando substratos com retenção de água elevadas. A água disponível é a soma de água prontamente disponível e capacidade de retenção de água. Foram considerados bons aqueles substratos com níveis de porosidade em torno de 85%.

As variáveis analisadas foram o grau de cobertura vegetal, a sobrevivência da planta, a densidade de enchimento do substrato e o tempo gasto para atingir a

cobertura vegetal total da área. As fotografias foram feitas a cada 15 dias para a determinação do grau de cobertura vegetal, utilizando um tripé de cloreto de polivinilo posicionado sobre as estruturas.

As fotografias foram analisadas utilizando o software ImageJ®. Para avaliar a sobrevivência da planta, o número de plantas restantes no final do estudo foi contado.

Após 12 meses de cultivo, novas amostras foram coletadas e suas análises físicas e químicas foram novamente realizadas no Laboratório de Substratos para Plantas da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). Estes resultados foram utilizados em comparações posteriores. A análise dos substratos foi repetida três vezes em cada avaliação.

Os resultados da análise física e química dos substratos foram resumidos no quadro 3 . Houve uma grande variação entre os materiais analisados, e soma da água prontamente disponível variando mais de 60% em S1 (casca de arroz carbonizada, areia e argila expandida). Para os autores, este cenário reforça a importância de conhecer as propriedades dos materiais antes de tomar a decisão correta sobre o substrato que será utilizado (Kämpf, 2005 apud Noya et al, 2017).

Foram escolhidos substratos com valores semelhantes aos considerados ideais na literatura para as seguintes características: baixa densidade (leveza), porosidade em torno de 85% (Kämpf e Fermino, 2000 apud Noya et al, 2017) e alta capacidade de retenção de água (Olly et al., 2011; Graceson et al., 2013 apud Noya et al, 2017). Os substratos selecionados foram S1 (casca de arroz carbonizada, areia e argila expandida), S2 (casca de arroz carbonizada e casca de pinheiro triturada), S4 (casca de arroz carbonizada e turfa Sphagnum) e S5 (esterco e serragem de aves).

Os autores destacam que necessidade de irrigação não é desejável neste sistema, visando fim de manter os benefícios ambientais de telhados verdes extensivos pela poupança de água. Relatam ainda que, atualmente, como os períodos de déficit hídrico, altas temperaturas e eventos climáticos extraordinários são frequentes, é necessário apresentar sentido sustentável no uso da água.

Assim, o substrato de espessura limitada deve também ser capaz de reter a água da chuva o maior tempo possível e torná-la disponível para as plantas, contribuindo também para a minimização dos efeitos da inundação (Noya,2017).

A quantidade de ar aprisionado dentro dos poros do meio poroso (substrato) deve proporcionar arejamento suficiente para as raízes da planta (Cardoso et al., 2010 apud Noya et al, 2017), sem diminuir a capacidade do substrato de manter a água (Young et al., 2014 apud Noya et al, 2017). Isto demonstra que é possível que os substratos S1, S2, S4 e S5 proporcionem a qualidade necessária para o cultivo extensivo em coberturas verdes, uma vez que possuem as características acima mencionadas.

Os autores finalizam o artigo concluindo que o melhor substrato para cultivo em extensos telhados verdes é constituído por esterco envelhecido de aves de capoeira e serragem na proporção de 1: 1.

2.5.8 – Síntese do estado da arte

Com relação ao estado da arte, foi elaborada a tabela a seguir, de maneira a evidenciar as palavras-chave pesquisadas dentro do tema, que seriam relevantes nesta pesquisa, de maneira a justificar e dar embasamento a o recorte estudado, dentro da gama de áreas abordadas na perspectiva de telhados verdes.

TABELA 1 – SÍNTESE DOS ARTIGOS UTILIZADOS NO ESTADO DA ARTE

Autor(es)	Data	Título	Local	Palavras chave
Heim e Lundholm	2014	Interações de espécies na vegetação de telhados verdes	Nova Escócia, Canadá	Coexistência; Musgo; Líquén; Concorrência; Facilitação; Telhados verdes extensivos
Butler e Orians	2012	O entusiasmo do uso de plantas nativas: Percepções, evidências e o futuro dos telhados verdes.	EUA	Biodiversidade; Espécies exóticas; Extensivo; Estresse por seca; Construção verde; Arquitetura da paisagem
Thuring e Dunnett	2014	Composição da vegetação e antigos telhados verdes extensivos da Alemanha dos anos 80.	Alemanha	Biodiversidade; Telhados verdes extensivos; Desempenho a longo prazo na Alemanha; Formas de vida vegetal; Sedum; Diversidade de espécies; Profundidade do substrato
Jiménez, Castrejón e Sanchez	2014	Critérios para a seleção de espécies de plantas para implantação em telhados termicamente eficientes.	Cidade do México, México	Telhados verdes; Eficiência térmica; Sobrevivência de plantas; Plantas nativas;
Madres <i>et. al.</i>	2014	Telhados verdes como habitats para espécies de plantas silvestres em paisagens urbanas: Primeiras informações de uma amostragem em grande escala.	França	Telhados verdes; Plantas colonizadoras; Biodiversidade urbana; Comunidades de plantas selvagens; Tipologia ecológica; Classificação de substrato
Rangel <i>et. al.</i>	2015	Os telhados verdes nas políticas ambientais como medida indutora para a sustentabilidade.	Paraíba, Brasil	Telhado verde; Legislação; Meio ambiente; Políticas e princípios
Noya <i>et. al.</i>	2017	Substratos para cultivo de plantas herbáceas perenes em telhados verdes extensivos.	Curitiba-PR, Brasil	Telhado verde; Estrume; Serragem; Substratos para telhado verde

FONTE: Autora (2018)

3 MÉTODO DE PESQUISA

3.1 DEFINIÇÃO DA ESTRATÉGIA (MÉTODO) DE PESQUISA

Uma pesquisa experimental consiste essencialmente em determinar um objeto de estudo, selecionar quais variáveis serão capazes de influenciar, definir a forma de controlar e observar os efeitos que tais variáveis podem produzir no projeto (GIL, 2002). Para Gil, a pesquisa experimental, além de ser a forma mais prestigiada nos meios científicos, é uma pesquisa em que o pesquisador participa ativamente, e não se mantém como observador passivo.

Uma pesquisa experimental pode ser desenvolvida em qualquer lugar, desde que apresente as propriedades de: manipulação, controle e distribuição aleatória. Onde manipulação é o ato de manipular pelo menos uma característica dos elementos de estudo; O controle é introduzido na situação do experimento, e deve permitir criar um grupo de controle; E a distribuição, onde a designação dos elementos participantes e dos grupos experimentais de controle deve ser feita de maneira aleatória (GIL, 2002).

Esta pesquisa tem caráter experimental e propõe a avaliação de desempenho de telhados verdes intensivos e extensivos, utilizando espécies vegetais nativas, verificando as variações de temperatura superficiais superiores e inferiores nos módulos, bem como sua capacidade de escoamento, retenção de água e desenvolvimento das plantas.

3.1.1 Unidade de análise

Esta pesquisa buscou compreender o desempenho de telhados verdes quando utilizadas espécies vegetais compostas por plantas nativas, em três estações do ano na cidade de Curitiba. A unidade de análise é a variação dos efeitos que as espécies vegetais escolhidas causam sobre os telhados verdes extensivos e intensivos, verificadas pelas variáveis de: desempenho térmico, variação de temperaturas e desenvolvimento das espécies.

3.1.2 Delimitação do trabalho

Essa pesquisa teve como objeto de estudo quatro módulos de telhado extensivos e dois módulos intensivos, confeccionados para analisar o desempenho de telhados verdes. A análise foi feita em Curitiba com o total de seis protótipos de telhados verdes, com quatorze espécies nativas. Todos os sistemas foram confeccionados em madeiras de *Pinus elliottii*, oriundas de reaproveitamento.

As variáveis analisadas foram:

1. Desenvolvimento das espécies utilizadas, que será feito mediante análise visual, no período de julho de 2017 a fevereiro de 2018, analisado com auxílio de fotografias, permitindo a comparação do desenvolvimento ao longo do tempo;
2. Capacidade de escoamento e retenção de água da chuva, por meio de leitura da armazenagem nos galões previamente graduados, permitindo a leitura do volume de água escoado, em períodos específicos definidos, sendo relatados os eventos mais importantes;
3. Para análise do desempenho de temperaturas superficiais, será utilizado sistemas de termopares do tipo K, conectados ao *datalogger* do tipo TD-890 fixados nas partes inferior e superior dos módulos, onde as medidas observadas serão comparadas às temperaturas do ar, em eventos específicos. Também pretende-se utilizar. Uma câmera de infravermelho será utilizada para verificar a influência das diferentes plantas na variação térmica da superfície.

Os seis protótipos estudados foram instalados lado a lado, de maneira ter a mesma condição climática e exposição solar em todos eles.

Esta pesquisa não abordou temperaturas ou variações em ambientes internos, apenas a temperatura superficial nos módulos. A influência do substrato também não será avaliada, tendo sido utilizado o mesmo substrato comercial em todos os módulos. Esta pesquisa não contempla avaliação da qualidade da água.

3.2 PROTOCOLO DE COLETA DE DADOS

Para Yin (2001), a coleta de dados pode ser uma atividade difícil e complexa, exigindo preparação prévia, de modo que se for realizada de maneira incorreta, poderá colocar a pesquisa em risco.

A coleta de dados na pesquisa experimental é feita através da manipulação de certas condições e a observação dos efeitos produzidos, podendo ter seu registro com anotações em folhas próprias ou através de recursos elétricos ou eletrônicos. (GIL, 2002).

Neste estudo, protocolo foi dividido em cinco fases, descritas a seguir:

- a) Revisão bibliográfica que serviu como fundamentação teórica para o desenvolvimento do trabalho. De início serão abordados assuntos relacionados à pesquisa, tais como a conceituação de sustentabilidade, as definições e tipologias de telhados verdes, seus usos e benefícios, a influência das espécies vegetais, bem como a influência dos substratos e plantas nativas. A seguir, verificou-se o estado da arte, onde foram relatados estudos recentes relacionados ao tema desta pesquisa.
- b) Como segunda fase foi realizada a montagem do experimento, bem como a escolha das espécies e definição dos protótipos e substrato.
- c) A terceira fase consistiu na coleta de dados e resultados obtidos. As medições foram acompanhadas de relatórios fotográficos e registradas em planilhas, para verificação e registro das variáveis;
- d) A quarta etapa foi a análise dos dados resultantes da fase anterior, e a comparação entre módulos;
- e) Por último, foram redigidas as conclusões da pesquisa.

3.3 EXPERIMENTO - CAIXAS PROTÓTIPOS

3.3.1 Localização

Para a instalação dos protótipos era necessária uma área de livre acesso para as leituras, e livre de interferências como o sombreamento. Mediante a disponibilização de um espaço dentro da Estação meteorológica do INMET, foi possível montar os protótipos em um local disponível, cercado com tela, com acesso

controlado e segurança para a garantia dos equipamentos utilizados, bem como a integridade dos protótipos.

A estação meteorológica do INMET está localizada em Curitiba (Figura 5), no bairro Jardim das Américas, dentro do campus politécnico da UFPR. O Instituto Nacional de Meteorologia – INMET é um órgão do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, cuja missão é prover informações meteorológicas à sociedade brasileira e influir construtivamente no processo de tomada de decisão, contribuindo para o desenvolvimento sustentável do País (INMET, 2018). Em Curitiba, o INMET possui duas estações meteorológicas, sendo uma Estação Meteorológica de Observação de Superfície Automática e uma Estação Meteorológica de Observação de Superfície Convencional, ambas localizadas no campus da UFPR, conforme ilustra a figura 5 abaixo.

Segundo o INMET,

Uma estação meteorológica de superfície automática é composta de uma unidade de memória central ("data logger"), ligada a vários sensores dos parâmetros meteorológicos (pressão atmosférica, temperatura e umidade relativa do ar, precipitação, radiação solar, direção e velocidade do vento, etc), Esta estação que integra os valores observados minuto a minuto e os disponibiliza automaticamente a cada hora.

Uma estação meteorológica convencional é composta de vários sensores isolados que registram continuamente os parâmetros meteorológicos (pressão atmosférica, temperatura e umidade relativa do ar, precipitação, radiação solar, direção e velocidade do vento, etc), que são lidos e anotados por um observador a cada intervalo e este os envia a um centro coletor por um meio de comunicação qualquer.

FIGURA 5 – LOCALIZAÇÃO DO EXPERIMENTO JUNTO A ESTAÇÃO DO INMET



LEGENDA

- | | |
|----------------------------------|---------------------------------------|
| 1 - ESTAÇÃO CONVENCIONAL | 3 - LOCALIZAÇÃO DO EXPERIMENTO |
| 2 - ESTAÇÃO AUTOMÁTICA | 4 - 8º DISTRITO INMET |
| 5 - PORTÃO DE ACESSO UFPR | |

FONTE: A autora, adaptado do Google Earth (2017).

Curitiba possui como tipo climático Cfb, segundo a classificação climática de Köppen-Geiger (1900), onde a primeira letra (C) denota a característica geral do clima de uma região, constituindo o indicador do grupo climático, A segunda letra (f): — estabelece o tipo de clima dentro do grupo, e denota as particularidades do regime pluviométrico, isto é a quantidade e distribuição da precipitação e a terceira letra (b): — minúscula, denotando a temperatura média mensal do ar dos meses mais quentes. Assim, o clima Cfb, caracterizado como C - Temperado, com temperatura média do ar dos 3 meses mais frios compreendidas entre -3°C e 18°C , e temperatura média do mês mais quente superior a 10°C , com estações de verão e inverno bem definidas. - *f* - clima úmido, com ocorrência de precipitação em todos os meses do ano e inexistência de estação seca definida e *b* - verão temperado, com temperatura média do ar no mês mais quente inferior a 22°C e temperaturas médias do ar nos 4 meses mais quentes maiores que 10°C .

Savi (2015) elaborou uma tabela (Quadro 4) a partir de dados obtidos junto a o site do INMET— Instituto Nacional de Meteorologia, na época, destacava que Curitiba tinha uma precipitação média anual em torno de 1500 mm e sua temperatura era de $16,8^{\circ}\text{C}$.

Segundo o INMET (2018) a Organização Meteorológica Mundial (OMM) define normais como sendo os valores médios calculados em um período uniforme, que deve compreender no mínimo três décadas consecutivas. Caso inexistam esses dados, podem ser calculadas normais provisórias, que devem prever um período de no mínimo dez anos ser calculadas. Normais Provisórias são médias de curto período, baseadas em observações que se estendam sobre um período mínimo de 10 anos (INMET, 2018).

QUADRO 4 - NORMAIS CLIMATOLÓGICAS DE CURITIBA (1961 - 1990)

	UN	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	ANO
Temp. Média	$^{\circ}\text{C}$	20,4	20,6	19,6	17,2	14,5	13,1	12,9	14,1	15,0	16,5	18,2	19,3	16,8
Temp. Mín	$^{\circ}\text{C}$	16,4	16,3	15,4	12,8	10,2	8,4	8,1	9,2	10,8	12,5	14,0	15,4	12,5
Temp. Máx	$^{\circ}\text{C}$	26,6	26,7	25,7	23,1	21,1	19,6	19,4	20,9	21,3	22,6	24,5	25,4	23,1
Pressão Atm.	hPa	909,4	910,3	911,2	912,4	913,4	914,3	915,1	914,0	913,3	911,6	910,1	909,4	912,0
Precipitação	mm	171,8	157,6	138,8	94,8	101,0	115,6	98,8	73,4	119,2	133,3	126,9	152,3	1483,4
Umid. Rel.	%	79,0	80,0	80,0	79,0	82,0	82,7	81,0	79,0	82,0	82,0	80,0	82,0	80,7
Evaporação	mm	79,0	67,7	68,7	58,9	57,8	58,1	68,1	79,9	69,5	71,2	84,1	80,4	843,4
Insolação	horas	184,4	160,8	172,0	164,2	178,3	160,2	173,4	175,4	134,1	155,5	177,0	170,9	2006,2

FONTE: SAVI (2015).

Ao fazer uma tabela atualizada – normal provisória - com dados dos anos 2007 a 2017, verificou-se que alguns desses valores mudaram, e observou-se que a precipitação anual média aumentou de aproximadamente 1500mm para aproximadamente 1700mm, e a temperatura média mudou de 16,8°C para 16,1°C. Também se verifica que as temperaturas mínimas aumentaram, para o valor médio de 14,2°C e máximas de 23,4°C. O valor de insolação diminuiu, comparativamente, para 1821 horas, e a taxa de evapotranspiração decaiu para cerca de 791,8mm. Importante mencionar que os dados utilizados, disponibilizados pelo INMET não contemplam os valores referentes ao mês de dezembro de 2017, cujos dados não estavam disponíveis, podendo gerar uma distorção nos valores médios tabelados.

