



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO  
CENTRO ACADÊMICO DO AGRESTE  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL

RANNY SCARLET TAVARES MARCOLINO DA ROCHA

**DESEMPENHO TÉRMICO DE TELHADO VERDE ECOLÓGICO DE BAIXO CUSTO  
EM CLIMA SEMIÁRIDO**

Caruaru

2020

RANNY SCARLET TAVARES MARCOLINO DA ROCHA

**DESEMPENHO TÉRMICO DE TELHADO VERDE ECOLÓGICO DE BAIXO CUSTO  
EM CLIMA SEMIÁRIDO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito para a obtenção do título de mestre em Engenharia Civil e Ambiental.

**Área de concentração:** Tecnologia Ambiental.

**Orientadora:** Prof<sup>a</sup>. Dra. Sylvana Melo dos Santos.

Caruaru

2020

Catálogo na fonte:  
Bibliotecária – Maria Regina Borba - CRB/4 - 2013

R672d Rocha, Ranny Scarlet Tavares Marcolino da.  
Desempenho térmico de telhado verde ecológico de baixo custo em  
clima semiárido. / Ranny Scarlet Tavares Marcolino da Rocha. – 2020.  
133 f.; il.: 30 cm.

Orientadora: Sylvana Melo dos Santos.  
Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco, CAA,  
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental, 2020.  
Inclui Referências.

1. Telhados - Caruaru (PE). 2. Engenharia ambiental. 3. Controle  
de temperatura. 4. Clima de regiões áridas - Pernambuco. 5. Bacias  
hidrográficas. 6. Escassez. I. Santos, Sylvana Melo dos (Orientadora).  
II. Título.

CDD 620 (23. ed.) UFPE (CAA 2020-088)

RANNY SCARLET TAVARES MARCOLINO DA ROCHA

**DESEMPENHO TÉRMICO DE TELHADO VERDE ECOLÓGICO DE BAIXO CUSTO  
EM CLIMA SEMIÁRIDO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito para a obtenção do título de mestre em Engenharia Civil e Ambiental.

Aprovada em: 17/08/2020.

**BANCA EXAMINADORA**

---

Prof<sup>a</sup>. Dra. Sylvana Melo dos Santos (Orientadora)  
Universidade Federal de Pernambuco

---

Prof<sup>o</sup>. Dr. Anderson Luiz Ribeiro de Paiva (Examinador Interno)  
Universidade Federal de Pernambuco

---

Prof<sup>a</sup>. Dra. Érika Pinto Marinho (Examinadora Interna)  
Universidade Federal de Pernambuco

---

Prof<sup>a</sup>. Dra. Leidjane Maria Maciel de Oliveira (Examinadora Externa)  
Universidade Federal de Pernambuco

Dedico esse trabalho às pessoas que em algum momento poderão ser beneficiadas com esse sistema, principalmente aos mais necessitados.

## AGRADECIMENTOS

A Deus, sou grata com todo o meu coração e alma, por Ele ter me dado forças quando mais precisei e por ter me abençoado com planos maiores do que eu pudesse imaginar.

Agradeço especialmente a Erica Lessa, palavras não serão suficientes para lhe agradecer. Foi você que acreditou em mim quando nem eu mesma acreditava, que me apoiou e esteve ao meu lado nos momentos mais difíceis dessa caminhada. Por todas as noites em claro, por cada subida no telhado, pelos meus experimentos mais loucos, por cada lágrima enxuta, por me proporcionar alegria em meio a tanta preocupação e principalmente por estar comigo em cada vitória conquistada. Obrigada por ter feito dos meus sonhos, os seus.

Aos meus pais Willjany e Ronaldo Rocha, que me auxiliaram financeiramente sempre que precisei para poder dar continuidade aos meus objetivos, e também a minha irmã Rayanna. Sou extremamente grata pela ajuda, apoio e carinho proporcionados em minha trajetória.

A minha orientadora Sylvana Santos que acreditou e me incentivou frente a pesquisa, que me auxiliou e me apoiou para a conclusão do projeto. Obrigada por todos os ensinamentos e pelo amparo financeiro e emocional proporcionados.

A um dos melhores presentes que o mestrado me deu: minhas amigas. Renatha, Manu e Nathy, com certeza eu cheguei até aqui graças a vocês. Obrigada por tanto, por ter cuidado do meu projeto quando precisei como se fosse os seus. Por cada palavra de incentivo, cada abraço, e por cada risada que fizeram com que os dias ficassem mais leves e alegres.

A FACEPE que proporcionou a realização da pesquisa por meio do projeto “Telhados Verdes em Região Semiárida: Possibilidades de Reuso da Água e Desempenho Térmico”.

Ao PPGE CAM e a UFPE, que me permitiu realizar o mestrado acadêmico, que tanto almejei.

A minha tia e madrinha Wansineyd pelo apoio e carinho de sempre, e a minha tia de coração Vane que sempre me colocou em suas orações, além de proporcionar meios para a realização deste documento.

Ao professor Saulo de Tarso por ter me permitido fazer o estágio supervisionado e ter me feito ver que a vida acadêmica é a que eu quero seguir. Foi uma oportunidade única e indescritível.

Ao professor Anderson Paiva, e a todos da equipe de estudos de telhados verdes do *campus* Recife, pelo ensinamento e aprendizado repassado.

Ao discente de iniciação de pesquisa, Airton, que me auxiliou na construção e acompanhamento dos protótipos, com muita vontade e competência.

Aos pedreiros, pintores e auxiliares da construção dos protótipos que se tornaram meus amigos nessa caminhada, que aguentaram minhas preocupações e que fizeram com que o meu sonho se tornasse realidade.

Ao mestre de obras e ao engenheiro da equipe de infraestrutura da UFPE, por todo o suporte e auxílio necessário, serei eternamente grata.

Aos técnicos do LAMTESA, Gilles e Mari, que estiveram sempre dispostos a ajudar no que fosse necessário.

E a todos que direta ou indiretamente me auxiliaram para a realização do meu objetivo.

## RESUMO

As características da região Semiárida brasileira associadas à urbanização, agravam a necessidade do uso de alternativas de convivência com a escassez hídrica e as altas temperaturas. Para reduzir os impactos ambientais, o telhado verde ecológico é uma alternativa promissora, e consiste na aplicação de vegetação nos mais diversos tipos de cobertas, sendo uma técnica sustentável de alta potencialidade e benefícios para a regulação térmica do ambiente. Por outro lado, o emprego de camadas adicionais confere um acréscimo ao custo do projeto original, tornando a técnica inacessível às pessoas em situação financeira pouco privilegiada. Para reduzir essa lacuna técnico-social, apresenta-se essa pesquisa que visou avaliar o desempenho térmico de um telhado verde ecológico de baixo custo, em Caruaru, região semiárida de Pernambuco. Os estudos foram conduzidos na Unidade Experimental com dois protótipos, confeccionados em escala reduzida com 1 m<sup>2</sup> em seu interior, 2,45 m de altura e distantes 1 m, com condições climatológicas e estruturais semelhantes. Em ambos os protótipos foi empregada uma laje pré-fabricada, impermeabilizada e exposta, sobre a laje de um deles, foi disposto um arranjo sustentável composto por garrafas PET como elemento estruturador para acomodar o substrato de terra tratada e a vegetação de Aranto (*Kalanchoe laetivirens*), escolhida em razão do seu potencial de adaptação ao clima da região, além da facilidade de manutenção, de propagação de mudas e a possibilidade de retorno socioeconômico. Com termômetros e termohigrômetros, foram monitorados os dados de temperatura interna dos ambientes, abaixo das duas coberturas, de outubro de 2019 a março de 2020, comprovando para o telhado verde ecológico, a minimização de até 0,79°C na média mensal, 2,8°C na amplitude térmica diária, e 2,7°C nos horários mais quentes de dias específicos, com comportamento mais efetivo que os horários mais frios, se comparado aos dados do telhado de referência. Sobre os dados externos, o telhado verde ecológico resultou em melhor desempenho em diversos parâmetros, com destaque para a atenuação térmica no momento do pico máximo diário de temperatura e a amplitude térmica que chegou a evidenciar a diferença de 5,9°C entre as mesmas. O baixo custo de investimento, a sustentabilidade, e a eficácia no desempenho térmico constituem motivadores para ampla adesão da técnica.

Palavras-chave: Telhado ecológico. Elevadas temperaturas. Aridez. Escassez hídrica.

## ABSTRACT

The characteristics of the Brazilian semiarid region associated with the urbanization, it aggravates the need for alternatives to living with water scarcity and high temperatures. Aiming to reduce environmental impacts, the ecological green roof is a promising alternative, which consists of the application of vegetation in the most diverse types of coverings, being a sustainable technique with high potential and benefits for the thermal regulation of the environment. On the other hand, the use of additional layers gives an increase to the cost of the original project, making the technique inaccessible to people in a less privileged financial situation. To reduce that technical-social gap, it is this research aims to evaluate the thermal performance of a low-cost ecological green roof in the city of Caruaru, a semiarid region of Pernambuco. The studies were conducted in an Experimental Unit consisting of two prototypes, produced on a reduced scale with 1 m<sup>2</sup> inside by 2.45 m in height and separated at 1 m distance, presenting similar climatic and structural conditions. Both prototypes received a prefabricated slab, waterproofed and exposed, however only on the slab of one of them, a sustainable arrangement composed of PET bottles was arranged as a structuring element to accommodate the treated soil substrate and Aranto vegetation (*Kalanchoe laetivirens*), chosen because of its potential to adapt to the region's climate, in addition to the ease of maintenance, seedling propagation and the possibility of socioeconomic return. With thermometers and thermohygrometers, monitoring was carried out of the internal temperature data of the environments, under the slab of the two covers, was from October 2019 to March 2020, proving for the ecological green roof, the minimization of up to 0.79 °C in the monthly average, 2.8 °C in the daily thermal amplitude, and 2.7 °C in the hottest hours of specific days, which presents a more effective behavior than the coldest hours, in comparison with reference roof data. When compared to external data, the ecological green roof presented a better performance in several parameters, with emphasis on thermal attenuation at the time of the maximum daily peak temperature and the thermal amplitude that came to show the difference of 5.9 °C between them. The low investment cost, sustainability, and effectiveness in thermal performance, are motivators for broad adherence to the technique.

Keywords: Ecological roof. High temperatures. Aridity. Water scarcity.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 –	Estados constituintes da Região Semiárida Brasileira.....	22
Figura 2 –	Telhado verde no Ministério da Educação e Cultura do Rio de Janeiro (RJ).....	25
Figura 3 –	Acontecimentos impulsionadores para a evolução dos telhados verdes.....	27
Figura 4 –	Composição habitual dos telhados verdes.....	28
Quadro 1 –	Pesquisas com emprego de garrafa PET no arranjo do telhado verde ecológico.....	32
Figura 5 –	Arranjos de telhados verdes ecológicos compostos por garrafas PET.....	33
Figura 6 –	Tipos de telhados verdes de acordo com a sua classificação.....	34
Quadro 2 –	Classificação dos telhados verdes e suas principais características.....	35
Quadro 3 –	Vantagens do uso do telhado verde em relação ao convencional.....	37
Figura 7 –	Comparação da radiação solar sobre a superfície de distintos telhados.....	38
Figura 8 –	Comparativo hídrico do telhado verde e convencional.....	40
Quadro 4 –	Conclusões sobre a qualidade da água obtidas por Lima (2013).....	41
Quadro 5 –	Publicações sobre telhados verdes deste Grupo de Pesquisa (continua).....	46
Figura 9 –	Localização da área de estudo (Caruaru – PE).....	49
Figura 10 –	Desvio de precipitação da média mensal e média de referência, através de dados de precipitação referente ao posto Caruaru 24.....	51
Figura 11 –	Temperaturas médias mensais das cidades de Caruaru, Toritama e Agrestina, através do modelo ESTIMA_T.....	52
Figura 12 –	Fluxograma das etapas de execução da Unidade Experimental.....	54

Figura 13 –	Planta baixa e da cobertura adaptados dos protótipos da Unidade Experimental.....	55
Figura 14 –	Elevação frontal e corte AA dos protótipos.....	56
Figura 15 –	Locação e escavação para execução da fundação do primeiro protótipo.....	57
Figura 16 –	Execução da fundação do primeiro protótipo.....	57
Figura 17 –	Execução da alvenaria de vedação do primeiro protótipo....	58
Figura 18 –	Introdução da verga pré-moldada no primeiro protótipo.....	58
Figura 19 –	Revestimento interno das unidades experimentais.....	59
Figura 20 –	Início da execução do segundo protótipo.....	59
Figura 21 –	Execução das lajes pré-moldadas dos protótipos.....	60
Figura 22 –	Execução das platibandas dos protótipos.....	61
Figura 23 –	Execução do revestimento externo e da pintura dos protótipos.....	62
Figura 24 –	Execução das portas de calha em madeira dos protótipos.	62
Figura 25 –	Execução da impermeabilização dos protótipos.....	63
Figura 26 –	Execução do teste de estanqueidade na cobertura dos protótipos.....	64
Figura 27 –	Infiltração após a realização do teste de estanqueidade.....	64
Figura 28 –	Reparo da infiltração encontrada nos ralos dos protótipos..	65
Figura 29 –	Manutenção preventiva e limpeza da UETE.....	65
Figura 30 –	Ciclo contínuo de estágios do modelo utilizado.....	66
Figura 31 –	Interface do software do Escort iMINI.....	68
Figura 32 –	Interface do software do IP-747RH.....	69
Figura 33 –	Equipamentos utilizados para a realização dos experimentos.....	69
Figura 34 –	Disposição dos sensores utilizados no interior dos protótipos.....	71
Figura 35 –	Localização da estação automática Caruaru A341.....	73
Figura 36 –	Localização da Estação Manual Experimental José Nilson de Melo.....	74

Figura 37 –	Folhas adventícias (não embrionárias) provenientes de gemas adventícias desenvolvidas na folha de <i>Kalanchoe sp</i> (B).....	79
Figura 38 –	Suculenta <i>Kalanchoe laetivirens</i> utilizada no experimento..	80
Figura 39 –	Etapas para a confecção e posterior implantação do sistema de telhado verde ecológico com garrafa PET.....	82
Figura 40 –	Layout da vista superior do arranjo de telhado verde ecológico de baixo custo.....	83
Figura 41 –	Preparação do arranjo que compõe a cobertura do telhado verde ecológico.....	84
Figura 42 –	Rega manual do conjunto substrato + vegetação.....	84
Figura 43 –	Comparação do desenvolvimento da vegetação.....	85
Figura 44 –	Cobertura vegetal desenvolvida.....	86
Figura 45 –	Boxplot das temperaturas médias mensais do período de 2008 a 2017 e médias mensais representativas (estação automática Caruaru A341).....	89
Figura 46 –	Desvio de temperatura entre a média mensal representativa e a média anual de referência (estação automática Caruaru A341).....	90
Figura 47 –	Temperaturas médias mensais representativas e média anual de referência (estação automática Caruaru A341).....	91
Figura 48 –	Temperaturas médias, mínimas e máximas representativas (estação automática Caruaru A341).....	92
Figura 49 –	Disposição e nomenclatura dos termômetros de paredes dos protótipos.....	93
Figura 50 –	Temperatura interna nas paredes dos protótipos, em 03/07/2019.....	94
Figura 51 –	Temperatura interna nas paredes dos protótipos, em 23/10/2019.....	96
Figura 52 –	Temperatura interna nas paredes dos protótipos, em 06/03/2020.....	97
Figura 53 –	Boxplot das temperaturas diárias (sensores de teto).....	98
Figura 54 –	Boxplot das temperaturas diárias (sensores de teto).....	99

Figura 55 –	Boxplot das temperaturas diárias (sensores de teto).....	100
Figura 56 –	Comparativo entre médias mensais (sensores de teto) dos telhados estudados, com dados da caracterização climatológica do município de Caruaru.....	102
Figura 57 –	Temperaturas no teto dos protótipos e externa*, em 23/10/2019.....	103
Figura 58 –	Temperaturas no teto dos protótipos e externa*, em 24/11/2019.....	103
Figura 59 –	Temperaturas no teto dos protótipos e externa*, em 07/12/2019.....	104
Figura 60 –	Temperaturas no teto dos protótipos e externa*, em 07/01/2020.....	104
Figura 61 –	Temperaturas no teto dos protótipos e externa*, em 23/02/2020.....	105
Figura 62 –	Temperaturas no teto dos protótipos e externa*, em 06/03/2020.....	105

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 –	Critério de avaliação de desempenho térmico para condições de verão.....	44
Tabela 2 –	Características dos equipamentos utilizados no experimento.....	70
Tabela 3 –	Teste de estufa com os equipamentos utilizados na coleta de dados.....	70
Tabela 4 –	Quantitativos e valores do telhado verde ecológico de baixo custo implantado.....	87
Tabela 5 –	Teste para definição da localização dos termômetros nos protótipos.....	93
Tabela 6 –	Síntese das temperaturas internas e externa* no período investigado (continua).....	107
Tabela 7 –	Comparativos das temperaturas internas e externa* e amplitudes no período investigado (continua).....	108

## LISTA DE SIGLAS

ABRELPE	Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
APAC	Agência Pernambucana de Águas e Clima
CPRM	Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais
CTR	Central de Tratamento de Resíduos
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IMAFLOA	Instituto de Manejo e Certificação Florestal e Agrícola
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
NBR	Norma Brasileira
IPA	Instituto Agrônômico de Pernambuco
PET	Politerefitalato de etileno
PVC	Policloreto de polivinila
RSU	Resíduos Sólidos Urbanos
UETE	Unidade Experimental de Telhado Ecológico
UTC	<i>Coordinated Universal Time</i> (Tempo Universal Coordenado)

## LISTA DE SÍMBOLOS

CO <sub>2</sub>	Dióxido de Carbono
g/h	Gramas por hora
g/m <sup>2</sup>	Gramas por metro quadrado
NO <sub>2</sub>	Dióxido de Nitrogênio
O <sub>3</sub>	Ozônio
PM <sub>10</sub>	Partículas Inaláveis com diâmetro < 10 µm
SO <sub>2</sub>	Dióxido de Enxofre

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>18</b>
<b>2</b>	<b>OBJETIVOS.....</b>	<b>21</b>
<b>2.1</b>	<b>Objetivo Geral.....</b>	<b>21</b>
<b>2.2</b>	<b>Objetivos específicos.....</b>	<b>21</b>
<b>3</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO.....</b>	<b>22</b>
<b>3.1</b>	<b>Região Semiárida brasileira.....</b>	<b>22</b>
3.1.1	Vegetação e clima.....	23
<b>3.2</b>	<b>Telhados ecológicos.....</b>	<b>24</b>
<b>3.3</b>	<b>Telhados verdes.....</b>	<b>25</b>
3.3.1	Conceito.....	25
3.3.2	Telhados verdes - contexto histórico.....	26
3.3.3	Composição.....	27
3.3.4	Utilização de materiais recicláveis no arranjo de telhados verdes ecológicos.....	29
3.3.4.1	<i>Resíduos sólidos urbanos, reciclagem e reaproveitamento.....</i>	<i>29</i>
3.3.4.2	<i>Emprego de garrafas PET no arranjo do telhado verde ecológico.....</i>	<i>30</i>
3.3.5	Classificação.....	34
3.3.6	Vantagens.....	36
3.3.6.1	<i>Benefícios estéticos.....</i>	<i>37</i>
3.3.6.2	<i>Benefícios acústicos.....</i>	<i>37</i>
3.3.6.3	<i>Benefícios térmicos e do ar.....</i>	<i>38</i>
3.3.6.4	<i>Benefícios hídricos.....</i>	<i>39</i>
3.3.7	Desvantagens.....	42
3.3.8	Viabilidade econômica dos telhados verdes.....	42
3.3.9	Legislações e Normas brasileiras.....	43
3.3.10	Estudos realizados pela UFPE relacionados ao sistema de telhado verde.....	46
<b>4</b>	<b>MATERIAIS E MÉTODOS.....</b>	<b>49</b>
<b>4.1</b>	<b>Área de estudo.....</b>	<b>49</b>
<b>4.2</b>	<b>Unidade Experimental de Telhados Ecológicos.....</b>	<b>54</b>
4.2.1	Construção dos protótipos.....	54
4.2.2	Cobertura dos protótipos.....	65

4.2.3	Estudo simplificado de viabilidade econômica do telhado verde ecológico de baixo custo.....	67
<b>4.3</b>	<b>Aquisição de dados.....</b>	<b>67</b>
4.3.1	Dados internos dos protótipos.....	67
4.3.2	Dados externos.....	72
<b>4.4</b>	<b>Caracterização do comportamento da temperatura no município de Caruaru-PE.....</b>	<b>74</b>
<b>4.5</b>	<b>Análise da interferência das paredes na temperatura interna dos protótipos que compõem a Unidade Experimental de Telhados Ecológicos.....</b>	<b>76</b>
<b>4.6</b>	<b>Comparação do desempenho térmico dos telhados de referência e verde ecológico.....</b>	<b>76</b>
<b>5</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÕES.....</b>	<b>78</b>
<b>5.1</b>	<b>Implantação da cobertura do telhado verde ecológico de baixo custo.....</b>	<b>78</b>
5.1.1	Concepção da cobertura: vegetação e estrutura suporte.....	78
5.1.2	Disposição dos arranjos com garrafas PET sobre a laje do protótipo...	82
5.1.3	Estudo simplificado de viabilidade econômica do telhado verde ecológico de baixo custo.....	86
<b>5.2</b>	<b>Caracterização do comportamento da temperatura no município de Caruaru-PE.....</b>	<b>88</b>
<b>5.3</b>	<b>Análise da interferência das paredes na temperatura interna dos protótipos que compõem a Unidade Experimental de Telhados Ecológicos.....</b>	<b>92</b>
<b>5.4</b>	<b>Comparação do desempenho térmico entre o telhado de referência e verde ecológico.....</b>	<b>98</b>
<b>6</b>	<b>CONCLUSÕES.....</b>	<b>110</b>
<b>6.1</b>	<b>Trabalhos futuros.....</b>	<b>111</b>
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>112</b>
	<b>APÊNDICE A - DADOS EXTERNOS DE TEMPERATURA.....</b>	<b>124</b>
	<b>APÊNDICE B - DADOS INTERNOS DE TEMPERATURA.....</b>	<b>127</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Ao longo dos anos, foi verificado que questões relacionadas aos problemas ambientais ganharam mais evidência em razão da degradação ambiental e à destruição dos recursos naturais, principalmente provocadas pela ação do homem (DIAS e MARQUES, 2011). Além disso, o aumento e a concentração de atividades antrópicas referentes aos setores da agropecuária, de energia, do tratamento de resíduos e do uso da terra surgem como as principais causas do processo de intensificação do efeito estufa e do subsequente aquecimento global, sendo este um dos principais problemas ambientais do século (IMAFLOA, 2015). Esse cenário contribui para a maximização de impactos ambientais como o agravamento das ilhas de calor e conseqüentemente problemas na relação com o meio ambiente (SANTOS *et al.*, 2017a), que intensifica as principais características do contexto de semiaridez, conhecidas pelas altas temperaturas, as precipitações escassas e a hidrografia pobre, que associados a outros fatores como as condições de clima e solo são contribuintes para o desprovimento de recursos sociais e econômicos na região (ARAÚJO, 2011).

Por estar em uma das regiões mais pobres do Nordeste, o cenário observado no município de Caruaru requer o emprego de uma tecnologia economicamente exequível e própria à problemática da realidade local, a qual a partir de dados do seu ciclo climatológico é reconhecida por sua elevada temperatura e escassez hídrica acentuada (SANTOS *et al.*, 2009). Neste contexto, qualquer tentativa de resgate de cobertura vegetal é válida, uma vez que, conforme preconizado por Feitosa e Wilkison (2018), preservar áreas vegetadas reduz a intensidade dos efeitos adversos do aquecimento global, porém, a disponibilidade desse tipo de área no meio urbano é cada vez mais escassa. De acordo com os autores, superfícies que não detêm de vegetação possuem uma maior incidência da radiação solar e por conseguinte em sua absorção, que aumentam significativamente a temperatura do seu entorno, sucedendo um acentuado desconforto térmico.

A popularização de métodos construtivos ecológicos como recurso para a construção de ambientes sustentáveis pode reduzir consideravelmente os já conhecidos impactos ambientais, sobre isso Barth *et al.* (2017) destacam o uso de artigos recicláveis, implantação de aparatos de reaproveitamento ou de reflexão de raios solares. Como alternativa ao aumento da temperatura para a região semiárida, a introdução de telhados verdes surge como uma proposta importante para auxiliar na

minimização das consequências do desconforto térmico, compreendendo a aplicação de uma cobertura vegetal sobre telhados ou lajes convencionais, aos quais apresentam consideráveis benefícios (FRANÇA, 2012).

O emprego de telhados verdes e a escolha da cobertura vegetal provida de características fisiológicas adequadas ao clima da região, contribuem positivamente para a diminuição dos efeitos das ilhas de calor, para a regulação térmica dos ambientes por evapotranspiração e para o consequente conforto térmico (LI e YEUNG, 2014). De forma geral, a camada do substrato e a vegetação atuam como manta isolante, pois o processo de fotossíntese utiliza energia solar diminuindo a energia na superfície das construções, além disso, o telhado verde reflete calor, diminui a velocidade dos ventos e resfria o ar pelo processo de evapotranspiração que é bem mais acentuado em relação aos telhados convencionais. Assim, sistemas de envolturas verdes conseguem minimizar fatores como a radiação solar e a umidade relativa (MATHEUS *et al.*, 2016). Além disso, segundo Santos *et al.* (2017b), os telhados verdes trazem consigo retornos sociais e econômicos que se apresentam satisfatórios a médio e longo prazo.

Esse sistema também pode associar-se a materiais recicláveis que comumente são descartados pela sociedade fazendo com que sua aplicabilidade seja ainda mais benéfica e satisfatória. Neste contexto, destaca-se a garrafa de Politerefitalato de Etileno (PET) que, devido ao descarte impróprio associado ao grande tempo de decomposição, traz consequências negativas consideráveis ao meio ambiente. De acordo com as diretrizes aplicáveis da Política Nacional de Resíduos Sólidos (BRASIL, 2010), a reutilização fica atrás apenas da não geração e da redução dos resíduos no que se diz respeito a gestão e gerenciamento destes materiais, sendo importante no grau de ações que devem ser adotadas para as conformidades da referida Lei.

De fato, segundo Panziera *et al.* (2015), devido às concavidades na base das garrafas PET diminuir a área de contato com parte da estrutura, estas podem tanto restringir a transmissão da energia térmica para o interior do ambiente quanto absorver parte dessa energia devido ao ar retido em suas bases. De acordo com Pereira Júnior e Silva (2011), as garrafas podem ser utilizadas como base para o substrato e vegetação, e estas servirem como fonte alimentar, alcançando populações mais carentes, possuindo, portanto, maior aplicabilidade.

Na Universidade Federal de Pernambuco (UFPE) desde 2007, o Grupo de Pesquisa coordenado pela profa. Sylvana Melo dos Santos iniciou estudos sobre telhados verdes no Semiárido. Na ocasião, foram instalados os primeiros protótipos em uma cobertura térrea localizada e cedida pelo Instituto Agrônomo de Pernambuco (IPA), com aspersores de água, sistema de captação e armazenamento de água e diferentes coberturas investigadas, dentre elas a *Melocactus macrodiscus* (Coroa-de-frade) e *Cynodium dactylum* (Gramma-de-burro) que posteriormente foi substituída por *Aloe vera* (Babosa), em razão da sua melhor adaptação ao clima local (LIMA, 2013). Observou-se na literatura científica o desempenho das suculentas em clima semiárido, onde evidenciou-se a família *Crassulaceae*, na qual destaca-se a possibilidade de adesão à espécie *Kalanchoe laetivirens*, que garante a viabilidade financeira do seu emprego por ser de baixo custo e fácil propagação, atenuando o avanço do grupo quanto a identificação de possíveis novas vegetações pertinentes à realidade local.

De acordo com Santos (2016), o referido Grupo de Pesquisa ainda investigou questões acerca da qualidade da água, do desempenho térmico, e do potencial de capacitação no contexto pluviométrico. Assim sendo, esta pesquisa pretende agregar conhecimento, somando uma nova vertente de investigação (incorporação da preocupação do baixo custo) ao conhecimento já consolidado dos benefícios e especificidades discutidos pelo Grupo de Pesquisa.

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo geral**

Avaliar a eficácia do desempenho térmico de um telhado verde ecológico de baixo custo em comparação a um telhado de referência, em clima semiárido, com o emprego de protótipos de mesma dimensão, *design* e materiais.

### **2.2 Objetivos específicos**

- Desenvolver e implantar um arranjo de baixo custo para composição do telhado verde ecológico.
- Caracterizar o comportamento da temperatura do município de Caruaru-PE.
- Analisar a interferência das paredes na temperatura interna dos protótipos que compõem a Unidade Experimental de Telhados Ecológicos.
- Comparar o desempenho térmico dos telhados de referência e verde ecológico.