TABELA 2 - DADOS CLIMATOLÓGICOS DE CURITIBA - 2007 a 2017

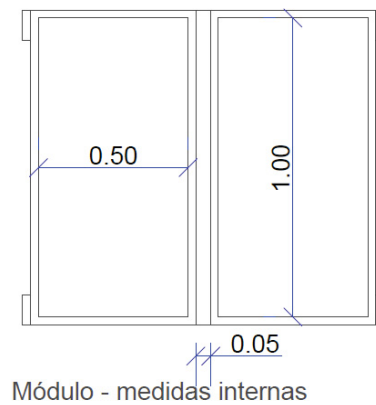
Un.	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	Ano
Temp. Média °C	21,3	20,2	18,7	13,6	15,5	9,1	12,8	12,7	15,2	17,8	17,8	20,9	16,1
Temp. Mínima °C	17,8	18,4	16,9	15,0	12,1	10,1	9,8	10,8	12,5	14,2	15,4	17,1	14,2
Temp. Máxima °C	27,0	25,4	26,0	24,3	19,2	19,8	20,1	22,0	23,2	22,0	24,9	26,7	23,4
Pressão ATM hPa	911,0	911,6	912,3	913,6	914,5	915,4	916,1	915,6	914,6	912,7	911,1	910,2	913,2
Precipitação mm	223,0	183,3	132,7	111,7	95,3	141,3	120,9	90,7	116,4	175,4	129,0	169,8	1689,6
Umidade Rel. %	80,4	80,0	80,7	81,7	83,6	81,9	80,6	77,5	78,5	81,0	79,5	78,8	80,3
Evapotransp. mm	107,6	98,8	72,9	64,0	46,1	34,0	41,2	45,3	50,7	68,4	69,5	93,2	791,8
Insolação horas	152,3	150,0	157,3	145,2	132,7	139,4	21,0	181,1	155,5	24,0	152,9	154,0	1821,3

FONTE: A autora (2018).

3.3.2. Projeto dos módulos de telhados verdes

O projeto arquitetônico foi concebido em 3 módulos duplos, com duas caixas de 50cm x 100cm cada, sendo que 2 módulos contêm quatro caixas mais rasas, com 15cm de altura, e 1 módulo com duas caixas de 30 cm de altura, totalizando 6 caixas. Em cada caixa foi colocado um tipo de espécie, ou consórcio de espécies, de maneira que cada módulo tenha plantas diferentes. No entanto com o mesmo tipo de substrato e espessura, de acordo com sua característica de intensivo ou extensivo. Cada módulo têm uma inclinação de 3%, para garantir o escoamento da água precipitada.

FIGURA 6 – MÓDULO DE TELHADO VERDE



FONTE: A autora (2017).

FIGURA 7 – IMPLANTAÇÃO E ELEVAÇÃO DOS MÓDULOS DE TELHADO VERDE



FONTE: A autora (2017).

3.3.3 Concepção dos módulos

Os protótipos foram concebidos para serem executados a partir de uso de madeira, preferencialmente de resíduo de construção civil ou *pallets* descartados (Figura 06). A opção pelo uso de madeira de reuso se dá pela preocupação com a emissão de CO₂ no transporte desse material, bem como pela diminuição do impacto associado ao resíduo, se este fosse descartado em aterro sanitário.

FIGURA 8 – DESMONTAGEM DOS PALLETS



FONTE: A autora (2017).

FIGURA 9 – REMOÇÃO DE PREGOS



FONTE: A autora (2017).

Os módulos foram locados no terreno, apoiados sobre uma estrutura de concreto, composta por pedaços de cano de pvc concretados com argamassa e pedra brita, de maneira a garantir que ficassem nivelados e fora de contato direto com o solo (Figuras 10 e 11).

FIGURA 10 – MONTAGEM E NIVELAÇÃO DOS PÉS



FONTE: A autora (2017).

FIGURA 11 – PÉS SOBRE OS APOIOS



FONTE: A autora (2017).

A madeira utilizada foi o *Pinus ellioti*, mais comumente encontrado nos *pallets*, bem como em resíduos de construção, sendo componente comum para confecção de caixarias. Por ter utilizado madeiras reutilizadas de *pallets* e de resíduo de construção, a primeira etapa para montagem dos protótipos foi transportar as madeiras, e a seguir fazer o desmonte dos *pallets* e limpeza das tábuas oriundas de formas de laje de concreto, as quais precisaram ser limpas, para remoção de resíduos de cimento. As madeiras também tiveram os grampos e pregos removidos, e foram selecionadas as peças em melhor estado para aproveitamento (Figuras 8 e 9). Em seguida, foram cortadas, nas dimensões estabelecidas pelo projeto.

Algumas madeiras continham pequenos furos ou fissuras, sendo isso bem característico de materiais reutilizados, assim, foi necessário observar os posicionamentos e melhores opções de cortes e encaixes.

FIGURA 12 – VEDAÇÃO DAS FRESTAS



FONTE: A autora (2017)

FIGURA 13 – BORRACHA LÍQUIDA APLICADA



FONTE: : A autora (2017)

Depois de montados os módulos, as fissuras que permaneceram foram preenchidas, externamente com uma mistura de serragem da própria madeira e cola para madeira. As fissuras internas (menores) e juntas foram preenchidas com material selante acrílico, de maneira que as caixas ficassem bem seladas e garantisse estanqueidade (Figura 12). Cada módulo duplo, foi montado mantendo uma distância de 5 cm entre as caixas, para garantir que um módulo não exerça influência térmica sobre o outro.

FIGURA 14 – BORRACHA LÍQUIDA UTILIZADA PARA IMPERMEABILIZAÇÃO



FONTE: A autora (2017).

Após a secagem da vedação das frestas, aplicou-se um produto da marca *Impertech*, denominado de borracha líquida, a fim de promover a impermeabilização dos módulos (Figura 13). Após o tempo indicado para secagem foi aplicada uma segunda demão de forma cruzada, conforme instruções do fabricante, aguardando a cura em local seco. Segundo o fabricante, borracha líquida é um nanocompósito formado pela combinação de borracha modificada e silicato de dimensões nanométricas (Figura 14).

Todas as madeiras foram cortadas e unidas através de parafusos e pregos, sendo que as uniões das caixas com os pés foram exclusivamente através de encaixe e parafusos, para permitir o desmonte e remontagem, e facilitar o transporte da oficina até o local do experimento.

Cada uma das caixas tem um tubo de drenagem (cano de PVC 3/4") ligando o fundo da caixa a um galão para captação da água escoada (Figuras 15 e 16).

FIGURA 15 – LIGAÇÃO DO GALÃO AO MÓDULO



FONTE: A autora (2017).

FIGURA 16 - FURAÇÃO DA CAIXA PARA POSTERIOR ENCAIXE DO TUBO DE QUEDA



FONTE: A autora (2017).

3.3.4. Montagem dos módulos

Para esse sistema de telhado verde, optou-se pela montagem com as seguintes camadas: manta antiraízes, camada de drenagem, manta para contenção do substrato, substrato e vegetação.

A primeira camada inferior, composta pela manta antiraízes optou-se por utilizar uma manta laminada e flexível, denominada geomembrana da *Rhinomat Aqua Service*, uma membrana de PEAD - Polietileno de Alta Densidade - que, segundo o fabricante, proporciona alta resistência a agentes químicos e raios ultravioleta, devido a ação do negro de fumo presente na sua composição. Possui ainda resistência a impactos e baixas temperaturas, sendo utilizada comumente em obras de geotecnia, por barrar gases e líquidos (Figura 17).

FIGURA 17 – MÓDULOS COM MEMBRANA PEAD



FONTE: A autora (2017).

Sobre essa camada, normalmente utiliza-se a camada de drenagem, geralmente composta por argila expandida. Nesse caso, utilizou-se um produto comercial chamado de geocomposto drenante (Figura 18). Trata-se de um produto composto por uma manta geotêxtil agregada a uma espécie de malha, formando pequenos canais onde irá ocorrer o escoamento dos fluidos. Optou-se por esse sistema combinado, pois ele permitiria reduzir significativamente a espessura da camada de drenagem, bem como diminuir o peso do conjunto, uma vez que se eliminou a utilização da argila expandida. Além do peso, a argila expandida poderia interferir na qualidade da água escoada, pois a argila altera a coloração da água (SAVI, 2015). A manta geotêxtil. Geotêxteis não-tecidos, são mantas sintéticas permeáveis, resistentes a tração, puncionamento e agentes químicos, utilizada amplamente em diversos setores da construção civil, sendo normalmente aplicadas como filtro em sistemas de drenagem, camada de separação entre materiais de granulometrias diferentes, ou ainda como elemento de proteção mecânica em sistemas de impermeabilização, conforme informa o fabricante. Possuem alta durabilidade e elevada resistência química e térmica, sendo adequadas, portanto, para utilização em sistemas de telhado verde.

FIGURA 18 – A ESQUERDA GEOCOMPOSTO DRENANTE, E A DIREITA MÓDULO COM MEMBRANA PEAD JÁ INSTALADA



FONTE: A autora (2017).

FIGURA 19 – SUBSTRATO COMERCIAL UTILIZADO



FONTE: A autora (2017).

Sobre a camada geotêxtil foi depositado o substrato, nesse caso utilizado um substrato comercial, amplamente comercializado na região, composto de casca de pinus compostada e vermiculita, aditivado com 0,2% de calcário e 0,1% de superfosfato triplo, com densidade de 240 kg/m^3 (Figura 19).

A camada de substrato deve proporcionar uma boa drenagem em épocas de chuvas, além de garantir retenção de água de chuva em períodos de estiagem, afim de assegurar um pleno desenvolvimento das plantas. Para esse estudo, utilizou-se o mesmo substrato em todos os módulos, apenas variando a espessura para os módulos.

Nos módulos de telhado verde as camadas de substrato utilizadas foram de 7cm nos módulos mais baixos, e 15cm nos módulos de maior espessura.

FIGURA 20 – A ESQUERDA DETALHE DA ESPESSURA DO SUBSTRATO, E SUBSTRATO DISTRIBUÍDOS NOS MÓDULOS



FONTE: A autora (2017).

Por fim, sobre a camada de substrato foram plantadas as espécies escolhidas para o experimento.

3.3.5. Escolha das espécies

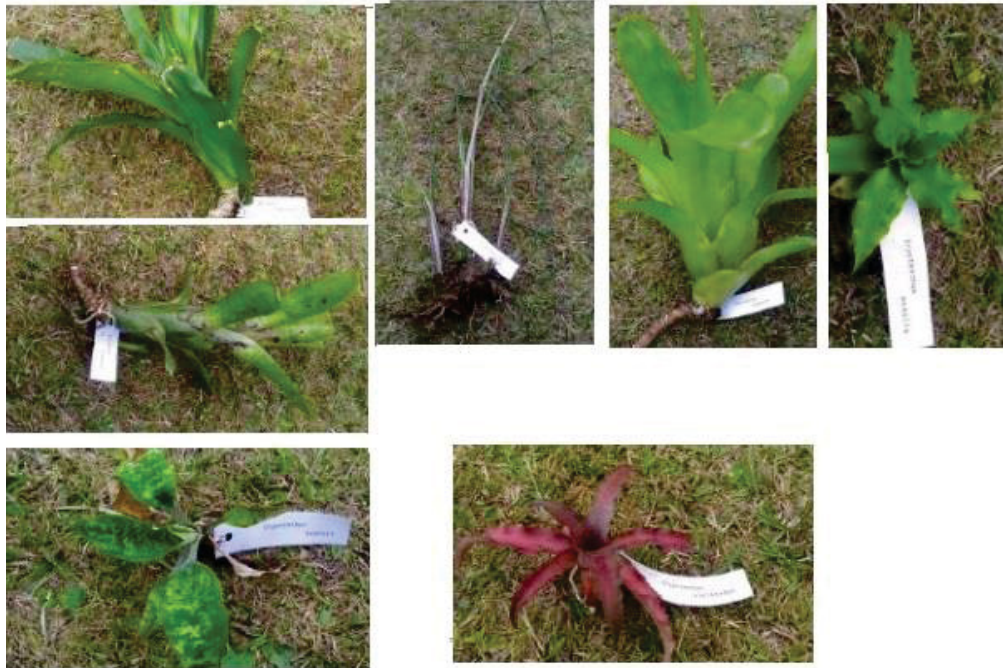
Para escolha das espécies, foi delimitado que deveriam ser nativas do Brasil, resistentes a sol pleno, bem como baixas temperaturas. Características como coloração e densidade também foram consideradas, pois podem influenciar na temperatura da cobertura.

Além das características mencionadas acima, deu-se preferência a plantas perenes, para reduzir a manutenção do sistema. Silva (2016) destaca que a sobrevivência ou viabilidade de telhados verdes tem relação e limitação pela escolha de espécies vegetais, uma vez que o estresse fisiológico é fator decisivo. Silva (2016) relata ainda que plantas epífitas, lisófitas e psimófilas tropicais tem potencial para aplicação em telhados verdes, uma vez que são adaptadas a condições extremas.

Primeiramente optou-se por trabalhar com bromélias, pois são espécies bastante difundidas e cultivadas no Brasil. Segundo Benzing (1990) bromélias são plantas de características ímpares, uma vez que possuem únicas por possuírem tricomas foliares, que as fazem ser capazes de absorver a água e nutrientes diretamente de sua folha (roseta foliar), uma vez que suas raízes são muitas vezes apenas elemento de fixação no substrato, esta característica que pode representar uma independência em relação ao tipo de solo ou substrato onde serão plantadas. (BENZING, 1990).

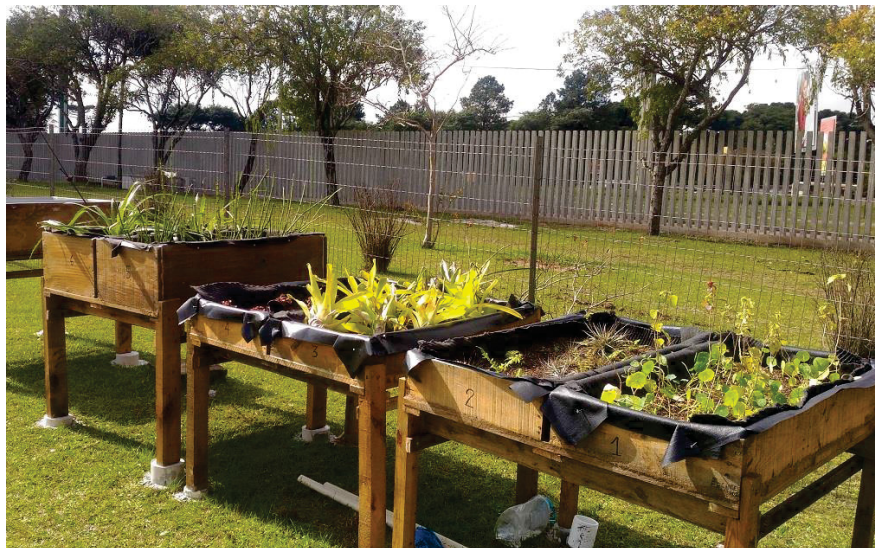
Segundo Anacleto, (2011) O cultivo das bromélias no Brasil foi introduzido na década de setenta e teve boa aceitação como planta ornamental. O Paraná, no ano 2000, ocupou destaque nacional ao se tornar o terceiro maior produtor de bromélias do Brasil, com cerca de 250 mil plantas (IBRAFLOR, 1999; BITTENCOURT et al., 2002; NEGRELLE et al., 2005) Segundo Anacleto (2011) A maior parte das espécies cultivadas no Paraná correspondia a espécies nativas da Floresta Atlântica, com apenas poucas ocorrências de espécies exóticas.

FIGURA 21- BROMÉLIAS SEPARADAS PARA PLANTIO



FONTE: A autora (2017).

FIGURA 22 – MÓDULOS COM O PLANTIO COMPLETO



FONTE: A autora (2017).

Assim, optou-se por utilizar as bromélias em dois módulos, sendo que o módulo 4, utilizou plantas consorciadas de portes variados, e no módulo 6 - de maior espessura - uma única espécie de maior porte, distribuídas conforme tabela abaixo.

FIGURA 23 – MÓDULO COM A ESPÉCIE *BROMELIA BALANSAE*

FONTE: A autora (2017).

FIGURA 24 – MÓDULO EXTENSIVO COM CONSÓRCIO DE BROMÉLIAS



FONTE: A autora (2017).

Por ter disponível poucas espécies nativas adaptadas a pleno sol, ou condições de baixa temperatura, optou-se por utilizar também outras espécies (Tabela 3), o que permitiria a comparação entre o desempenho de espécies diferentes, utilizando uma mesma composição de telhado (substrato e espessura).

TABELA 3- ESPÉCIES UTILIZADAS NO INÍCIO DO EXPERIMENTO

Cultivo	Módulo	Nome comum	Espécie	Origem	Qtde
Extensivo (7cm)	1	Lantana-chorão	<i>Lantana</i>	Sul da América do Sul	15
			<i>sellowiana</i>		
Extensivo (7cm)	2	Capuchinha; Capuchinho, Chagas; Nastúrcio.	<i>Tropaelum majus</i>	Peru e Brasil.	21
			<i>Thelypteris dentata</i>		
Extensivo (7cm)	3	Samambaia rabo de gato, samambaia louca, samambaia-do-mato	<i>Tillandsia stricta</i>	Brasil	16
			<i>Cryptanthus acaulis</i>		
Extensivo (7cm)	3	Bromélia-cryptanthus	<i>Cryptanthus beuckeri</i>	Brasil e América do Sul	2
			<i>Cryptanthus bivittatus</i>		
Extensivo (7cm)	3	Estrela da terra	<i>Pitcairnia flammea</i>	Brasil	2
			<i>Nidularium innocentii</i>		
Extensivo (7cm)	3	Pitcairnia	<i>Neoregelia compacta</i>	Brasil e América do Sul	6
			<i>Aechmea nudicaulis</i>		
Extensivo (7cm)	4	Periquito, periquitinho vermelho	<i>Alternantera ficoidea</i>	Brasil	15
			<i>Equisetum giganteum</i>		
Extensivo (15cm)	5	Cavalinha-gigante	<i>bromelia</i>	Brasil e América do Sul	23
Extensivo (15cm)	6	bananinha-do-mato, caraguatá, gravatá	<i>balansae</i>	do Sul	2

FONTE: A autora (2017).

As espécies utilizadas no módulo 3, foram plantadas em sistema de consórcio, onde foram plantadas 18 plantas, de 7 tipos diferentes, sendo descritas a seguir.

FIGURA 25 – DA ESQUERDA PARA A DIREITA, *CRYPTANTHUS ACAULIS*, *C. BEUCKERI* E *C. BIVITTATUS*



FONTE: Google (2017)

Cryptanthus acaulis (2 unidades), conhecida popularmente como Bromélia-cryptanthus, pertence à família Bromeliaceae, tem ciclo de vida perene e é originária da América Central e do Sul. Com folhas em formato de estrela, tem porte pequeno, de menos de 10cm de altura. Prefere luminosidade a sombra ou meia sombra, evitando pleno sol. Gosta de solo úmido, e de clima quente e úmido. É uma planta rústica e de fácil cultivo, preferindo solo rico em matéria orgânica (Forzza et al. 2010).

Cryptanthus beuckeri (2 unidades), da família Bromeliaceae, é endêmica do Brasil, ocorrendo exclusivamente nos estados do Espírito Santo e Bahia (Forzza et al. 2010). É uma espécie vulnerável e com considerável risco de extinção.

Cryptanthus bivittatus (2 unidades), nativa e endêmica do Brasil, encontrada em áreas de Floresta Atlântica e Floresta ombrófila (Forzza et al. 2010).

Pitcairnia flammea (2 unidades), da família Bromeliaceae, possui forma de vida de erva, é nativa e endêmica do Brasil, encontrada em áreas de cerrado, Mata Atlântica e Floresta ombrófila, tendo ocorrências no Nordeste, Sudeste e Sul do Brasil. (Forzza et al. 2010).

FIGURA 26 – *PITCAIRNIA FLAMMEA*

FONTE: Reflora (2017).

Nidularium innocentii (2 unidades), planta de substrato Epífita, Rupícola ou Terrícola, é nativa e endêmica do Brasil, encontrada em áreas de cerrado, Mata Atlântica e Floresta ombrófila, tendo ocorrências no Nordeste, Sudeste e Sul do Brasil. (Forzza et al. 2010).

FIGURA 27 – *NIDULARIUM INNOCENTII*

FONTE: Google (2017).

Neoregelia compacta (6 unidades), planta de substrato Epífita, é nativa e endêmica do Brasil, encontrada em áreas de Mata Atlântica e Floresta ombrófila, tendo ocorrências no Sudeste (Forzza et al. 2010).

FIGURA 28 – *NEOREGELIA COMPACTA*

FONTE: Lorenzi, 2013.

Aechmea nudicaulis, tem forma de erva, planta de substrato Epífita e Rupícula, nativa e endêmica do Brasil, encontrada em áreas de cerrado e Mata Atlântica , tendo ocorrências no Nordeste, Sudeste e Sul do Brasil. (Forzza et al. 2010).

FIGURA 29 – *AECHMEA NUDICAULIS*

FONTE: Google (2017)

A escolha das espécies de bromélias considerou a possibilidade de aquisição das espécies, que teriam que vir de um produtor, além de terem características de resistência à exposição solar direta, e serem nativas do Brasil. Assim, as 8 espécies utilizadas nos dois módulos, foram indicadas pelo agrônomo do orquidário onde foram adquiridas, como sendo as mais indicadas.

Para o módulo 6, a espécie utilizada foi a *Bromelia balansae*, que diferente da maioria das outras é de substrato terrícola, é nativa mas não endêmica do Brasil, com registro de ocorrências no Norte, Centro-oeste, Sudeste e Sul do país, ocorrendo na Amazônia, Cerrado, Mata Atlântica e Pantanal. Devido ao grande porte, foram utilizadas apenas duas plantas no módulo do telhado. Pelo seu porte maior, verificou-se que teria melhor ancoragem e desenvolvimento em um cultivo intensivo, com mais substrato.

FIGURA 30– BROMELIA BALANSAE



FONTE: Google (2017).

Para os módulos de menor espessura de substrato, as espécies utilizadas foram no módulo 1 a Lantana-pendente (*Lantana sellowiana*), consorciada à Capuchinha (*Tropaeolum majus*), no módulo 2 a Samambaia rabo-de-gato ou Samambaia louca (*Thelypteris dentata*), em consórcio com a Tilandsia (*Tillandsia stricta*), e o módulo 4 com a periquitinho vermelho (*Alternanthera ficoidea*) plantada isoladamente.

O objetivo do plantio consorciado, foi de que as plantas poderiam não só coexistir em um mesmo espaço, mas que essa convivência pudesse trazer benefícios para ambas. Assim, no caso da caixa 1, a lantana é uma espécie de porte mais alto, que produz menos sombreamento e cobertura para o módulo, dessa forma a Capuchinha, sendo mais rasteira e com cobertura mais fechada

cobriria o solo. Da mesma maneira com as bromélias, onde foram consorciadas espécies menores, para viverem sombreadas pelas maiores.

O módulo quatro, optou-se pelo plantio isolado, porque o periquitinho vermelho é uma forração muito utilizada e tem boa cobertura do solo, o que garantiria a cobertura e sombreamento do módulo.

A *Lantana sellowiana*, (lantana-chorão ou lantana-pendente), nativa do sul da América do Sul. Semi-herbácea, produz um arbusto perene de ramos finos e flexíveis, chegando a atingir entre 0,50m e 1,00m de altura. Tem densa inflorescência, com flores pequenas formadas no inverno e verão. Pode ser cultivada como planta isolada, ou em grupos formando maciços. Também indicada para vasos e jardineiras. Aprecia clima frio (Lorenzi, 2001)

FIGURA 31 – *LANTANA SELLOWIANA*



FONTE: Lorenzi (2001).

Ainda no primeiro módulo, juntou-se à lantana a popularmente conhecida capuchinha, *Tropaeolum majus*, da família *Tropaeolaceae*, Trata-se de uma planta herbácea que pode ser usada como forração, mas também muito utilizada na gastronomia, tendo flores comestíveis. A espécie é de cultivo anual, de pequeno porte e cultivo por sementes ou divisão de touceiras.

FIGURA 32 – *TROPAEOLUM MAJUS* - CAPUCHINHA

FONTE: Lorenzi (2013).

No módulo 2 a Samambaia rabo-de-gato ou Samambaia louca (*Thelypteris dentata*), da família *Thelypteridaceae*, nativa, erva terrestre, com até 70 cm de altura seu habitat são as áreas iluminadas de florestas secundárias, beira de estradas, jardins, pastagens terrenos baldios e beira de caminhos. Ocorre no Cerrado, Pantanal e Mata Atlântica, tida como praga por infestar lavouras e pastagens (FLORA SBS, 2017).

FIGURA 33 – *THELYPTERIS DENTATA*

FONTE: FLORASBS (2017).

Juntamente com samambaia louca, no módulo 2, foram dispostos indivíduos de *Tillandsia stricta*, da família Bromeliaceae, planta nativa do Brasil, epífita e

rupícola, comumente encontra acoplada a troncos de árvores, de domínio da Caatinga, Cerrado, Mata Atlântica, Pampa, e com ocorrência no Nordeste, centro-Oeste, Sudeste e Sul (Forzza et al. 2010).

FIGURA 34 – *TILLANDSIA STRICTA*



FONTE: Google (2017).

No módulo 4 foram plantadas 15 mudas de periquitinho vermelho, *Alternanthera ficoidea*, planta nativa do Brasil, perene, arbustiva e de cultivo a pleno sol. Muito utilizada para forração e paisagismo.

FIGURA 35 – *ALTERNANTERA FICOIDEA* - Periquitinho



FONTE: Lorenzi (2013)

Por último, no módulo 5, de cultivo intensivo, a espécie escolhida foi a cavalinha gigante, *Equisetum giganteum*, da família Equisetaceae, é nativa do

Brasil. A cavalinha é um tipo de samambaia, perene, que pode crescer de 1,5 a 2,0 m de altura. Seu formato peculiar é o seu grande atrativo. Aparentada com a família das avencas e samambaias, não produz flores, e sim pequenos cones contendo esporos. Existem diversas espécies, sendo a brasileira originária de regiões pantanosas. Cresce tipicamente em touceiras, e também é considerada daninha. A Cavalinha cresce em diversas temperaturas, e é tolerante a baixas temperaturas. Nativa de brejos é indicada para cultivo em locais úmidos, como beira de tanques e lagos, ou em canteiros a pleno sol, contidos por estruturas de alvenaria para evitar que invada a área vizinha como uma planta invasora, tal é o seu vigor (TESKE, 1997).

FIGURA 36 – *EQUISETUM GIGANTEUM*



FONTE: Lorenzi (2013).

3.3.6. Sistema de coleta de dados de temperatura

Os dados de temperaturas superficiais foram coletados através de termopares (tipo K) os quais foram conectados a registradores de dados (*data loggers*) do tipo TD890 (Figura 37).

Foi analisada a temperatura superficial do substrato e também as temperaturas inferiores, ou seja, debaixo do protótipo, onde o termopar foi fixado com uma massa específica – pasta térmica - para que não houvesse interferência de radiação ou outro efeito que pudesse alterar a temperatura captada.

As informações coletadas pelo *datalogger* foram transferidas a um computador através do software fornecido pela fabricante, e posteriormente os dados foram analisados e convertidos em gráficos, considerando os intervalos de medição.

Foram realizadas de 5 sessões de medição, aqui denominados de eventos, com duração mínima de 24h e máxima de 96h, onde foram verificadas as temperaturas e suas variações, entre os meses de dezembro de 2017 a fevereiro de 2018.

FIGURA 37 – DATALOGGER TD-890



FONTE: A autora (2017).

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 DESENVOLVIMENTO DAS ESPÉCIES

O acompanhamento do crescimento e desenvolvimento das espécies utilizadas no experimento, a fim de verificar sua capacidade de desenvolvimento e adaptação às condições climáticas de Curitiba, tendo sido realizada por registro fotográfico, desde o plantio em maio de 2017 até fevereiro de 2018.

As fotografias mensais – por vezes quinzenais – estão disponíveis no quadro 5 a seguir.

Após cerca de 3 meses depois do plantio das primeiras mudas nos módulos do experimento, resultados preliminares já puderam ser observados.

As mudanças climáticas ocorridas neste curto período de tempo foram severas, e seus resultados podem ser facilmente notados, ainda que por simples observação visual.

Larcher (2000) diz que as plantas, em qualquer lugar que cresçam, estarão sujeitas às condições de estresse, condições essas que irão limitar sua capacidade de desenvolvimento e suas chances de sobrevivência. As várias condições desfavoráveis, que podem não ser letais, e ocorrem esporádica ou permanentemente em um local são chamadas de “estresse”. O estresse é um desvio significativo das condições ótimas para a vida, e leva a mudanças em todos os níveis funcionais dos organismos, geralmente são reversíveis no início, no entanto podem se tornar permanentes. Uma condição de estresse diminui a vitalidade da planta, a qual torna-se cada vez menor de acordo com o tempo de duração do estresse. LARCHER, 2000.





























































No experimento em estudo, assim como ocorre em telhados verdes de fato, as plantas estão sujeitas à uma variedade de condições de estresse em potencial, tais como: radiação, temperatura, seca, deficiência de oxigênio no solo, poluentes, entre outros.

No decorrer do experimento foram observados dois fatores como sendo os principais geradores de estresse nas espécies do experimento: temperatura e precipitação.

No mês de maio, logo após o plantio, as temperaturas variaram de 9,7°C (mínima) a 28,2°C (máxima), segundo dados do INMET/SIMEPAR, e alta temperatura aliada à radiação direta ocasionou danos em algumas plantas, notadamente em bromélias (Quadro 5). As bromélias no módulo em consórcio sofreram tanto pelo excesso de exposição solar, quanto pela estiagem e baixas temperaturas.

Entre as bromélias a *balansae* (módulo 6) e *Aechmea nudicaulis* (módulo 3) foram que mais se mostraram resistentes durante o período observado fig.35.

QUADRO 5 – ACOMPANHAMENTO DA VEGETAÇÃO DURANTE O EXPERIMENTO

DATA	MÓDULO 1 - <i>Lantana sellowiana</i> e <i>Tropaelum majusa</i>	MÓDULO 2 1ª fase: <i>Thelypteris dentata</i> e <i>Tillandsia stricta</i> 2ª fase: <i>Arachis repens</i>	MÓDULO 3 1ª fase: <i>Cryptanthus acaulis</i> , <i>C. beuckeri</i> e <i>C. bivittatus</i> 2ª fase: <i>Pitcairnia flammea</i> ; <i>Neoregelia compacta</i> ; <i>Aechmea nudicaulis</i> .	MÓDULO 4 1ª fase: <i>Alternantera ficoidea</i> 2ª fase: <i>Dianthus barbatus</i> 3ª fase: <i>Axonopus compressus</i> ;	MÓDULO 5 - <i>Equisetum giganteum</i> .	MÓDULO 6 - <i>Bromelia balansae</i>
20-05-17						
20-06-17						
04-07-17						
15-08-17						
12-09-17						
23-10-17						
14-11-17						
04-12-18						
07-01-18						
19-02-18						

FONTE: A autora (2018).

FIGURA 38. MÓDULO 3 COM AS BROMÉLIAS EM CONSÓRCIO



FONTE: A autora (2017).

O módulo 3 com o consórcio de bromélias apresentou resultados diversificado entre as espécies. Inicialmente foram plantados 18 indivíduos, distribuídos em sete espécies, sendo elas descritas na tabela a seguir.

TABELA 4 -. BROMÉLIAS INICIALMENTE PLANTADAS EM CONSÓRCIO NO MÓDULO 3

Nome comum	Espécie	quantidade
Bromélia-cryptanthus	<i>Cryptanthus acaulis</i>	2
<i>Cryptanthus</i>	<i>Cryptanthus beuckeri</i>	2
Estrela da terra	<i>Cryptanthus bivittatus</i>	2
Pitcaimia	<i>Pitcairnia flammea</i>	2
Nidularium	<i>Nidularium innocentii</i>	2
Neoregelia, Ninho-de-passarinho	<i>Neoregelia compacta</i>	6
bromélia	<i>Aechmea nudicaulis</i>	2

FONTE: A autora (2017)

O frio intenso, bem como período de estiagem longo e por vezes excesso de exposição solar são fatores que em conjunto – não se pode precisar – provavelmente ocasionaram a morte de 4 das 7 espécies, sendo elas as três *Cryptanthus acaulis*, *C. beuckeri* e *C. bivittatus*, além da *Nidularium innocentii*.

Das espécies sobreviventes, observou-se que a *Neoregelia compacta* sofreu em períodos de sol forte. No entanto observou-se uma capacidade de resistência e rebrotamento (reprodução clonal) de espécimes, até a observação final em fevereiro as seis amostras permaneciam vivas. A *Pitcairnia flammea* tolerou todos os períodos do experimento, mas mostrou-se mais frágil e amarelada no período de estiagem,

tendo se recuperado após o início das chuvas em outubro, os dois espécimes permaneceram vivos. A espécie de bromélias que melhor se adaptou neste módulo foi a *Aechmea nudicaulis*, então foram adquiridas mais quatro unidades para fazer um plantio de reposição no módulo, de modo a não deixar o substrato exposto para a realização das medições.

Larcher (2000) diz que as plantas possuem um aparato fotossintético que é capaz de ter ótima eficiência em relação a utilização e absorção de luz visível, entretanto, a radiação muito forte acaba por introduzir uma quantidade de energia fotoquímica nas folhas, que supera a capacidade da planta em utilizar essa energia para a fotossíntese, o que sobrecarrega a planta, e pode destruir os pigmentos fotossintéticos, ocasionando a *photodestruição*, o que reduz a capacidade fotossintética da planta.

Com o início do inverno, as baixas temperaturas também produziram um grau de estresse, notadamente maior em algumas espécies, como o *periquitinho* (*Alternanthera ficoidea*) e a *capuchinha* (*Tropaeolum majus*), que foram “queimados” pelo frio extremo figura 37. Além do intenso verificado no mês de julho, também observou-se um período de estiagem, a chuva acumulada em todo o mês de julho foi de apenas 5,6mm, sendo que esse volume foi o registrado em 9 dias do mês, no restante não houve registro de precipitação, chegando a haver um período de 15 dias consecutivos (19/07 a 02/08) sem precipitação registrada - de . Tal estiagem, juntamente com as baixas temperaturas provocaram danos sérios ao módulo com as *tillandsias* e samambaias.

FIGURA 39. MÓDULO COM AS CAPUCHINHAS



FONTE: Autora (2017)

No mês de julho a menor temperatura segundo dados disponíveis no site do INMET foi de 4,3°C em 18/07, no entanto as temperaturas divulgadas a época registraram temperatura mínima de 2,4° C. Em Curitiba, no dia 10/07, cabe destacar que o INMET, no dia 10/07 tem registros de sua estação automática apenas a 1h da madrugada (6°) e as 13h (7,6°) deixando um intervalo de 12h sem registro de temperaturas.