### 3 REFERENCIAL TEÓRICO

#### 3.1 Região Semiárida brasileira

De acordo com o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2007), a região Semiárida brasileira é delimitada por apresentar condições climáticas pontuais, principalmente àquelas relacionadas aos ciclos de estiagem e secas e à hidrografia pobre, além de ser caracterizada pela dificuldade de acesso e armazenamento de água, o que está intimamente relacionado às questões sociais. Em conformidade com o que afirma Santos *et al.* (2013a), os critérios técnicos que delimitam a Região Semiárida brasileira, definida através da Portaria nº 89/2005 pelo Ministério da Integração Nacional são: precipitação pluviométrica menor que 800mm/ano, índice de aridez de até 0,5 e risco de seca maior que 60%. Como resultado, segundo a Resolução nº 115 (BRASIL, 2017), esta região abrange os estados do Maranhão, Piauí, Ceará, Rio Grande do Norte, Paraíba, Pernambuco, Alagoas, Sergipe, Bahia e Minas Gerais, o que corresponde a 1.262 municípios no total, sendo a Bahia o estado com maior quantidade de municípios presentes na região considerada semiárida, correspondente a aproximadamente 22,08% do total, Figura 1.

**Figura 1** - Estados constituintes da Região Semiárida Brasileira.



Fonte: Adaptado de IBGE (2018).

A região tem suas particularidades e fragilidades, que tendem a potencializarem-se à medida que aumentam as mudanças climáticas, principalmente no que se diz respeito ao aquecimento global, que segundo Felício (2014) refere-se ao acúmulo de dióxido de carbono e demais poluentes na atmosfera. Como reitera Xavier e Kerr (2004) este cenário faz com que a radiação solar não seja difundida adequadamente, provocando o aumento da temperatura terrestre e a consequente intensificação do efeito estufa. Mudanças significativas são ocasionadas por este fenômeno, a exemplo do aumento da temperatura, alterações nos ecossistemas, modificações nas precipitações, formação de ilhas de calor e desconforto térmico.

No semiárido, as grandes secas e enchentes que caracterizam a região castiga o povo, que carece de recursos e de investimentos. Tais mudanças podem interferir na perda de ecossistemas da caatinga, traz o risco de desertificação, prejudica a geração de energia hidroelétrica, desfavorecem a agricultura, causam impacto na saúde humana, no fornecimento e na qualidade da água (MARENGO *et al.*, 2011), além de impactar diretamente no desempenho das edificações no que tange ao conforto térmico dentro das construções.

### 3.1.1 Vegetação e clima

A vegetação e o clima são aspectos característicos importantes no semiárido. A vegetação predominante na região recebe o nome de caatinga, que em tupi-guarani significa “mata-branca”, na qual destaca-se uma flora lenhosa e espinhosa, de pequeno porte, constituída por cactos, herbáceas e bromeliáceas, presente em todos os estados da região nordeste e do norte de Minas Gerais. Esta vegetação sofre adequações diretas para as frequentes secas e os longos períodos de estiagem e em sua maioria, perdem as folhas durante a escassez de água. A natureza destas plantas permite a redução da perda de água e seu armazenamento, e apesar da aridez, vários produtos podem resultar dessa vegetação, utilizando-as como fibras, óleos, ou até mesmo para fins medicinais (SAITO, 2006; LOIOLA, ROQUE e OLIVEIRA, 2012).

Quando relacionado ao clima, a região apresenta características peculiares que englobam altas temperaturas por estar exposta à radiação solar durante a maior parte do ano, podendo atingir em sua máxima os 40°C, precipitações escassas variando entre 280 a 800mm/ano e concentradas em um curto período de tempo, e deficiência hídrica, justificado pelo potencial de evapotranspiração que apresenta-se maior que as precipitações, fazendo assim com que o clima da região seja conhecido por ser do

tipo BSh ou do tipo quente e seco (ARAÚJO, 2011). De acordo com Zanella (2014), a aridez é causada pelas altas taxas de evapotranspiração, deixando o solo seco e de aparência pedregosa, e as secas podem ser constantes durante aproximadamente oito meses por ano. O autor destaca que os baixos índices pluviométricos também apresentam característica de sazonalidade, durando em média quatro meses por ano, por isso as secas têm tão forte influência nas condições socioeconômicas da população da região do Semiárido brasileiro.

Ramalho (2013) reitera que a ausência de fontes de água também é uma particularidade da região geograficamente conhecida como o “polígono da seca”, na qual as chuvas são escassas e irregulares, além de apresentar tempestades na curta estação chuvosa que ocorre entre maio e junho. No que se refere à temperatura, Medeiros, Holanda e Silva (2017) destacam que a inconstância da mesma é reconhecida na dinâmica climática dado seu potencial de interferência nas atividades humanas, bem como influencia na saúde da população, podendo os seus índices retratarem o impacto no microclima da região.

### **3.2 Telhados ecológicos**

Para tentar reduzir os impactos ambientais e ajudar a recuperar o meio ambiente, foram pensadas alternativas sustentáveis para a construção civil, de modo que aproveite os recursos naturais e reduza a poluição ambiental (MANHÃES e ARAÚJO, 2014). Dentre essas alternativas se inserem os telhados ecológicos. O desenvolvimento de métodos para a construção de telhados ecológicos encontra-se em um período de ascensão no Brasil, acompanhada do aumento da consciência ambiental (PILZ *et al.*, 2018) e de incentivos como a Lei Municipal Nº 18112 (RECIFE, 2015) que dispõe sobre a melhoria da qualidade ambiental das edificações por meio da obrigatoriedade de instalação do telhado verde e construção de reservatórios de acúmulo ou retardo do escoamento das águas pluviais. A construção de telhados ecológicos, como as demais construções sustentáveis, apresenta diversos benefícios como: redução da conta de energia, ganho de valor imobiliário, benefícios para a saúde, além de contribuir com a preservação do meio ambiente (YUDELSON, 2013). Os telhados ecológicos podem ainda ser divididos conforme as especificidades que apresentam além do telhado verde, como: telhado branco, telha ecológica, telhado solar e telhado marrom.

- Telhado branco: compreende a utilização de coberturas que refletem a luz solar e reduzem a demanda de energia, resfriam os telhados, o solo e o ar em nível local (JACOBSON e HOEVE, 2012).
- Telha ecológica: trata-se da utilização de materiais recicláveis para a elaboração de telhas (ARAÚJO, MORAIS e ALTIDIS, 2008).
- Telhado solar: aplicação de painel fotovoltaico para produção de eletricidade por meio de energia solar (MACHADO e MIRANDA, 2015).
- Telhado marrom: tem como objetivo aumentar a biodiversidade e, muitas vezes, visa fornecer um lar para plantas locais que possam ter sido deslocadas pela construção, que geralmente são plantados com vegetações e solo locais (EUROPEAN COMMISSION, 2015).

### 3.3 Telhados verdes

#### 3.3.1 Conceito

Dentre os sistemas de vegetação aplicados à construção civil, que estão relatados na literatura, os telhados e as paredes verdes são os mais comumente utilizados. Esse tipo de telhado, também conhecido como eco-telhado ou telhados vivos (BESIR e CUCE, 2018), consiste sinteticamente em pôr em prática o emprego de diferentes tipos de vegetação sobre o substrato, instalados na cobertura do imóvel (SHAFIQUE, KIM e RAFIQ, 2018), como mostrado nas Figuras 2a e 2b. Nos casos de estruturas que já foram executadas sem o planejamento para receber o telhado, é necessário um estudo para analisar a carga que pode ser colocada ou até mesmo a necessidade de realizar um reforço estrutural (SANTOS *et al.*, 2017b).

**Figura 2** - Telhado verde no Ministério da Educação e Cultura do Rio de Janeiro (RJ).

(a) Vista Superior.



Fonte: Flickr (2012 *apud* SAVI, 2012).

(b) Vista do interior do jardim.



Fonte: Monolitho (2012 *apud* SAVI, 2012).

Esse tipo de tecnologia dispõe de diversos serviços ecossistêmicos, que englobam proveitos ambientais, econômicos e sociais, exercendo uma atribuição significativa se relacionado ao desenvolvimento urbano sustentável (FRANCIS e JENSEN, 2017). Habitualmente, os telhados verdes são construídos para ocupar a área de uma maneira que maximize a economia e a eficiência, realçando tanto o melhoramento do isolamento do local aplicado, quanto a capacidade energética (MOWLA, 2010). Além disso, de acordo com Susca (2019), esta tecnologia é uma forma bastante viável de auxiliar na adaptação e na mitigação das mudanças climáticas, sendo observada a necessidade de estudos mais aprofundados que comprovem o potencial de implantação, abrangendo áreas geográficas pouco investigadas. De acordo com Dimitrijević *et al.* (2016), a implementação do telhado verde nas coberturas dos edifícios é uma estratégia que fornece melhoria na minimização das ilhas de calor, proporciona conforto térmico para os ocupantes e reduz o consumo de energia dos mesmos. Os autores afirmam que os telhados verdes são uma técnica de resfriamento passivo, que pode impedir que a radiação solar recebida atinja a estrutura do edifício abaixo.

Diversas são as variações observadas na literatura com o uso da técnica e melhoramento da tecnologia, para Coma *et al.* (2016), faz-se necessário estudos mais detalhados das características do local, do tipo de vegetação, do meio de crescimento, da camada de drenagem e de outras propriedades. Coma *et al.* (2016) e Shafique, Kim e Rafiq (2018) concordam sobre a importância da escolha ideal de cada componente do telhado para que se tenha resultados satisfatórios ao que foi proposto.

### 3.3.2 Telhados verdes - contexto histórico

Na antiguidade, em torno de 500 a.C., há relatos de notáveis telhados verdes que eram chamados de jardins suspensos da Babilônia, após isso, com os avanços tecnológicos, a Alemanha apareceu como um grande disseminador de telhados mais modernos, buscando enfatizar a biodiversidade, o substrato, a técnica construtiva e o *design*. A partir de então, esta técnica tornou-se popular em diversos outros países (VIJAYARAGHAVAN, 2016). Almeida, Brito e Santos (2018) demonstraram sinteticamente os principais acontecimentos influenciadores da evolução dos telhados verdes (Figura 3).

**Figura 3** - Acontecimentos impulsionadores para a evolução dos telhados verdes.



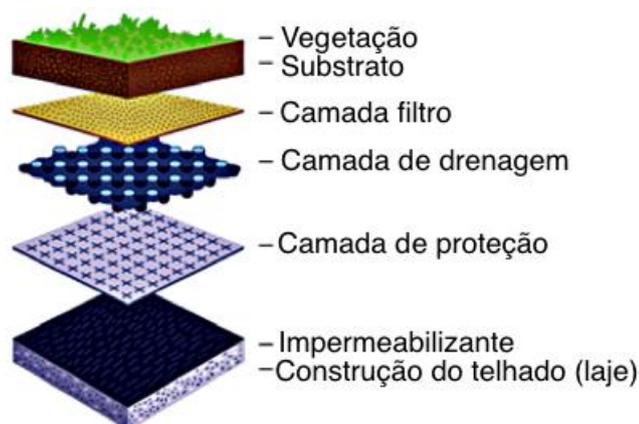
Fonte: Almeida, Brito e Santos (2018).

No Brasil, na década de 1920, com o surgimento da arquitetura moderna, surgiu o primeiro terraço jardim no prédio do Ministério da Educação e Saúde no Rio de Janeiro, no qual transformava as coberturas em espaços habitáveis de convivência e lazer, contudo esse conceito teve um declínio acentuado e ficou esquecido. Apesar desses fatos, desde 1990 a utilização das coberturas verdes tornou a se expandir, mesmo ocorrendo em um processo ainda considerado lento. Nos estados de Santa Catarina e Rio Grande do Sul a aplicação de telhados verdes é mais acentuada, com leis de incentivo à construção, que apesar de não serem adotados em larga escala, os resultados de estudos realizados sobre a temática justificam o emprego desta tecnologia (FERRAZ, 2012). Mesmo assim, de acordo com Pereira *et al.* (2015), no país ainda se observa certo receio quanto à utilidade dos telhados verdes, motivado principalmente pela cultura e pela desconfiança sobre o respectivo desempenho, sendo aplicados inicialmente apenas por circunstâncias estéticas, de lazer, ecológicas e por fim sustentáveis.

### 3.3.3 Composição

De acordo com Jobim (2013), a composição mais comum e simples de um telhado verde compreende a disposição de cinco camadas básicas: vegetação, substrato, camada de filtragem, camada de drenagem e camada de impermeabilização. Segundo o autor, pode-se encontrar outras variações em sua composição e na maioria das vezes, vários outros materiais podem ser empregados a depender do executor, das necessidades e das predileções do usuário, da área disponível, do custo, da capacidade de suporte e/ou da localização da área de aplicação. A Figura 4 apresenta a disposição dos componentes de um telhado verde.

**Figura 4** - Composição habitual dos telhados verdes.



Fonte: Traduzido de Dimitrijević *et al.* (2016).

Cada uma das camadas tem a sua especificidade e função para garantir o funcionamento deste tipo de cobertura, conforme detalhamento a seguir.

- Base do telhado ou laje: elemento estrutural que apoia o material usado na cobertura como, por exemplo, as telhas cerâmicas (OLIVEIRA, 2009), sendo fundamental, conforme Alberto *et al.* (2012), considerar a capacidade de suporte das cargas permanentes e das cargas acidentais.
- Camada de impermeabilização: impede a infiltração da água na laje ou na camada de suporte, e de acordo com Jobim (2013), confere durabilidade ao telhado, podendo ser utilizado materiais do tipo mantas, membranas, resinas ou bases. Wark e Wark (2003) destacam que as membranas que possuem camada única ficaram bastante populares devido ao custo-benefício e simplicidade, porém é possível instalar qualquer tipo de sistema de impermeabilização neste tipo de tecnologia.
- Camada protetora: confere proteção ao sistema de telhados verdes contra, por exemplo, o crescimento das raízes da vegetação (SILVA, 2011), constituindo de forma opcional, conforme explicado por Oliveira (2009), como proteção mecânica contra danos à impermeabilização e é empregada normalmente para evitar as interferências do ambiente externo à construção, mas o próprio telhado verde (considerando todas as outras camadas descritas neste trabalho) já desempenha esta função, conferindo conforto termoacústico às construções.
- Camada de drenagem: possibilita o fluxo do excesso de água para fora do substrato, evitando o acúmulo no interior do sistema (JOBIM, 2013), podendo ainda, segundo Heneine (2008), assumir funções secundárias como o próprio

armazenamento temporário de água. É composto basicamente por seixos, britas ou argila expandida (ALBERTO *et al.*, 2012).

- Camada de filtragem: responsável por não permitir a passagem do substrato para a camada de drenagem (JOBIM, 2013; SILVA, 2011), sendo composta, normalmente, por manta geotêxtil, que tem alta resistência mecânica e durabilidade (OLIVEIRA, 2009).
- Camada de substrato: responsável por conter os nutrientes necessários para o crescimento da vegetação (SILVA, SIQUEIRA e ARAGÃO, 2017), funcionando como suporte para as plantas, que dependendo de sua capacidade de armazenamento de água pode auxiliar no sistema de drenagem (JOBIM, 2013). Heneine (2008) destaca a atenção necessária para o dimensionamento dessa camada de modo a permitir o adequado crescimento das raízes.
- Camada de vegetação: compreende a própria cobertura vegetal, condicionando o tipo de telhado verde implantado (carga, espessura e tipo de substrato, resistência da camada anti-raiz). De acordo com Heneine (2008), a escolha da planta depende das condições locais, manutenção e aparência. Jobim (2013) complementa, destacando a necessidade de serem verificados parâmetros como a inclinação do telhado, radiação solar e índices pluviométricos da localidade.

### 3.3.4 Utilização de materiais recicláveis no arranjo de telhados verdes ecológicos

#### 3.3.4.1 Resíduos sólidos urbanos, reciclagem e reaproveitamento

Segundo a Política Nacional de Resíduos Sólidos (BRASIL, 2010), os Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) correspondem aos resíduos domiciliares e de limpeza urbana (varrição, limpeza de logradouros e vias públicas e outros serviços de limpeza urbana). De acordo com Abrelpe (2019), a coleta de RSU no Brasil em 2018 foi de 72,7 milhões de toneladas, o que corresponde a 92% da cobertura da coleta dos resíduos para todo o país. Ainda assim, os resíduos provindos das atividades humanas em sociedade compreendem uma grande variedade de temas interligados tais como a questão da logística reversa, da coleta seletiva e da atuação dos catadores de materiais reutilizáveis e recicláveis (aqueles que após seu descarte e tratamento podem ser reaproveitados e transformados em um novo produto ou até mesmo serem reutilizados).

Diversos materiais que comumente são descartados como lixo podem ser reciclados e ajudar na preservação ambiental. Os principais materiais conhecidos, de acordo com Souza, Fontes e Salomão (2014), são: papel, vidro, plástico e metal. No cenário exposto, um material de grande impacto na geração dos RSU é o Politerefitalato de Etileno (PET), que é um poliéster, polímero termoplástico, usado para fabricação de garrafas e embalagens de diversos produtos, sendo de acordo com Forlin e Farias (2002), o melhor e mais resistente plástico devido as suas características.

Por causa dessas particularidades, as embalagens PET têm causado um problema grave: o descarte dessas embalagens após seu uso, sendo muitas vezes destinadas aos aterros sanitários e/ou aos mananciais hídricos, levando séculos para se decompor. De acordo com Silva e Almeida (2010), como apenas parte das garrafas PET é reciclada, assume-se que o restante é lançado no lixo. Os dados nacionais da ABIPET (2019) expõem um descarte aproximado de 565.455 t de PET, com apenas 55% recicladas, ou seja, 311.000 t, e o restante das 254.455 t muito provavelmente foi lançado diretamente na natureza. Ainda assim, segundo a Associação Brasileira da Indústria PET a reciclagem de garrafas PET no Brasil é uma das mais desenvolvidas no mundo, e conta com alto índice de reciclagem e uma enorme gama de aplicações para o material.

#### *3.3.4.2 Emprego de garrafas PET no arranjo do telhado verde ecológico*

De acordo com Manhães e Araújo (2014), considerando a problemática associada à geração de resíduos e impactos ambientais decorrentes das atividades humanas, o conceito de construção sustentável tem ganhado cada vez mais notoriedade, abrindo espaço para o desenvolvimento tecnológico, objetivando a redução de impactos ambientais através de estratégias que abrangem desde a escolha de ecomateriais até o reaproveitamento de materiais recicláveis.

No que se refere aos telhados verdes, considerando o viés da sustentabilidade em consonância com a crescente geração de resíduos sólidos, pode-se pensar em alternativas à composição tradicional dos mesmos. Logo, a reutilização das garrafas PET pode ser empregada como a base para o cultivo de plantas no processo de montagem da referida cobertura sustentável (FUNFGELT *et al.*, 2012). Para Visentin, Neckel e Breda (2015), a reutilização das garrafas permite o ambiente adequado para o cultivo de plantas de pequeno porte, de raízes pouco profundas, além de adequar-

se à formatação necessária, por ser fabricada em material maleável que permite vários tipos de cortes e montagens. Além de contribuir com o meio ambiente, as vantagens do reuso das garrafas PET para a montagem dos telhados verdes incluem o baixo custo devido à fácil disposição do artigo e à mão de obra barata, visto que não carece de especificidades durante a montagem (PANZIERA *et al.*, 2015).

A reutilização de materiais recicláveis refere-se à destinação de um novo uso, neste caso das garrafas PET, retirando-as do meio ambiente e transformando-as em benefício e geração de renda (MAYER *et al.*, 2013). Segundo Coimbra e Damato Neto (2016), os interessados podem utilizar este material na confecção de um telhado verde ecológico, contemplando de maneira adequada à necessidade do instalador, com satisfatória relação custo x benefício. No Quadro 1 e na Figura 5 apresenta-se algumas pesquisas com o emprego de garrafas PET no arranjo de sistema de telhados verdes ecológicos.

**Quadro 1** - Pesquisas com emprego de garrafa PET no arranjo do telhado verde ecológico.

Fonte de informação	Metodologia para emprego da garrafa PET	Vegetação utilizada no experimento
Pereira Júnior e Silva (2011)	Garrafas PET dispostas em fileiras longitudinais, onde a primeira garrafa tinha apenas a parte posterior cortada, as do centro tinham a parte frontal e posterior cortadas, e a última apenas a parte frontal. Foram feitas uma abertura no centro da garrafa para o acondicionamento do substrato e da vegetação, porém apenas em três sentidos, deixando sua aba, sendo unidas umas às outras por meio de rebite e arames.	Mudas de batata doce ( <i>Ipomoea batatas</i> ) e amendoim ( <i>Arachis hypogaea</i> L).
Cortés e Castillo (2011)	Utilização de garrafas PET de 3L, dispostas no sentido longitudinal, com três aberturas na parte lateral medindo 7 cm x 10 cm servindo como recipiente para o substrato e a vegetação, e três perfurações no bocal da garrafa para o funcionamento no sistema de drenagem.	Alface crespa ( <i>Lactuca sativa</i> ) com rabanete ( <i>Rhaphanus sativus</i> ), cebola longa ( <i>Allium fistulosum</i> ), coentro ( <i>Coriandrum sativum</i> ) com alface crespa, espinafre ( <i>Spinaca oleracea</i> ) e salsa ( <i>Petroselinum crispum</i> ).
Funfgelt <i>et al.</i> (2012)	Garrafas dispostas no sentido longitudinal cortadas ao meio, perfuradas na base para drenagem, unidas por meio do bico em um semicírculo no fundo da mesma. Foram fixadas por meio de uma malha de fios de nylon presa nas extremidades.	Gramíneas e Crassuláceas.
Jobim (2013)	Garrafas PET de 2 L, cortadas ao meio, com furos em toda a sua circunferência a 3 cm da base para drenagem. Foram dispostas de forma vertical e intercaladas por um espaço vazio e no interior das mesmas havia camadas com: argila expandida, manta geotêxtil, areia, substrato e vegetação.	Calanchôe ( <i>Kalanchoe blossfeldiana</i> ).
Panziera <i>et al.</i> (2015)	Anéis de garrafas PET de 2,0 e 2,5 L, com 5 cm de altura no sentido vertical, com a finalidade de armazenar água da chuva e servir como suporte para o substrato.	Grama do gênero <i>Axonopus compressus</i> , chamada também por Grama-São-Carlos.
Martins e Pinto (2016)	Utilização de garrafas PET no sentido vertical medindo 7 cm de altura. Na parte inferior continham manta geotêxtil do tipo Bidim, seguidos pelo substrato e vegetação.	Gramínea cultivar esmeralda.

Fonte: Autora.

**Figura 5** - Arranjos de telhados verdes ecológicos compostos por garrafas PET.

- (a) Experimento com mudas de batata doce e de amendoim.



Fonte: Pereira Júnior e Silva (2011).

- (b) Experimento com Alface crespa (*Lactuca sativa*) com rabanete (*Rhaphanus sativus*), cebola longa (*Allium fistulosum*), coentro (*Coriandrum sativum*) com alface crespa, espinafre (*Spinaca oleracea*) e salsa (*Petroselinum crispum*).



Fonte: Cortés e Castillo (2011).

- (c) Experimento com Gramíneas e Crassuláceas.



Fonte: Funfgelt *et al.* (2012).

- (d) Experimento com Calanchôe.



Fonte: Jobim (2013).

- (e) Experimento com Grama-São-Carlos.



Fonte: Panziera *et al.* (2015).

- (f) Experimento com Gramínea cultivar esmeralda.

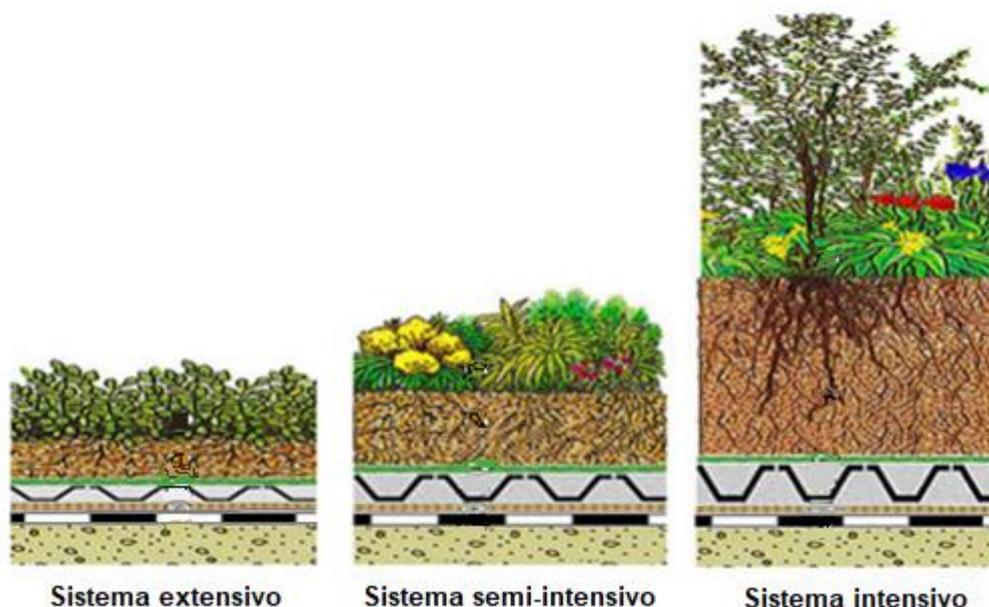


Fonte: Martins e Pinto (2016).

### 3.3.5 Classificação

A forma mais comumente encontrada para classificação dos telhados verdes, faz referência à três categorias conforme nível de manutenção de cada sistema: extensivos, semi-intensivos e intensivos (Figura 6).

**Figura 6** - Tipos de telhados verdes de acordo com a sua classificação.



Fonte: Adaptado de Jobim (2013).

Almeida, Brito e Santos (2018) destacam que, com base na classificação já descrita, os tipos de telhados possíveis evidenciam a diversidade de possibilidades que atendem diferentes condições socioeconômicas, tipos de moradia, e gostos visuais, sendo que, em todos os casos, contribuem para sustentabilidade do planeta. Abordando o contexto histórico de evolução, adaptação, renovação e melhoramento dos telhados verdes, os autores concluem que há espaço para novos arranjos tecnológicos, e que pode ocorrer nos dias de hoje, como já foi visto no passado, novos apanhados técnicos, práticos e teóricos que foram incorporados pela Engenharia e Arquitetura no período Pós-Revolução Industrial que levaram à sua significação cultural desde a concepção estética até a funcional.

O Quadro 2 apresenta as principais características relacionadas a cada tipo de telhado verde.

**Quadro 2** - Classificação dos telhados verdes e suas principais características.

Parâmetros	Tipos de telhado verde		
	Extensivo	Semi-intensivo	Intensivo
Manutenção**	Pouca ou nenhuma	Constantemente	Alto
Irrigação*	Nenhuma	Periódica	Regular
Redução de águas pluviais*	Baixo	Médio	Alto
Diversidade de plantas*	Baixo	Médio	Alto
Comunidades de plantas*	Vegetação de pequeno porte, auto-suficiente e auto-propagante	Gramíneas e arbustos	Espécies de maior porte
Altura das plantas*	5 – 30 cm	30 – 60 cm	30 – 90 cm ou mais
Profundidade do substrato*	4 - 20 cm, sendo considerado 10 - 15 cm como os típicos	10 – 50 cm	10 – 200 cm ou mais
Peso saturado do solo*	48,8 a 170 kg/m <sup>2</sup> (Baixo)	170 a 244 kg/m <sup>2</sup> (Médio)	244 a 1467 kg/m <sup>2</sup> (Alto)
Custo***	Baixo	Médio	Alto
Inclinação do telhado*	Até 30°	Pequenas inclinações ou plano.	
Uso*	Proteção ecológica	Projetado para ser um telhado verde	Parque, jardim, projetado para ser frequentado

Fonte: \*Dimitrijević *et al.* (2016), \*\*Santos (2016); \*\*\*Pessanha (2017).

O telhado verde extensivo é, muitas vezes, construído para atenuar os efeitos das águas pluviais na rede pública, pois nestes devem ser plantados vegetações resistentes à radiação solar e à seca, favorecendo a biodiversidade (HENEINE, 2008). Nesse tipo de telhado verde, podem ser utilizadas espécies rústicas e rasteiras, sem a necessidade de tanto cuidado e manutenção, apenas em períodos de seca, sua altura varia de 5 a 30 cm, e podem ser construídas em coberturas com inclinação de até 30°. De acordo com Ferraz (2012), é possível utilizar telhados com inclinação de até 45°, desde que exista uma malha para estabilizar o solo e impedir do mesmo deslizar. O telhado verde extensivo é relativamente mais barato, é um bom isolante térmico e geralmente pode ser construído em todos os tipos de cobertura (telhas cerâmicas, de fibrocimento, coberturas de aço e lajes), contudo, segundo Jobim (2013), apresentam algumas desvantagens, como o baixo apelo estético devido a limitação na escolha das plantas e ao baixo crescimento das espécies vegetais, não podendo ser utilizados para fins recreativos e de lazer.