No módulo 1, observa-se que as espécies consorciadas – capuchinha e lantana – apesar de todo o estresse sofrido, notadamente o causado pela escassez hídrica, apesar de terem tido um pleno desenvolvimento, não chegando a recobrir ou sombrear todo o substrato do módulo, demonstraram ser espécies resistentes para esse tipo de utilização. A capuchinha, apesar da morte de vários indivíduos, cerca de seis sobreviveram, entretanto não apresentaram desenvolvimento, e mantiveram um tamanho diminuto, próximo de plantas em estágio inicial de mudas, não desenvolvendo grandes folhagens, como é de sua característica. Apesar disso, foi observada uma tímida floração em dois indivíduos.

Já a lantana manteve boa parte de seus indivíduos vivos, observou-se que apenas 3 das mudas morreram. Diferente da capuchinha, não chegaram a desaparecer em nenhum período, apesar de ter apresentado perda expressiva de folhas no mês de julho, e um crescimento contido nos meses de agosto ao início de outubro (período de estiagem). Após o início das chuvas suas folhas começaram a brotar e também produziram flores, ainda que não tenham se desenvolvido em formas mais arbustivas, como é comum, talvez devido ao pouco substrato, tipo de substrato, ou ainda pouca capacidade de armazenamento de água do sistema.

FIGURA 40. MÓDULO 4 COM OS PERIQUITINHOS



20/06/2017

24/07/2017

FONTE: A autora (2017)

A espécie *Alternanthera ficoidea*, não tolerou o período de frio do inverno, tendo sido substituída pela espécie cravina (*Dianthus barbatus*) figura 41. A princípio as mudas foram doadas como sendo de uma subespécie de variedade brasileira, o que não foi confirmado. Dessa forma as mudas teriam de ser substituídas, por estarem fora do da restrição de uso deste experimento – nativas do Brasil. No entanto, elas não toleram o período de estiagem e baixas temperaturas entre julho e agosto e acabaram por morrer antes de sua substituição.

FIGURA 41. MÓDULO 4 COM AS CRAVÍNEAS



FONTE: A autora (2017)

Optou-se pelo plantio de uma planta mais comumente utilizada em telhados verdes e paisagismo em geral, a grama São Carlos, ou grama Curitibana (*Axonopus compressus*). Planta herbácea, rasteira e nativa do Sul do Brasil, produz um tapete uniforme e bem espesso e segundo Lorenzi (2013) resistente ao frio. Optou-se por esta espécie também pela farta disponibilidade de mudas, as quais são comercializadas em placas de de 0,25m² no geral, e com custo acessível.

FIGURA 42. MÓDULO 4 COM A GRAMA SÃO CARLOS



FONTE: A autora (2018)

O estresse causado pela seca também foi um fator considerável, tendo em vista que o mês de julho foi extremamente seco, com precipitação de apenas 5,6 mm acumulados ao longo de todo o mês, muito abaixo dos valores históricos (Tabela 2). Em todo o mês de julho foram registrados dados de precipitação em apenas 9 dias do mês, e uma estiagem de 15 dias consecutivos entre julho e agosto.

Somente no primeiro dia de chuva em agosto (03/08) a precipitação registrada foi de 8mm maior do que todo o mês de julho. Agosto novamente foi um mês bem seco, onde apesar de se ter uma precipitação acumulada para o mês de 96,8mm, foi registrada precipitação em apenas 10 dias durante todo o mês, gerando períodos de seca. Em setembro, a estiagem persiste, tendo um total de precipitação ainda menor de cerca de 43,4mm em todo o mês, e apresentando uma estiagem de 37 dias contínuos, iniciada em 23/08 e perdurando até 28/09.

Todas as plantas sofreram o estresse pela escassez de chuva, até mesmo as cavalinhas, que haviam se mostrado bem tolerantes às variações de temperatura, sofreram um pouco com a longa estiagem (Figura 43).

FIGURA 43. MÓDULO COM AS CAVALINHAS



FONTE: A autora (2017)

No módulo dois, as *tillandsias*, geralmente bem resistentes, também não toleraram esse período, bem como as samambaias (Figura 44).

FIGURA 44. MÓDULO COM AS *TILLANDSIAS* E SAMAMBAIAS

FONTE: A autora (2017).

Dessa forma, as plantas do módulo dois foram substituídas por mudas de grama-amendoim, *Arachis repens*. Lorenzi (2013) afirma que são plantas perenes, herbáceas, com 10 a 20 cm de altura, nativas do Brasil, e indicadas para cultivo a pleno sol, não sendo muito tolerantes à geada. Apesar de alguns autores destacarem a intolerância desta espécie a geadas, pela cidade de Curitiba observa-se vasta utilização desta grama como forração de canteiros e jardins ornamentais, tendo sido observada sua ocorrência e tolerância em todas as estações do ano.

FIGURA 45. MÓDULO 2 COM A ESPÉCIE *ARACHIS REPENS*

novembro 2017

FONTE: A autora (2017).

No módulo 6, as duas bromélias *balansae* suportaram bem todo o período do experimento, tendo suas folhas apresentado pequena amarelção nos períodos de estiagem ocorridos, mas a planta manteve-se viva e saudável.

FIGURA 46 MÓDULO COM AS BROMÉLIAS *BALANSAE*



FONTE: A autora (2018).

Considerando que houveram alterações das espécies inicialmente plantadas nos módulos, face as características de resistência aos eventos climáticos, elaborou-se uma nova tabela de espécies (Tabela 5), onde constam as plantas utilizadas nos módulos. Estas foram as espécies utilizadas em todos os eventos de acompanhamento e medição até o final do experimento.

TABELA 5. ESPECIES UTILIZADAS NAS MEDIÇÕES

Cultivo	Módulo		Nome comum	Espécie	Origem	qtde
Extensivo (7cm)	1	consorciadas	Lantana-chorão	<i>Lantana sellowiana</i>	Sul da América do Sul	13
			Capuchinha; Capuchinho, Chagas; Nastúrcio.	<i>Tropaelum majus</i>	Peru e Brasil.	6
Extensivo (7cm)	2		Grama amendoim	<i>Arachis repens</i>	Brasil	15
Extensivo (7cm)	3	consorciadas	Pitcaimia	<i>Pitcaimia flamma</i>	Brasil	2
			Neoregelia, Ninho-de-passarinho	<i>Neoregelia compacta</i>	Brasil e América do Sul	6
			bromélia	<i>Aechmea nudicaulis</i>	Brasil	6
Extensivo (7cm)	4		Grama são carlos	<i>Axonopus Compressus</i>	Brasil	0,5m ²
Extensivo (15cm)	5		Cavalinha-gigante	<i>Equisetum giganteum</i>	Brasil	25
Extensivo (15cm)	6		bananinha-do-mato, caraguatá, gravatá	<i>bromelia balansae</i>	Brasil e América do Sul	2

FONTE: A autora (2018).

4.2 RETENÇÃO E ESCOAMENTO DE PRECIPITAÇÃO

As medições de retenção e escoamento de águas pluviais, ou mais especificamente de precipitação – já que os dados de referência do INMET levam em consideração a precipitação, ou seja, incluem granizo, chuva, orvalho, neve e etc. – foram realizadas entre novembro de 2017 a fevereiro de 2018, tendo sido registrados 18 eventos, cujos valores foram agrupados em tabelas. Destes eventos registrados alguns foram desconsiderados para as análises a seguir, devido ao transbordo dos módulos no período de leitura.

Para armazenamento da água precipitada foram utilizados 6 galões de PET, do tipo utilizado para o envase de água mineral, tendo sido utilizados galões reutilizados. Cada galão armazena 20 litros de água por módulo de 1m x 0,5m, ou 0,5m². Para comparação utilizamos os dados da estação convencional do INMET, já que as leituras desta eram realizadas diariamente, ao meio dia, registrando o período das últimas 24h de precipitação. Buscou-se realizar as leituras dos galões sempre no intervalo entre 12h e 13h, para que pudesse ser feita a comparação com os dados do INMET.

TABELA 6 - . COMPARATIVO ENTRE DADOS DE PRECIPITAÇÃO

	abril	maio	jun	jul	ago	set	out	nov	dez	jan	fev
Média últimos 10 anos	11,7	95,3	141	121	90,7	116,4	175,4	129	169,8	223,0	183,3
Registros INMET 2017/18	73,6	104,4	182,4	5,6	96,8	43,4	230,8	134,2	171,8	371,9	96,8
Normal climatológica	94,8	101	116	98,8	73,4	119,2	133,3	126,9	152,3	171,8	157,6

FONTE: A autora 2018 adaptado de INMET (2017) e SAVI (2015)

De acordo com os dados na tabela 6, durante o período do experimento tivemos dados de precipitação diferentes em relação às médias históricas, com longos períodos de estiagem, bem como dias cujo volume de precipitação foi superior aos valores médios.

Na tabela 7 foram compilados os dados de condições climáticas em 11 eventos de chuva registrados entre novembro de 2017 a fevereiro de 2018, nos quais foram realizadas medições de retenção e escoamento de precipitação.

TABELA 7.- DADOS DO INMET NOS EVENTOS DE PRECIPITAÇÃO MEDIDOS

evento	data	Precipitação (mm)	Temp. Máxima (°C)	Temp. Mínima (°C)	Insolação (horas)	Umidade Rel. Média (%)
1	05/nov	13,0	17,9	14,8	0,0	87,0
5	22/nov	10,2	22,9	16,8	3,8	86,5
6	26/nov	14,2	27,0	17,5	9,4	77,8
7	07/dez	7,2	25,8	16,8	3,4	82,3
8	12/dez	0,2	18,3	14,5	0,0	88,0
11	17/jan	40,6	26,9	19,4	0,9	90,0
14	23/jan	7,4	30,4	19,3	9,6	76,0
15	24/jan	20,6	30,6	19,1	8,5	78,0
16	26/jan	2,4	21,0	17,7	0,0	88,0
17	29/jan	38,7	26,7	19,6	0,4	92,0
18	08/fev	15,1	29,0	17,6	9,0	86,0

FONTE: A autora (2018), com dados de INMET (2017)

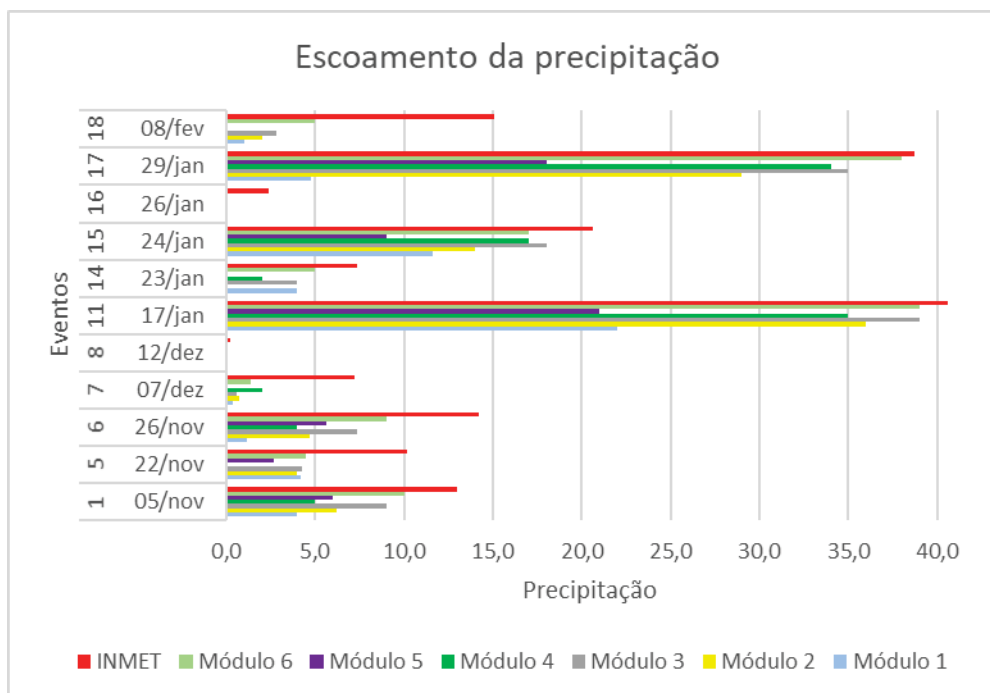
TABELA 8 - . RETENÇÃO DE PRECIPITAÇÃO NOS MÓDULOS

Evento	data	Unidade	Módulo 1	Módulo 2	Módulo 3	Módulo 4	Módulo 5	Módulo 6	INMET
1	05/nov	mm	9,0	6,8	4,0	8,0	7,0	3,0	13,0
5	22/nov	mm	6,0	6,2	5,9	10,2	7,5	5,7	10,2
6	26/nov	mm	13,0	9,5	6,8	10,2	8,6	5,2	14,2
7	07/dez	mm	6,8	6,5	6,6	5,2	7,2	5,8	7,2
8	12/dez	mm	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
11	17/jan	mm	18,6	4,6	1,6	5,6	19,6	1,6	40,6
14	23/jan	mm	3,4	7,4	3,4	5,4	7,4	2,4	7,4
15	24/jan	mm	9,0	6,6	2,6	3,6	11,6	3,6	20,6
16	26/jan	mm	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4
17	29/jan	mm	33,9	9,7	3,7	4,7	20,7	0,7	38,7
18	08/fev	mm	14,1	13,1	12,3	15,1	15,1	10,1	15,1
		Total	116,4	73,0	49,5	70,6	107,3	40,7	169,6
		% Médio de retenção	68,6%	43,0%	29,2%	41,6%	63,3%	24,0%	-----

FONTE: A autora (2018)

Na tabela 8 observa-se o desempenho dos módulos de telhados verdes quanto à capacidade de retenção de água de chuva (precipitação). Destaca-se que apesar de ter havido troca ou substituição das espécies (módulo 2 e 4), as medições de precipitação e temperatura foram realizadas à partir de novembro de 2017, com as espécies que permaneceram até o final do experimento, conforme tabela 5.

FIGURA 47 – GRÁFICO DE ESCOAMENTO DE PRECIPITAÇÃO NOS MÓDULOS



FONTE: A autora (2018)

De acordo com a tabela 8, o módulo que apresentou maior valor médio de retenção de água foi o módulo 1, com as espécies em consórcio (Lantana e Capuchinha), obtendo uma retenção média de 68,6% em relação ao valor precipitado medido pelo INMET, logo a seguir vem o módulo 5 com pouco mais de 63% de retenção – maior espessura – com a espécie Cavalinha gigante. O módulo 2 e o módulo 4 apresentam desempenho próximos, com médias de 43% e 41,6% respectivamente. As menores capacidades de retenção foram observadas no módulo 3 (29,2%) e por fim o módulo 6 com apenas 24% de retenção de precipitação.

A partir do gráfico da figura 47 é observa-se que nos eventos cuja precipitação teve valor baixo (eventos 8 e 16) todos os módulos tiveram escoamento zero, ou seja 100% da água precipitada foi absorvida.

Com relação ao módulo 1, que apresentou maior capacidade de retenção de água, esse valor pode estar relacionado também, não só a características das espécies, mas quanto ao fato de não terem desenvolvimento capaz de recobrir todo o substrato, tendo deixado uma boa parte do solo sem cobertura ou sombreamento.

Como resultado disso, a água que não foi escoada pode ter sido evaporada, ou ainda os resultados podem representar a influência de fatores como evapotranspiração, radiação ou insolação e efeitos do vento, no entanto o este estudo não contemplou mecanismos para aferição desses fatores no resultado.

TABELA 9 -. ESPÉCIES UTILIZADAS EM CADA MÓDULO

	Módulo 1	Módulo 2	Módulo 3	Módulo 4	Módulo 5	Módulo 6
Espécie(s)	Lantana e Capuchinha	Gramma Amendoim	Bromélias Pitcairnia, Neoregelia e Aechmea	Gramma São Carlos	Cavalinha gigante	Bromélia Caraguatá

FONTE: Autora (2018)

Todos os módulos apresentaram variação de retenção de precipitação entre 100% nos dias 12 de Dezembro, onde a precipitação medida foi de 0,2mm e 26 de Janeiro, com precipitação medida de 2,4mm, sendo que o pior desempenho no quesito capacidade de retenção é sempre verificado no módulo 6, e o melhor desempenho no módulo 1, que apresentou percentuais de retenção superiores a 80% em 6 dos 11 eventos computados.

4.3 DESEMPENHO TÉRMICO

Um das premissas desta pesquisa era verificar o desempenho dos telhados verdes na cidade de Curitiba. Além disso, verificar se a utilização de espécies nativas variadas e diferentes alturas de substrato teriam influência no desempenho térmico de telhados verdes.

As análises das temperaturas foram realizadas em datas distintas, cujo período de intervalo denominamos de evento, entre os meses de dezembro de 2017 a fevereiro de 2018.

Cada um dos cinco eventos teve um intervalo de duração média de 48h, onde foram aferidas as temperaturas superficiais superiores e inferiores de cada um dos módulos. Na tabela a seguir listamos as condições climáticas em cada um dos cinco eventos.

TABELA 10- . CONDIÇÕES CLIMÁTICAS NOS EVENTOS MEDIDOS

	Data	Precipitação	Temp, Máxima (°C)	Temp, Mínima (°C)	Insolação (horas)	Umidade rel, média (%)
evento 1	19/12/2017	0,0	26,3	17,6	2,6	84,0
	20/12/2017	0,2	26,3	18,8	0,0	87,0
evento 2	26/01/2018	2,4	21	17,7	0,0	87,0
	27/01/2018	1,1	22,1	15,6	1,0	84,0
	28/01/2018	0,2	28,1	17,4	6,1	83,0
	29/01/2018	38,7	26,7	19,6	0,4	92,0
evento 3	02/02/2018	0,2	27,2	16,0	6,2	85,0
	03/02/2018	0,0	26,4	13,8	11,6	70,0
	04/02/2018	2,1	24,2	16,2	4,8	86,0
	05/02/2018	0,5	25,4	15,6	4,3	92,0
evento 4	06/02/2018	0,3	26,4	14,5	10,4	79,0
	07/02/2018	0,0	27,6	15,7	7,2	82,0
	08/02/2018	15,1	29,0	17,6	9,0	86,0
evento 5	16/02/2018	0,0	20,2	15,1	0,1	86,0
	17/02/2018	0,4	23,7	15,2	0,5	89,0
	18/02/2018	0,0	24,0	17,2	0,2	83,0
	19/02/2018	0,0	25,3	18,3	0,6	85,0

FONTE: A autora, com dados do INMET (2018)

A análise das temperaturas superficiais foi realizada à partir da utilização de termopares tipo K, posicionados nas superfícies superiores e inferiores de cada módulo (Figura 49). Os termopares inferiores foram fixados à superfície de baixo de cada um dos módulos com fita adesiva, e as pontas dos sensores foram seladas com uma pasta térmica (Figura 49) a fim de garantir que não houvesse interferência de radiação sobre a temperatura da superfície. Como valor de parâmetro e comparação, foram utilizados os valores de temperatura registrados pela estação automática do INMET, que afere os valores de temperatura do ar de hora em hora.

FIGURA 48 TERMOPAR NA SUPERFÍCIE DO MÓDULO



FONTE: A autora (2018)

FIGURA 50 TERMÔMETRO INSTALADO NA GAIOLA SOB UM MÓDULO



FONTE: A autora (2018)

FIGURA 49 TERMOPAR NA SUPERFÍCIE INFERIOR



FONTE: A autora (2018)

FIGURA 51 PASTA TÉRMICA UTILIZADA



FONTE: A autora (2018)

4.3.1 Condições climáticas nos eventos de medição de temperatura

4.3.1.1 Evento 01 – de 19 de dezembro a 20 de dezembro de 2017

Após os testes iniciais dos termômetros realiza-se a primeira medição realizada durante um período de 30 horas.

O evento 01 incluiu as temperaturas registradas entre as 13h do dia 19/12/2017 até as 19h do dia 20/12/2017. Neste período a insolação registrada pelo INMET foi de 2,6h para o dia 19/12, e 0h no dia 20/12, o que implicou em baixa amplitude térmica em função da baixa radiação solar.

TABELA 11 – CONDIÇÕES CLIMÁTICAS NO PERÍODO DO EVENTO 01

Data	Umidade (%)	Insolação (h)	Temperatura Máx, (°C)	Temperatura Min, (°C)	Precipitação (mm)
19/12/2017	84,0	2,6	26,3	17,6	0,0
20/12/2017	87,0	0,0	26,3	18,8	0,2

FONTE: Autora (2018)

4.3.1.2 Evento 02 – de 26 a 29 de janeiro de 2018

O evento 2 incluiu as temperaturas registradas entre as 14h do dia 26/01/2018 até as 11h do dia 29/01/2018. Neste período a insolação registrada pelo INMET foi de 0h para o dia 26/01, 1h no dia 27/01, 6,1h no dia 28 e 0,4h no dia 29, o que implicou em baixa amplitude térmica nos dias de pouca insolação, dada a baixa ou nenhuma radiação solar, e grande amplitude térmica durante o evento, influenciada pelo dia de maior insolação.

TABELA 12 – CONDIÇÕES CLIMÁTICAS NO PERÍODO DO EVENTO 02

Data	Umidade (%)	Insolação (h)	Temperatura Máx, (°C)	Temperatura Min, (°C)	Chuva (mm)
26/01/2018	88	0	21	17,7	2,4
27/01/2018	84,00	1	22,1	15,6	1,1
28/01/2018	83,00	6,1	28,1	17,4	0,2
29/01/2018	88,00	0,4	26,7	19,6	38,7

FONTE: Autora (2018) com dados do INMET

4.3.1.3 Evento 03 – de 02 a 05 de fevereiro de 2018

O evento 3 foi realizado entre as 18h do dia dois de fevereiro até as 12 horas do dia cinco de fevereiro de 2018. Segundo o INMET, a temperatura máxima registrada neste período foi de 27,2°C no dia dois e a mínima foi de 13,8°C no dia três de fevereiro, com uma pequena precipitação registrada em três dias, mais expressiva no dia quatro de fevereiro. A maior insolação do período foi no dia três, com 11,6 horas de insolação total. Neste mesmo dia temos o menor valor médio de umidade, registrado em 70%.

TABELA13 - CONDIÇÕES CLIMÁTICAS NO EVENTO 03

Data	Umidade (%)	Insolação (h)	Temperatura Máx, (°C)	Temperatura Min, (°C)	Chuva (mm)
02/02/2018	85	6,2	27.2	16.0	0.2
03/02/2018	70	11,6	26.4	13.8	0.0
04/02/2018	84	4,8	24.2	16.2	2.1
05/02/2018	85	4,3	25.4	15.6	0.5

FONTE: Autora (2018)

4.3.1.4 Evento 04 - de 06 a 07 de fevereiro de 2018

O evento quatro foi realizado entre as 13h do dia seis de fevereiro até as 18 horas do dia sete de fevereiro de 2018. Inicialmente os termômetros ficaram instalados até o dia oito. No entanto após as 18h do dia sete, os termômetros de dois módulos apresentaram erros nas leituras e registro dos dados, sendo desconsiderados. Dessa forma optou-se por analisar o recorte entre 13h de 06/02 às 18h do dia 07/02.

O INMET registrou a temperatura máxima neste período de 27,6°C no dia dois e a mínima foi de 14,5°C no dia seis de fevereiro, com uma pequena precipitação registrada de apenas 0,3mm no dia seis. A insolação total do período do evento foi de 17,6h. O evento quatro ficou caracterizado pela grande incidência solar (17,6 horas em dois dias), evidenciada pelos picos de temperatura atingidos nos módulos descritos no item 4.3.2.

TABELA 14 - CONDIÇÕES CLIMÁTICAS NO EVENTO 04

Tabela condições climáticas evento -04					
Data	Umidade (%)	Insolação (h)	Temperatura Máx, (°C)	Temperatura Min, (°C)	Chuva (mm)
06/02/2018	79	10.4	26.4	14.5	0.3
07/02/2018	82	7.2	27.6	15.7	0.0

FONTE: Autora (2018)

4.3.1.5 Evento 05 - de 16 a 19 de fevereiro de 2018

O evento cinco foi realizado entre as 13h do dia 16 de fevereiro até as 13 horas do dia 19 de fevereiro de 2018. Segundo o INMET, a temperatura máxima registrada neste período foi de 25,3°C no dia 19/02 e a mínima foi de 15,1°C no dia 16/02 de fevereiro, com uma pequena precipitação registrada de apenas 0,4mm no dia 17/02. A insolação total do período do evento foi de apenas 1,4h em todo o período do evento.

TABELA 15 - CONDIÇÕES CLIMÁTICAS NO EVENTO 05

Data	Umidade (%)	Insolação (h)	Temperatura Máx, (°C)	Temperatura Min, (°C)	Chuva (mm)
16/02/2018	86	0,1	20,2	15,1	0
17/02/2018	89	0,5	23,7	15,2	0,4
18/02/2018	83	0,2	24	17,2	0
19/02/2018	85	0,6	25,3	18,3	0

FONTE: Autora (2018)

4.3.2 Desempenho dos módulos 1 a 6

Nos gráficos a seguir foram agrupados os dados dos seis módulos avaliados, onde cada gráfico mostra as temperaturas superficiais superiores e inferiores, bem como as temperaturas do INMET registradas ao longo dos cinco eventos de aferição de temperatura. Os módulos de 1 a 4 são os de menor espessura de substrato (7cm) e nos módulos 5 e 6 a espessura de substrato utilizada foi de 15cm.

No módulo 1, com as espécies lantana (*Lantana sellowiana*) e capuchinha (*Tropaelum majusa*), os resultados das temperaturas está ilustrado no gráfico da figura 52.

Conforme o gráfico da figura 52 demonstra, observa-se uma tendência das comportamentos das temperaturas ao longo dos eventos, onde são observados picos de temperatura na superfície superior nos períodos mais quentes (entre 12 e 16h), com aproximação das temperaturas superiores e inferiores a partir das 19h. Nota-se que ao final dos dias as temperaturas apresentam queda acentuada entre as 17h e 19h, continuam a cair, entretanto no início da madrugada essa queda é mais suave, apresentando temperaturas muito próximas entre as 21h e 7h da manhã.

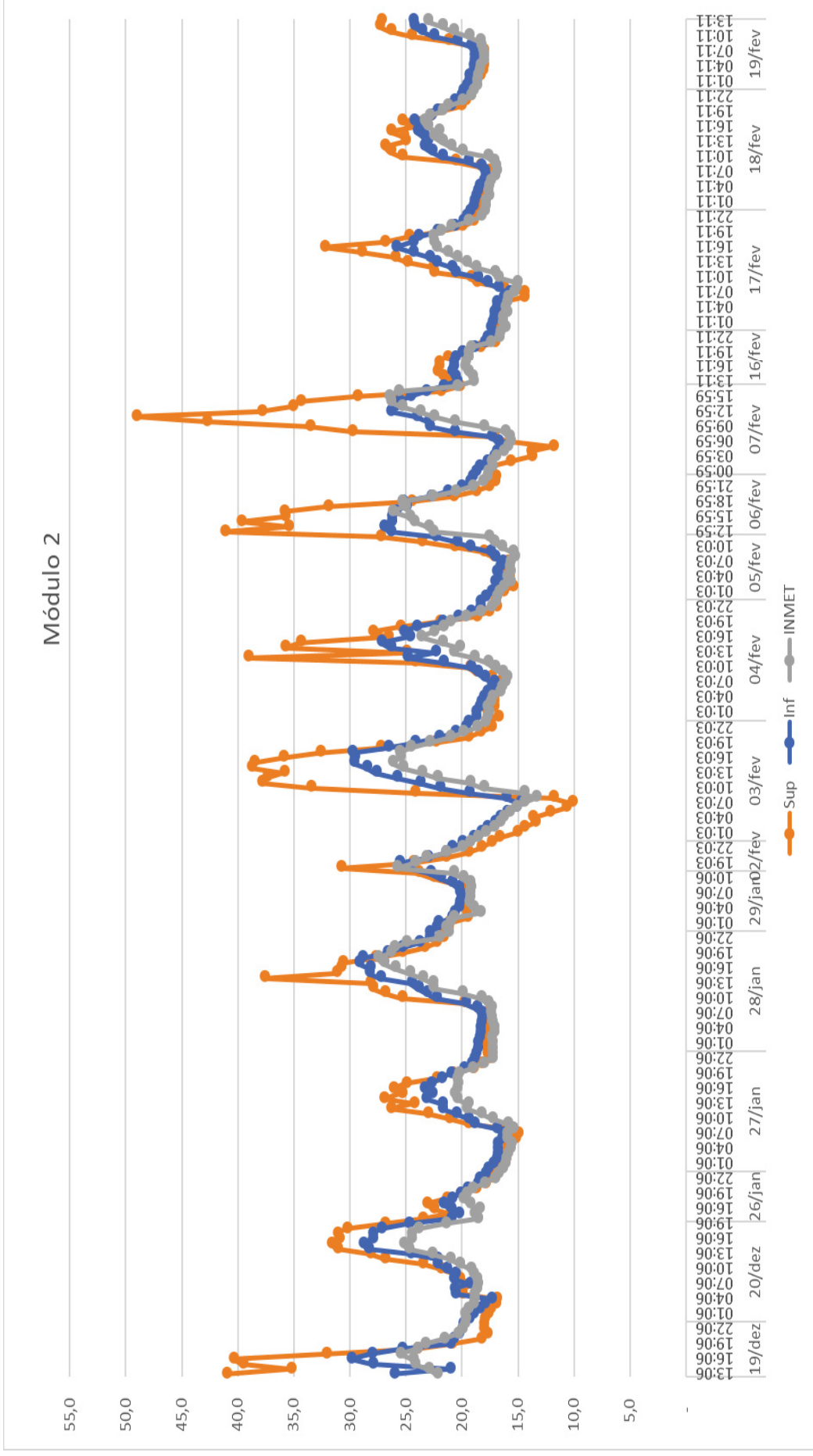
Durante o período da noite, chegam as temperaturas da superfície superior chegam a ficar menores do que as do ar em alguns momentos, como no dia 19/12 onde as 21h o INMET registrou 20,5°C e a temperatura superior foi de 18,5°C, ou seja, 2 graus menor do que a temperatura do ar. Essa temperatura de superfície inferior à temperatura do ar pode estar associada ao tipo de vegetação, uma vez que este módulo 1 tinha espécies que apresentaram pouca cobertura vegetal, propiciando troca de calor com o ar através da ação dos ventos na superfície do substrato, onde estava posicionado o termopar. De maneira similar, nos períodos mais quentes, onde havia mais radiação solar, apresentava maiores temperaturas em relação à do ar, uma vez que a pouca cobertura não fazia sombreamento para barrar essa radiação.

Assim, observam-se picos de temperatura, notadamente no dia 03/02, onde atingiu a maior temperatura registrada neste módulo, chegando aos 43,2°C as 15h, enquanto a temperatura do ar neste momento era de 26,3°C segundo o INMET. Uma amplitude térmica de quase 17°C. Em oposição, nos sensores instalados sob os módulos, a temperatura máxima as 15h foi de 29,7°C, ou seja 3,4°C acima do ar. O gráfico também permite observar que embora em algumas ocasiões as temperaturas inferiores se apresentem acima da temperatura do ar, como no dia 4/02 as 12h, onde o INMET registrou 19°C e o termopar inferior marcou 24,7°C, uma diferença de 5,7°C, na maior parte do tempo durante os eventos as temperaturas inferiores foram próximas as do INMET, tendo uma amplitude térmica média de +1,5°C.

No módulo 2 (Figura 53), também com espessura de substrato de 7cm, onde a espécie utilizada foi a grama amendoim, apesar de maior cobertura vegetal se comparada ao módulo 1, também apresentou picos de temperatura da superfície superior e grande amplitude térmica, comparada à temperatura do ar registrada pelo INMET.

A maior temperatura na superfície do substrato no módulo 2 foi observada no dia 07/02, onde o termopar registrou um pico de 49,2°C as 12h, quando a temperatura da superfície inferior do protótipo era de 24,2°C e do ar 20,3°C, uma amplitude térmica de +26,6°C em comparação a temperatura do ar registrada pelo INMET. Ao passo que no termopar inferior a temperatura nesse momento foi de 24,2, ou seja 1,6°C acima da temperatura do ar. Na superfície sob o protótipo, a maior amplitude térmica registrada de +6,2°C, na data de 04/02 as 14h, quando o INMET registrava 20,3°C e na superfície inferior do módulo 2 registrou-se 26,5°C. Na média, a amplitude entre a superfície inferior e o ar foi de +1,5°C, da mesma forma que no módulo 1.

FIGURA 53 – GRÁFICO DE TEMPERATURAS SUPERFICIAIS SUPERIORES E INFERIORES DO MÓDULO 2



FONTE: Autora (2018)

No módulo 3 (Figura 54), com substrato de 7cm, onde as espécies utilizadas foram as bromélias (*Cryptanthus acaulis*, *C. beucker* e *C. bivittatus*, *Pitcairnia flammea*, *Neoregelia compacta* e *Aechmea nudicaulis*) também observaram-se picos de temperatura da superfície superior e amplitude térmica.

A maior temperatura na superfície superior do substrato no módulo 3 foi observada no dia 03/02, onde o termopar registrou um pico de 43,5 °C às 14h, quando a temperatura da superfície inferior do protótipo era de 27,7°C e do ar 25,4°C, uma amplitude térmica de +18,1°C em comparação da superfície superior e a temperatura do ar registrada pelo INMET. Ao passo que no termopar inferior a temperatura nesse momento foi de 27,7°C ou seja 2,3°C acima da temperatura do ar. Na superfície sob o protótipo, a maior amplitude térmica registrada foi de +5,7°C, na data de 04/02 às 14h, quando o INMET registrava 20,3°C e na superfície inferior do módulo 2 registrou-se 26,0°C. Na média, a amplitude entre a superfície inferior e o ar foi de +1,2°C.

No módulo 4 (Figura 55), o último dos módulos com substrato de 7cm, onde a espécie utilizada foi a grama São Carlos (*Axopus compressus*) e embora tenha sido o módulo com maior cobertura vegetal, permaneceram as variações de temperatura e amplitude térmica, bem como a tendência de comportamento de queda de temperatura a noite e estabilização na madrugada.

Embora, por sua alta cobertura vegetal proporcionasse sombra sobre o substrato, a característica de vegetação (baixa) além da coloração esverdeada escura, proporcionam temperaturas superficiais elevadas, sendo que a maior temperatura na superfície superior do substrato no módulo 4 foi observada no dia 03/02, onde o termopar registrou um pico de 41,1 °C as 14h, quando a temperatura do ar era 25,4°C, uma amplitude térmica de +15,7°C em comparação da superfície superior e a temperatura do ar registrada pelo INMET. Ao passo que no termopar inferior a temperatura nesse momento foi de 27 °C ou seja 1,6°C acima da temperatura do ar. Na superfície inferior do protótipo, a maior amplitude térmica registrada foi de +5,2°C na data de 03/02 as 9h, quando o INMET registrava 14,6°C e na superfície inferior do módulo 2 registrou-se 19,8°C. A amplitude média entre a superfície inferior e o ar foi de +1,3°C.