Para Ferraz (2012), o sistema semi-intensivo pode ser compreendido como uma cobertura intermediária entre o extensivo e o intensivo, tanto na magnitude da altura, quanto na variedade de espécies. Alguns autores não consideram essa classificação, levando em conta apenas os tipos intensivos e extensivos. O autor ainda afirma que o sistema intensivo é o que mais se assemelha a um jardim, e pode ser constituído de espécies de grande porte, sendo necessários maiores cuidados e manutenções, e restrições como a ausência de inclinação dos telhados que poderia vir a acarretar altos riscos de deslizamento. Essas plantas já devem ser implantadas ao sistema com certo crescimento, possuindo resistência à radiação solar e ao vento (HENEINE, 2008).

### 3.3.6 Vantagens

O emprego do telhado verde é benéfico tanto urbanamente, quanto para a construção propriamente dita (SUSCA, 2019). É imprescindível relatar que tais vantagens podem se apresentar em grandes intervalos de eficácia, ou seja, em algumas situações pode-se alcançar um alto feito, em outros nenhum, isso depende basicamente da relação do contexto específico e dos parâmetros do telhado, se essa situação fosse mais clara e precisa seria possível prescrever requisitos mais minuciosos para atingir os níveis desejados (FRANCIS e JENSEN, 2017).

Essa tecnologia sustentável possui uma efetiva participação na mudança de paradigmas no ramo construtivo, pois sua utilização pode resultar em ganhos na umidificação do ar, na suavização de ambientes termicamente aquecidos, principalmente onde existem grandes edificações e fluxo urbano intenso, como também, essa vegetação pode atuar na filtragem de materiais e gases nocivos à saúde humana e do planeta (KREBS, 2005).

Estudos comprovam inúmeras vantagens quanto à aplicação dos telhados verdes, esse fato pode ser bem exemplificado quando comparado aos telhados convencionais como mostrado no Quadro 3, que demonstra alguns parâmetros de análise em diversos experimentos, o que pode ser potencialmente intensificado a depender do tipo de telhado empregado (extensivo, semi-intensivo e intensivo).

**Quadro 3** - Vantagens do uso do telhado verde em relação ao convencional.

Experimento	Telhado Verde	Telhado Convencional
Retenção do Volume de Água	10 – 30% em épocas chuvosas 65 – 100% em épocas secas	Nenhuma
Qualidade do ar	Filtração do ar prevenindo o aumento da temperatura	
Uso de Energia	Isola as construções e previne contra as Ilhas de Calor	
Vegetação	Promoção da fotossíntese e oxigênio	
Redução das taxas de drenagem	Pode chegar a 45%	
Durabilidade	36 anos com manutenção	Cerca de 20 anos

Fonte: Adaptado de Liptan e Strecker (SD *apud* SANTOS e BARBOSA, 2015).

### 3.3.6.1 Benefícios estéticos

O aumento da área verde contribui para a produção de efeitos estéticos, que intervêm no combate à poluição visual das cidades, resultando em sensações de bem-estar nos habitantes próximos ao telhado verde (JOBIM, 2013). Esses benefícios podem ser influenciados pelo tipo de telhado instalado, como por exemplo os intensivos que aumentam os espaços de recreação e de vida em áreas que são densamente povoadas (COMA *et al.*, 2016). Estudos realizados por Jungels *et al.* (2013) identificaram que a variável estética positiva foi referente à densidade de crescimento das plantas e às contradições quanto a isto podem estar relacionadas com a extensão da densidade da folhagem.

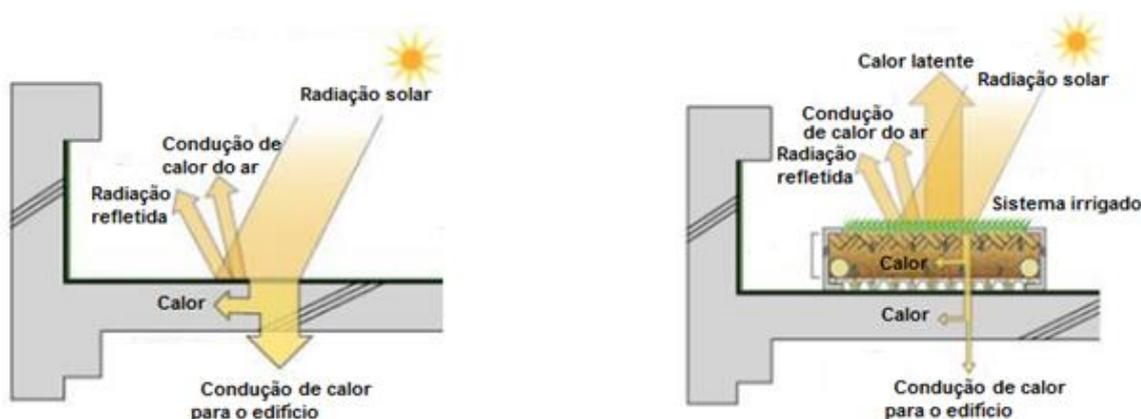
### 3.3.6.2 Benefícios acústicos

Estudos afirmam que a minimização dos ruídos ocorre em função da altura do substrato e do tipo de planta utilizada. O substrato bloqueia as baixas frequências de som e as plantas as frequências de som mais altas (PECK e KUHN, 2003). Além disso, de acordo com Zinco (2007), foi observado que os telhados verdes podem reduzir o som reflexivo em até 3 dB e melhorar o isolamento acústico em até 8 dB, sendo notório a sua eficácia principalmente em lugares mais barulhentos.

### 3.3.6.3 Benefícios térmicos e do ar

A cobertura verde constitui uma alternativa a ser aplicada por seu desempenho térmico, pela retenção de partículas em suspensão e poluentes, e pelo sequestro de gás carbônico. Na Figura 7 é possível verificar o processo que ocorre com dois tipos de telhados distintos, um lajeado e outro com o telhado verde quando exposto a radiação solar.

**Figura 7** - Comparação da radiação solar sobre a superfície de distintos telhados.



Fonte: Adaptado de Rios (2016).

A dissipação de calor acontece fundamentalmente devido à ocorrência da perda de calor por radiação de ondas longas, da evapotranspiração e da fotossíntese, resultando na diferença de temperatura das áreas externas e internas (BESIR e CUCE, 2018). Sinteticamente, quando se tem temperaturas mais altas o telhado verde consegue absorver esta energia fazendo com que internamente tenha-se uma temperatura inferior ao ambiente externo, trazendo mais conforto ao usuário. Já em períodos frios, o ambiente interno tem uma temperatura acima da do ambiente externo.

Francis e Jensen (2017) por meio de uma revisão sistemática dos benefícios dos telhados verdes em três serviços ecossistêmicos, sendo um deles sobre a redução do consumo de energia do edifício, mostraram que em 20 estudos com evidências documentadas do consumo anual de energia, a economia pode chegar em até 70%. Peng e Jim (2013) realizaram estudos em Hong Kong, em cinco bairros residenciais, investigando os impactos referentes à instalação de telhados verdes intensivos e extensivos em relação à temperatura do ar e ao conforto térmico humano, e constatou que a redução da temperatura do ar para os pedestres foi de 0,4°C a

0,7°C em telhados extensivos e de 0,5°C a 1,7°C no caso dos telhados intensivos. Os autores também observaram a redução quanto à duração diurna do estresse térmico para telhados extensivos no período de 6 a 9 horas, e de 9 a 11 horas para os intensivos, ou seja, se considerada o emprego de telhados verdes em grande escala pode-se conseguir o resfriamento da vizinhança e, conseqüentemente, ambientes térmicos mais confortáveis.

Apesar dos telhados verdes extensivos terem pouco potencial para compensar as emissões de carbono das cidades devido à baixa biomassa, os jardins intensivos fazem contribuições significativas como um sumidouro urbano de carbono. A sua vegetação também pode capturar partículas transportadas pelo ar bem como outros contaminantes, como o óxido de nitrogênio (BASS e BASKARAN, 2003 *apud* OBERNDORFER *et al.*, 2007). Francis e Jensen (2017) observaram como consequência da revisão sistemática de quatro estudos referentes a redução da poluição do ar urbano, uma variação de 0,42 a 9,1 g/m<sup>2</sup> na remoção de PM<sub>10</sub>, em que suas diferenças foram justificadas principalmente no que diz respeito a superfície e estrutura foliar, evidenciando ainda que todas as pesquisas identificaram um aumento na remoção da poluição paralela ao aumento da densidade da vegetação. Os autores também apontam que dos quatros estudos, três evidenciaram a remoção de SO<sub>2</sub> de 0,1 a 1,01 g/m<sup>2</sup>, de NO<sub>2</sub> de 0,37 a 3,75 g/m<sup>2</sup> e de O<sub>3</sub> de 1,24 a 7,17 g/m<sup>2</sup>. De acordo com Morgado (2010), as plantas conseguem filtrar as partículas de pó do ar em até 85% e conseguem produzir em média 8 g/h de oxigênio, utilizando CO<sub>2</sub> da atmosfera e liberando oxigênio. Estudos feitos por Screnski (2015) mostraram a eficácia na captura de gás carbônico em sistemas extensivo, semi-intensivo e intensivo, relacionado com a emissão de gases em dois tipos de concretos divergentes.

Além de atuar como um filtro mecânico de partículas, alguns tipos especiais de substrato utilizados no cultivo de plantas em telhados e coberturas funcionam também como reguladores de pH e como filtro de íons (SANTOS *et al.*, 2017b). Essa filtragem é feita pela própria composição dos telhados verdes, que possui uma camada de filtragem geralmente com uma manta geotêxtil, feita de poliéster ou polipropileno, além da camada de substrato com areia e brita geralmente utilizado.

#### 3.3.6.4 Benefícios hídricos

Se comparado a telhados convencionais, os telhados verdes conseguem ter uma alta retenção de água pluvial, o que pode auxiliar na minoração de enchentes e

inundações (KOLB, 2003). A Figura 8 mostra um esquema que ilustra a variação no escoamento superficial gerado por telhados verdes e por telhados convencionais.

**Figura 8** - Comparativo hídrico do telhado verde e convencional.



Fonte: Adaptado de Ohnuma Júnior (2008).

Dados obtidos através de estudos feitos por Farias (2012) indicam que a água resultante dos telhados vegetados pode ser destinada para fins não potáveis e, após tratamento de remoção de cor e sólidos, poderão ser utilizados em descargas de bacias sanitárias, irrigação de gramados e plantas ornamentais, lavagem de veículos, limpeza de calçadas e ruas, dentre outros, conforme previsto na NBR 15527 (ABNT, 2007), ressaltando a necessidade de analisar outros parâmetros previstos na norma que não foram avaliados. Sobre isso, Lima (2013) investigou a qualidade da água escoada dos telhados e a capacidade de retenção de águas pluviais de dois telhados verdes (com cobertura vegetal de Babosa e de Coroa-de-Frade) comparando os resultados com os obtidos de um telhado controle (convencional com telhas cerâmicas), no município de Caruaru-PE. O autor constatou que o telhado com vegetação Coroa-de-Frade apresentou maior potencialidade de retenção, chegando ao valor de 100% do percentual que foi precipitado. Lima (2013) associou este resultado à baixa umidade do solo e ao tipo de planta, que é capaz de manter parte da água em seu interior. No que se refere à análise da qualidade de água, o autor verificou que, devido à sua morfologia, este tipo de vegetação retém partículas de sólidos no solo, e que o tipo de substrato realizado no sistema influencia significativamente na qualidade da água, sendo que a argila interfere mais fortemente

nos parâmetros físico-químicos e a terra tratada nas análises bacteriológicas. Em nenhum dos telhados estudados por Lima (2013) houve totalidade nos resultados da amostra de água dentro dos limites estabelecidos (Quadro 4) pelos documentos normatizados considerados na pesquisa, ou seja, no caso do emprego desta água, ainda que para fins não potáveis, é necessário a realização de tratamentos para adequação dos respectivos parâmetros.

**Quadro 4** - Conclusões sobre a qualidade da água obtidas por Lima (2013).

Critérios analisados	Conclusões
Comparação da água captada pelos telhados verdes com os parâmetros estabelecidos na NBR 13969 (ABNT, 1997), que trata, entre outros, da disposição final dos efluentes líquidos de tanques sépticos.	Os únicos parâmetros que atenderam aos limites estabelecidos no documento foram OD e pH.
Comparação da água captada pelos telhados verdes com os parâmetros estabelecidos no documento da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (ALMEIDA, 2010) que apresenta recomendações para uso da água na irrigação.	Valores de Cloreto, pH e CE dentro dos limites estabelecidos, e Amônia, Fósforo, Nitrato e SDT acima do permitido.
Comparação da água captada pelo telhado controle (convencional) com os parâmetros estabelecidos na Portaria MS Nº 2914 (BRASIL, 2011) que trata da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade.	Valores de Amônia, Cloreto, Dureza, Ferro, Nitrato, Nitrito e SDT dentro dos limites estabelecidos, e Cor aparente, Turbidez, coliformes totais, <i>E. coli</i> e bactérias heterotróficas, acima do permitido.
Comparação da água captada pelos telhados verdes e pelo telhado controle (convencional) com os parâmetros estabelecidos na NBR 15527 (ABNT, 2007), que trata, entre outros, do aproveitamento da água de chuva de coberturas em áreas urbanas para fins não potáveis.	Parâmetros avaliados: Coliformes totais, Cor aparente, Turbidez, pH (exceto para telhado controle) e Cloro residual livre. Em nenhum dos telhados os parâmetros atenderam aos limites estabelecidos.

Legenda: OD: Oxigênio Dissolvido | pH: Potencial Hidrogeniônico | CE: Condutividade Elétrica | SDT: Sólido Dissolvido Total.

Fonte: Adaptado de Lima (2013).

Outros benefícios são apresentados na literatura científica. De acordo com Shafique, Kim e Rafiq (2018), os telhados verdes acentuam a ecologia urbana, reduzindo a perda de *habitat*. Vijayaraghavan (2016) destacou a importância da reparação da biodiversidade ausente com o desenvolvimento urbano, bem como o surgimento de ambientes habitados mais agradáveis de se viver.

### 3.3.7 Desvantagens

Considerando os benefícios já expostos, a contribuição positiva do emprego dos telhados verdes ao meio ambiente e à sociedade como um todo está evidente. Por outro lado, algumas pesquisas ressaltam que há desafios no uso desta técnica e explicitam algumas desvantagens associadas aos aspectos ambientais, econômicos e sociais. Sobre isso, Silva, Siqueira e Aragão (2017) destacaram que se os telhados verdes não forem bem instalados acabam por trazer custos adicionais ao empreendimento. Neste contexto, outros custos podem ser listados: custo inicial de implantação; custos de reparação com problemas de infiltração; e custos com manutenção. Além disso, de acordo com Righi *et al.* (2016), pode ocorrer também o aparecimento de pragas e, para Silva (2011), em alguns casos não é recomendado o consumo da vegetação, devido as mesmas terem a facilidade de absorver poluentes atmosféricos.

Segundo Almeida, Brito e Santos (2018), os desafios da implantação dos telhados verdes vão além dos possíveis “prejuízos” que podem surgir. Os autores ressaltam que para superar esses desafios e se ter uma maior adesão social do sistema, é necessário compreender os telhados verdes como componentes culturais fundamentais à nossa condição atual. Dessa forma, a educação ambiental pode contribuir para conscientização de jovens e adultos no que se refere as práticas e políticas públicas ambientalistas, inclusive através de mídias sociais e tradicionais.

### 3.3.8 Viabilidade econômica dos telhados verdes

De forma geral, a averiguação da relação custo-benefício na implantação de uma nova tecnologia pode constituir subsídios para argumentação de indivíduos avessos ao uso da referida tecnologia quanto à sua utilidade. De fato, de acordo com Yudelson (2013), o que ocorre é uma preocupação pelos custos serem “tangíveis”, ou seja, ocorrerem no presente e serem reais, quando, por outro lado, benefícios esperados como a economia de energia, serem “intangíveis”, podendo suceder apenas no futuro. Para o sistema de telhados verdes os custos se apresentam de forma bastante variáveis a depender de diversos fatores, como o tipo que será realizado (intensivo ou extensivo), e sua composição. Sobre as modificações nos custos, Oliveira (2016), apresentou seu estudo, em que implantou um telhado verde constituído por vegetação, substrato, geotêxtil e geomembrana por R\$ 72,87/m<sup>2</sup>, e

outro telhado verde composto por vegetação, substrato, geotêxtil, geomanta e geomembrana por R\$ 72,34/m<sup>2</sup>. Araújo, Sousa e Peres (2017) constataram a diminuição de cerca de 86,7% no custo do sistema com garrafa PET, se comparado ao módulo Hexaecotelhado.

Comprovadamente os benefícios a longo prazo ultrapassam o capital inicial, como a durabilidade da estrutura (laje) que chega a dobrar de vida útil em relação aos já tradicionais (RIGHI *et al.*, 2016). Além disso, diversos pesquisadores identificaram o aumento do conforto térmico (CORTÉS e CASTILLO, 2011; PANZIERA *et al.*, 2015; SANTOS, 2016; entre outros), sendo que estes tipos de telhados podem diminuir a necessidade de equipamentos para resfriamento no verão e para aquecimento no inverno, podendo, com isso, trazer retornos econômicos satisfatórios.

Efetivamente, o sistema consegue restringir os gastos com a água e a energia por aumentarem a produtividade da instalação (RAGHEB, EL-SHIMY e RAGHEB, 2016). O fato de muitas vezes não ser necessário a contratação de empresas e mesmo de mão-de-obra especializada, pode diminuir o custo final da inserção de telhados verdes, além de simplificar a sua manutenção por poderem ser constituídos de elementos removíveis (FEITOSA e WILKINSON, 2018). De acordo com Lima (2013), argumentos financeiros positivos podem ser considerados a partir da minimização da necessidade de materiais isolantes, da redução no volume de esgoto, do aumento do valor da propriedade, e da utilização de vegetações que tenham valores econômicos. Para o autor, é preciso considerar possíveis recompensas financeiras, bem como no desenvolvimento econômico local futuro.

### 3.3.9 Legislações e Normas brasileiras

A *priori* deve-se considerar a Lei Federal Nº 6938 (BRASIL, 1981) que dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, apresentando mecanismos para a formulação e para aplicações dos seus objetivos, que sinteticamente visam melhorar, preservar e recuperar a qualidade ambiental. Paralelo a isto, a NBR ISO 37120 (ABNT, 2017) originou-se como forma de estabelecer o desenvolvimento sustentável por meio de indicadores relacionados aos serviços urbanos e à qualidade de vida, tendo a finalidade de orientar e medir estes serviços para avaliar a tomada de decisões quanto à sua gestão.

Para fins de comparação quanto ao conforto térmico de um determinado local, pode-se considerar a NBR 15575 (ABNT, 2013a), que trata do desempenho de

edificações habitacionais e determina que o valor máximo diário da temperatura do ar interior deve ser sempre menor ou igual ao valor máximo diário da temperatura do ar exterior, é necessário utilizar os critérios estabelecidos como mostrado na Tabela 1 e sua zona bioclimática será atribuída de acordo com a NBR 15220 (ABNT, 2005), que diz respeito ao desempenho térmico de edificações no que refere-se ao zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social.

**Tabela 1** - Critério de avaliação de desempenho térmico para condições de verão.

Nível de desempenho	Critério	
	Zonas 1 a 7	Zona 8
Mínimo	$T_{i,max} \leq T_{e,max}$	$T_{i,max} \leq T_{e,max}$
Intermediário	$T_{i,max} \leq (T_{e,max} - 2^\circ \text{C})$	$T_{i,max} \leq (T_{e,max} - 1^\circ \text{C})$
Superior	$T_{i,max} \leq (T_{e,max} - 4^\circ \text{C})$	$T_{i,max} \leq (T_{e,max} - 2^\circ \text{C}), T_{i,min} \leq (T_{e,min} + 1^\circ \text{C})$

$T_{i,max}$  é o valor máximo diário da temperatura do ar no interior da edificação, em °C.  
 $T_{e,max}$  é o valor máximo diário da temperatura do ar exterior à edificação, em °C.  
 $T_{i,min}$  é o valor mínimo diário da temperatura do ar no interior da edificação, em °C.  
 $T_{e,min}$  é o valor mínimo diário da temperatura do ar exterior à edificação, em °C.

Fonte: Autora.

Ainda sobre conforto térmico, pode-se considerar a NBR 16401 (ABNT, 2008) que dispõe sobre os limites de temperatura operativa dos ambientes no verão, sendo os mesmos de 22,5°C a 25°C com umidade relativa de 65% e 23°C a 26°C com umidade relativa de 35%, sendo necessário utilizar o tópico 5 desta Norma (parâmetros de conforto), em que na temperatura operativa ( $T_o$ ) se considera a temperatura radiante média ( $T_r$ ), a temperatura do ar ( $T_{ar}$ ), e o parâmetro  $C$  que está correlacionado com a velocidade relativa do ar. Para determinação da  $T_o$  utiliza-se a Equação 1.

$$T_o = C.T_{ar} + (1 - C).T_r \quad (1)$$

Os incentivos para o emprego do sistema também podem ser destacados na legislação brasileira. De acordo com Lima (2013), visando incentivar o crescimento de ferramentas sustentáveis no meio urbano, alguns municípios, como São Vicente, Sorocaba, Araraquara e Guarulhos no estado de São Paulo, Curitiba no Paraná, entre

outros, implantaram benefícios que favorecem o cidadão que investe em boas práticas ambientais em sua propriedade urbana, como, por exemplo, a redução do IPTU (Imposto Predial e Territorial Urbano), que comumente passa a ser chamado de IPTU Verde. Na cidade de Recife, em Pernambuco, em 2015 foi publicada a Lei Municipal Nº 18112 (RECIFE, 2015), que torna obrigatória a instalação de telhado verde em edificações habitacionais com mais de quatro andares e não-habitacionais com mais de 400 m<sup>2</sup> de área coberta. No estado da Paraíba, a Lei Estadual Nº 10047 (PARAÍBA, 2013) dispõe sobre a obrigatoriedade da aplicação de telhados verdes em condomínios edificadas, que sejam residenciais ou não, e que possuam mais de três unidades agrupadas verticalmente. Outras leis podem ser citadas, como o Decreto Municipal Nº 25899 (SALVADOR, 2015) e a Lei Complementar Municipal Nº 235 (GOIÂNIA, 2012) que tem seus fins empregados por meio do incentivo fiscal, e outros como a Lei Municipal Nº 53889 (SÃO PAULO, 2013) que prevê uma compensação ambiental para os habitantes. Além disso, o chamado “IPTU VERDE” permite descontos relacionados ao IPTU de determinado imóvel a depender da localidade que detém esses benefícios, em Guarulhos por exemplo a Lei Municipal Nº 6793 (GUARULHOS, 2010) que dispõe sobre a instalação de telhado verde em todos os telhados disponíveis no imóvel, concede um desconto de até 3%. Já a Lei Estadual Nº 5965 (DISTRITO FEDERAL, 2017), instituiu a redução do IPTU objetivando minimizar o consumo dos recursos naturais e seus impactos, buscando preservar, proteger e recuperar o meio ambiente através de medidas como o emprego de telhados verdes nos imóveis. Ainda podem ser citadas Leis Municipais como as de Nº 5199 (MAUÁ, 2017), Nº 9571 (SOROCABA, 2011), dentre outras. Em Caruaru, Pernambuco, a Lei Complementar Municipal Nº 62 (CARUARU, 2018a) propõe a instalação do sistema de telhado verde para imóveis novos unifamiliares, multifamiliares, mistos, comerciais e industriais como alternativa para compor um Projeto Sustentável que é uma das modalidades de implantação para redução do benefício tributário do IPTU.

Apesar de todos os esforços relatados, pode-se considerar que ainda inexistem uma política mais abrangente e aplicável na temática, bem como normas técnicas (NBR's) específicas, dificultando por muitas vezes a devida aceitação, elaboração e operação deste sistema.

### 3.3.10 Estudos realizados pela UFPE relacionados ao sistema de telhado verde

O Grupo de Pesquisa no qual se insere este trabalho já vem desenvolvendo diversos estudos no tema com a instalação dos primeiros protótipos em 2007, nas instalações do Instituto Agrônomo de Pernambuco (IPA), zona rural do município de Caruaru. Desde então as temáticas investigadas vêm sendo diversificadas e o conhecimento sobre melhorias e respostas da tecnologia tem sido possível. No Quadro 5 apresenta-se de forma sucinta e cronológica um levantamento parcial de algumas publicações que mostram a evolução do tema até os dias atuais.

**Quadro 5** - Publicações sobre telhados verdes deste Grupo de Pesquisa (continua).

Fonte de informação	Título	Conclusões
Santos <i>et al.</i> (2009)	Determinação da utilidade do uso de telhado verde no Agreste Pernambucano	Verificou-se a necessidade de uma tecnologia viável econômica e tecnicamente para o ganho de conforto térmico entre os meses de novembro e fevereiro. Foi implantado um sistema de captação e armazenamento de água para análises físico-químicas e microbiológicas da água coletada para investigação sobre seu reuso.
Santos <i>et al.</i> (2013b)	Telhado verde: desempenho do sistema construtivo na redução do escoamento superficial	Os telhados verdes possuem poder de retenção maior em precipitações de menor intensidade, tendo o modelo Hydrus representado bem a realidade exposta, inclusive com mais eficiência no cálculo do fluxo de água em solos saturados. Obteve-se uma retenção dos telhados verdes em cerca de 30%, tanto com grama, quanto com cacto.
Paiva <i>et al.</i> (2017)	Capacidade de retenção de água em um telhado verde: estudo de caso em Caruaru	Os telhados verdes apresentaram-se como alternativas para minimização dos problemas decorrentes de alagamentos, contribuindo para o melhor desempenho dos sistemas de drenagem, onde observou-se que o telhado verde com Coroa-de-Frade possuiu uma maior capacidade de retenção que o com Babosa.

**Quadro 5** - Publicações sobre telhados verdes deste Grupo de Pesquisa (conclusão).

Fonte de informação	Título	Conclusões
Santos et al. (2017a)	Desempenho térmico de telhados verdes no semiárido brasileiro	Nos horários com maiores temperaturas, o telhado verde diminuiu a temperatura ambiente se comparado a um telhado convencional, diminuindo 4,95°C em relação ao valor de pico da temperatura externa.

Fonte: Autora.

A composição do sistema de telhado verde adotado decorreu com diferentes adaptações, desde a utilização de argila expandida, manta Bidim Drennage, substrato, e vegetações típicas de Grama-de-burro (*Cynodium dactylum*) e Coroa-de-frade (*Melocactus macrodiscus*) (SANTOS et al., 2009; SANTOS et al., 2013b), até a utilização de manta do tipo MacDrain, substrato e a adesão de uma nova vegetação, a Babosa (*Aloe vera*) em razão da sua melhor adaptação as características climatológicas da localidade (PAIVA et al., 2017; SANTOS et al., 2017a).

Diante das dificuldades referentes à adesão do sistema de telhados verdes, associadas principalmente ao alto custo de sua implantação e manutenção, observou-se nos estudos supracitados do Grupo de Pesquisa da UFPE, que havia uma preocupação com o baixo custo relacionada a viabilidade econômica da vegetação utilizada, havendo a possibilidade de enriquecimento dos estudos já consolidados, ampliando a preocupação de baixo custo à confecção de todo o sistema como forma de disseminar o seu uso até mesmo em comunidades de baixa renda, bem como minorar os gastos com manutenção sem perder os benefícios já reconhecidos sobre as vantagens do uso do telhado verde, sendo ainda observado que a metodologia poderia ser aperfeiçoada no ponto de vista ecológico.

Conforme observado, a realização de pesquisas relacionadas aos telhados verdes e suas vertentes, trazem consigo diversas possibilidades, dentre as quais pode-se citar: o desenvolvimento de recursos que permitem conhecer melhor a realidade local, a aplicabilidade de métodos que influenciam diretamente a vida da comunidade, permite a criação, adaptação e atualização de mecanismos a serem empregados no sistema, bem como a geração de dados para a contribuição científica. Cada estudo apresenta objetivos peculiares que ao serem executados, acrescem à

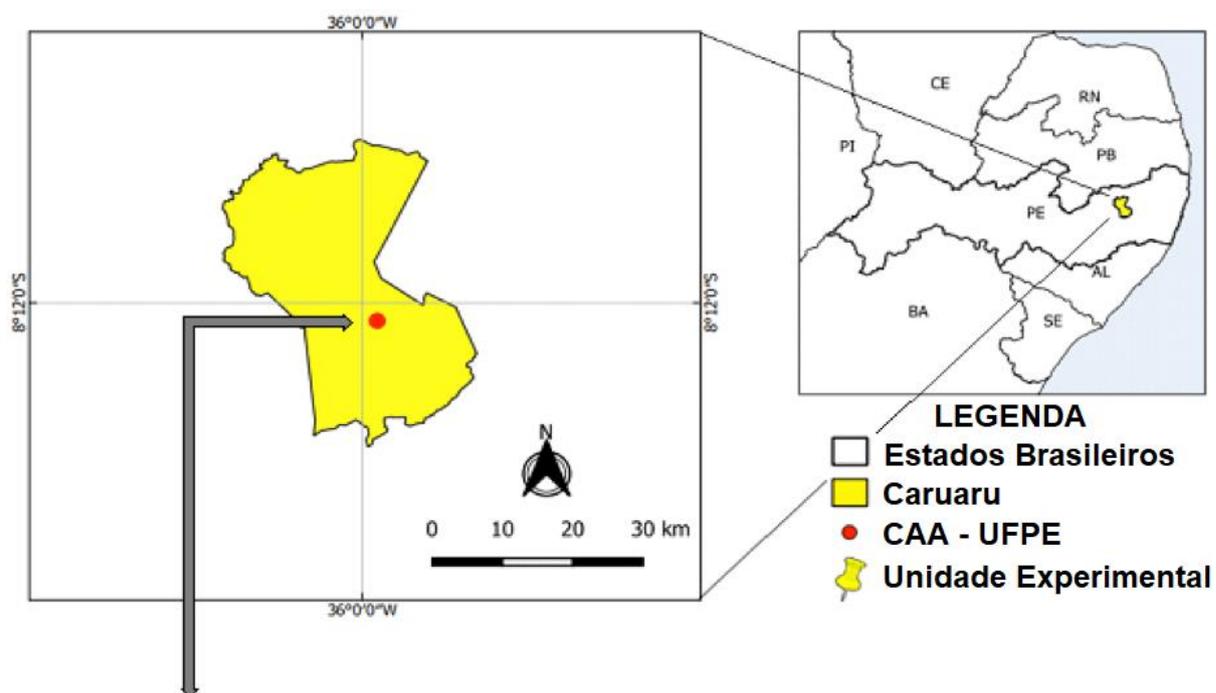
temática, sobretudo, a qualidade de inovação, atualizando as metodologias às necessidades do povo e do tempo, possibilitando modernidade e progresso.

## 4 MATERIAIS E MÉTODOS

### 4.1 Área de estudo

Para desenvolvimento desta pesquisa foi construída uma Unidade Experimental de Telhados Ecológicos no *campus* Caruaru (Centro Acadêmico do Agreste – CAA) da Universidade Federal de Pernambuco, Figura 9.

**Figura 9** - Localização da área de estudo (Caruaru – PE).

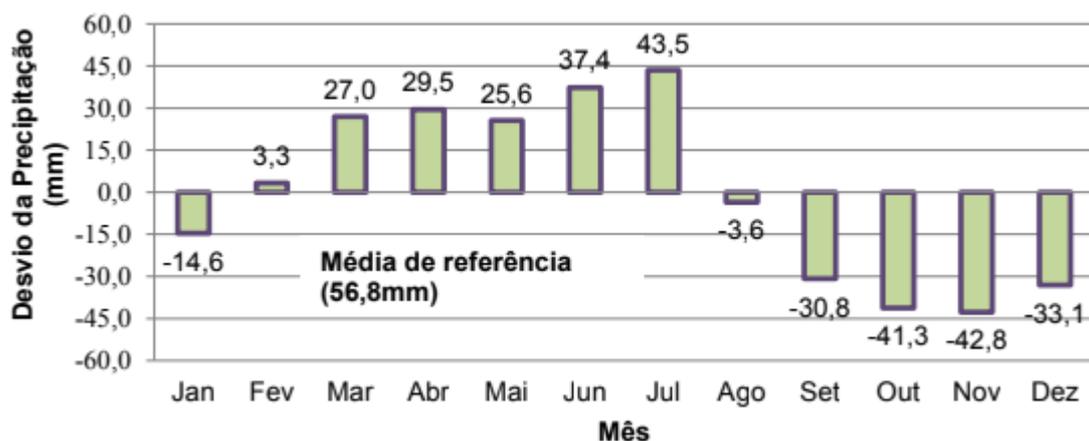


Fonte: Adaptado de Google Earth (2019).

Caruaru tem população aproximada de 314.912 habitantes e densidade demográfica de 342,07 hab./km<sup>2</sup>, possuindo 61,8% de arborização nas suas vias públicas conforme IBGE (2010). A área do município está estimada em 920,611 km<sup>2</sup> e possui cerca de 554 m de altitude, com distância à capital Recife de cerca de 130,1 km (PERNAMBUCO, 2017). Caruaru é considerada integrante da região semiárida pernambucana, e, por isso, de acordo com o IBGE (2007) considerando suas características climáticas, necessita de tratamento específico por conta da vulnerabilidade climática e socioeconômica. O município está introduzido na unidade geoambiental do Planalto de Borborema, composto por maciços e montes altos, e com relevo com predominância de vales fundos e estreitos dissecados.

De acordo com a SETRA (2009), o clima predominante na região é do tipo BSh (B = Clima Árido: Evapotranspiração potencial anual > precipitação anual; S = Chuvas de Inverno; h = Seco e quente: temperatura média anual do ar > 18°C), clima quente e semiárido, tipo estepe, com forte evaporação no verão e dias ensolarados e noites amenas, devido à pequena umidade. De acordo com Silva (2017), se comparado em tempos de maior pluviometria, observa-se um aumento na frequência e proporção das inundações devido à alta taxa de impermeabilidade do solo e pela redução das áreas verdes, onde por meio do estudo do regime pluviométrico do município de Caruaru, com dados de 1969 até o ano de 2017, foi possível determinar um ano representativo no qual através da precipitação média anual acumulada do período de importância obteve-se o valor médio de referência, sendo este o limite entre os períodos secos e chuvosos do município. Na Figura 10 é possível observar o desvio da média anual de referência em relação aos dados das médias mensais, constatando-se que o período mais chuvoso se encontra entre os meses de fevereiro e julho, sendo este último o mês com o maior índice de precipitação do ano.

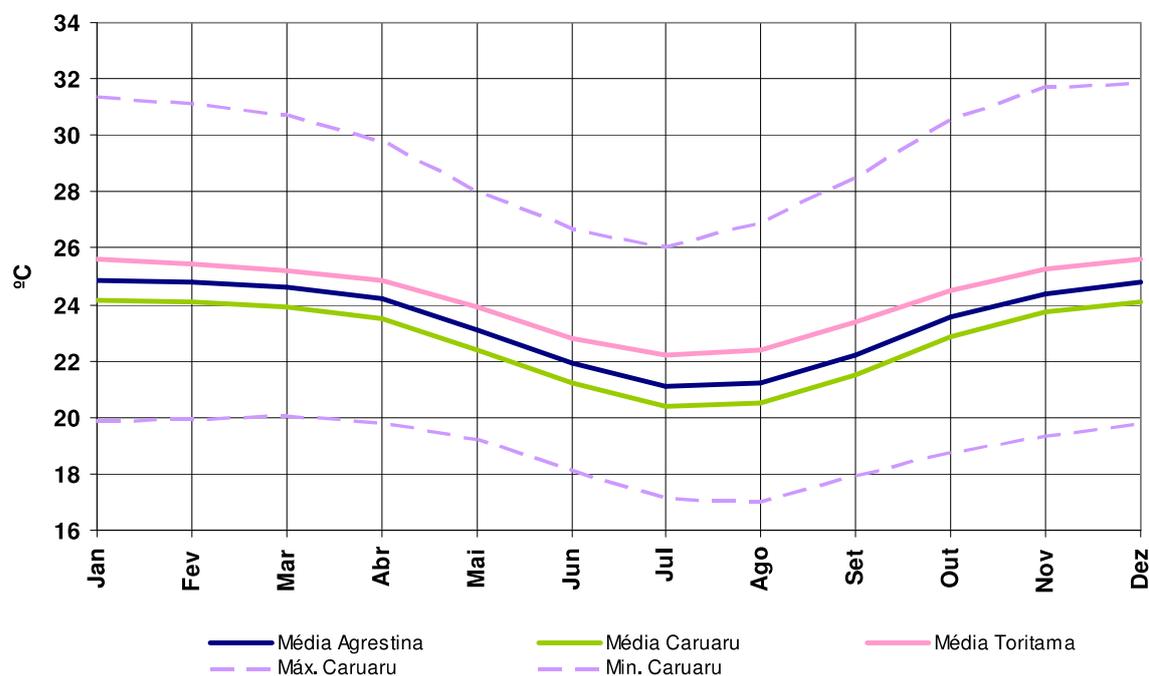
**Figura 10** - Desvio de precipitação da média mensal e média de referência, através de dados de precipitação referente ao posto Caruaru 24.



Fonte: Silva (2017).

Segundo SETRA (2009), para a região como um todo, as maiores temperaturas médias mensais ocorrem em janeiro e as menores em julho, as temperaturas mínimas médias mensais tendem a ocorrer em agosto e as temperaturas máximas médias mensais em dezembro conforme pode ser observado na Figura 11. Os valores absolutos variam regionalmente, sendo a amplitude térmica quase constante regionalmente, situando-se em 10,51 °C para Caruaru. De acordo com a APAC (2019a), em dezembro de 2019, um dos meses mais quentes do ano, o município de Caruaru chegou a apresentar uma temperatura máxima absoluta de 33°C, mas apresentou no mesmo mês a temperatura mínima absoluta de 17,6°C. Isso pode ser justificado pela localização montanhosa e pela escassez de nuvens que resultam em uma maior perda de radiação e um alto resfriamento de sua superfície (APAC, 2019b). Com base na caracterização climática apresentada e considerando as evidências significativas no que diz respeito aos benefícios dos telhados verdes, Kozmhinsky *et al.* (2016) defendem a implantação dos mesmos em novas edificações na cidade de Caruaru. De acordo com os autores, além da redução de ilhas de calor e da temperatura ambiental, o favorecimento no processo de evapotranspiração pode resultar na melhoria da qualidade de vida da população.

**Figura 11** - Temperaturas médias mensais das cidades de Caruaru, Toritama e Agrestina, através do modelo ESTIMA\_T.



Fonte: SETRA (2009).

A cidade, popularmente conhecida como a capital do Agreste, aumentou seu desenvolvimento através das feiras livres devido à sua diversidade, e se caracterizou nos últimos anos por se encontrar em um acelerado processo de atração de novos empreendimentos (CTR, 2013). É o município mais populoso do interior de Pernambuco, caracterizado por ter um dos mais importantes entrepostos comerciais do Nordeste, sendo ainda um relevante polo cultural e turístico da região (CARUARU, 2018b).

No que se refere à vegetação local, de acordo com SETRA (2009), o semiárido é caracterizado por uma cobertura vegetal tipo Caatinga, que segundo Prado (2003), é nome de origem Tupi que significa “mata branca”, pois durante a estação seca, a maioria das árvores da região perde as folhas e os troncos tornam-se esbranquiçados e brilhantes dominando a paisagem. Das províncias biogeográficas presentes no território brasileiro (*sensu* CABRERA e WILLINK, 1973 *apud* RODAL, COSTA e SILVA, 2008), a da Caatinga, com aproximadamente os mesmos limites da área de clima semiárido do nordeste brasileiro, é uma das maiores e mais desconhecidas. Neste contexto se insere a vegetação do tipo Caducifólia, expressão oriunda do latim: “caducus” (tradução: “o que cai”) e “folium” (tradução: “folha”, ou seja, termo usado

para se referir a plantas, arbustos ou árvores cujas folhas caducam). De acordo com CPRM (2005), a vegetação característica da área Agreste, é formada por Florestas Subcaducifólica e Caducifólica, tendo um clima tropical chuvoso, com verão seco, situando-se nos domínios de duas bacias hidrográficas: Rio Ipojuca e Rio Capibaribe.

Segundo Prado (2003), Agreste e Sertão representam duas terminologias ligadas às Caatingas e ao seu conceito fitogeográfico, sendo Agreste a nomenclatura atribuída à estreita faixa de vegetação que se prolonga entre os limites da serra do Mar a leste, onde são ricas em florestas, e os interiores mais secos a oeste. De acordo com o autor, o Agreste apresenta um regime de chuvas mais abundante (até 1000 mm/ano) e é menos sujeito que o Sertão às secas catastróficas uma vez que se beneficia da umidade residual dos ventos do sudeste. Prado (2003) destaca que a vegetação encontrada no Agreste compartilha muitas características e espécies com as expansões semiáridas a oeste: as plantas geralmente são decíduas e espinhosas, os cactos e bromeliáceas estão presentes no solo pedregoso, microfilia generalizada, as espécies lenhosas e suculentas mais características no Agreste também ocorrem no resto das Caatingas.

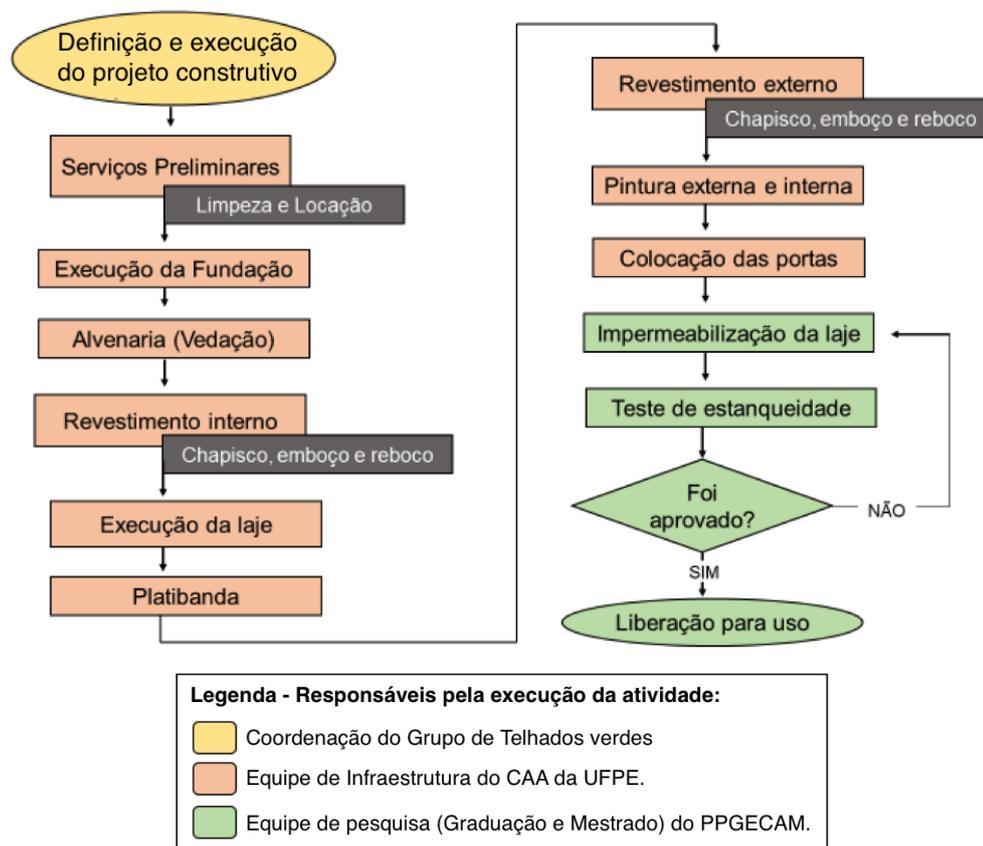
As cactáceas e suculentas possuem diversidade em formas e cores que lhes concede beleza e que as tornam plantas potencialmente ornamentais (SILVA *et al.*, 2017). Tais características tornam estas espécies atrativas devido à facilidade de manutenção e de adaptação em diferentes ambientes, principalmente em altas temperaturas e em situação de escassez hídrica, além de serem caracterizadas por sua simples e rápida propagação de mudas. Em um estudo realizado considerando um banco de germoplasma de espécies encontradas na região do Brejo Paraibano, Silva *et al.* (2017) identificaram e catalogaram a diversidade de cactos e suculentas. Os autores catalogaram 1478 indivíduos, os quais foram identificados quanto à espécie, sendo as maiores percentagens: *Opuntia palmadora* (23,68%), *Crassula muscosa* (13,40%), *Huernia schneideriana* (9,61%), *Kalanchoe laetivirens* (7,24%), *Rhipsalis salicornioides* (6,56%), *Melocactus zehntneri* (6,50%), *Micranthocereus sp.* (4,94%) e *Opuntia brasiliensis* (4,74%). Silva *et al.* (2017) destacaram que estas espécies ornamentais são apreciadas por sua beleza e rusticidade e servem como alternativa na busca de melhoria na renda de pequenos agricultores.

## 4.2 Unidade Experimental de Telhados Ecológicos

### 4.2.1 Construção dos protótipos

A construção dos protótipos (ou células-teste) seguiu as etapas apresentadas no fluxograma da Figura 12, tendo como apoio para construção e supervisão os integrantes da equipe de Infraestrutura do *campus* Agreste da UFPE, juntamente com os membros do Grupo de Pesquisa Tecnologias para o Semiárido envolvidos com as atividades do tema de telhado verde.

**Figura 12** - Fluxograma das etapas de execução da Unidade Experimental.

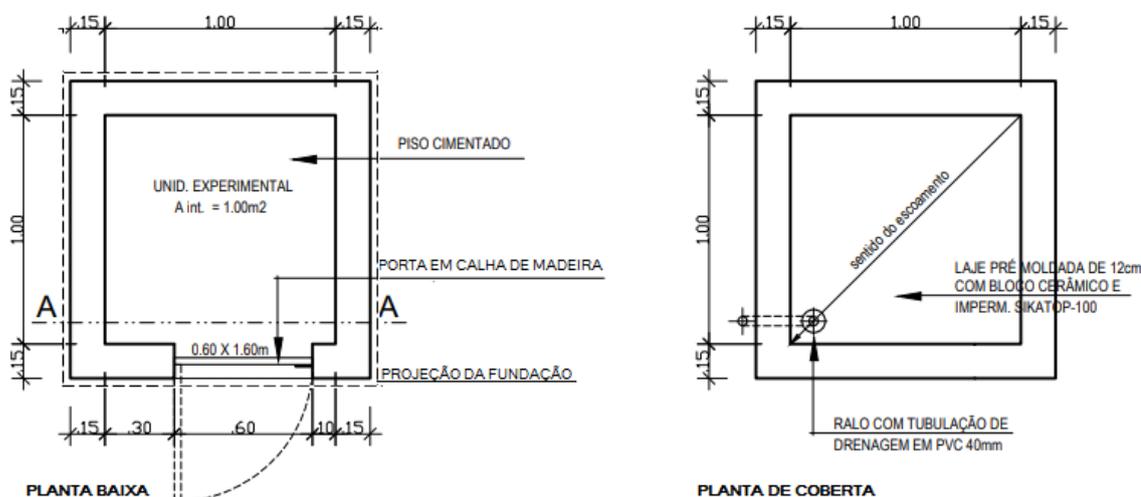


Fonte: Autora.

Foi utilizado um espaço no *campus* com cerca de 12 m<sup>2</sup> de terreno afim de executar a Unidade Experimental composta de dois protótipos distanciados 1 m entre si, reproduzidos em escala reduzida, com área de 1 m<sup>2</sup>/cada em seu interior em consonância com diversas metodologias encontradas na literatura científica (FUNFGELT *et al.*, 2012; PANZIERA *et al.*, 2015; CARNEIRO *et al.*, 2015), que serve como base para desenvolver a comparação entre o desempenho de telhados distintos, por apresentar dimensões, *design* e materiais semelhantes, o que sugere

através dos seus resultados a viabilidade de posteriormente ser estruturado em um espaço com áreas mais expressivas, ou até mesmo nas próprias habitações, Figura 13.

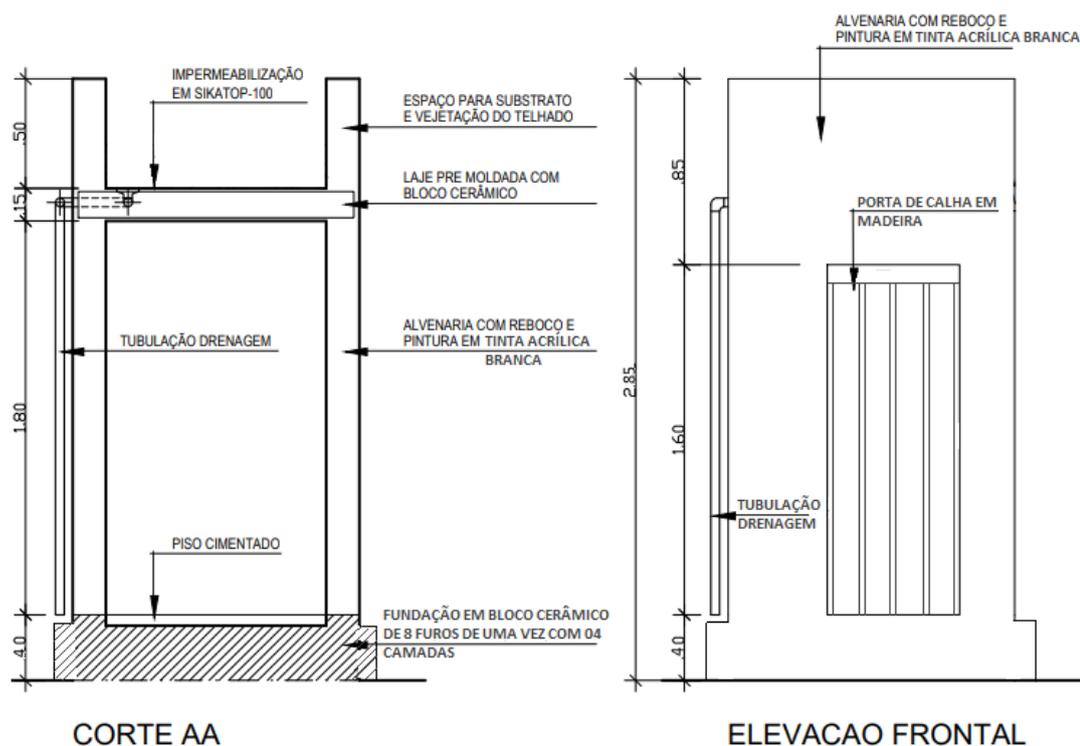
**Figura 13** - Planta baixa e da cobertura adaptados dos protótipos da Unidade Experimental.



Fonte: Adaptado do acervo do projeto “Telhados Verdes em Região Semiárida: Possibilidades de Reuso da Água e Desempenho Térmico” (FACEPE – Processo Nº APQ-0888-3.07/15), coordenado pela Profa. Sylvana Melo dos Santos.

As principais características dos protótipos são: fundação com blocos cerâmicos de 8 furos dispostos em quatro camadas e rebocadas com argamassa; alvenaria de vedação com bloco cerâmico, rebocados e com pintura em tinta acrílica branca na parte externa e interna do ambiente; piso cimentado; laje pré-moldada de 12 cm com bloco cerâmico; drenagem com ralo em PVC de 40 mm, e tubulações do mesmo material; inclinação de 2%; e porta em calha de madeira com 2 cm de espessura. Para a impermeabilização da cobertura foi utilizado Vedacit que é um produto destinado para concretos e argamassas para evitar infiltrações, juntamente com o Sikatop-100 que foi utilizado sobre o concreto já curado, sendo aplicado como pintura (de fácil manuseio), onde em seguida foi realizado um teste de estanqueidade preconizado pela NBR 15575-3 (ABNT, 2013b) para avaliar a eficácia do processo de impermeabilização. Na porta foi utilizado verniz “sol e chuva” incolor para maior resistência ao atrito e às intempéries, sendo fixado por meio de um selador. A elevação frontal e o corte AA dos protótipos estão apresentados na Figura 14.

**Figura 14 - Elevação frontal e corte AA dos protótipos.**



Fonte: Adaptado do acervo do projeto “Telhados Verdes em Região Semiárida: Possibilidades de Reuso da Água e Desempenho Térmico” (FACEPE – Processo N° APQ-0888-3.07/15), coordenado pela Profa. Sylvana Melo dos Santos.

A implantação da Unidade Experimental de Telhados Ecológicos (UETE) ocorreu de maio de 2018 a julho de 2019, com a execução das seguintes etapas: definição do local de implantação da UETE; limpeza da área, locação dos protótipos, definição dos eixos de execução das fundações e escavação (Figuras 15, 16a e 16b); levantamento da alvenaria (composta por blocos cerâmicos dispostos de meia vez, Figura 17a e 17b), com a verificação do prumo para garantir a verticalidade; colocação de verga pré-moldada na parte superior do local da execução da porta (Figura 18); e revestimento das paredes internas com argamassa (chapisco, emboço, reboco e sarrafeamento, que consiste na nivelção das paredes, Figuras 19a, 19b e 19c).

É importante destacar que todas as etapas foram acompanhadas e vistoriadas pela autora da pesquisa, afim de garantir a qualidade final do produto almejado. Os registros a seguir foram feitos pela mesma e pelo discente de iniciação de pesquisa do CAA, e posteriormente foram dispostos no acervo do projeto: “Telhados Verdes em Região Semiárida: Possibilidades de Reuso da Água e Desempenho Térmico” (FACEPE – Processo N° APQ-0888-3.07/15), coordenado pela Profa. Sylvana Melo dos Santos.

**Figura 15** - Locação e escavação para execução da fundação do primeiro protótipo.



Fonte: Acervo do projeto “Telhados Verdes em Região Semiárida: Possibilidades de Reuso da Água e Desempenho Térmico” (FACEPE – Processo N° APQ-0888-3.07/15), coordenado pela Profa. Sylvana Melo dos Santos.

**Figura 16** - Execução da fundação do primeiro protótipo.

(a) Eixos de execução.



(b) Assentamento dos tijolos.



Fonte: Acervo do projeto “Telhados Verdes em Região Semiárida: Possibilidades de Reuso da Água e Desempenho Térmico” (FACEPE – Processo N° APQ-0888-3.07/15), coordenado pela Profa. Sylvana Melo dos Santos.

**Figura 17** - Execução da alvenaria de vedação do primeiro protótipo.

(a) Execução da primeira fiada da alvenaria.



(b) Elevação da alvenaria.



Fonte: Acervo do projeto “Telhados Verdes em Região Semiárida: Possibilidades de Reuso da Água e Desempenho Térmico” (FACEPE – Processo Nº APQ-0888-3.07/15), coordenado pela Profa. Sylvana Melo dos Santos.

**Figura 18** - Introdução da verga pré-moldada no primeiro protótipo.



Fonte: Acervo do projeto “Telhados Verdes em Região Semiárida: Possibilidades de Reuso da Água e Desempenho Térmico” (FACEPE – Processo Nº APQ-0888-3.07/15), coordenado pela Profa. Sylvana Melo dos Santos.

**Figura 19** - Revestimento interno das unidades experimentais.

(a) Chapisco.

(b) Emboço.

(c) Reboco.



Fonte: Acervo do projeto “Telhados Verdes em Região Semiárida: Possibilidades de Reuso da Água e Desempenho Térmico” (FACEPE – Processo Nº APQ-0888-3.07/15), coordenado pela Profa. Sylvana Melo dos Santos.

Após a finalização do primeiro protótipo, foi iniciada a construção do segundo protótipo (Figura 20), seguindo a mesma sequência construtiva.

**Figura 20** - Início da execução do segundo protótipo.



Fonte: Acervo do projeto “Telhados Verdes em Região Semiárida: Possibilidades de Reuso da Água e Desempenho Térmico” (FACEPE – Processo Nº APQ-0888-3.07/15), coordenado pela Profa. Sylvana Melo dos Santos.

As lajes pré-moldadas com altura final de 15 cm, foram compostas por treliças utilizadas como armaduras que foram fincadas à uma base de concreto, sendo o seu preenchimento realizado por blocos cerâmicos, Figura 21. Para drenagem da água do conjunto vegetação + substrato foi instalado um ralo com tubulação em PVC de 40 mm, e a concretagem foi realizada com inclinação de aproximadamente 2%. No concreto foi adicionado Vedacit (aditivo impermeabilizante) para reforçar a impermeabilização. Para construção das platibandas das lajes (continuação das paredes externas) com altura de 50 cm, foram utilizados blocos cerâmicos assentados com argamassa e rebocados com adição de Vedacit para assegurar a proteção contra infiltrações e umidade (Figuras 22a, 22b, 22c e 22d). O acabamento externo seguiu as mesmas etapas do acabamento da parte interna, sendo feitos consecutivamente a pintura das unidades interna e externamente (Figuras 23a e 23b), com tinta acrílica branca.

Foram instaladas portas, de calha em madeira (Figuras 24a e 24b) de 1,60 x 0,60 m, com altura final de 1,55 m, por onde ocorre entrada de ar nos protótipos. Por se tratar de madeira, foi necessário a utilização de um verniz próprio para sol e chuva afim de assegurar a durabilidade dos materiais.

**Figura 21** - Execução das lajes pré-moldadas dos protótipos.

(a) Vista lateral.



(b) Realização da fôrma.



Fonte: Acervo do projeto “Telhados Verdes em Região Semiárida: Possibilidades de Reuso da Água e Desempenho Térmico” (FACEPE – Processo Nº APQ-0888-3.07/15), coordenado pela Profa.

Sylvana Melo dos Santos.

**Figura 22** - Execução das platibandas dos protótipos.

(a) Alvenaria da platibanda.



(b) Fase do chapisco.



(c) Fase de acabamento.



(d) Platibanda finalizada.



Fonte: Acervo do projeto “Telhados Verdes em Região Semiárida: Possibilidades de Reuso da Água e Desempenho Térmico” (FACEPE – Processo N° APQ-0888-3.07/15), coordenado pela Profa. Sylvana Melo dos Santos.