No módulo 5 (Figura 56), o primeiro dos módulos com substrato de 15cm, onde a espécie utilizada foi a cavalinha (*Equisetum giganteum*) também se observaram as variações de temperatura e amplitude térmica, bem como a tendência de comportamento de queda de temperatura a noite e estabilização durante a madrugada. A espécie não proporcionou cobertura vegetal densa, justamente pela característica da espécie, que forma hastes esbeltas e alongadas, no entanto, sua altura acabou por formar sombra no substrato durante os períodos de maior incidência solar.

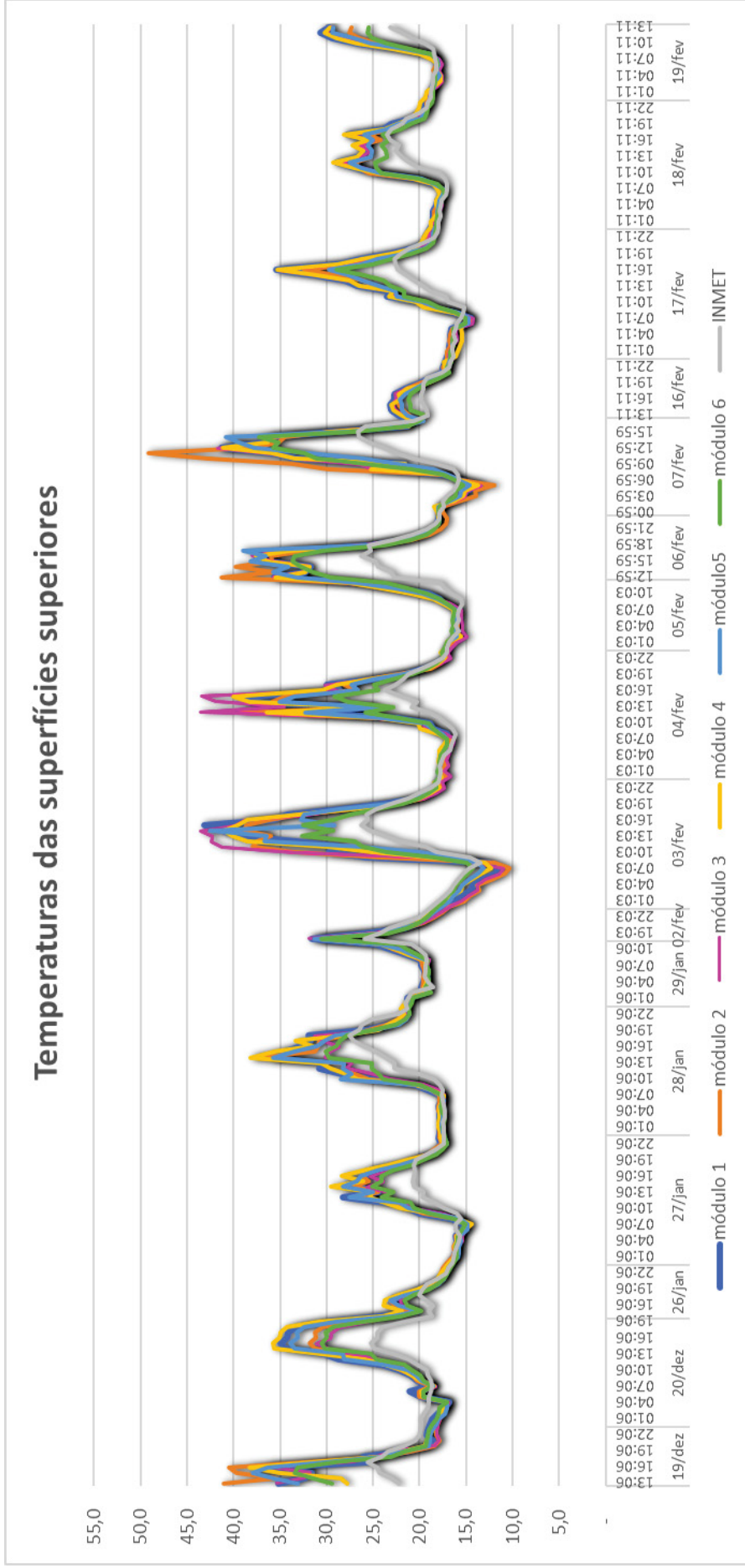
A maior temperatura na superfície superior do substrato no módulo 5 foi observada no dia 03/02, onde o termopar registrou um pico de 42,6 °C as 14h, quando a temperatura do ar era 25,4°C, uma amplitude térmica de +17,2°C em comparação da superfície superior e a temperatura do ar registrada pelo INMET, tendo sido sua maior amplitude térmica neste momento. Ao passo que no termopar inferior a temperatura nesse momento foi de 26,8 °C ou seja 1,4°C acima da temperatura do ar. A maior amplitude térmica entre a superfície inferior e a temperatura do ar, foi registrada no dia 19/12 as 15h, quanto a temperatura do ar era de 24,3°C, e da superfície sob o protótipo era de 28,6°C, uma diferença de +4,3°C, ao mesmo tempo, a superfície superior registrou 38°C de temperatura no substrato, uma diferença de +13,7°C em relação ao ar. A amplitude média entre a superfície inferior e o ar foi de +1,4°C.

No módulo 6 (Figura 57), último dos módulos com substrato de 15cm, a espécie utilizada foi a *Bromelia balansae*. Assim como a cavalinha no módulo 5, aqui a bromélia não proporcionou grande cobertura vegetal, sendo que a espécie por sua característica, se abre na copa, onde produz sombra no substrato, mas não oferece cobertura vegetal, deixando a maior parte do substrato exposto (nu). Assim como nos outros módulos, demonstrou queda de temperatura noturna, com estabilização ao longo da madrugada e amanhecer, no entanto, teve a menor amplitude térmica entre a temperatura da superfície do substrato e a do ar registrada pelo INMET.

A maior temperatura na superfície superior do substrato no módulo 6 foi observada no dia 07/02, onde o termopar registrou um pico de 37,2 °C as 15h, quando a temperatura do ar era 26,5°C, uma amplitude térmica de +10,7°C em comparação da superfície superior e a temperatura do ar registrada pelo INMET, tendo sido sua maior amplitude térmica neste momento. Ao passo que no termopar inferior a temperatura nesse momento foi de 24,9 °C ou seja -1,6°C abaixo da temperatura do ar. A maior amplitude térmica entre a superfície inferior e a temperatura do ar, foi registrada no dia 05/02 as 12h, quanto a temperatura do ar era de 17,3°C e da superfície sob o protótipo era de 24,0° C uma diferença de +6,3°C, ao mesmo tempo, a superfície superior registrou 23,6°C de temperatura no substrato, uma diferença de +5,9°C em relação ao ar. A amplitude média entre a superfície inferior e o ar foi de +1,0°C.

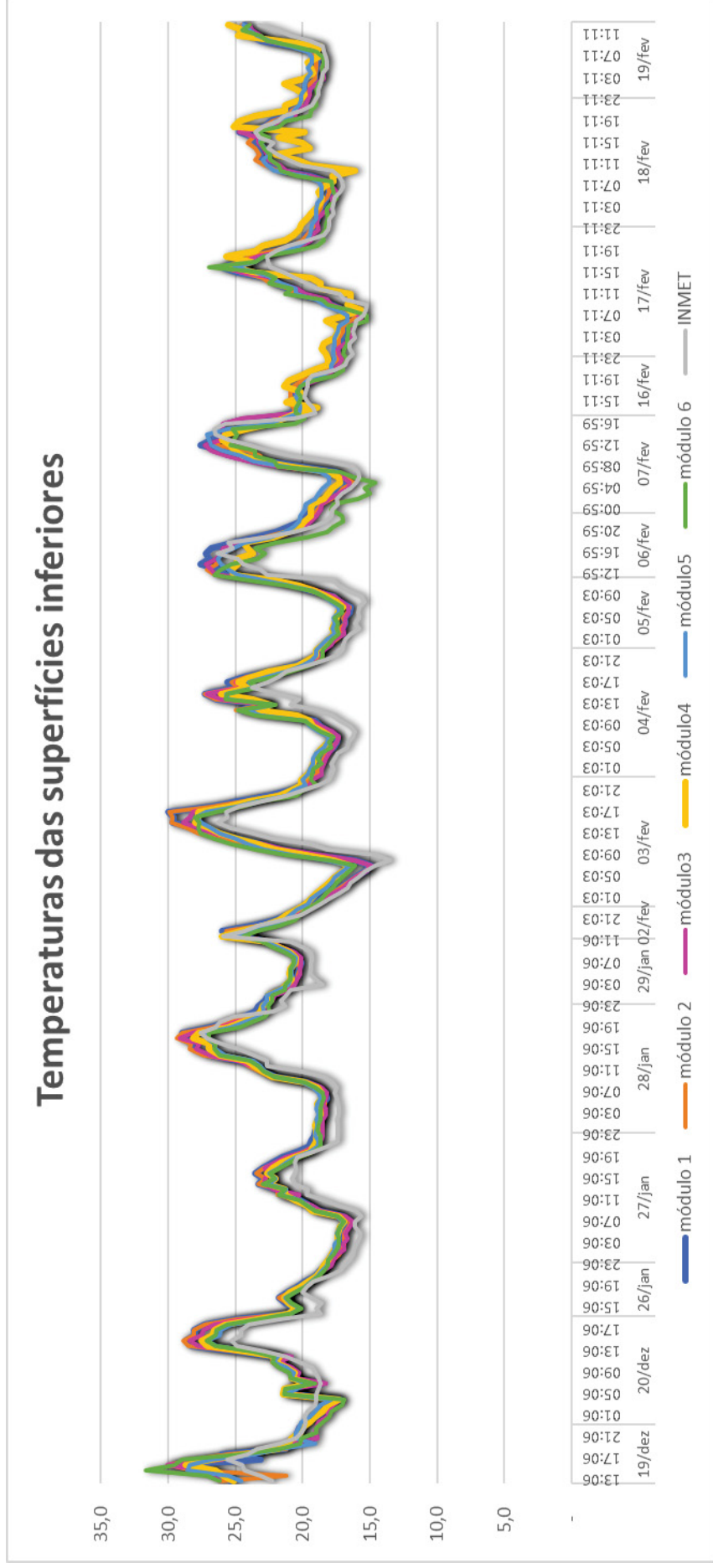
Os dados obtidos ao longo dos cinco eventos de aferição de temperatura, demonstraram que apesar de variações entre as temperaturas máximas, as coberturas verdes se comportaram de maneira similar, ou seja elevavam-se ao longo do dia, conforme a temperatura e insolação, e demonstraram queda de temperatura após o por do sol, voltando a subir no início da manhã. Observa-se ainda que as temperaturas inferiores, em todos os módulos observados, tende a ficar muito próxima da temperatura do ar, apresentando amplitudes térmicas sensivelmente menores se comparadas as da superfície dos módulos, o que proporcionaria uma condição climática mais adequada, proporcionando maior conforto térmico, no caso da instalação de uma cobertura verde sobre uma superfície de cobertura de uma edificação, uma vez que as temperaturas aferidas se demonstraram muito próximas da temperatura do ar.

FIGURA 57 – GRÁFICO DE TEMPERATURAS SUPERFICIAIS SUPERIORES NOS 6 MÓDULOS



FONTE: Autora (2018)

FIGURA 58 – GRÁFICO DE TEMPERATURAS SUPERFICIAIS INFERIORES NOS 6 MÓDULOS



FONTE: Autora (2018)

Este estudo não contemplou a comparação com superfícies de coberturas não vegetadas, como telhado em fibrocimento, laje e telhas cerâmicas. No entanto Savi (2015) observou que essas superfícies convencionais absorvem radiação térmica durante o dia, elevando a temperatura da superfície em relação ao ar, chegando a apresentar uma amplitude de $+33,50^{\circ}\text{C}$ em relação a temperatura do ar. Neste estudo, a maior amplitude térmica foi observada no módulo 2 (em 07/02 as 12h), cujo ápice foi de $+26,6^{\circ}\text{C}$ em relação à temperatura do ar registrada pelo INMET. Ao passo que os sensores inferiores registraram a maior amplitude no mesmo módulo 2, também na data de 07/02 as 12h, onde a temperatura na parte inferior do módulo ficou $6,2^{\circ}\text{C}$ acima do ar. Entre os 6 módulos observados, nos quatro primeiros módulos – de espessura de substrato de 7cm – a média de amplitude da superfície inferior em relação ao ar foi de $1,3^{\circ}\text{C}$.

Não foi observada diferença de comportamento em relação a análise térmica entre os dois tipos de espessuras de substratos. Entretanto, entre os tipos de vegetação diferente notou-se variação, conforme observa-se na figura 57, onde há variação expressiva entre um módulo e outro, nas temperaturas superiores, ou seja, aí não há influência da espessura do substrato, e sim da tipologia vegetal, bem como cobertura foliar proporcionada. Espécies de folhagem mais escura tendem a absorver mais calor, e conseqüentemente elevar a temperatura da superfície. Plantas que produzem maior densidade foliar tendem a proteger mais o solo (substrato) e com isso bloqueiam ou diminuem a intensidade de ventos.

Entre os resultados apresentados, destaca-se as amplitudes térmicas observadas nos sensores superiores (Tabela xx) e nos sensores inferiores (Tabela xx), onde o módulo seis apresenta as menores amplitudes superiores, provavelmente pela característica da *bromélia balansae* que tem corpo esguio junto ao substrato, e abre-se em leque formando uma copa mais alta, proporcionando maior sombreamento aliado a circulação de ar, bem como pequena cobertura de substrato, o que também favorece ventilação e troca de calor. Entre os sensores inferiores, as menores amplitudes são verificadas no módulo 5, com a espécie cavalinha, que assim como a bromélia do módulo 6, proporciona sombreamento e bastante circulação de ar, reduzindo a temperatura da superfície pela troca de calor.

TABELA 16 – TEMPERATURAS E AMPLITUDES NOS SENSORES SUPERIORES

		Superfícies superiores						
		Módulo 1	Módulo 2	Módulo 3	Módulo 4	Módulo 5	Módulo 6	INMET
Evento 1	T Máxima	36,1	41,1	36,0	38,3	38,0	33,5	25,6
	T Mínima	16,8	17,0	16,9	17,1	17,0	17,0	18,7
	Amplitude	19,3	24,1	19,1	21,2	21,0	16,5	6,9
Evento 2	T Máxima	35,9	30,9	31,3	38,2	35,8	30,1	27,6
	T Mínima	15,3	15,1	14,6	14,4	14,8	15,1	15,7
	Amplitude	20,6	15,8	16,7	23,8	21,0	15,0	11,9
Evento 3	T Máxima	43,2	39,2	43,5	41,1	42,6	32,6	25,9
	T Mínima	11,6	10,3	11,0	12,3	13,1	14,3	13,5
	Amplitude	31,6	28,9	32,5	28,8	29,5	18,3	12,4
Evento 4	T Máxima	41,3	49,2	41,7	41,2	40,8	37,2	26,5
	T Mínima	13,5	12,0	13,4	13,7	14,6	15,3	15,8
	Amplitude	27,8	37,2	28,3	27,5	26,2	21,9	10,7
Evento 5	T Máxima	35,4	32,4	35,2	35,3	29,7	28,9	23,5
	T Mínima	14,5	14,6	14,2	14,7	14,7	15,1	15,2
	Amplitude	20,9	17,8	21,0	20,6	15,0	13,8	8,3

FONTE: Autora (2018)

TABELA 17 – TEMPERATURAS E AMPLITUDES NOS SENSORES INFERIORES

		Superfícies inferiores						
		Módulo 1	Módulo 2	Módulo 3	Módulo 4	Módulo 5	Módulo 6	INMET
Evento 1	T Máxima	29,6	30,0	30,1	28,7	28,6	31,7	25,6
	T Mínima	17,2	17,5	17,7	17,3	17,9	16,9	18,7
	Amplitude	12,4	12,5	12,4	11,4	10,7	14,8	6,9
Evento 2	T Máxima	29,0	29,3	29,1	28,2	27,3	27,0	27,6
	T Mínima	16,4	16,4	16,3	16,9	17,0	16,9	15,7
	Amplitude	12,6	12,9	12,8	11,3	10,3	10,1	11,9
Evento 3	T Máxima	30,0	29,9	28,9	28,0	27,9	28,0	25,9
	T Mínima	14,9	14,9	14,9	16,5	16,5	16,1	13,5
	Amplitude	15,1	15,0	14,0	11,5	11,4	11,9	12,4
Evento 4	T Máxima	27,6	27,1	27,3	26,0	27,1	26,6	26,5
	T Mínima	16,6	16,2	16,5	17,2	18,0	14,6	15,8
	Amplitude	11,0	10,9	10,8	8,8	9,1	12,0	10,7
Evento 5	T Máxima	26,0	26,0	25,8	25,7	25,1	27,0	23,5
	T Mínima	16,1	15,9	15,6	15,6	16,7	15,2	15,2
	Amplitude	9,9	10,1	10,2	10,1	8,4	11,8	8,3

FONTE: Autora (2018)

4.4 DISCUSSÕES

Os resultados demonstraram que existe uma variação no desempenho dos sistemas de cobertura verde, tanto entre as espécies utilizadas quanto em relação à espessura dos substratos, quanto às variáveis que foram analisadas no experimento: temperaturas superficiais, retenção e escoamento de águas pluviais e o desenvolvimento das espécies.