**Figura 23** - Execução do revestimento externo e da pintura dos protótipos.

(a) Revestimento externo.



(b) Pintura externa e interna.



Fonte: Acervo do projeto “Telhados Verdes em Região Semiárida: Possibilidades de Reuso da Água e Desempenho Térmico” (FACEPE – Processo Nº APQ-0888-3.07/15), coordenado pela Profa. Sylvana Melo dos Santos.

**Figura 24** - Execução das portas de calha em madeira dos protótipos.

(a) Início da colocação das portas.



(b) Portas finalizadas.



Fonte: Acervo do projeto “Telhados Verdes em Região Semiárida: Possibilidades de Reuso da Água e Desempenho Térmico” (FACEPE – Processo Nº APQ-0888-3.07/15), coordenado pela Profa. Sylvana Melo dos Santos.

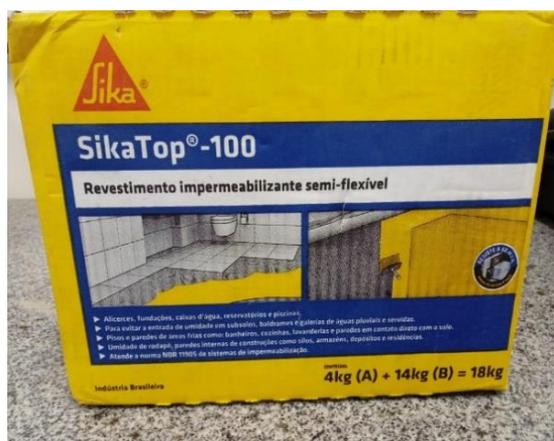
As etapas seguintes foram executadas pela autora da pesquisa, iniciando pela limpeza da superfície e a preparação do impermeabilizante. Com o reforço na impermeabilização da laje pretende-se aumentar a durabilidade das coberturas. Foi utilizado o revestimento impermeabilizante semi-flexível SikaTop-100, que foi aplicado

sobre a laje e na parte interior da platibanda, totalizando uma área de superfície de 3 m<sup>2</sup> em cada unidade (Figura 25a e 25b). Esse produto possui fácil aplicação, sendo aplicado como pintura sobre a superfície desejada, com preparo com duração em torno de 5 minutos para baixos volumes e realizado de forma manual, e necessitando apenas da homogeneização da parte líquida e da sólida de seu conteúdo. Após a preparação do produto, aplicou-se o mesmo nas superfícies descritas utilizando broxa para pintura retangular e pincel, com a aplicação de 4 demãos em cada unidade de forma cruzada, sendo a primeira na horizontal, seguindo pela vertical, e por fim em duas diagonais contrárias, respeitando a cura necessária entre uma e outra e aguardando, como recomendado, o mínimo de 5 dias para o posterior uso da área e a realização do teste de estanqueidade.

A execução do teste de estanqueidade obedeceu às orientações da NBR 15575-3 (ABNT, 2013b) que estabelece o procedimento para a realização do mesmo visando contribuir para a vida útil da habitação, promovendo a redução das patologias resultantes da penetração de fluídos nos elementos construtivos. Esta norma recomenda submeter a área de teste à uma lâmina de água com no mínimo 10 mm (ou 1 cm) em seu ponto mais alto, por 72 horas. No teste realizado na cobertura dos protótipos, foi utilizada uma lâmina de água (Figura 26a) com aproximadamente 20 cm de altura medida com trena métrica (Figura 26b).

**Figura 25** - Execução da impermeabilização dos protótipos.

(a) Impermeabilizante SikaTop-100.



(b) Realização da impermeabilização.



Fonte: Acervo do projeto “Telhados Verdes em Região Semiárida: Possibilidades de Reuso da Água e Desempenho Térmico” (FACEPE – Processo N° APQ-0888-3.07/15), coordenado pela Profa.

Sylvana Melo dos Santos.

**Figura 26** - Execução do teste de estanqueidade na cobertura dos protótipos.

(a) Lâmina de água.



(b) Medição com trena.



Fonte: Acervo do projeto “Telhados Verdes em Região Semiárida: Possibilidades de Reuso da Água e Desempenho Térmico” (FACEPE – Processo Nº APQ-0888-3.07/15), coordenado pela Profa. Sylvana Melo dos Santos.

Com o primeiro teste foi detectada a existência de infiltrações na parte interior da laje dos protótipos (Figura 27). Foi realizado reparo no local com massa do tipo Époxi e um novo teste de estanqueidade atestou o êxito no procedimento, sem a ocorrência de novas infiltrações. Também foi realizada a limpeza dos acessos à UETE, e a verificação do funcionamento do ralo de drenagem e da impermeabilização de seu entorno (Figuras 28a e 28b). A manutenção preventiva da UETE ocorreu periodicamente, uma vez ao mês, garantindo a integridade da estrutura construída (Figuras 29a e 29b).

**Figura 27** - Infiltração após a realização do teste de estanqueidade.



Fonte: Acervo do projeto “Telhados Verdes em Região Semiárida: Possibilidades de Reuso da Água e Desempenho Térmico” (FACEPE – Processo Nº APQ-0888-3.07/15), coordenado pela Profa. Sylvana Melo dos Santos.

**Figura 28** - Reparo da infiltração encontrada nos ralos dos protótipos.

(a) Ralo antes da utilização do Époxi.



(b) Ralo com a massa Époxi.



Fonte: Acervo do projeto “Telhados Verdes em Região Semiárida: Possibilidades de Reuso da Água e Desempenho Térmico” (FACEPE – Processo N° APQ-0888-3.07/15), coordenado pela Profa. Sylvana Melo dos Santos.

**Figura 29** - Manutenção preventiva e limpeza da UETE.

(a) Cuidado com o interior dos protótipos.



(b) Cuidado com a cobertura dos protótipos.



Fonte: Acervo do projeto “Telhados Verdes em Região Semiárida: Possibilidades de Reuso da Água e Desempenho Térmico” (FACEPE – Processo N° APQ-0888-3.07/15), coordenado pela Profa. Sylvana Melo dos Santos.

#### 4.2.2 Cobertura dos protótipos

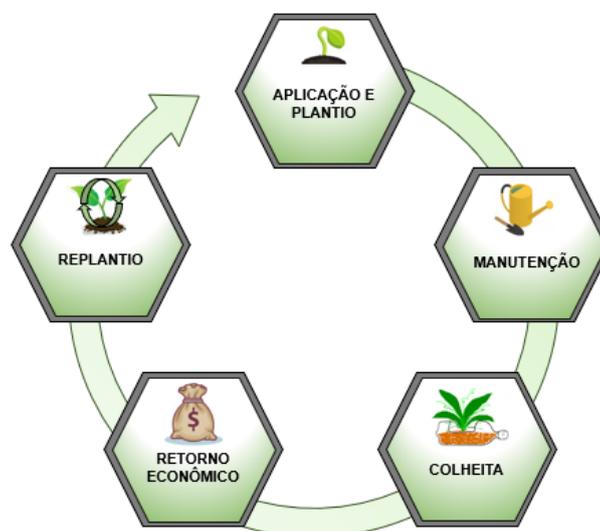
Para viabilizar a comparação dos resultados com um cenário inalterado, um dos protótipos permaneceu com a cobertura original em laje impermeabilizada exposta, sendo para fins de melhor compreensão denominado telhado de referência. Para implantação do outro protótipo foi necessário inicialmente definir duas partes

fundamentais: o tipo de vegetação (e substrato) e a estrutura suporte (para exercer as funções de apoio, impermeabilização e drenagem).

Para escolha da vegetação foram considerados os seguintes critérios: facilidade de manutenção e de adaptação, principalmente em altas temperaturas e em situação de escassez hídrica, facilidade de propagação de mudas, e possibilidade de retorno socioeconômico (ou seja, possibilidade de comercialização) para a comunidade de baixa renda.

Para definição da estrutura suporte foi levado em consideração: uso de produtos e metodologias já adotados anteriormente em outras pesquisas; possibilidade de utilização de material de grande volume de descarte, de fácil acesso pela população e de baixo custo; e possibilidade de contribuir para a preservação do meio ambiente. Neste contexto, se inserem as garrafas PET, como elemento estruturador da cobertura, que têm custo acessível, também por isso, facilmente encontradas no meio ambiente, onde sua decomposição é muito lenta, desta forma a reutilização torna-se importante para a recuperação e preservação ambiental. A partir da possibilidade de arranjos de telhados verdes com garrafas PET já estudadas (Quadro 1), foram ajustados os detalhes do arranjo estudado nesta pesquisa com relação: à estruturação do sistema, às camadas de filtragem, à drenagem, e à fixação das garrafas. Para concepção da cobertura (vegetação e estrutura suporte) adotada foram considerados: progresso econômico, aspectos sociais, e preservação ambiental, conforme o ciclo contínuo de concepção do sistema apresentado na Figura 30.

**Figura 30** - Ciclo contínuo de estágios do modelo utilizado.



Fonte: Autora.

#### 4.2.3 Estudo simplificado de viabilidade econômica do telhado verde ecológico de baixo custo

A análise de viabilidade econômica consiste em avaliar a conveniência financeira para a construção do sistema de telhado verde, que através do seu retorno financeiro a longo prazo é preferível se comparado as coberturas clássicas (SAVI, 2012). No caso de um telhado verde ecológico de baixo custo esta análise permite embasar as decisões acerca da implantação do respectivo telhado por meio da comparação entre os custos associados ao sistema e o retorno dos benefícios que podem ser proporcionados. Por vezes, o gasto inicial pode dificultar na adesão por novos investidores, principalmente se for necessário um trabalho profissional ou uma avaliação estrutural, além do qual a depender da composição adotada em suas camadas esse custo pode elevar-se consideravelmente.

A estrutura de suporte com o uso de garrafas PET podem contribuir significativamente para a redução dos custos se relacionado aos gastos iniciais de implantação, manutenção e ao peso do sistema. Porém, para a análise da viabilidade econômica apresentada nesta pesquisa foi realizado um estudo simplificado que considera apenas o valor resultante do emprego da estrutura suporte e do conjunto substrato + vegetação por m<sup>2</sup>, encontrado através do produto do preço unitário e o levantamento quantitativo da composição do arranjo adotado, ressaltando em seguida comparativos com pesquisas que abrangem o custo de implantação de telhados verdes.

Os custos apresentados foram coletados através da média de valores de três lugares distintos que dispusessem dos materiais utilizados, na região de estudo, localizada no município de Caruaru. Por se tratar de estruturas semelhantes, a etapa de construção dos protótipos não foi orçamentada para fins de comparação. De acordo com Pereira Júnior e Silva (2011), a averiguação do custo médio e a análise da viabilidade do sistema, possibilitará identificar se a cobertura adotada é uma alternativa viável principalmente para a população de baixa renda.

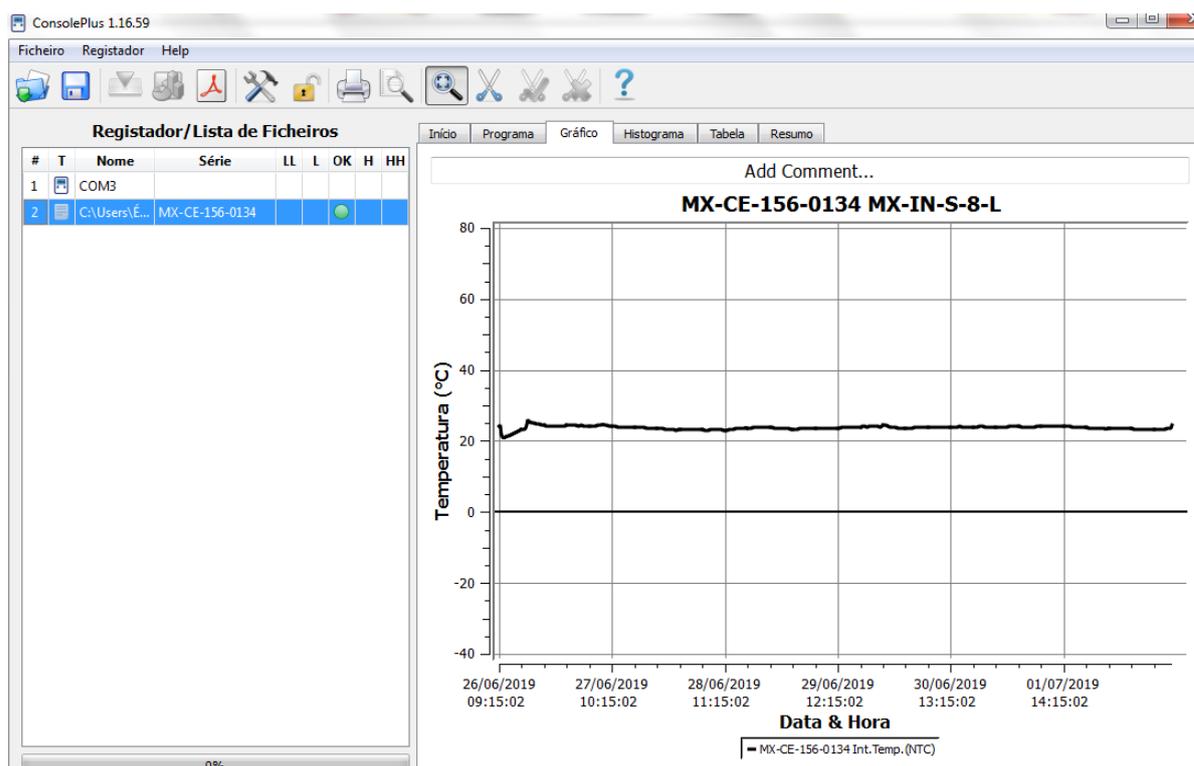
### 4.3 Aquisição de dados

#### 4.3.1 Dados internos dos protótipos

Para a coleta de dados internos de temperatura, foram instalados termômetros do tipo Escort iMINI MX-IN-S-8-L nas paredes, juntamente com os termohigrômetros

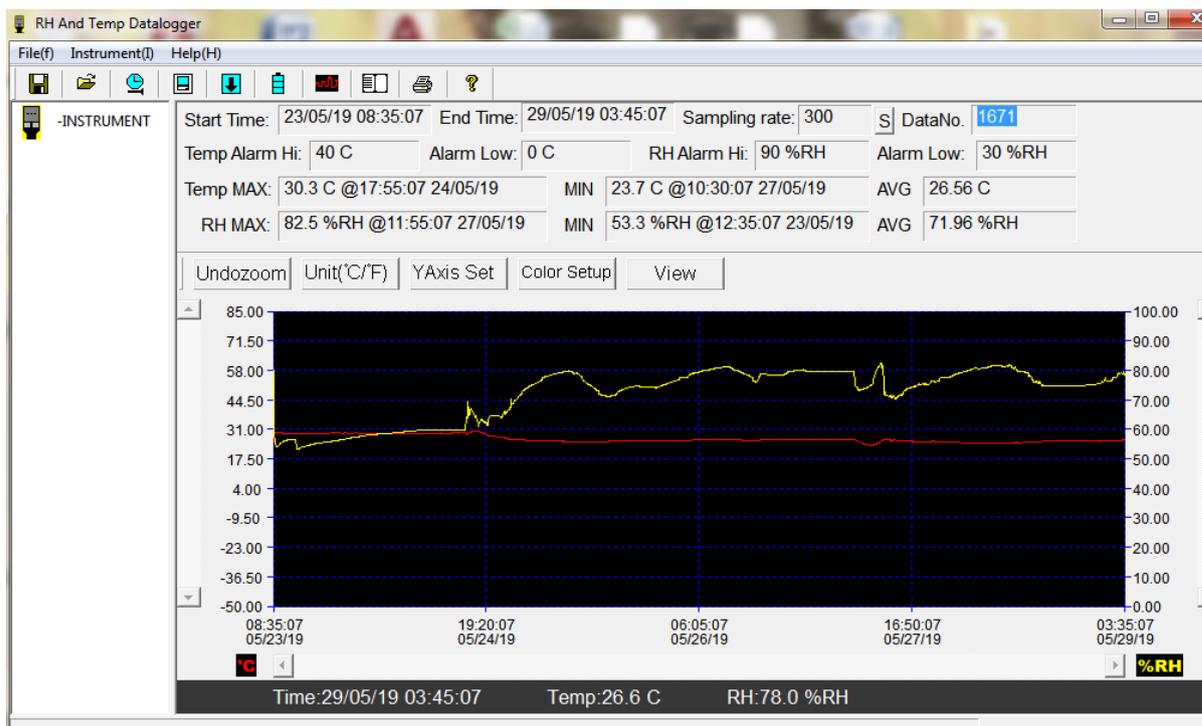
Datalogger IP-747RH, para a obtenção da temperatura do teto no interior de cada protótipo. As medições, que foram realizadas a cada 30 minutos, de forma simultânea, permitiram que as análises ocorressem de forma precisa. Os dados coletados semanalmente *in loco* no período de outubro/2019 a março/2020, foram dispostos em planilhas do *Microsoft Excel*, para que posteriormente fossem analisados e processados. O Escort iMINI MX-IN-S-8-L destina-se à medição e ao armazenamento de dados de temperatura, possuindo o seu próprio *software* (Figura 31) para programação, descarregamento, análise e desenvolvimento de relatórios dos dados. O Datalogger IP-747RH destina-se à medição e ao armazenamento de dados de umidade relativa e de temperatura ambiente, possuindo, assim como o anterior, seu próprio *software* (Figura 32). Nas Figuras 33a e 33b, e na Tabela 2, estão apresentados os equipamentos utilizados no experimento e suas características.

**Figura 31** - Interface do *software* do Escort iMINI.



Fonte: Autora.

**Figura 32 - Interface do software do IP-747RH.**



Fonte: Autora.

**Figura 33 - Equipamentos utilizados para a realização dos experimentos.**

(a) Escort iMINI MX-IN-S-8-L.



Fonte: Autora.

(b) Datalogger IP-747RH.



Fonte: Autora.

**Tabela 2** - Características dos equipamentos utilizados no experimento.

<b>Características</b>	<b>Escort iMINI</b>	<b>IP-747RH</b>
Alcance de temperatura	- 40°C até 80°C	- 40°C até 70°C
Precisão da temperatura	±0,3°C (-10°C até 70°C)	±1°C (-10°C até 40°C)
Capacidade medições	7808 medições	32700 medições
Unidades de medição	°C ou °F	
Formato do relatório	PDF, TXT, CSV, e CVT	XPS
Conexão com o computador	USB	

Fonte: Autora.

Para verificar o funcionamento dos equipamentos, foram realizados testes antes do início do experimento em uma estufa da marca Nova Ética modelo NE0952 do Laboratório de Engenharia Ambiental (LEA) do CAA, nos dias 23/05/19 e 24/05/19 entre 17:00hrs e 05:00hrs, com uma temperatura constante de 30°C. Todos os equipamentos (usados na parede e no teto) passaram por essa verificação.

As diferenças aproximadas em relação à temperatura em que foram submetidos estão apresentados na Tabela 3, evidenciando-se que todos os valores encontrados se enquadram na precisão dos equipamentos, com exceção de um termômetro que excedeu +0,04°C do limite previsto.

**Tabela 3** - Teste de estufa com os equipamentos utilizados na coleta de dados.

<b>Equipamento</b>	<b>Precisão</b>	<b>Código</b>	<b>Diferença média da temperatura submetida (°C)</b>
Datalogger IP-747RH	±1°C (-10°C até 40°C)	IP 01 – 034514	+ 0,75°C
		IP 02 – 034516	+ 0,72°C
Escort iMINI MX-IN-S-8-L	±0,3°C (-10°C até 70°C)	MX-CE-153-0684	+ 0,18°C
		MX-CE-153-0738	+ 0,09°C
		MX-CE-153-0739	+ 0,08°C
		MX-CH-224-0600	+ 0,18°C
		MX-CH-223-0091	- 0,11°C
		*MX-CE-156-0134	+ 0,34°C

\*Termômetro que excedeu +0,04°C a precisão esperada de ±0,3°C.

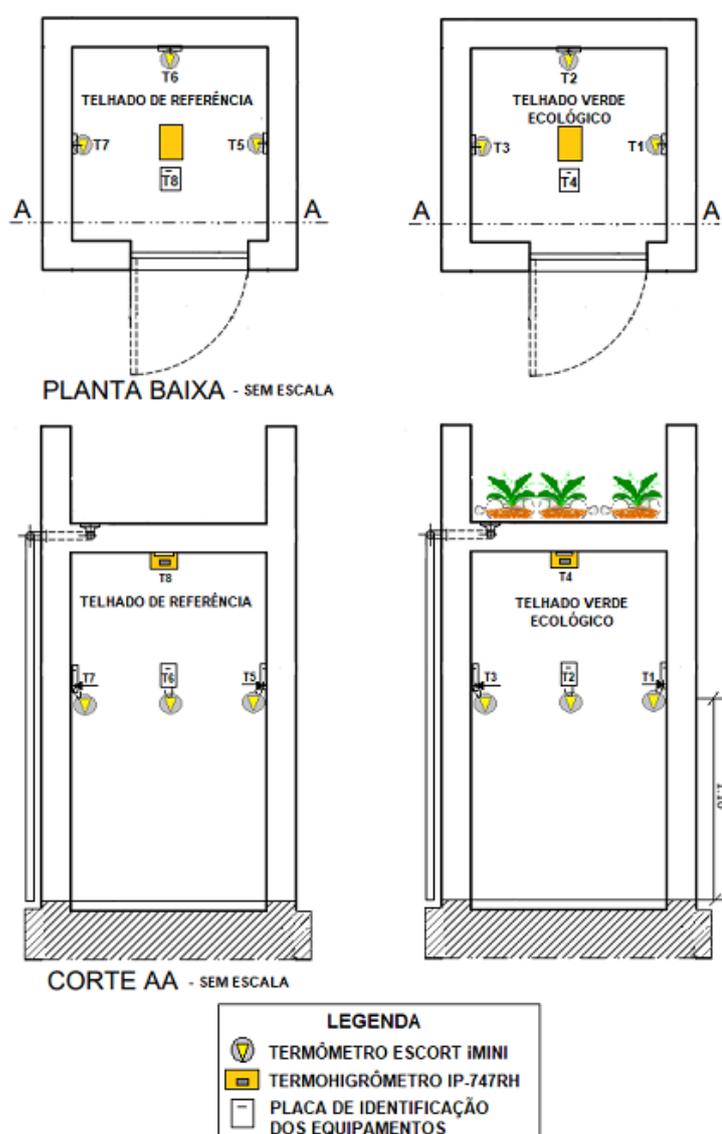
Fonte: Autora.

Os aparelhos Escort iMINI foram instalados a 1,10 m de altura, nas três paredes internas dos protótipos (excluindo a parede que recebe a porta), considerando as orientações constantes na ISO 7726 (ABNT, 1998), que trata dos instrumentos e métodos para a medição dos parâmetros físicos de ambientes e que define e orienta as medições de aparelhos relacionados à temperatura. Assim sendo, adotou-se a altura recomendada para o nível do abdômen para quem está em pé, sendo

aparentemente a melhor opção se comparado às alturas do nível da cabeça e do nível do tornozelo (ABNT, 1998).

Já os termohigrômetros de teto IP-747RH foram fixados na parte interna do ambiente, no centro do teto, com o auxílio de trena métrica para a marcação das medidas corretas. A disposição dos sensores de temperatura, e respectivas placas de identificação, utilizados no experimento está indicada na Figura 34. Os termômetros T1, T2, T3 e o termohigrômetro T4 foram instalados no ambiente abaixo do telhado verde ecológico, e os termômetros T5, T6, T7, e o termohigrômetro T8 abaixo do telhado de referência.

**Figura 34** - Disposição dos sensores utilizados no interior dos protótipos.



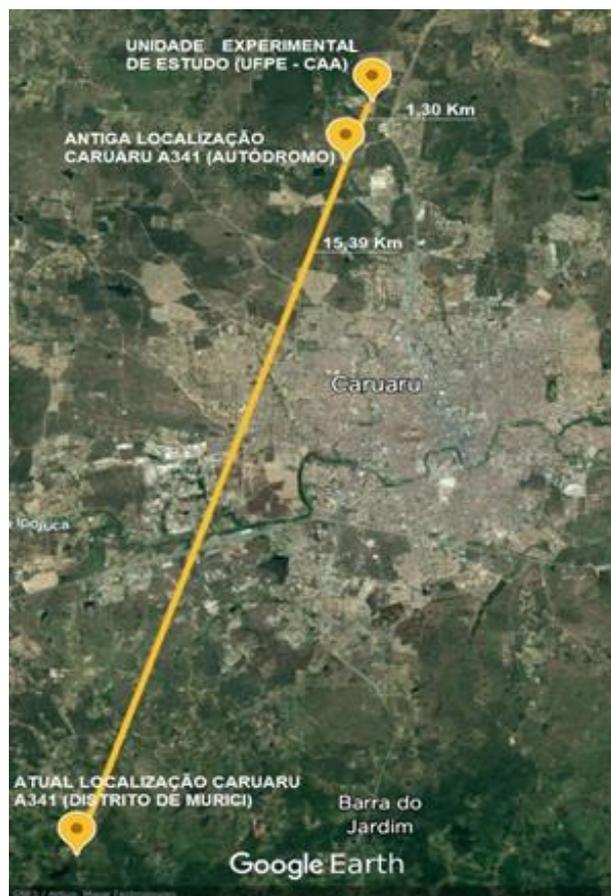
Fonte: Adaptado do acervo do projeto “Telhados Verdes em Região Semiárida: Possibilidades de Reuso da Água e Desempenho Térmico” (FACEPE – Processo N° APQ-0888-3.07/15), coordenado pela Profa. Sylvana Melo dos Santos.

#### 4.3.2 Dados externos

Os dados das temperaturas externas foram coletados através de duas estações instaladas no município de Caruaru, sendo uma estação meteorológica de observação de superfície automática (Caruaru A341) que dispõe de uma unidade de memória central, e a outra estação meteorológica do tipo manual, a Estação Manual Experimental José Nilson de Melo, onde os dados são lidos e anotados por um profissional habilitado para o serviço.

A estação automática Caruaru A341 é de responsabilidade do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), com sensores de temperatura, umidade, direção e velocidade dos ventos, pressão atmosférica, precipitação, e radiação solar, e estava localizada no autódromo do município desde a sua instalação em novembro de 2007, com cerca de 1,30 km de distância da Unidade Experimental. Esta estação foi deslocada em julho de 2018, e encontra-se desde então no Parque Natural Municipal, no distrito de Murici em Caruaru, passando a ter aproximadamente 15,39 km de distância da Unidade Experimental, Figura 35. Mesmo com a mudança da sua localização, foi possível obter dados de temperatura horários por um tempo constante de 10 anos em seu antigo endereço, sendo primordial para calcular médias de curto período visando caracterizar a temperatura do município de Caruaru. De acordo com nota técnica emitida pelo INMET, os dados desta estação são fornecidos a cada hora após a integralização dos mesmos, minuto a minuto, sendo divulgados em horário UTC. Para seu uso, faz-se necessário realizar a transformação para o horário local, com a diminuição de 3 horas do horário fornecido.

**Figura 35** - Localização da estação automática Caruaru A341.



Fonte: Adaptado do Google Earth (2019).

Considerando que a realocação da estação A341 poderia influenciar nas condições climáticas analisadas, concluiu-se que não seria representativo utilizá-la para fins de comparação com os dados coletados dos protótipos no período de outubro/2019 a março/2020, em razão da distância que passou-se a ter entre elas. Dessa forma, foi necessário buscar uma nova estação que estivesse mais próxima aos protótipos construídos e que dispusessem de dados de temperatura diários.

Diante do levantamento realizado de outras estações localizadas no município de Caruaru com as características necessárias para esta pesquisa, foi identificada a Estação Manual Experimental José Nilson de Melo, localizada no interior das instalações do Instituto Agrônomo de Pernambuco (IPA), no Povoado de Malhada de Pedras, encontrando-se com cerca de 6,91 km de distância da Unidade Experimental (Figura 36), o que nas possibilidades existentes seria válido para os objetivos propostos. Seus dados de temperatura são coletados diariamente nos seguintes horários pré-definidos: 09:00 h e 15:00 h. Além disso, por meio de um

sensor específico é possível obter a temperatura máxima e mínima diária, porém sem a informação dos seus respectivos horários.

**Figura 36** - Localização da Estação Manual Experimental José Nilson de Melo.



Fonte: Adaptado do Google Earth (2019).

#### **4.4 Caracterização do comportamento da temperatura no município de Caruaru-PE**

Para analisar a tendência da variável meteorológica de temperatura, no município de Caruaru, foram investigados dados de séries históricas, do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) referente à estação meteorológica de superfície automática, Caruaru–A341, realizando-se por meio de análise estatística de dados horários, de uma série de 10 anos (janeiro de 2008 a dezembro de 2017), devido ao deslocamento da estação no ano de 2018 do Autódromo para o Parque Natural Municipal no distrito de Murici em Caruaru, como informado anteriormente.

Esse estudo teve por finalidade evidenciar os períodos mais quentes e frios da região, sendo posteriormente utilizado para confrontar com os dados apurados da temperatura interna dos protótipos. Como afirmado por Altaides e Furtados (2014), esse procedimento torna-se significativo para possíveis escolhas de épocas para plantio e colheita por exemplo, entre diversos outros fatores que são condicionados a climatologia, auxiliando na gestão territorial e no progresso da localidade.

A metodologia desta caracterização seguiu conforme adequação de pesquisas que abrangessem cálculos de médias de temperatura (DINIZ, RAMOS e REBELLO, 2018; MARTINS, 2019), determinando médias de curto prazo devido ao tempo realizável de somente 10 anos para a estação A341, ao qual definiu-se que nenhum mês que dispusessem de ausência de dados diários fossem descartados, levando em conta todos os dados de temperatura dos meses estudados, justificado pela baixa densidade de informações.

A princípio todos os dados de temperatura cedidos pelo INMET foram organizados em planilhas no *software Microsoft Excel* com o devido ajuste do horário UTC para o horário local. Sendo necessário inicialmente calcular as médias mensais  $X_{ij}$ , sendo  $i$  referente a cada mês e  $j$  a cada ano, pertencente ao período de interesse, através de médias diárias calculadas previamente, como demonstrado na Equação 2.

$$X_{ij} = \frac{\sum^k x_{ijk}}{N} \quad (2)$$

Onde:  $k$  corresponde ao dia analisado, e  $N$  a quantidade de dias com dados no mês observado.

Seguido do cálculo da tendência mensal do ano representativo, denominada nesta pesquisa por temperaturas médias mensais representativas, através da Equação 3.

$$\bar{X}_i = \frac{\sum_j X_{ij}}{M_i} \quad (3)$$

Onde:  $M_i$  corresponde ao número de anos para os quais os valores de  $X_{ij}$  estão disponíveis.

Com a definição do ano representativo, foi possível calcular o valor médio anual de referência ( $\bar{X}$ ), através da média aritmética dos 12 valores médios mensais representativos  $\bar{X}_i$ ,  $i=1,2...12$ , que correspondeu ao limite dos períodos quentes e frios da região, demonstrados através do desvio das temperaturas. Além disso, foram determinados os valores referentes às médias representativas máximas e mínimas mensais, e à máxima e mínima absoluta mensais dentre os anos analisados, para se estabelecer as relações entre as mesmas. Por fim, para uma melhor representação da caracterização realizada, foram utilizados gráficos do tipo Boxplot, de colunas e linhas, que auxiliaram na interpretação dos resultados.

#### **4.5 Análise da interferência das paredes na temperatura interna dos protótipos que compõem a Unidade Experimental de Telhados Ecológicos**

Visando averiguar a ocorrência de possíveis interferências das paredes quanto ao desempenho térmico do sistema de telhado verde ecológico implantado, além de influências que pudessem advir de fatores climáticos externos, como radiação, temperatura e vento, foram comparados as temperaturas internas das paredes do protótipo com o arranjo de telhado verde ecológico recém-instalado e no final do monitoramento, ou seja, quando o sistema apresentava seu pleno desenvolvimento, em relação ao telhado de referência. Essa comparação foi realizada em cada unidade, entre os três sensores instalados nas paredes.

Para isso, optou-se por realizar diferentes combinações de localização dos termômetros Escort iMINI antes da implantação da cobertura verde ecológica para definição da disposição utilizada, por meio da coleta de médias diárias dos dois protótipos, buscando reafirmar as condições climatológicas e estruturais semelhantes entre as mesmas. Assim, detectou-se a menor variação possível quanto à distribuição dos sensores.

#### **4.6 Comparação do desempenho térmico dos telhados de referência e verde ecológico**

Para comparação dos dados observados foram utilizados testes estatísticos, conforme fundamentação apresentada por Santos (2018), empregando procedimentos e técnicas visando recolher e analisar, resumindo-a de forma ordenada para descrever as referidas informações. Neste contexto, serão empregados conceitos da estatística descritiva, em que, segundo Reis e Reis (2002), é possível verificar aspectos importantes de um conjunto de características observadas, como também compará-las entre dois ou mais conjuntos, auxiliando na interpretação dos resultados.

Realizou-se a comparação dos dados dos tetos abaixo do telhado de referência e verde ecológico dos protótipos, afim de averiguar qual apresentou melhor desempenho térmico, entre os ambientes investigados, tanto para o período mais quente, quanto para o mais frio do dia, por meio dos picos máximos e mínimos de valores. Para a representação dos dados diários de todos os meses coletados, foram feitos gráficos do tipo BoxPlot para ser feito o balanço entre as coberturas analisadas.

Esse tipo de gráfico é construído basicamente pelo valor mínimo, primeiro quartil, mediana, terceiro quartil e valor máximo, construído paralelamente ao eixo da escala dos dados, podendo também apresentar valores atípicos, que são aqueles valores muito afastados da maior parte dos dados, fornecendo assim várias informações importantes do conjunto estudado. A série de valores que variam de acordo com o tempo e o tipo de telhado analisado, ainda foram comparados com os dados da caracterização do município.

Por fim, para a comparação com o ambiente externo foram utilizados dados da Estação Manual Experimental José Nilson de Melo, por ser a que se localizava mais próxima de onde situa-se os protótipos, buscando obter condições climatológicas externas mais similares, comparando de forma sintetizada as temperaturas máximas, mínimas, das 09:00hrs, das 15:00hrs e a amplitude térmica no período de investigação em dias pré-definidos, apresentados através de recursos gráficos.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

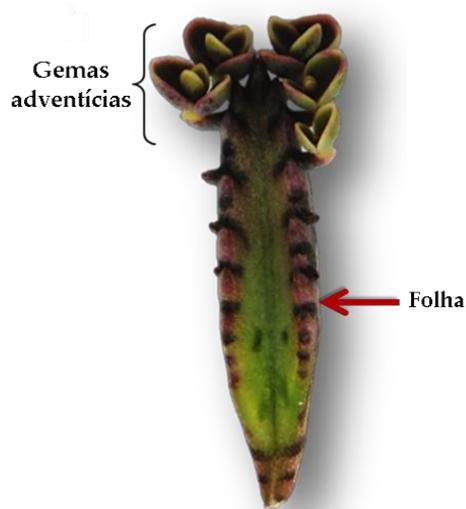
### 5.1 Implantação da cobertura do telhado verde ecológico de baixo custo

#### 5.1.1 Concepção da cobertura: vegetação e estrutura suporte

Considerando os critérios já definidos para escolha da vegetação (manutenção, adaptação, propagação de mudas, e retorno socioeconômico), foram consideradas as possibilidades de se utilizar gramíneas, cactos, hortaliças, entre outras variedades de plantas, que estivessem inseridas em parâmetros de telhados verdes extensivos. Neste contexto, se insere a espécie *Kalanchoe laetivirens*, que é uma planta utilizada na medicina popular e pode trazer retornos financeiros com o uso ornamental, além disso, se adapta e se reproduz facilmente, e ainda possui boa retenção de água em seu interior. De acordo com Ribeiro Neto e Paes (2018), a *Kalanchoe laetivirens* é uma fonte rica de fungos endofíticos, além de ser alimentícia, possui propriedades semelhantes ao das plantas medicinais, e apresenta grande potencial de interesse biotecnológico.

Sobre a fisiologia da planta, de acordo com Almeida e Almeida (2018), a *Kalanchoe* é uma espécie não embrionária (adventícia), que são espécies vegetais em que as células já diferenciadas de um ramo podem sofrer desdiferenciação (habilidade de uma célula madura, ou seja, célula viva contendo o núcleo, em originar uma planta inteira) e voltarem a se dividir originando novos órgãos sem origem embrionária (Figura 37). Segundo o website especializado em jardinagem, o Terral (<http://terral.agr.br/plus/modulos/noticias/ler.php?cdnoticia=33> acessado em 25/06/2020), de uma forma geral, devido ao sistema radicular ser raso e pela morfologia das plantas (presença de cera nas folhas) não permitir a perda de água com facilidade, a planta conseguiu se adaptar à baixa umidade ambiental.

**Figura 37** - Folhas adventícias (não embrionárias) provenientes de gemas adventícias desenvolvidas na folha de *Kalanchoe sp* (B).



Fonte: Almeida e Almeida (2018).

As características apresentadas pela vegetação de Aranto ou “Mãe de Milhares” como é popularmente conhecida a *Kalanchoe laetivirens*, como sua resistência às elevadas temperaturas e aridez, indicando que as mesmas sejam regadas moderadamente no verão, caracterizam-nas para o emprego como cobertura vegetal para telhados verdes ecológicos, uma vez que o semiárido apresenta aspectos físico-climáticos particulares, principalmente no que se diz respeito à escassez hídrica. De acordo com o website especializado em jardinagem, o Terral (<http://terral.agr.br/plus/modulos/noticias/ler.php?cdnoticia=33> acessado em 25/06/2020), a *Kalanchoe laetivirens* é originária da África, se desenvolve muito bem em sol pleno, mas é adaptável também em meia sombra, apresenta bom desenvolvimento em vasos e jardins, e a rega no verão pode ser feita 1 vez por semana e 1 vez a cada 15 dias no inverno. As Figuras 38a e 38b mostram dois momentos desta vegetação, quando em estágio de muda (extraída diretamente da folha) e em crescimento já desenvolvido.

**Figura 38** - Suculenta *Kalanchoe laetivirens* utilizada no experimento.

(a) Mudas extraídas das folhas.



(b) Vegetação desenvolvida.



Fonte: Autora.

Uma vez definida a planta a ser utilizada como cobertura vegetal do telhado ecológico, a etapa seguinte foi a definição do arranjo a ser implantado para suporte do conjunto substrato + vegetação. Assim sendo, com base no levantamento bibliográfico sobre telhados de baixo custo e considerando o potencial de poluição ambiental das garrafas PET (Politerefitalato de Etileno), optou-se pela utilização deste material como estrutura suporte do telhado a ser investigado. A utilização das garrafas PET permite uma vasta gama de possibilidades de uso, visto que trata-se de um material facilmente manipulável que pode se adaptar à necessidade do que é proposto. Na definição do *layout* de disposição das garrafas PET foram analisadas as possibilidades existentes na literatura científica visando alcançar o maior desempenho das coberturas sem comprometer o seu funcionamento adequado. Levando em consideração a facilidade de disposição, se comparando às garrafas PET de diversos tamanhos, optou-se pela utilização de garrafas com 2L de capacidade, semelhante a pesquisa realizada por Cortés e Castillo (2011) que utilizou garrafas PET de 3L com cultivo de hortaliças.

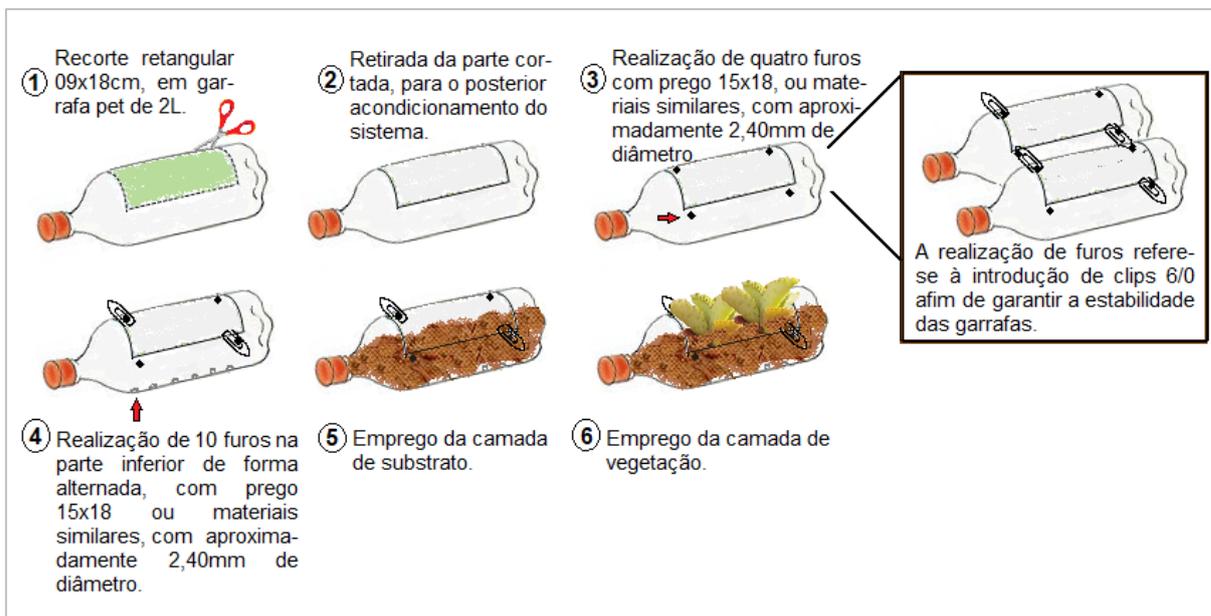
Com o objetivo de garantir adequada profundidade do solo para a plantação da cobertura vegetal, considerando que a *Kalanchoe laetivirens* possui *sistema* radicular raso, optou-se por dispor as garrafas PET de modo longitudinal, assim como Pereira Júnior e Silva (2011), Funfgelt *et al.* (2012), e Martins e Pinto (2016). Foi considerado que com a disposição das garrafas no sentido longitudinal haveria mais espaço para a folhagem das plantas, visto que a vegetação utilizada não necessita de vasto espaço

vertical por suas raízes não serem profundas. No que se refere à camada de filtragem/drenagem, levando-se em consideração a escassez hídrica da região, juntamente com a baixa inclinação da laje, foi constatado que não haveria a necessidade de uma camada específica para este fim no sistema, por outro lado, para que a filtragem/drenagem da água tenha sua funcionalidade assegurada, decidiu-se realizar pequenos orifícios na parte inferior das garrafas.

Para fixação das garrafas foram estudadas diversas possibilidades encontradas na literatura científica, como o emprego de fios de nylon (FUNFGELT *et al.*, 2012) e o emprego de rebites e arames (PEREIRA JÚNIOR e SILVA, 2011). Na definição da forma de fixação a ser adotada nesta pesquisa, foi levado em consideração a durabilidade dos materiais e facilidade de obtenção e manuseio. Neste contexto, foram descartados o emprego de rebite (pois acrescentaria ao projeto o custo de aquisição de uma rebiteadeira) e do fio de *nylon* (dificultaria a manutenção pois não seria rápido e fácil a retirada/reposição de garrafas isoladas que apresentassem algum problema de funcionamento). Com isso, optou-se por fixar as garrafas PET com materiais do tipo arame com fácil obtenção e manuseio, e na solução adotada foram utilizados clips de papel 6/0 de arame de aço galvanizado.

Como características que somaram vantagens para uso dos clips de arame galvanizado estão: ser um material flexível, resistente, versátil e de fácil aplicação. Dessa forma, a utilização dos clips permite a fixação das garrafas umas às outras e na cobertura lajeada através de ganchos fixos nas extremidades de cada fileira. Na Figura 39, apresenta-se o esquema de arranjo adotado nesta pesquisa em ordem sequencial desde o primeiro recorte na garrafa PET até colocação do substrato e da vegetação. Ao final das etapas explicitadas na Figura 39, cada garrafa apresentou o peso total de 940 g, sendo que este valor pode ser ainda maior a depender da quantidade de mudas plantadas e conseqüentemente a concentração de folhas na planta em seu estágio desenvolvido.

**Figura 39** - Etapas para a confecção e posterior implantação do sistema de telhado verde ecológico com garrafa PET.



Fonte: Autora.

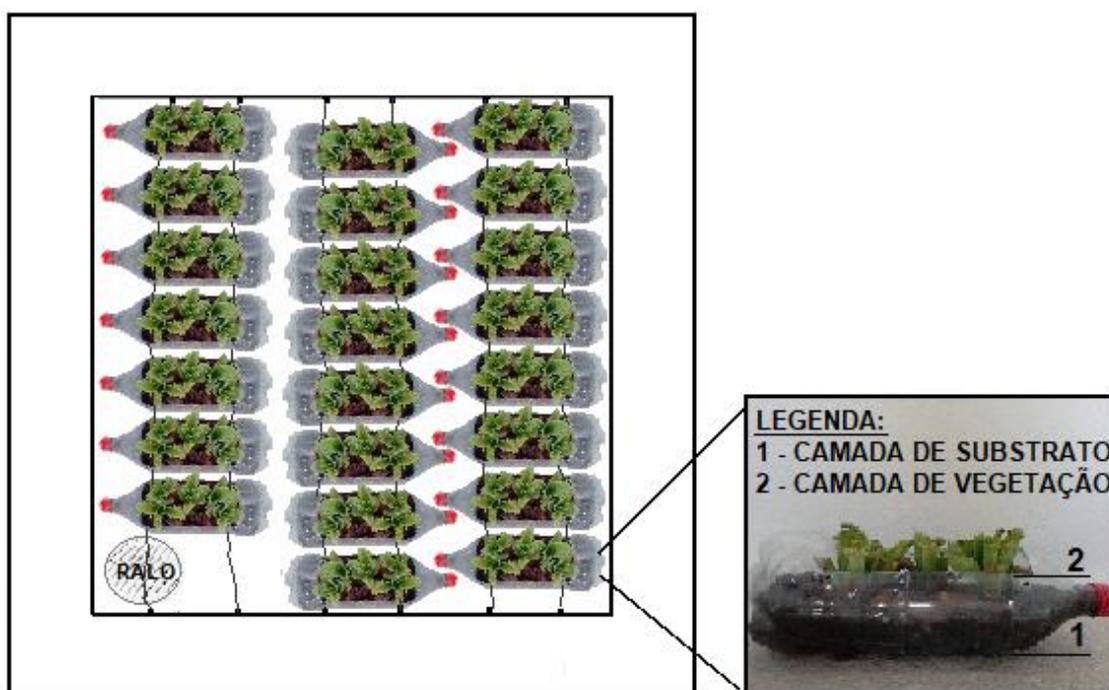
### 5.1.2 Disposição dos arranjos com garrafas PET sobre a laje do protótipo

Esta etapa foi realizada em setembro de 2019. A partir das medidas das garrafas e evitando-se o cobrimento do ralo (para não comprometer o desempenho hidráulico do mesmo), observou-se que seria possível a acomodação de 23 (vinte e três) garrafas/m<sup>2</sup>, considerando a disposição apresentada na Figura 40. As garrafas foram fixadas umas às outras por meio dos clips 6/0 dispostas em fileiras, o substrato de terra tratada composto basicamente de esterco, calcário e areia foi adquirido em loja especializada em plantas com custo médio de R\$ 0,24/kg e por meio de doação foi obtida a vegetação já desenvolvida e com grande quantidade de mudas em suas plantas que serviram para a plantação em todas as garrafas, porém no município uma muda em seu pleno desenvolvimento é encontrado facilmente com um preço médio de R\$ 10,00, em seguida foram transferidas para a laje de um dos dois protótipos que compõem a UETE (Figuras 41a e 41b). Concluída a implantação sobre o protótipo e aproveitando a ocasião da manutenção realizada, a Figura 42 demonstra a realização da rega manual utilizando uma garrafa PET de 2 L, com três furos em sua tampa, auxiliando na distribuição regular da água entre os cultivos.

Em virtude das elevadas temperaturas e do período seco, preferiu-se no primeiro mês regar o sistema em dias alternados. Posteriormente, em função do início

do crescimento de suas folhas, o que auxilia no armazenamento de água, essa frequência foi modificada para a cada 3 dias durante todo o mês de novembro. Com o aumento de suas raízes e do seu desenvolvimento, a partir de dezembro essa rega passou a ser feita uma vez por semana, até o fim do experimento. Mesmo com essas frequências estipuladas, recomenda-se que a rega seja realizada quando o solo apresentar-se totalmente seco, esse controle era feito visualmente e tocando na terra dispostas nas garrafas. Em dias de chuva a rega era dispensada, evitando o encharcamento e possíveis apodrecimentos da vegetação.

**Figura 40** - Layout da vista superior do arranjo de telhado verde ecológico de baixo custo.



Fonte: Autora.

**Figura 41** - Preparação do arranjo que compõe a cobertura do telhado verde ecológico.

(a) Colocação do substrato.



(b) Plantio das mudas de Aranto.



Fonte: Autora.

**Figura 42** - Rega manual do conjunto substrato + vegetação.



Fonte: Autora.

Em dezembro de 2019, período historicamente quente do ano, observou-se que o substrato apresentava-se mais seco, e, por isso, foi utilizado casca de pinus que, de acordo com Machado Neto *et al.* (2005), devido às suas características físicas e

biológicas, apresenta-se como uma matéria-prima adequada para utilização com o substrato, quer isoladamente ou em associações, atuando positivamente na retenção de água e no grau de umidade. Para Zorzeto *et al.* (2014), a casca de pinus permite garantir maior umidade e maior capacidade de retenção de água se comparado a outros substratos como a casca de coco e de arroz. Além disso, a casca de pinus é facilmente encontrada em lojas de produtos de jardinagem na região, tem custo acessível médio de R\$ 7,00/kg. Na Figura 43a e 43b é possível observar o estado da vegetação com e sem a casca de pinus sobre o substrato juntamente com o seu desenvolvimento.

**Figura 43** - Comparação do desenvolvimento da vegetação.

(a) Substrato e mudas.



(b) Substrato, casca de pinus e mudas.



Fonte: Autora.

Com a melhora no crescimento da vegetação e conseqüentemente na retenção de água, observado após passado 1 (um) mês da introdução da casca de pinus, a mesma foi retirada, sendo possível reutilizá-la em novos ciclos de plantação tendo em vista a alta resistência da mesma. Neste momento, observou-se que, para fins econômicos, as mudas já poderiam ser comercializadas com um total de três meses de aplicação (Figura 44), consumando o ciclo de estágios de crescimento do modelo pretendido no experimento. Dando continuidade à pesquisa, entretanto, a colheita e a conseqüente comercialização não foram realizadas.

**Figura 44** - Cobertura vegetal desenvolvida.



Fonte: Autora.

A manutenção do sistema de telhado verde ecológico era realizada periodicamente com o objetivo de manter sua conservação. Por se tratar de uma atividade periódica, era rapidamente executada sem maiores prejuízos na coleta de dados. A realização da limpeza permitiu a prevenção de possíveis danos relacionados ao sistema, no recolhimento de folhas secas advindas de árvores próximas e de detritos que por ventura o estivessem degradando, na prevenção de pragas e ervas daninhas, além de possibilitar também a constante observação do funcionamento adequado da drenagem do sistema.

### 5.1.3 Estudo simplificado de viabilidade econômica do telhado verde ecológico de baixo custo

De acordo com Strachoski (2011), para verificar a viabilidade de um investimento é preciso utilizar os métodos matemáticos para análise dos projetos, e assim, estimar a sua lucratividade, rentabilidade e tempo de retorno. Assim sendo, apresenta-se na Tabela 4 a descrição detalhada dos materiais e valores comerciais utilizados na cobertura do sistema de telhado verde ecológico de baixo custo, sem englobar o orçamento da construção dos protótipos que compõe a Unidade Experimental de Telhados Ecológicos, visto a semelhança em suas estruturas.

**Tabela 4** - Quantitativos e valores do telhado verde ecológico de baixo custo implantado.

Descrição	Un.	Qtd.	Preço unitário (R\$)	Preço total (R\$)	Percentual (%)
Garrafa PET (Politerefitalato de Etileno) de 2L	un.	23	R\$ 0,00	R\$ 0,00	0,00%
Mudas de vegetação <i>Kalanchoe laetivirens</i> (Aranto)	un.	1	R\$ 0,00	R\$ 0,00	0,00%
Substrato de terra tratada	kg	20,7	R\$ 0,24	R\$ 4,97	26,19%
Clips 6/0 de arame de aço galvanizado	un.	56	R\$ 0,06	R\$ 3,36	17,70%
Parafuso Gancho Zincado com bucha	un.	12	R\$ 0,45	R\$ 5,40	28,45%
Casca de pinus*	kg	0,75	R\$ 7,00	R\$ 5,25	27,66%
*Opcional a depender da necessidade do sistema e da escolha do usuário.			<b>Custo total/m<sup>2</sup>:</b>	<b>R\$ 18,98</b>	<b>100,00%</b>

Fonte: Autora.

Os valores das garrafas PET e das mudas de *Kalanchoe laetivirens* (Aranto) não foram contabilizados. Neste caso, as garrafas vazias seriam destinadas ao descarte e por isso foi produto adquirido para fins de reuso. No caso das mudas de *Kalanchoe laetivirens* (Aranto), estas são facilmente encontradas na região. Com a simplicidade do arranjo proposto, não há necessidade de contratação de mão-de-obra especializada e a montagem pode ser realizada pelo próprio morador. Logo, o total gasto, para cobertura do protótipo de 1 m<sup>2</sup>, com o arranjo descrito foi de R\$ 18,98/m<sup>2</sup>. Valor um pouco acima do encontrado por Pereira Júnior e Silva (2011) de R\$ 16,00/m<sup>2</sup> com uso de garrafas reutilizadas que leva em conta a aquisição de rebidadeira, rebites e manta do tipo Bidim, mas bem abaixo, segundo os autores, do valor cobrado por empresas especializados de R\$ 75,00/m<sup>2</sup>. Julgando que o substrato pode ser adquirido gratuitamente na própria localidade, e que o emprego de casca de pinus é opcional a depender da necessidade do sistema e da escolha do aplicador, este valor pode ser minimizado em cerca de 53,85%.

Além da redução nos custos de implantação, sugere-se fortemente que o uso de garrafas PET na estrutura suporte pode minorar os gastos associados ao peso do sistema. Sobre isso, de acordo com Santos *et al.* (2009), a camada drenante pode chegar a ter 140 kg/m<sup>3</sup> de carga sobre a laje. Os autores investigaram telhados verdes em que foram utilizadas bases de argila expandida, manta do tipo Bidim Drennäge, além de uma camada de substrato vegetal com 10 cm de altura. Esta composição de camadas pode resultar em um aumento de cerca de quatro vezes na quantidade de

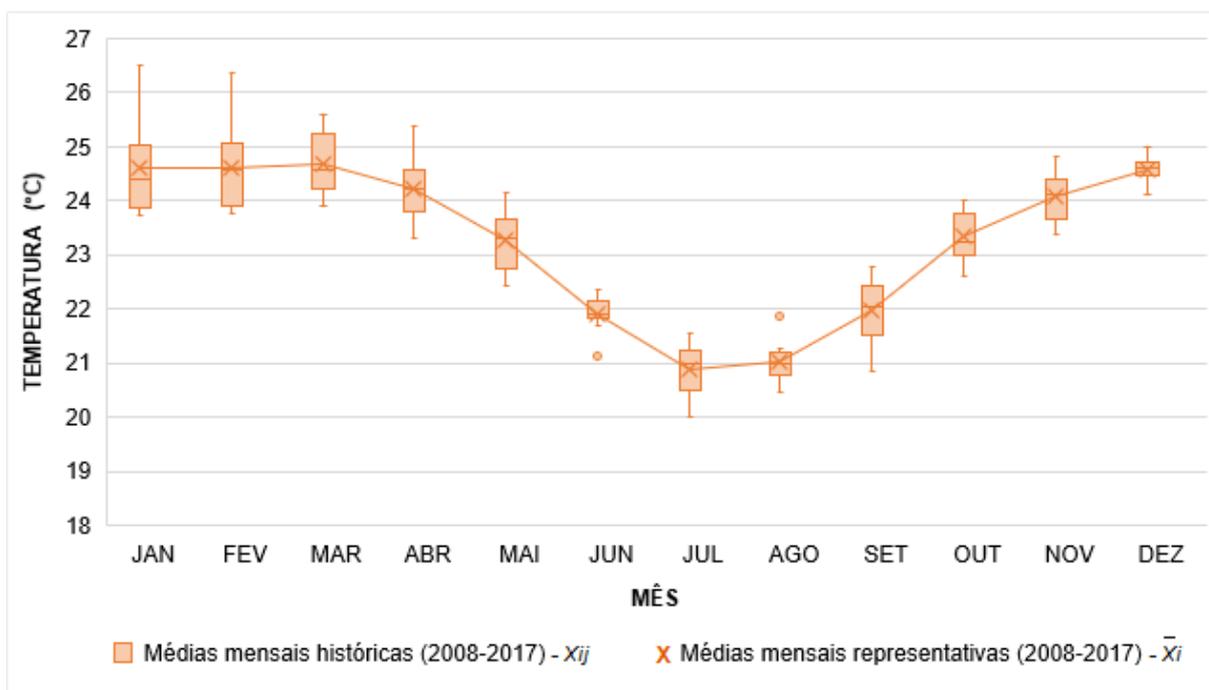
substrato comparado aos arranjos com garrafas PET. Uma alternativa à camada drenante utilizada por Santos *et al.* (2009) foi apresentada por Lima (2013), com a troca por uma manta para jardins suspensos do tipo MacDrain que atuam conjuntamente com a camada drenante e filtrante. Esta composição apesar da redução no peso, compreende o uso de material de custo mais elevado, assim como a necessidade de material para junção das mantas, e para aderência à laje.