O experimento demonstrou ainda, que o desenvolvimento das espécies depende de sua capacidade de adaptação em climas extremos, bem como tolerância ao estresse hídrico. É importante também resistência à geada, uma vez que a queima de folhas pode matar a espécie ou ainda prejudicar seu comportamento e desempenho, quando a perda foliar diminui o sombreamento nas superfícies de telhado verde.

Outro destaque é em relação ao estresse hídrico, pois o clima de Curitiba tem longos períodos de estiagem, notadamente nos meses de julho e agosto (conforme a normal climatológica) as vezes chegando a perdurar até setembro (conforme verificado neste experimento), com dias extremamente secos, e que simultaneamente podem ser muito frios, nos meses de julho e agosto, ou ainda de sol intenso, já em setembro, criando um microclima bastante desfavorável para telhados verdes extensivos, já que possuem um potencial de armazenamento hídrico pequeno. Noya et al (2017) comenta que plantas suculentas (de metabolismo CAM) são amplamente utilizadas em telhados verdes na Europa, pela sua rápida adaptação e tolerância a períodos de seca. No entanto, apesar de existir centenas de espécies suculentas no mundo, o Brasil tem registro de apenas uma, *Crassula peduncularis*, uma Crassulaceae nativa do Brasil com ocorrência no Rio Grande do Sul (Flora Digital, 2018), e devido a sua raridade, não foi possível encontrar mudas comercializadas, o que inviabilizou sua utilização no experimento. Assim, apesar de as suculentas serem altamente indicadas para este cultivo, não foram contempladas neste estudo, uma vez que não foi possível adquirir exemplares da espécie nativa.

Com relação ao desenvolvimento das espécies, no módulo um observamos que as duas espécies plantadas no início do experimento sobreviveram, principalmente a latana, que manteve 90% dos indivíduos, o entanto não apresentou desenvolvimento pleno, seja por conta da pequena espessura de substrato ou pelo tipo de substrato propriamente, não sendo possível garantir o que ocasionou isso, já

que o estudo não contemplou módulos com maior espessura ou variação de substratos. Apesar da grande perda de mudas, a capuchinha rebrotou e manteve alguns espécimes vivos durante todo o período observado, mas pereceu e quase desapareceu no período mais frio e seco.

No módulo dois nenhuma das espécies nativas coletadas (*tillandsia* e samambaia-do-mato) sobreviveram aos primeiros dois meses, seja pela sua característica – de epífita da *tillandsia*, ou de ocorrência em áreas de banhado, no caso da samambaia – ou pelas condições do clima desfavoráveis, embora as *tillandsias* podem ser observadas acopladas à galhos e troncos de árvores por todo o ano, sendo consideradas perenes, o que reforça a tese de que não se adaptaram ao tipo de cultivo sobre substrato. Já as samambaias são típicas de meia-sombra e áreas com abundância de umidade, portanto não toleraram o sol pleno e a baixa retenção de água do substrato.

O módulo três mostrou um consórcio de diferentes espécies da mesma família – *Bromeliaceae* – Onde as espécies *Neorogelia compacta*, apesar de demonstrar fragilidade em relação à alta insolação, tendo parte das folhas queimadas, apresentou rebrotamento e manteve todos os espécimes vivos durante o período observado. A espécie *Aechmea nudicaulis* demonstrou a melhor capacidade de adaptação e sobrevivência dentre as outras do módulo três, e a *Pitcairnia flammea*, apesar de ter perdido folhas e ter apresentado folhas queimadas e amareladas no período mais seco, também apresentou 100% de sobrevivência entre os espécimes. Importante destacar que duas das três espécimes sobreviventes são do classificadas como bromélias-tanque, que, conforme SILVA (2016) são espécies ideais para cultivo em telhado verdes, uma vez que podem suportar locais sem irrigação, dependendo apenas do regime pluvial do ambiente. Quanto às espécies que não sobreviveram – *Cryptanthus acaulis*, *C. beuckeri*, *C. bivittatus* e a *Nidularium innocentii* - as *Cryptanthus* são consideradas vulneráveis e de desenvolvimento em meia sombra, e a *Nidularium*, indicada para cultivo a pleno sol, não tolera frio ou geadas, portanto não são espécies recomendadas para cultivo em telhados verdes em climas como o de Curitiba.

No módulo quatro, a espécie periquitinho (*Alternanthera ficoidea*) não tolerou o frio, tendo as folhas queimadas no mês de julho, não sendo recomendadas para o cultivo.

A espécie *Axonopus Compressus* – grama São Carlos – tendo sido plantada depois, não foi observada em períodos de frio extremo - apesar de ser indicada como tolerante ao frio (Lorenzi, 2013) - mostrou desenvolvimento pleno na primavera, sendo importante observar que em períodos de estiagem tende a ressecar, e morrer se a estiagem for longa. Porém desenvolve-se bem em períodos de alta incidência de chuva e apresenta plena cobertura do substrato, sendo parcialmente recomendada, desde que haja precipitação frequente ou algum sistema de irrigação.

No módulo cinco as cavalinhas (*Equisetum giganteum*) demonstraram um enfraquecimento no período de estiagem. No entanto grande capacidade de resiliência e tolerância ao frio, uma vez que não morreram e apresentaram rebrotação nas folhas que amarelaram, mostrando-se bem adaptáveis ao sistema de cultivo com maior espessura de substrato. Entretanto, como seu plantio foi exclusivamente nesta espessura de substrato, não há como dizer se o desenvolvimento seria mantido em uma espessura menor de substrato, já que são plantas indicadas para locais com muita umidade (Lorenzi, 2013).

Por fim, o módulo seis com a espécie *Bromelia balansae* apresentou ótimo desenvolvimento e adaptação aos diversos climas pelos quais passou, tolerando tanto o sol intenso – o qual amarela um pouco as pontas de suas folhas – quanto ao frio e estresse hídrico, sendo indicada para o cultivo no sistema de 15cm de substrato. O estudo não contemplou esta espécie em menor espessura de substrato, não podendo garantir que o desempenho desta espécie seria similar em sistemas mais esbeltos.

Quanto aos resultados relacionados à capacidade de retenção e escoamento de águas pluviais, a espécie que apresentou maior percentual de retenção foi a lantana (*Lantana sellowiana*) no módulo um, em consórcio com a capuchinha (*Tropaelum majus*) com percentual médio de 72,4%, seguido da cavalinha (*Equisetum giganteum*), com 67,3% de retenção, e as demais espécies apresentaram índices abaixo de 50%, sendo que a *Bromelia balansae* apresentou a menor retenção de todos os módulos, com apenas 26,7% (em média) de retenção. A grama São Carlos (*Axonopus Compressus*) apresentou o maior fechamento do solo e um índice de 44,9% de retenção. Por ter cobertura plena do solo, este resultado pode indicar que perde menos água por evaporação do solo, e tende a manter o substrato mais úmido, por receber menos insolação e ação dos ventos, o que

provocaria uma saturação mais rápida após o evento de chuva, retendo menos água precipitada em períodos de grande volume de precipitação.

Por fim, quanto à capacidade de retenção, os telhados verdes mostraram uma capacidade considerável de retenção de precipitação, mostrando diferenças entre as espécies, e em razão do conjunto substrato e planta. Tais variações podem ser associadas também em função das duas diferentes espessuras de substrato experimentadas.

A análise de temperaturas superficiais inferiores e superiores também demonstrou variação de resultados em função das espécies e espessura de substrato. Entretanto, entretanto entre módulos de mesma espessura também se observou variação de resultados, o que nos leva a concluir que as variações de espécies vegetais influenciam no desempenho térmico das coberturas, devido a alguns efeitos característicos das vegetações.

A radiação solar é um efeito importante, que influencia diretamente na temperatura superficial dos telhados verdes, especialmente nos que as coberturas vegetais não estão adensadas, ou ainda nas espécies de coloração mais escura, que retém mais calor na sua superfície. SAVI (2015) em seu experimento observou que as espécies de menor densidade obtiveram temperaturas superficiais superiores, em alguns casos bem próximas às temperaturas observadas em laje nua.

A maior temperatura registrada na superfície dos módulos (superiores) foi observada no módulo 2, com 49,2°C no penúltimo evento, este módulo com a espécie Grama amendoim (*Arachis repens*) apresentou também o maior valor médio de temperaturas, no entanto a espécie *Bromelia balansae*, que era o módulo com menor número de indivíduos (apenas dois) tem uma característica de ter uma base menor, e a abertura de folhas que se abre numa espécie de leque, causando um sombreamento considerável no substrato, e apresentou as menores temperaturas superficiais superiores, com valor máximo médio de 32,6°C. O módulo quatro, com a grama São Carlos apresentou a segunda maior média de temperaturas, graças a coloração escura de sua superfície foliar, que absorve maior radiação. As maiores temperaturas médias foram aferidas no módulo dois, com a grama amendoim, provavelmente devido ao sombreamento mais rarefeito, já que a espécie não desenvolveu cobertura vegetal muito densa.

Nos módulos um e três, apesar de baixa cobertura vegetal, as temperaturas foram as mais baixas registradas, o que em parte pode ser atribuído ao efeito de frenagem do vento, fazendo com que a temperatura da superfície do substrato ficasse mais amena. No módulo cinco, apesar do bom desenvolvimento da espécie cavalinha gigante, ela não apresentou brotação que permitisse a cobertura total do solo, tendo grandes áreas sem cobertura vegetal, pela sua característica alongada e esbelta, produz faixas de sobra pequenas, o que explica em parte as altas temperaturas registradas na superfície do substrato.

TABELA 18 - TEMPERATURAS SUPERIORES MÁXIMAS

Temperaturas superficiais máximas						
	Módulo 1	Módulo 2	Módulo 3	Módulo 4	Módulo 5	Módulo 6
Evento 1	36,1	41,1	36,0	38,3	38,0	33,5
Evento 2	35,9	30,9	31,3	38,2	35,8	30,1
Evento 3	43,2	39,2	43,5	41,1	42,6	32,6
Evento 4	41,3	49,2	41,7	41,2	40,8	37,2
Evento 5	35,4	32,4	35,2	35,3	29,7	28,9
Média	36,1	39,2	36,0	38,3	38,0	32,6

FONTE: Autora (2018)

TABELA 19 - TEMPERATURAS INFERIORES MÁXIMAS

Temperaturas superficiais inferiores máximas						
	Módulo 1	Módulo 2	Módulo 3	Módulo 4	Módulo 5	Módulo 6
Evento 1	29,6	30,0	30,1	28,7	28,6	31,7
Evento 2	29,0	29,3	29,1	28,2	27,3	27,0
Evento 3	30,0	29,9	28,9	28,0	27,9	28,0
Evento 4	27,6	27,1	27,3	26,0	27,1	26,6
Evento 5	26,0	26,0	25,8	25,7	25,1	27,0
Média	29,0	29,3	28,9	28,0	27,3	27,0

FONTE: Autora (2018)

Com relação às temperaturas medidas nos sensores instalados nas superfícies inferiores dos módulos (Tabela 17), os módulos cinco e seis apresentaram os menores valores médios de temperaturas máximas. Com relação às diferenças de temperatura entre os sensores superiores e inferiores, no módulo 2, no momento em que atingiu a maior temperatura medidas nos eventos (49,2°C) a temperatura registrada na superfície inferior foi de 24,2°C uma diferença de 25° de temperatura. Se comparada à temperatura do ar registrada pelo INMET, o módulo

seis apresentou as temperatura mais próximas as do ar, com amplitude máxima de 7,4°C acima do ar (registro as 15h do dia 19/12 no evento 01).

5 CONCLUSÕES

A pergunta desta pesquisa: Espécies vegetais nativas se adaptam e possuem desempenho favorável para uso de telhados verdes em Curitiba, em relação aos parâmetros de temperatura superficial, a água residual de chuva e a capacidade de desenvolvimento dessas espécies? Pode ser respondida da seguinte forma:

Espécies vegetais nativas se adaptam e apresentam desempenho favorável para utilização em sistemas de telhados verdes, entretanto precisam ser selecionadas de maneira a garantir boa adaptação entre elas e o substrato.

O sistema de consórcio também demonstrou ser viável, entretanto poderia ser trabalhada a metodologia de escolha de espécies, de maneira a testar mais possibilidades de arranjo entre espécies, visando um desenvolvimento colaborativo mais eficiente entre as plantas, e garantindo uma cobertura vegetal eficiente nos diferentes períodos climáticos do ano.

Conclui-se também que as espécies *Lantana sellowiana*, bromélia *Aechmea nudicaulis* e *bromelia balansae* demonstraram ser espécies potenciais para utilização em sistemas de telhado verde, tendo tolerado períodos de seca, frio, e insolação.

As espécies *Tropaelum majus* (capuchinha), bromélia *Neoregelia compacta*, *Axonopus compressus* e *Arachis repens* (grama amendoim) não são muito tolerantes à períodos longos de estiagem, sendo mais indicadas para utilização em sistemas com algum tipo de irrigação auxiliar, ou substratos mais espessos ou com maior capacidade de retenção de água.

A espécie *Equisetum giganteum* (cavalinha) demonstrou grande resistência, no entanto por típica de regiões mais úmidas, provavelmente não se desenvolveria bem em substratos mais esbeltos, sendo recomendada para utilização em telhados verdes com espessura de 15 cm ou superior, ou ainda, em sistemas com irrigação.

A bromélia *Pitcairnia flammea* apesar de ter se mantido estável durante o período do experimento não apresenta um desenvolvimento foliar que proporcione cobertura vegetal adequada, não sendo recomendada para utilização solo em telhados verdes.

A partir dos resultados, conclui-se que os telhados verdes trazem ao ambiente interno temperaturas muito menores que as da superfície, proporcionando

mais conforto térmico no interior das edificações. As oscilações de temperatura externa também ocorrem em um intervalo de tempo maior, devido a capacidade de retenção da massa térmica que compõe os sistemas de telhados verdes, bem como sombreamento da cobertura e efeito de evapotranspiração das plantas, mantendo temperaturas internas mais estáveis, seja nos dias mais frios ou de temperaturas mais elevadas. Os resultados demonstraram que existe diferença de desempenho entre as espécies estudadas, confirmando o pressuposto de que a utilização de variadas espécies nativas e diferentes espessuras de substrato deveriam influenciar diretamente o desempenho de telhados verdes.

Com relação às temperaturas superficiais, poderiam ser realizados um número maior de eventos, para verificar uma tendência de comportamento das espécies. Na questão da análise térmica, poderia ser utilizado também a medição com câmera térmica, para verificar dentro de cada módulo as áreas de temperatura na superfície, de maneira a identificar mais precisamente os efeitos de cobertura vegetal, variações de temperaturas entre as superfícies de cada espécie, bem como identificar áreas sem sombreamento ou zonas de elevação de temperatura. Recomendaria também uma análise em um período de pelo menos um ano, a fim de verificar os comportamentos dos protótipos e desempenho das espécies em todas as estações do ano.

Algumas considerações são necessárias, visando melhores resultados em experimentos futuros. Com relação ao método, recomenda-se a repetição de espécies em substratos de diferentes composições e espessuras.

A utilização de sensores de medição do escoamento ao longo do tempo também poderia ser considerada, bem como sistemas de irrigação pela própria água de chuva, de modo a garantir umidade do substrato nos períodos mais secos. Os protótipos podem ser pensados de maneira a serem mais leves, menos robustos, e o posicionamento dos sensores pode ser revisto para facilitar o acesso à leitura. Os galões para armazenamento da água precipitada poderiam ser maiores, com capacidade mais condizente com o índice pluviométrico do local do experimento, bem como terem uma graduação mais precisa, que permitisse a leitura imediata. A utilização de equipamento para aferição da umidade do solo também poderia ser considerada em experimentos futuros, para fornecer mais dados de análise do experimento.

Com relação ao substrato utilizado, optou-se pela utilização de um tipo comercial, entretanto, apesar do baixo custo e leveza, provavelmente não é adequado à todos os tipos de espécies, devendo ser considerada a utilização e teste de outros substratos comerciais, desenvolvimento de substratos mais adequados ou ainda a utilização de misturas de substrato recomendadas pela literatura, como por exemplo os substratos desenvolvidos e testados por NOYA (2017).

Destaco ainda a dificuldade em se conseguir espécies nativas, uma vez que são pouco estudadas e menos ainda exploradas comercialmente, o que dificulta a aquisição de mudas para experimento. Da mesma forma a coleta de mudas ou sementes é um trabalho extenso, técnico e trabalhoso, que poderia ser facilitado se houvesse alguma política pública de incentivo à produção de mudas nativas. No ano de 2007 a prefeitura de Curitiba lançou um projeto denominado de Biocidade, que abordava uma série de projetos destinados à criação de soluções urbanas, entre eles estava a ideia de resgate da biodiversidade urbana através do uso da flora nativa regional. O programa Biocidade compreendia a produção de mudas nativas com potencial ornamental, onde depois de coletadas diversas espécies, foram selecionadas as que melhor se adaptaram, e foram produzidas 142.000 mudas de plantas nativas no Horto Municipal do Guabirota (CURITIBA, 2008).

O programa foi descontinuado e o trabalho de coleta de sementes e reprodução de mudas ficou perdido. Iniciativas públicas como esta seriam uma forma de viabilizar pesquisas que envolvem a utilização de plantas nativas, principalmente para utilização em telhados verdes.