Ainda considerando o panorama da manutenção espera-se que telhados verdes com composições convencionais ocasionem acréscimos em seus custos, pois para investigação de ocorrência de possíveis patologias, é necessário retirar todas as camadas instaladas para averiguar a localização exata do problema e corrigi-lo, como relatado por Lima (2013) que identificou em estudos com telhados verdes habituais furos com cerca de 6 cm de diâmetro na manta utilizada, entupimento dos poros com comprometimento da filtragem, e fissuras na camada impermeabilizante. No caso da cobertura com garrafas PET, a manutenção é mais prática e econômica por se tratar de recipientes individuais.

## **5.2 Caracterização do comportamento da temperatura no município de Caruaru-PE**

A partir da análise estatística dos dados horários, de uma série de 10 anos (janeiro de 2008 a dezembro de 2017) da estação meteorológica automática A341 do INMET, é possível observar na Figura 45 as médias mensais históricas  $X_{ij}$  pertencentes ao período de importância, com exceção de agosto de 2011 que apresentou erros em todos os seus horários, possivelmente devido a falhas nos equipamentos da estação. Ainda assim, constata-se as temperaturas médias mensais representativas  $\bar{X}_i$ , que auxiliaram na concepção do ano representativo referente a variável temperatura no município de Caruaru. Alguns valores atípicos (muito distanciados do conjunto de dados) ou “*outliers*”, foram observados nos meses de junho e agosto, onde ocorreu um desvio que possivelmente foi originado de uma anomalia climática.

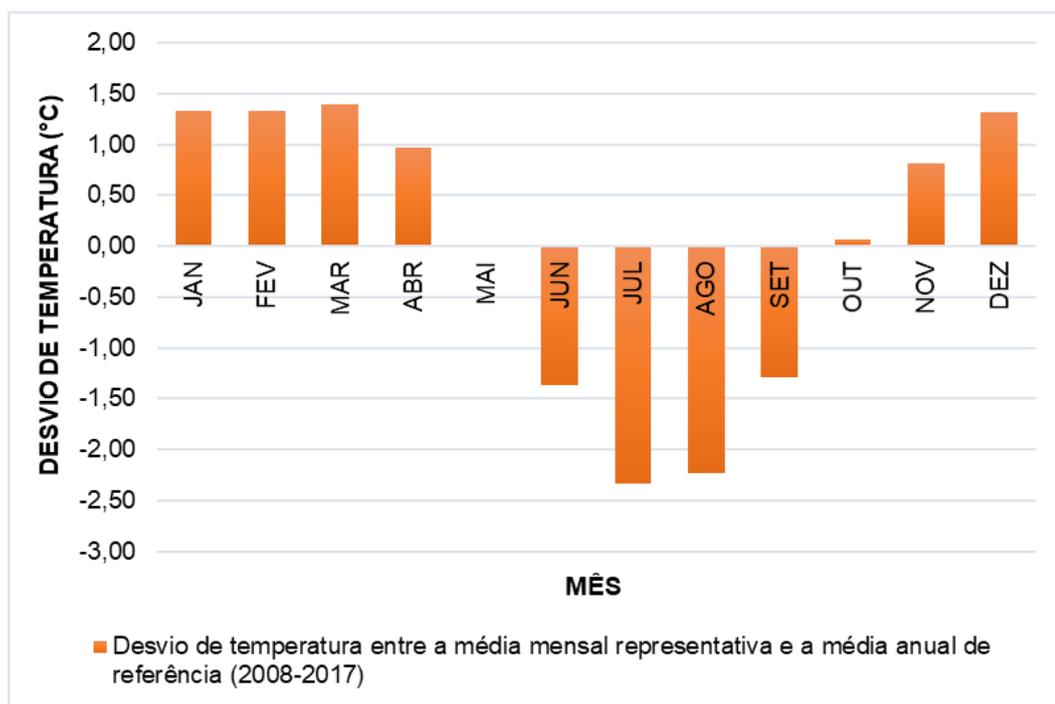
**Figura 45** - Boxplot das temperaturas médias mensais do período de 2008 a 2017 e médias mensais representativas (estação automática Caruaru A341).



Fonte: Autora.

A partir da média aritmética dos 12 valores representativos mensais ( $\bar{X}_i$ ), foi computado o valor de referência média anual ( $\bar{X}$ ) de 23,26°C, sendo adotado como o limite entre os períodos mais quentes e frios da cidade. Observa-se na Figura 46, que as temperaturas mais elevadas estão entre os meses de novembro a abril, com ênfase maior no quadrimestre de dezembro a março com desvios acima de 1°C. Para as temperaturas mais baixas, estão em evidência os meses entre junho e setembro, sendo o mês de julho àquele que apresentou o maior desvio de temperatura com aproximadamente 2,4°C a menos do que a média anual de referência. Estes resultados estão em concordância com o estudo realizado por Kozmhinsky *et al.* (2016) que identificou as temperaturas mais elevadas para a cidade de Caruaru no triênio de 2013-2015 nos meses de novembro a abril. De acordo com os autores, a elevação de temperatura está associada à escassez de precipitação e à redução de circulação do ar, o que resulta em desconforto térmico à população.

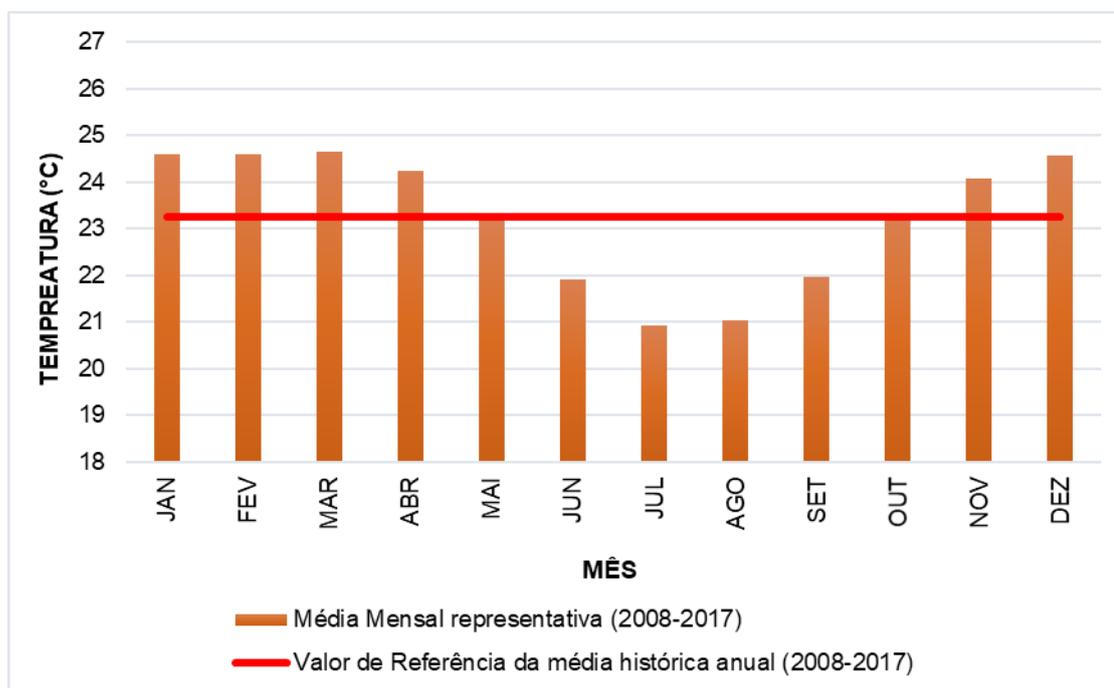
**Figura 46** - Desvio de temperatura entre a média mensal representativa e a média anual de referência (estação automática Caruaru A341).



Fonte: Autora.

De acordo com a Figura 47, a máxima discrepância positiva entre a média mensal ( $24,66^{\circ}\text{C}$ ) e a média anual de referência ( $23,26^{\circ}\text{C}$ ) ocorreu no mês de março, e a máxima discrepância negativa ocorreu no mês de julho ( $20,89^{\circ}\text{C}$ ). A amplitude entre a média mensal de março ( $24,66^{\circ}\text{C}$ ) e a média mensal de julho ( $20,89^{\circ}\text{C}$ ) foi de  $3,77^{\circ}\text{C}$ , valor próximo ao encontrado por Santos *et al.* (2009) no mesmo município entre 2005 e 2008 com ciclos anuais climáticos completos, que identificaram uma amplitude de aproximadamente  $4^{\circ}\text{C}$  em todos os anos. Os autores obtiveram maiores médias mensais no quadrimestre de novembro a fevereiro em torno de  $24^{\circ}\text{C}$ , podendo as temperaturas máximas diárias superarem em até 38% este valor.

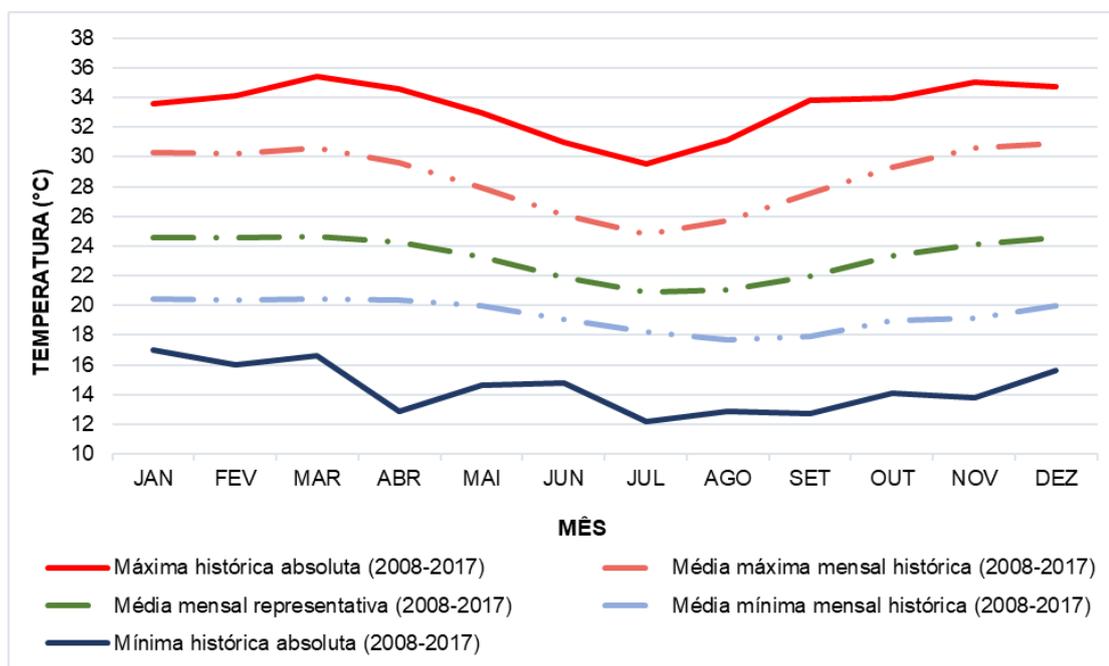
**Figura 47** - Temperaturas médias mensais representativas e média anual de referência (estação automática Caruaru A341).



Fonte: Autora.

Seguindo a mesma fundamentação das etapas anteriores, na Figura 48 estão apresentados os valores médios máximos e mínimos mensais representativos, bem como os valores das temperaturas máximas e mínimas absolutas de todos os dados coletados dos respectivos meses. É possível verificar que todas elas seguem uma tendência semelhante, com exceção aos valores mínimos absolutos de alguns meses que demonstram a existência de flutuações. As temperaturas médias máximas e absolutas ocorreram no mês de março, com 30,6°C e 35,40°C respectivamente, enquanto houve oscilações na mínima sendo observada a menor média no mês de agosto com 17,68°C e a absoluta no mês de julho com 12,20°C. A média anual máxima foi de 28,64°C, enquanto a mínima foi de 19,38°C, com amplitude de 9,25°C. Valores semelhantes foram obtidos por França *et al.* (2018), ao analisarem dados de Caruaru entre os anos de 1962 a 2016, que obtiveram temperaturas máximas anuais em torno de 28°C e mínimas de 19°C, e amplitude de cerca de 9°C. Complementarmente, Lacerda (2015) observou que a tendência decadal extrema na mesma localidade é positiva na ordem de +0,28°C para as temperaturas máximas, e negativa chegando a -0,30°C em relação às temperaturas mínimas, evidenciando que a amplitude térmica (diferença entre a temperatura média máxima e a temperatura média mínima) pode aumentar no decorrer dos anos.

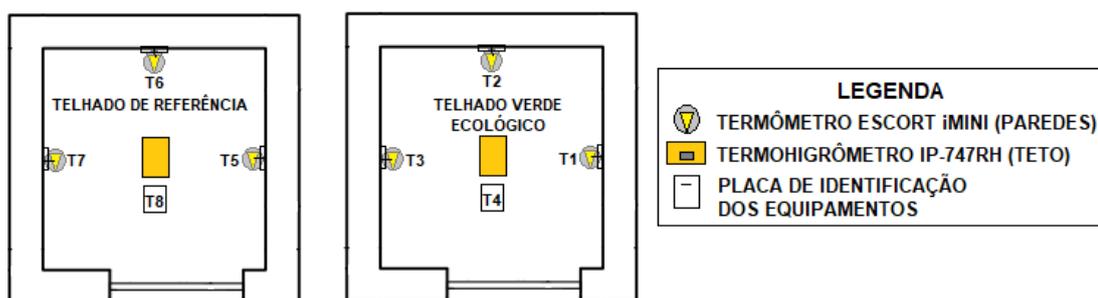
**Figura 48** - Temperaturas médias, mínimas e máximas representativas (estação automática Caruaru A341).



Fonte: Autora.

### 5.3 Análise da interferência das paredes na temperatura interna dos protótipos que compõem a Unidade Experimental de Telhados Ecológicos

Observou-se no teste de funcionamento dos equipamentos que um dos sensores excedeu em  $+0,04^{\circ}\text{C}$  do limite previsto (Tabela 3), optou-se, então, por realizar diferentes combinações de localização exclusivamente dos sensores de temperatura (Escort iMINI) instalados nas paredes do interior dos protótipos antes da implantação da cobertura verde ecológica, no período de 02/07/19 a 04/07/19, entre 14:30hrs e 17:30hrs, medidos a cada 15 min. Os sensores foram identificados pelas terminações T1, T2, T3, T5, T6 e T7, conforme a Figura 49.

**Figura 49** - Disposição e nomenclatura dos termômetros de paredes dos protótipos.

Fonte: Adaptado do acervo do projeto “Telhados Verdes em Região Semiárida: Possibilidades de Reuso da Água e Desempenho Térmico” (FACEPE – Processo Nº APQ-0888-3.07/15), coordenado pela Profa. Sylvana Melo dos Santos.

De acordo com a Tabela 5, a menor diferença das médias diárias nas datas investigadas foi observada no segundo dia (03/07/2019), com 0,26°C de diferença entre os dois protótipos, constatando as condições climatológicas e estruturais semelhantes entre as mesmas. Essa diferença pode ser atribuída à própria precisão do equipamento, sendo, portanto, definida que a segunda disposição seria a exercida. Para uma melhor visualização dos resultados obtidos, as Figuras 50a e 50b mostram as temperaturas registradas nas paredes dos ambientes, a cada 15 minutos, e a Figura 50c, a média aritmética do conjunto de equipamentos de cada protótipo, no qual constata-se pouca variação nas temperaturas médias registradas. É importante frisar que nesta etapa o arranjo do telhado verde ecológico de baixo custo ainda não havia sido instalado, evidenciando que a posição dos sensores foi escolhida sem a interferência da cobertura adotada.

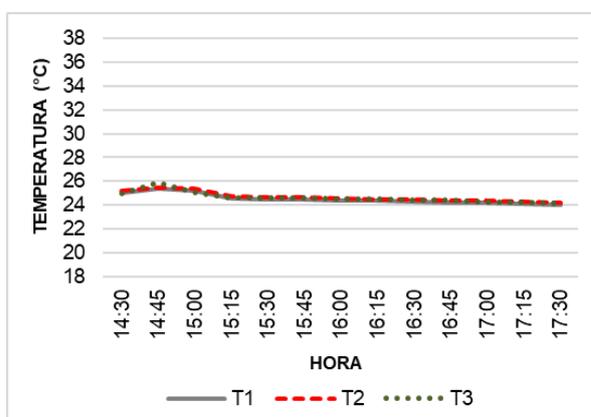
**Tabela 5** - Teste para definição da localização dos termômetros nos protótipos.

Data	Protótipo 01 - Telhado Verde Ecológico			Média diária (°C)	Protótipo 02 - Telhado de Referência			Média diária (°C)	Diferença das médias diárias (°C)
	T1	T2	T3		T5	T6	T7		
02/07/19	MX- CE- 153- 0684	MX- CH- 224- 0600	MX- CH- 223- 0091	24,49 °C	MX- CE- 153- 0738	MX- CE- 153- 0739	MX- CE- 156- 0134	25°C	0,51°C
03/07/19	MX- CE- 153- 0684	MX- CH- 224- 0600	MX- CH- 223- 0091	24,63 °C	MX- CE- 153- 0738	MX- CE- 156- 0134	MX- CE- 153- 0739	24,89°C	0,26 °C
04/07/19	MX- CE- 153- 0684	MX- CH- 223- 0091	MX- CH- 224- 0600	26,10°C	MX- CE- 153- 0738	MX- CE- 153- 0739	MX- CE- 156- 0134	25,13°C	0,97 °C

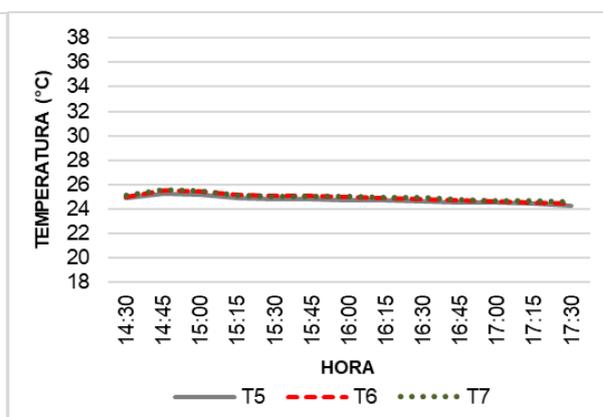
Fonte: Autora.

**Figura 50** - Temperatura interna nas paredes dos protótipos, em 03/07/2019.

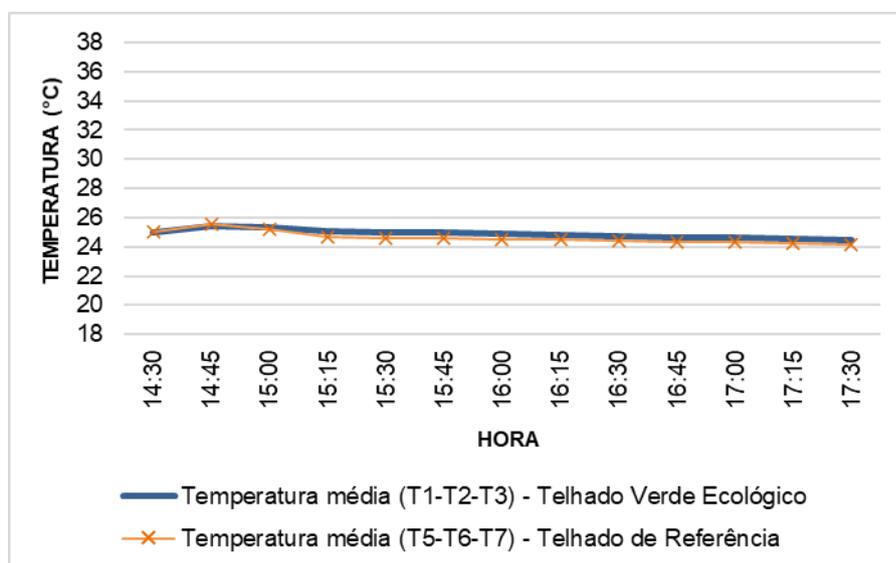
(a) Telhado verde ecológico.



(b) Telhado de referência.



(c) Comparativo entre a média horária de cada unidade.



Fonte: Autora.

A etapa seguinte deu-se quando o sistema de telhado verde ecológico já havia sido implantado, no período de 01 de outubro de 2019 a 31 de março de 2020, sendo utilizado como critério para definição dos dias de análise a ocorrência da maior temperatura externa do mês observado, através dos dados disponibilizados da Estação Manual Experimental José Nilson de Melo (Apêndice A, Tabelas A1 e A2), referente a uma estação manual em que as coletas de dados são realizadas em dois horários diários (09:00 h e 15:00 h) e que as informações de temperatura máxima e mínima diária são disponibilizadas sem a informação dos seus respectivos horários. Assim sendo, foram escolhidos os dias: 23/10, 24/11, 07/12, 07/01, 23/02 e 06/03, que possuem seus dados completos de temperatura do telhado de referência e verde

ecológico no Apêndice B (Tabelas B1 a B6). Nos últimos dois meses de investigação, ocorreram dois dias com a mesma temperatura máxima externa, por isso foi adotado como critério de definição àqueles que tiveram as maiores amplitudes térmicas.

Para analisar a influência das temperaturas das paredes no desempenho térmico do arranjo adotado, foram realizados comparativos das temperaturas internas das paredes dos protótipos nos dias 23/10/2019 (arranjo do telhado verde ecológico recém-instalado) e 06/03/2020 (final do monitoramento). Nos dias investigados, foram comparados os três sensores instalados nas paredes, com nomenclaturas de T1, T2 e T3 para o telhado verde ecológico e T5, T6 e T7 para o telhado de referência.

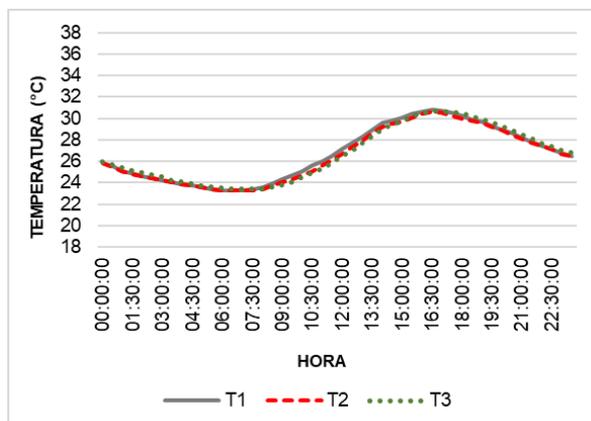
Os dados de cada sensor foram registrados a cada 30 minutos simultaneamente e foram comparados individualmente. Posteriormente esses valores foram comparados com a temperatura média do conjunto de equipamentos dos ambientes estudados (Figuras 51 e 52). Em ambos os protótipos observou-se que os dados foram homogêneos, com pouca variação nas temperaturas registradas, sendo que as variações máximas entre a média horária dos dois telhados (Figuras 51c e 52c) foram inferiores a  $0,4^{\circ}\text{C}$ . As temperaturas registradas por cada sensor apresentaram amplitudes térmicas similares (diferença entre o valor máximo e mínimo diário), variando no mesmo intervalo de  $7,3^{\circ}\text{C}$  a  $7,7^{\circ}\text{C}$ . As pequenas variações podem estar ligadas à incidência solar ou até mesmo à própria precisão do equipamento, que conforme apresentado na Tabela 2, varia em torno de  $\pm 0,3^{\circ}\text{C}$  (na faixa de medição de  $-10^{\circ}\text{C}$  até  $70^{\circ}\text{C}$ ), conforme fabricante do equipamento Escort iMINI. Comparando-se os valores obtidos para o telhado verde ecológico, em ambas datas, Figuras 51a e 52a, observa-se que o grau de desenvolvimento da vegetação não interferiu nos valores medidos nos sensores de paredes.

Os valores obtidos foram diferentes dos obtidos por Ferraz (2012), que evidenciaram a atenuação de  $3^{\circ}\text{C}$  a  $5^{\circ}\text{C}$  das temperaturas das paredes com sensores em três alturas diferentes do ambiente com telhado verde em relação ao ambiente com cobertura cerâmica, sob as mesmas condições, mesmo assim o autor evidenciou que os dados não são conclusivos quanto à influência do teto no comportamento observado. Santos (2016) destacou, em pesquisas realizadas no município de Caruaru, que o telhado verde com Babosa e telhado de referência resultaram em valores semelhantes nas temperaturas superficiais de suas paredes, com poucas oscilações, com variação máxima de  $1^{\circ}\text{C}$ . O autor ainda afirma que as maiores temperaturas encontradas no telhado composto por Coroa-de-Frade estão

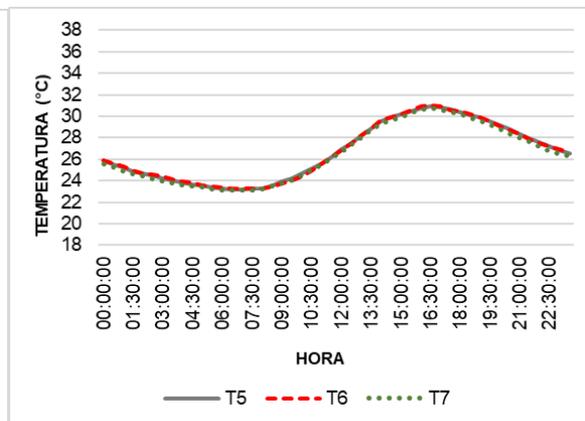
associadas à incidência direta da radiação solar, sendo susceptíveis às variáveis climáticas.

**Figura 51** - Temperatura interna nas paredes dos protótipos, em 23/10/2019.

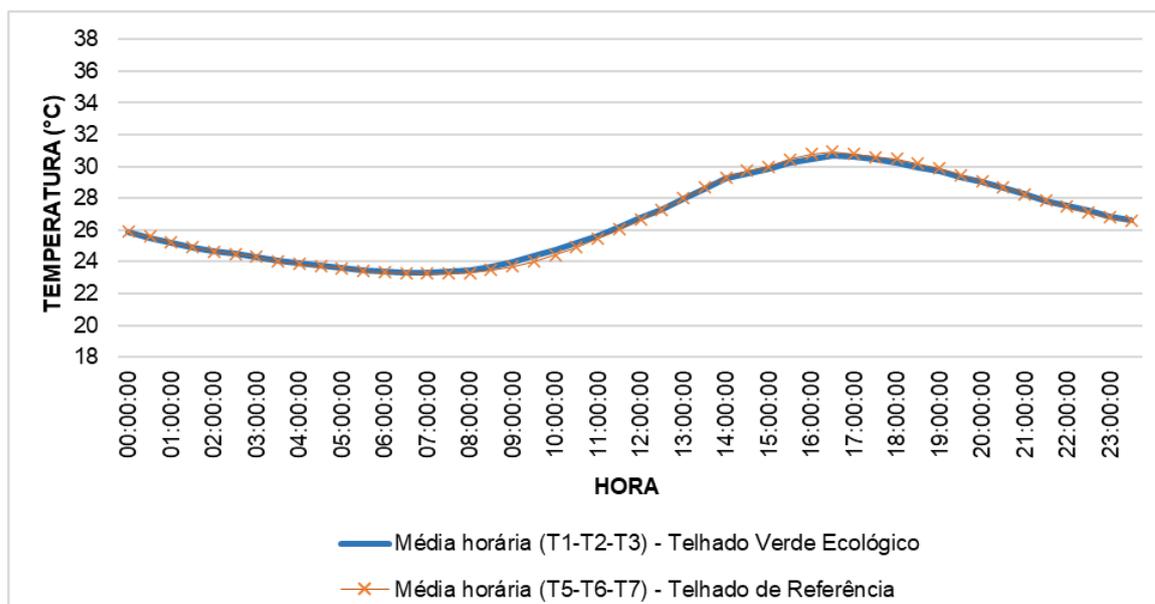
(b) Telhado verde ecológico.



(b) Telhado de referência.



(c) Comparativo entre a média horária de cada unidade.

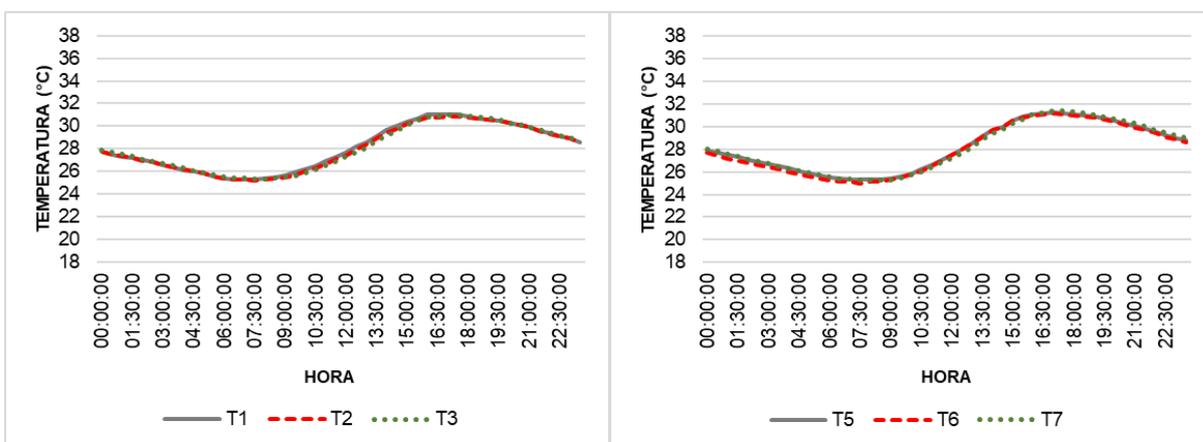


Fonte: Autora.