Com esta pesquisa, espera-se ter demonstrado que é possível trabalhar com plantas nativas, utilizando-as em sistemas de telhados verdes. Mas para isso é preciso que sejam realizados mais estudos relacionados ao potencial de utilização de plantas nativas, utilização de outras espécies que se adaptem ao clima, variados sistemas de consórcios, substratos eficientes, manejo adequado das espécies, bem como políticas públicas de incentivo à utilização de telhados verdes e produção de mudas de plantas nativas.

5. 1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

- Simular os resultados obtidos experimentalmente em edificações, observando as questões pertinentes ao conforto térmico dos telhados verdes;
- Analisar outras espécies vegetais, sejam nativas ou adaptadas, que melhor se adaptem ao clima de Curitiba;
- Verificar o desempenho térmico dos telhados em períodos superiores a um ano;
- Avaliar diferentes substratos mais adequados em relação ao peso e desenvolvimento de espécies;
- Verificar as taxas de evapotranspiração das espécies vegetais;
- Verificar o desempenho quanto a retenção de água e diferença de temperaturas em sistemas com diferentes espessuras;
- Verificar a capacidade de desenvolvimento e adaptação da espécie suculenta nativa *Crassula peduncularis*;
- Explorar as possibilidades de cultivo de espécies em consórcio, testando outros mecanismos, como alelopatia e competição por nutrientes, que melhor respondam as questões relativas ao cultivo consorciado de espécies.

REFERÊNCIAS

- ADAM, R. S. **Princípios do ecoedifício: interação entre ecologia, consciência e edifício**. Ed. Aquariana. São Paulo, 2001.
- ANACLETO, Adilson. **Bromélias no Paraná: Cultivo, extrativismo e comercialização**. Tese de doutorado. Curitiba: UFPR, 2011.
- ATLAS DA FLORESTA ATLÂNTICA NO PARANÁ. PIRES, P. de T. de L. ZILLI, A. L.; BLUM, C. T. Curitiba: SEMA/Programa de Proteção da Floresta Atlântica – Pró-Atlântica, 2005.
- BALDESSAR, Silvia M. N. **Telhado verde e sua contribuição na redução da vazão da água pluvial escoada**. Dissertação de mestrado. Curitiba: UFPR, PPGCC, 2012.
- BENZING, D.H. 1990. **Vascular epiphytes**. Cambridge University Press, New York, 354 p.
- BIANCHINI, F. ; HEWAGE, K. **How green are the greenroofs – Lifecycle analysis of green roof materials**. School of Civil Engineering, University of British Columbia, Canadá, 2011. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360132311002629>. Acesso em: 28 março 2016.
- BRASIL, Ministério do Meio Ambiente. Disponível em: <http://www.mma.gov.br>. Acesso em: cinco maio 2016.
- BRASIL, Ministério das Minas e Energia. **Balanco Energético Nacional 2016: Ano base 2015**. Brasília, 2016.
- BENNET, B. C. Patchiness, diversity and abundance relationships of vascular epiphytes, *Selbyana*, vol 9, p.70-75, 1986.
- BUTLER, Colleen; BUTLER, Erin; ORIAN, Colin M. **Native plant enthusiasm reaches new heights: Perceptions, evidence, and the future of green roofs**. *Urban forestry & urban greening*, v. 11, n. 1, p. 1-10, 2012.
- CAPRA, F. **A teia da vida**. 9ª Ed. São Paulo: Cultrix, 1996.
- CASTLETON, H.F.; STOVIN, V.; BECK, S.B.M.; DAVISON, J.B. **Green roofs; building energy savings and the potential for retrofit**. UK. 2010. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378778810001453>. Acesso em: 25 março 2016.
- CIDADES, I. B. G. E. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/v4/brasil/pr/curitiba/panorama1>. Acesso em: 02 maio 2017.

COHAB-CT - Companhia de Habitação Popular de Curitiba. **Relações de inscrições individuais**. Disponível em: <http://www.cohabct.com.br/fila/Paginas/Alfabetica.aspx>. Acesso em: 24 abril 2016.

COHAB-CT - Companhia de Habitação Popular de Curitiba. **Planilha de produção histórica da COHAB em Curitiba**. Disponível em: http://www.cohabct.com.br/userfiles/file/Produ%C3%A7%C3%A3o_Hist%C3%B3rica_COHAB_atualizada%20fev%202016.pdf. Acesso em: 24 março 2016.

CURITIBA. Lei nº 11.266, de 16 de dezembro de 2004. Dispõe a adequação do plano diretor de Curitiba ao Estatuto da Cidade - Lei Federal nº 10.257/01, para orientação e controle do desenvolvimento integrado do município. Disponível em: curitiba.pr.gov.br. Acesso em: 05 fevereiro 2017.

DISPÕE SOBRE CURITIBA. Programa Biodiversidade Urbana – Biocidade. Disponível em <http://www.biocidade.curitiba.pr.gov.br/indexpt.html>. Acesso em 08 janeiro 2018.

DOBSON, A. P. **Conservation and biodiversity**. New York: Scientific American Library, 1996.

DUTIL, Y.; ROUSSE, D. ; QUESADA, G. **Sustainable Buildings: An Ever Evolving Target**. Technologies of Energy and Energy Efficiency, Écolo de Technologie Supérieure. Canadá, 2011. Disponível em: <http://www.mdpi.com/2071-1050/3/2/443/>. Acesso em 02 abril 2016.

EDWARDS, Brian. **Guía básica de La sostenibilidad**. 2ª Ed. Barcelona: Gustavo Gili, 2004.

FLL, LANDSCHAFTSBAU, **Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung. Guidelines for the planning, execution and upkeep of green-roof sites**. Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau, Bonn, Germany, 2002.

FORZZA, R.C.; COSTA, A.; SIQUEIRA FILHO, J.A.; MARTINELLI, G. Bromeliaceae in **Lista de Espécies da Flora do Brasil. Jardim Botânico do Rio de Janeiro**. 2010. Disponível em: <http://floradobrasil.jbrj.gov.br/2010/FB005994>. Acesso em: 10 julho 2017.

GARTLAND, Lisa. **Ilhas de calor: como mitigar zonas de calor em áreas urbanas**. São Paulo: Oficina de Textos, 2010.

GIL, A. C. **Como elaborar Projetos de Pesquisa**. 4ª Ed. São Paulo: Editora Atlas S.A, 2002.

GIULIETTI, A. M.; DE QUEIROZ, L. P.; WANDERLEY, M. D. G. L.; VAN DEN BERG, C. A. S. S. I. O. **Biodiversidade e conservação das plantas no Brasil**. 2005. 61p.

GUREVITCH, J.; SCHEINER, S. M.; FOX, G. A. **Ecologia vegetal**. Porto Alegre: Artmed, 2009.

HEIM, Amy; LUNDHOLM, Jeremy. **Species interactions in green roof vegetation suggest complementary planting mixtures**. Landscape and Urban Planning, v. 130, p. 125-133, 2014. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0169204614001625>. Acesso em: 04 abril 2016.

JIMÉNEZ, Edwin Israel Tovar; CASTREJÓN, Aníbal Figueroa; SÁNCHEZ, Manuel Gordon. **Criteria for Selection of Plant Species for its Deployment in Thermally Efficient Architectural Green Roofs in the Metropolitan Area of Mexico City: Methodological Guidelines**. Energy Procedia, v. 57, p. 1798-1807, 2014.

KÖHLER, M.; SCHMIDT, M.; GRIMME, F. W.; LAAR, M.; PAIVA, V. L. A.; TAVARES, S. Green roofs in temperate climates and in the hot-humid tropics—far beyond the aesthetics. Environmental management and health, v. 13, n.4, pp. 382-391. 2002.

KÖHLER, Manfred; SCHMIDT, Marco; LAAR, Michael. **Roof Gardens in Brazil**. World Climate & Energy Event, 1-5 Decembe, Rio de Janeiro, Brazil, 2003.

Köppen-Geiger, **Classificação climática de Köppen-Geiger**. 1900. Disponível em https://portais.ufg.br/up/68/o/Classifica___o_Clim__tica_Koppen.pdf. acesso em 02 junho 2017.

KRESS, J. W. The systematic distribution of vascular epiphytes: an update, Selbyana, vol.9, p.2-22, 1986.

LAMBERTS, Roberto. **Conforto e stress térmico**. LabEEE, UFSC. 2011. Disponível em: <http://www.labeee.ufsc.br/ensino/pos-graduacao/ecv4200>. Acesso em 15 março 2016.

LARCHER, W. *Ecofisiologia Vegetal São Carlos—SP RiMa*. 2000.

LIU, T.C.; SHYU, G. S.; FANG, W. T.; LIU, S. Y.; CHENG, B. Y. **Drought tolerance and thermal effect measurements for plants suitable for extensive green roof planting in humid subtropical climates**. 2012. Energy and Buildings. Disponível em: www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378778811005895. Acesso em: 15 maio 2016.

LORENGI, Harri; SOUZA, Hermes Moreira de. Plantas ornamentais no Brasil: arbustivas, herbáceas e trepadeiras. In: **Plantas ornamentais no Brasil: arbustivas, herbáceas e trepadeiras**. Plantarum, 2001.

LORENZI, Harri. **Plantas para jardim no Brasil: herbáceas, arbustivas e trepadeiras**. Instituto Plantarum de Estudos da Flora Ltda, 2013.

LORENZI, Harri. **Plantas ornamentais no Brasil: arbustivas, herbáceas e trepadeiras**. Instituto Plantarum de Estudos da Flora Ltda, 2001.

MADISON, M. **Vascular epiphytes: their systematic occurrence and salient features**. Selbyana, v.2, p.1-13, 1977.

MADRE, Frédéric et al. **Green roofs as habitats for wild plant species in urban landscapes: first insights from a large-scale sampling**. Landscape and urban Planning, v. 122, p. 100-107, 2014.

MANTOVANI, W. Conservação biológica. In: BARBOSA, L. M.; SANTOS JUNIOR, N. A. dos (Orgs.). **A botânica no Brasil: pesquisa, ensino e políticas ambientais**. São Paulo: Sociedade Botânica do Brasil, 2007.

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 08 março 2016.

MILLER, Ana P. R. R. **Análise do comportamento de substrato para retenção de água pluvial para coberturas verdes extensivas em Curitiba - Pr**. Dissertação de mestrado. Curitiba: UFPR, PPGCC, 2014.

NASCIMENTO, Thássia CC; JÚNIOR, J. D. S. G.; BARBOSA, Ricardo VR. Estudo Comparativo Entre Cânions Urbanos Formados Em Ruas Com Diferentes Configurações: Influência Da Verticalização Para O Clima Urbano,(1). **XIII Encontro Nacional e IX Encontro Latinoamericano de Conforto no Ambiente Construído. Campinas**, 2015.

NASCIMENTO, Wânia C. do. **Coberturas verdes no contexto da região metropolitana de Curitiba – Barreiras e potencialidades**. Dissertação de mestrado. Curitiba: UFPR, PPGCC, 2008.

NEGRELLE, Raquel Rejane Bonato; ANACLETO, Adilson. **Extrativismo de bromélias no Estado do Paraná**. Ciência Rural, v. 42, n. 6, p. 981-986, 2012.

NIACHOU, A.; PAPAKONSTINOU, k.; SANTAMOURIS, M.; TSANGRASSOULIS, A.; MIHALAKAKOU, G. **Analysis of the green roof thermal properties and investigation of its energy performance**. 2001. Disponível em: www.sciencedirect.com/science/article/pii/S037877880100062. Acesso em: 10 maio 2016.

NODARI, R. O.; GUERRA, M. P. Aspectos genéticos e moleculares da produção vegetal. In: **Farmacognosia: da planta ao medicamento**. SIMÕES, C. M. O. et al (Orgs). Porto Alegre: Editora da UFRGS; Florianópolis: Editora da UFSC, 2007.

NOYA, Mariana Grassi *et al*. Substrates for cultivating herbaceous perennial plants in extensive green roofs. **Ecological Engineering**, v. 102, p. 662-669, 2017.

OLIVEIRA, Luciana Bandeira de. **A influência do sistema de fachada viva em manta no ciclo de vida energético de uma residência unifamiliar em clima tropical**. Dissertação de mestrado. Curitiba: UFPR, PPGCC, 2015.

OBERNDORFER, Erica et al. **Green roofs as urban ecosystems: ecological structures, functions, and services**. BioScience, 2007. Disponível em: <http://www.bioone.org/doi/full/10.1641/B571005>. Acesso em 03 de março de 2017.

OMM - Organização Mundial de Meteorologia. **El aumento de la concentración de gases de efecto invernadero alcanza un nuevo récord**. 2017. Disponível em: <https://public.wmo.int/es/media/comunicados-de-prensa/el-aumento-de-la-concentraci%C3%B3n-de-gases-de-efecto-invernadero-alcanza-un>. Acesso em 02 de fevereiro 2018.

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**. UFSC. Brasil. 2011. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378778811000922>. Acesso em: 05 março 2016.

PERONI, N.; HERNÁNDEZ, M. M. I. **Ecologia das populações e comunidades**. Florianópolis: CCB/EAD/UFSC, 2011.

PORTES, T. de A. Aspectos ecofisiológicos do consórcio de milho e feijão. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, 10, p. 118, out. 1984.

RANGEL, Ana C.D.C.; ARANHA, Kaline C.; DA SILVA, Maria Cristina B. C. **Os telhados verdes nas políticas ambientais como medida indutora para a sustentabilidade**. Desenvolvimento e Meio Ambiente, v. 35, 2015. Disponível em: <http://revistas.ufpr.br/made/article/view/39177>. Acesso em: 08 dezembro 2017.

REFLORA. **Flora do Brasil 2020 em construção**. Jardim Botânico do Rio de Janeiro. Disponível em: <http://floradobrasil.jbrj.gov.br/>. Acesso em: 22 junho 2017.

ROBSON, Colin. **Real World Research**. Malden: Blackwell Publishing, 2002.

SAADATIAN, O.; SOPIAN, K.; SALLEH, E.; LIM, C. H.; RIFFAT, S.; SAADATIAN E. **A review of energy aspects of green roofs**. 2013. Disponível em : www.sciencedirect.com/science/article/pii/S136403211300124X. Acesso em: 05 julho de 2016.

SÃO PAULO. SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE. **Resolução SMA nº 32**, de 03 de abril de 2014. Estabelece as orientações, diretrizes e critérios sobre restauração ecológica no Estado de São Paulo, e dá providências correlatas. São Paulo, 03 de abril de 2014. Disponível em:

<http://arquivos.ambiente.sp.gov.br/legislacao/2016/12/Resolu%C3%A7%C3%A3o-SMA-032-2014-a.pdf>. Acesso em: 02 março 2018.

SAVI, Adriane C. **Telhados verdes: Uma análise da influência das espécies vegetais no seu desempenho na cidade de Curitiba**. Dissertação de mestrado. Curitiba: UFPR, PPGCC, 2015.

SHENG, L. X.; MARI, T. S.; ARIFFIN, A. R. M; HUSSEIN, H. **Integrated sustainable roof design**. Selangor, Malasya. 2011. Disponível em:

<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877705811049204>. Acesso em: 03 abril 2016.

SILVA, Bruno R. **Telhados verdes em clima tropical: uma nova técnica e seu potencial de atenuação térmica**. Tese de Doutorado. Rio de Janeiro: UFRJ/COPPE, 2016.

SOARES, A. E. R. **Lista de Espécies da Flora do Brasil- Jardim Botânico do Rio de Janeiro**. 2013. Disponível em: . Acesso em: 24 fevereiro 2014.

TABARELLI, M. **Retenção de biodiversidade em paisagens modificadas e estratégia de conservação da floresta atlântica nordestina**. In: BARBOSA, L. M.; SANTOS JUNIOR, N. A. dos (Orgs.). *A botânica no Brasil: pesquisa, ensino e políticas ambientais*. São Paulo: Sociedade Botânica do Brasil, 2007.

TESKE, M.; TRENTINI, A. M.M. *Herbarium compêndio de fitoterapia*. 3 ed. Curitiba, 1997.

Disponível em : <http://florien.com.br/wp-content/uploads/2016/06/CAVALINHA-1.pdf>. Acesso em: 29 maio 2017.

THURING, Christine E.; DUNNETT, Nigel. **Vegetation composition of old extensive green roofs (from 1980s Germany)**. *Ecological Processes*, v. 3, n. 1, p. 4, 2014.

UHMANN, Isaura Marques de Souza. **Readequação de coberturas através da técnica de telhados verdes: Estudo de caso nas escolas públicas do Estado do Paraná**. Dissertação de mestrado. Curitiba: UFPR, PPGCC, 2015.

WALLACE, B. J. Vascular epiphytism in Australo-Ásia. In: LIETH, H & WERGER, M. J. A. (eds). **Ecosystems**. Elsevier, Amsterdam, p. 261-182, 1989.

WILKINSON, S. J.; REED, R. **Green roof retrofit potential in the central business district. Faculty os Science and Technology**. Deakin University, Melbourne, Austrália. 2009. Disponível em: <http://www.emeraldinsight.com/journals.htm?articleid=1822192>. Acesso em:15 março 2016.

WONG, N.; CHEN, Y.; ONG, C.; SIA, A. **Investigation of thermal benefits of rooftop garden in the tropical environment**. 2013. Disponível em: www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360132302000665. Acesso em: 20 abril 2016.

YIN, R. K. **Estudo de caso: planejamento e métodos**. 2 ed. 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 18 março 2016.