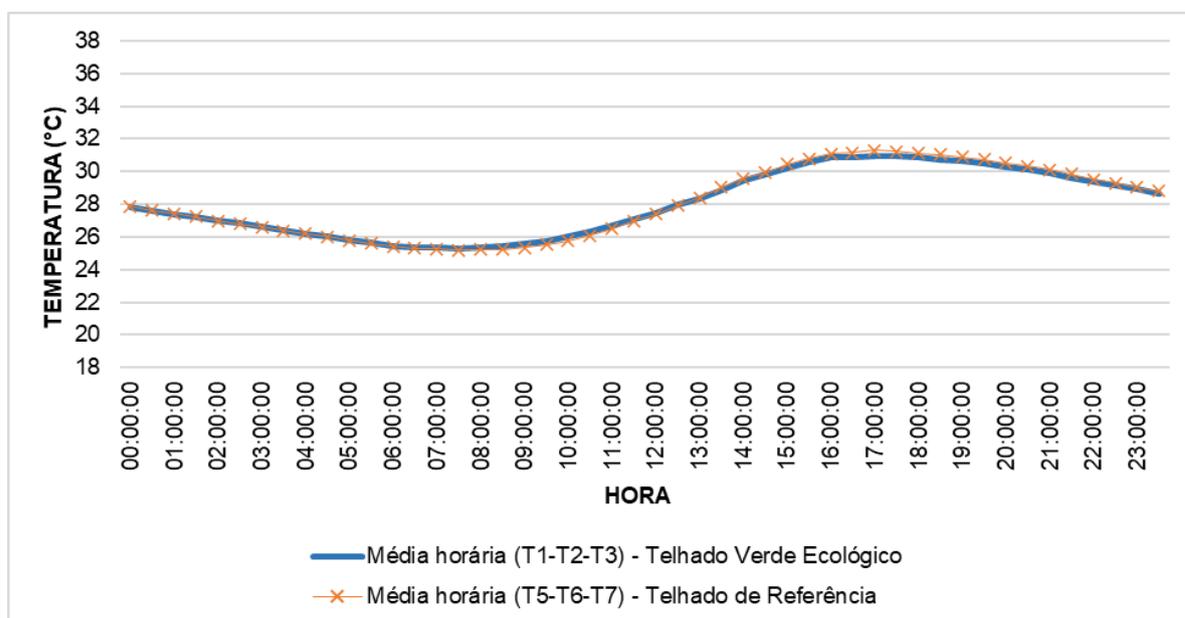
**Figura 52** - Temperatura interna nas paredes dos protótipos, em 06/03/2020.

(a) Telhado verde ecológico.

(b) Telhado de referência.



(c) Comparativo entre a média horária de cada unidade.



Fonte: Autora.

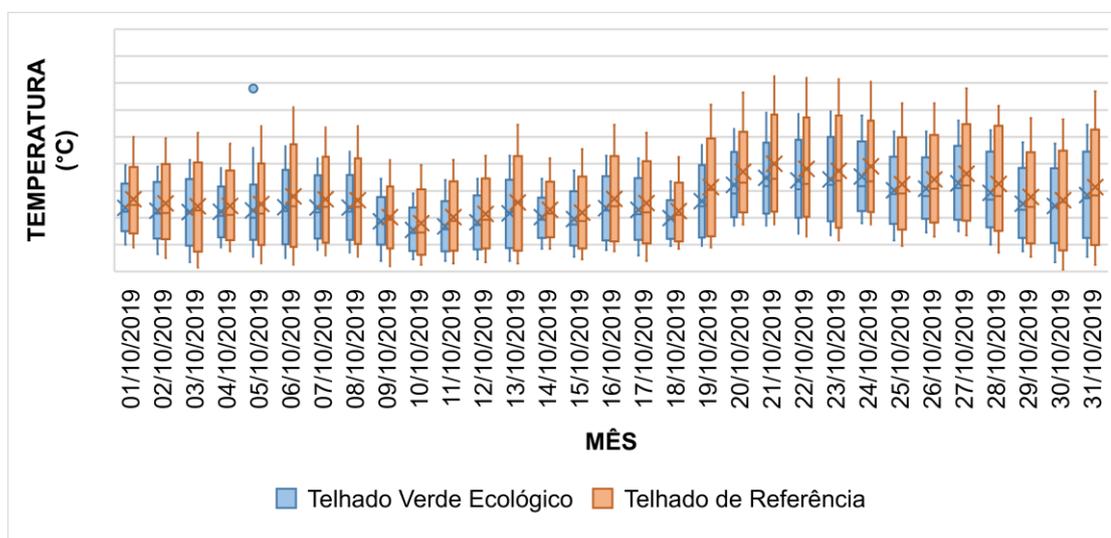
Conclui-se que estudos mais detalhados são necessários, principalmente no que se diz respeito à interferência dos eventos atmosféricos nas paredes analisadas. Sobre isso, Ferraz (2012) destacou que, para se obter resultados mais satisfatórios e conclusivos sobre os fluxos de calor, é fundamental o uso de novas ferramentas, como o estudo termográfico que permite distinguir diferentes temperaturas na região avaliada.

## 5.4 Comparação do desempenho térmico entre o telhado de referência e verde ecológico

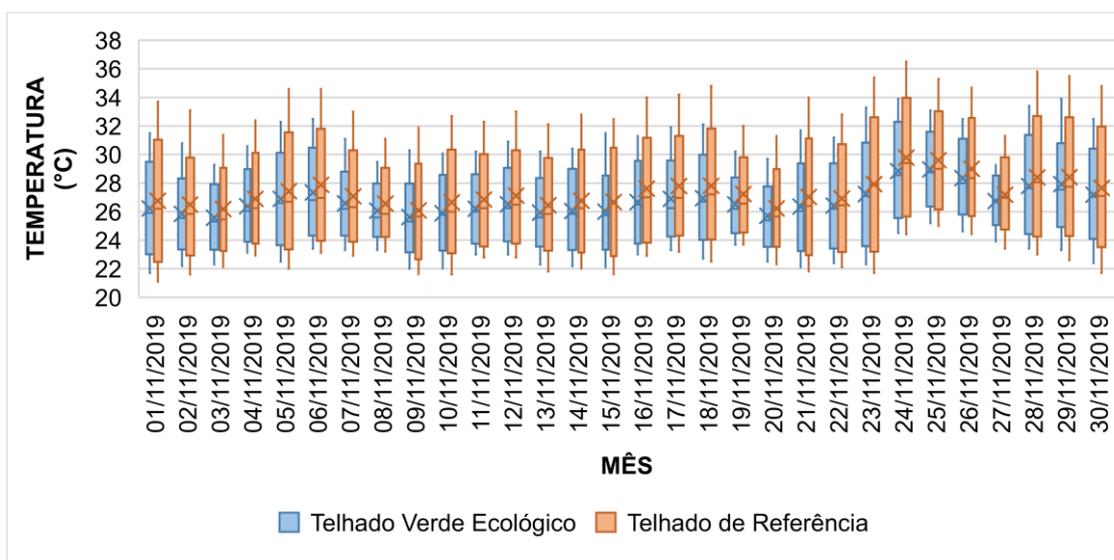
A comparação do desempenho térmico das coberturas analisadas deu-se através de dados diários das temperaturas registradas pelos sensores localizados no teto (laje imediatamente abaixo da cobertura do protótipo) de todos os meses analisados (de outubro de 2019 a março de 2020). Os dados apresentam-se em gráficos do tipo Boxplot (Figura 53, 54 e 55) para análise dos valores máximos, médios e mínimos, e a relação entre os cenários evidenciados.

**Figura 53** - Boxplot das temperaturas diárias (sensores de teto).

(a) Dados de outubro de 2019.



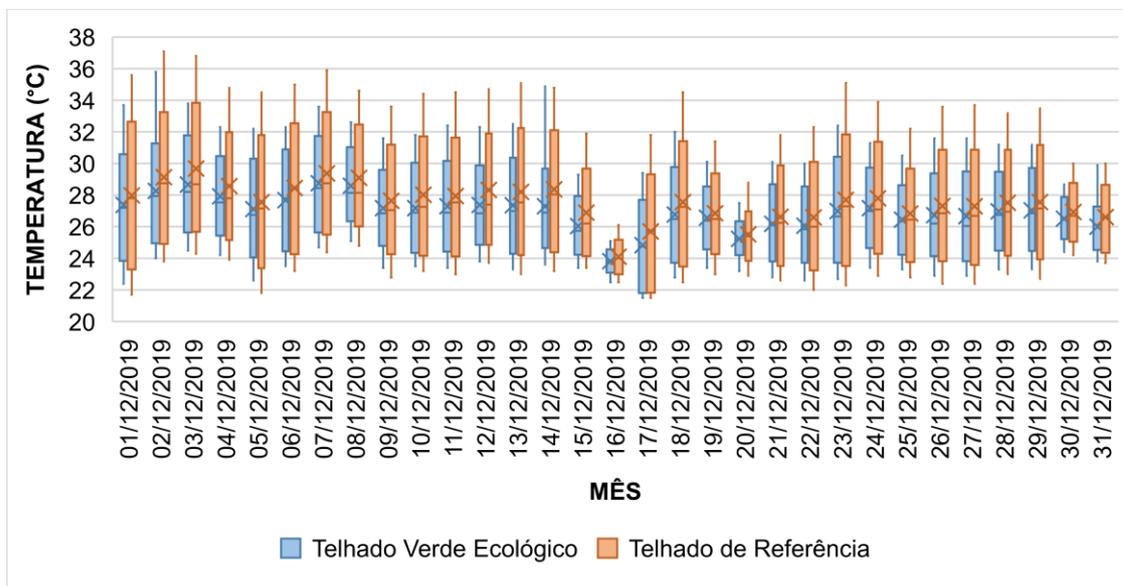
(b) Dados de novembro de 2019.



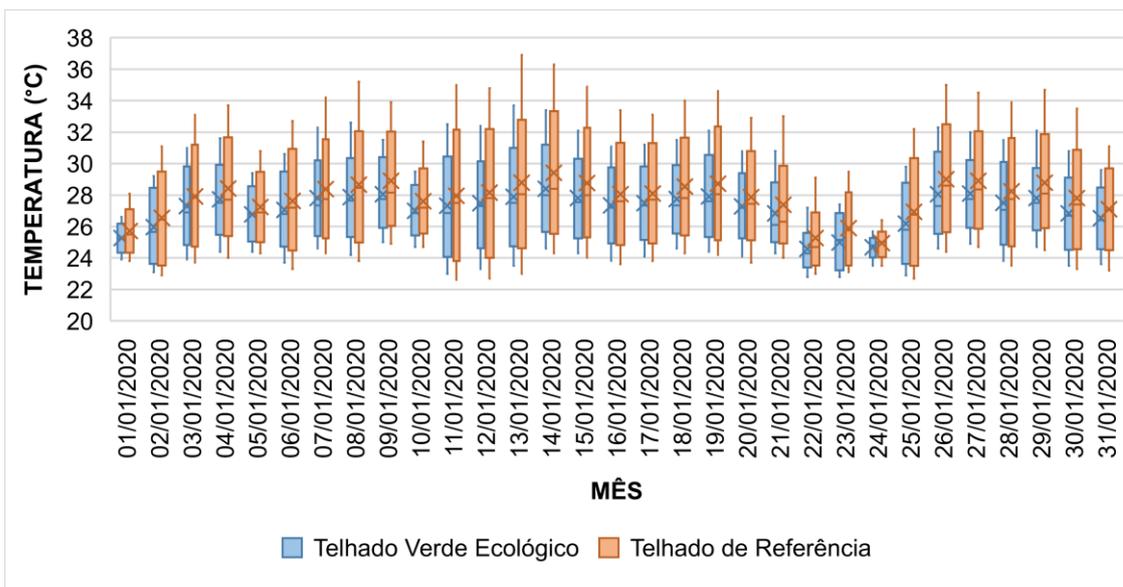
Fonte: Autora.

**Figura 54 - Boxplot das temperaturas diárias (sensores de teto).**

(a) Dados de dezembro de 2019.



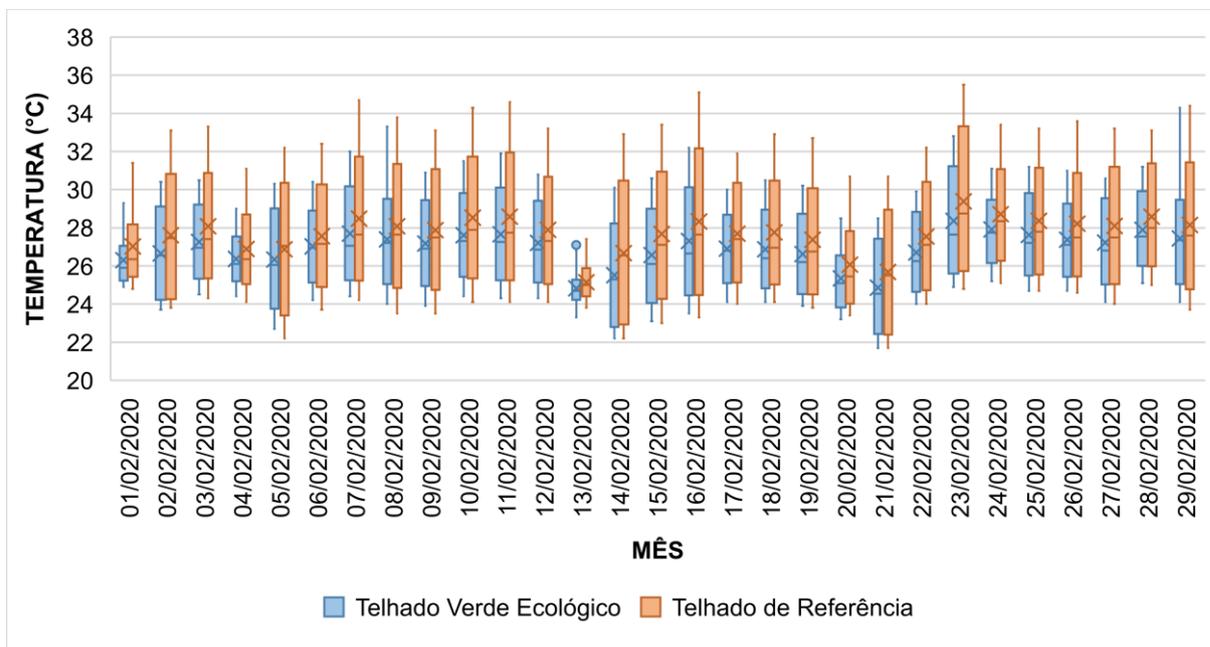
(b) Dados de janeiro de 2020.



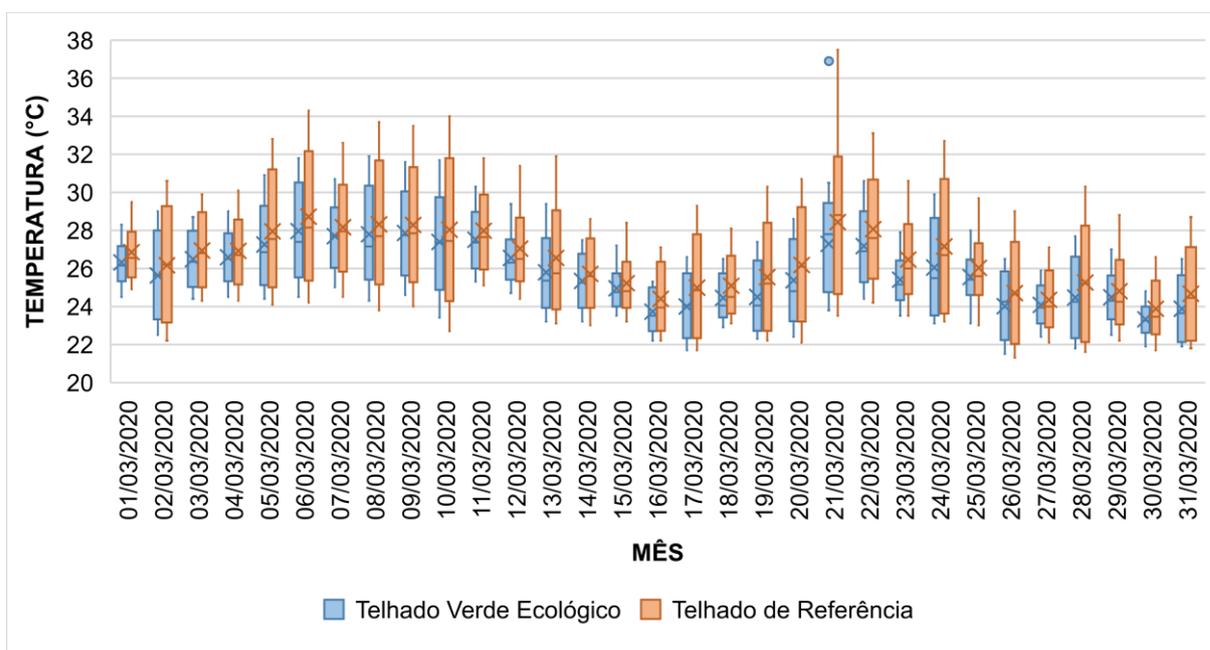
Fonte: Autora.

**Figura 55 - Boxplot das temperaturas diárias (sensores de teto).**

(a) Dados de fevereiro de 2020.



(b) Dados de março de 2020.



Fonte: Autora.

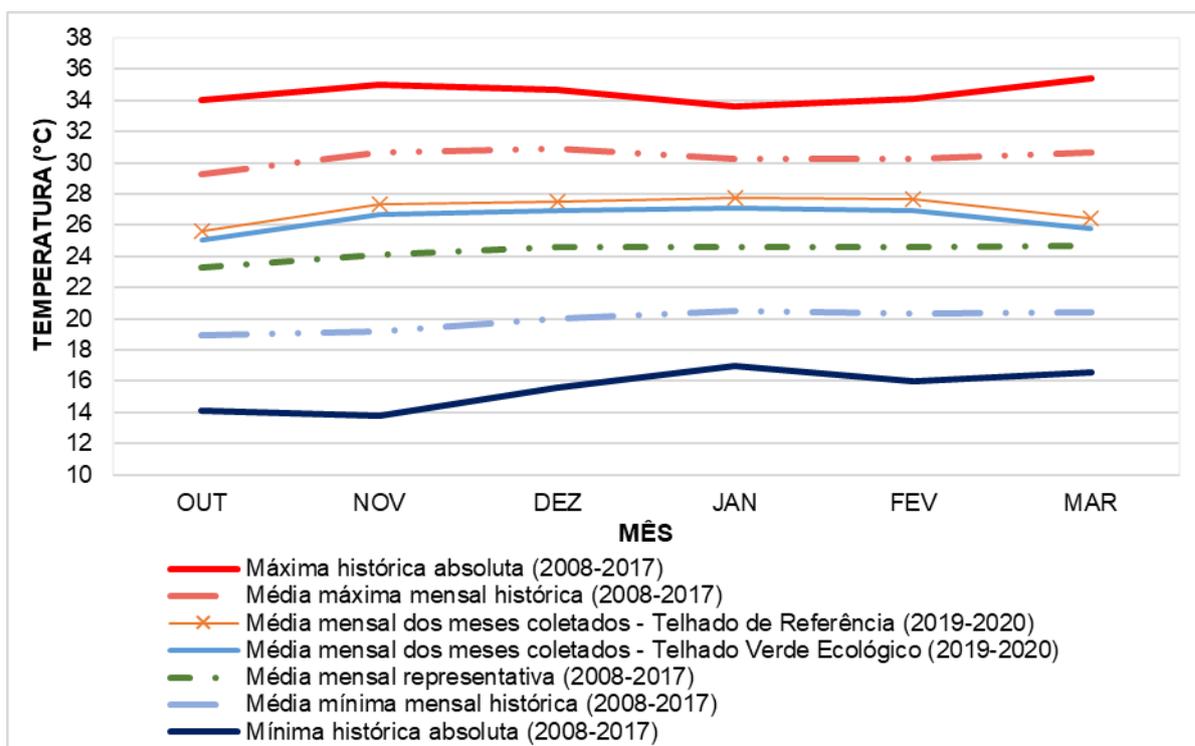
De forma geral, com base nos comportamentos observados nas Figuras 53, 54 e 55, os valores máximos do telhado de referência se apresentam superiores se comparado ao telhado verde ecológico, além de possuírem maior amplitude térmica. Os dados dispersos, ou “outliers” nos meses de outubro, fevereiro e março são referentes ao horário de descarregamento e programação dos termômetros que

ocorreram no lado externo dos protótipos. Este comportamento é semelhante ao observado por Panziera *et al.* (2015), no qual o módulo composto pelo sistema de garrafas PET apresentou menor amplitude térmica se relacionado ao telhado convencional de telhas de fibrocimento, sinalizando que alternativas como a implementação de telhados verdes podem minimizar os efeitos de ilhas de calor.

Considerando os valores das médias mensais dos telhados investigados, o telhado verde ecológico resultou em valores de teto mais amenos que o telhado de referência, na ordem de 0,63°C a 0,79°C de diferença, evidenciando uma acentuação na estabilização climatológica (Figura 56). Essa diferença foi maior que a observada por Funfgelt *et al.* (2012), que observou no período de inverno, entre os meses de abril e junho, uma diferença média de temperatura entre telhados de garrafas PET (mais ameno) e telhados de fibrocimento em até 0,17°C. Santos (2016) destaca que em épocas de inverno e verão a atuação de telhados verdes e convencionais são semelhantes, porém quando a temperatura ultrapassa a marca de 34°C, os telhados verdes apresentam melhores desempenhos em relação ao conforto térmico. Durante o período estudado, a temperatura externa máxima, medida pela estação manual do IPA, chegou a alcançar 35,2°C no mês de novembro.

Os valores médios mensais dos sensores localizados no teto (laje imediatamente abaixo da cobertura do protótipo) nos dois protótipos, se mantiveram acima da média mensal representativa (média dos valores médios mensais de cada ano) e da média mínima mensal histórica (média dos valores médios mínimos mensais de cada ano), mas, por outro lado, abaixo da média máxima mensal histórica (média dos valores máximos mensais de cada ano) e da máxima histórica absoluta (valor máximo medido no respectivo mês dentre todo o período analisado), sendo esses valores referentes ao período de 2008 a 2017.

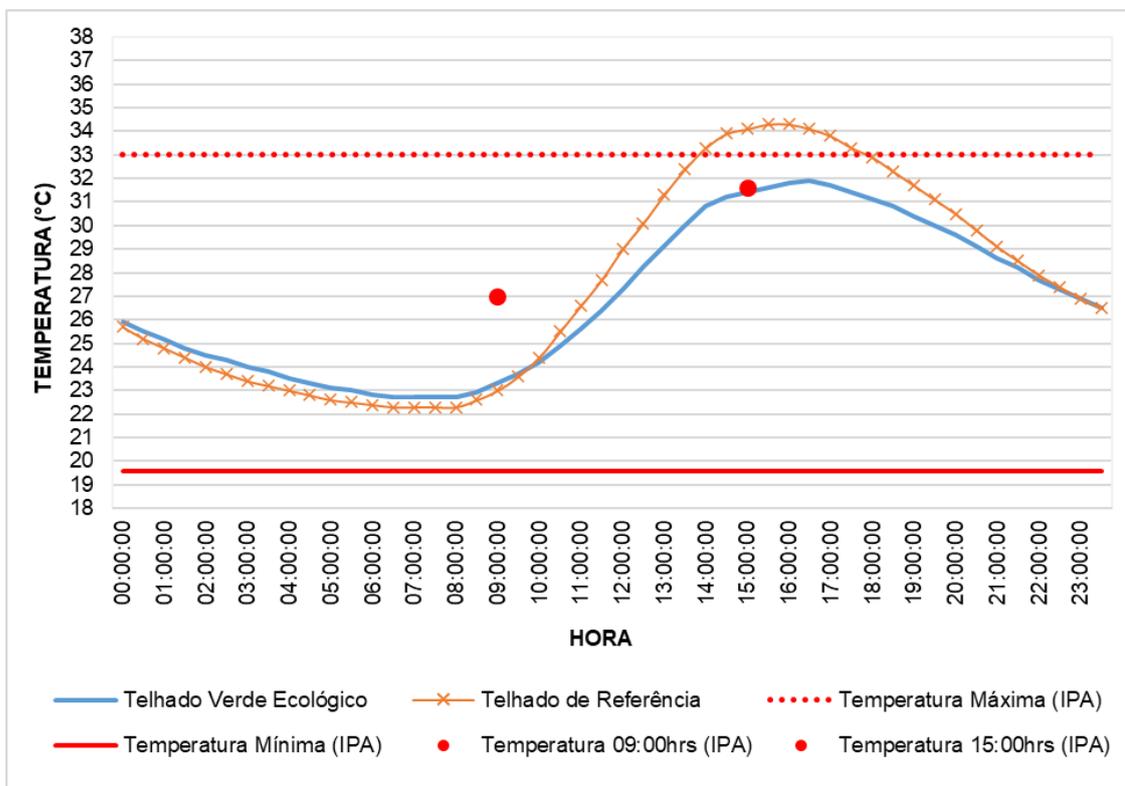
**Figura 56** - Comparativo entre médias mensais (sensores de teto) dos telhados estudados, com dados da caracterização climatológica do município de Caruaru.



Fonte: Autora.

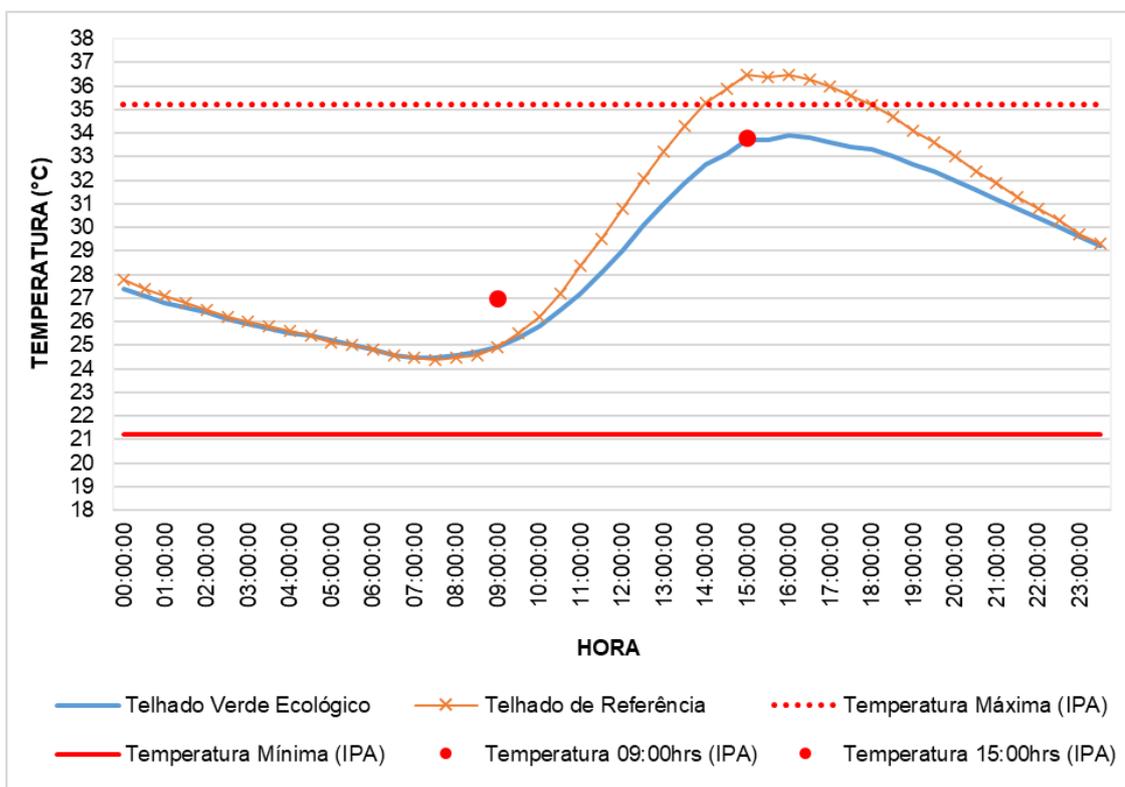
Sobre a comparação entre valores de temperatura registrados pelos sensores localizados nos tetos dos ambientes (na parte inferior das lajes dos protótipos) nos dias pré-definidos para análise, as Figuras 57 a 62 mostram os registros horários durante 24 horas de monitoramento, bem como as informações de temperaturas externas disponibilizadas pelo IPA (referente à Estação Manual Experimental José Nilson de Melo), considerando os dias 23/10, 24/11, 07/12, 07/01, 23/02 e 06/03. Vale salientar que nenhum dos dias selecionados coincidiu com aqueles em que foram feitos programações e descarregamentos de dados.

**Figura 57** - Temperaturas no teto dos protótipos e externa\*, em 23/10/2019.



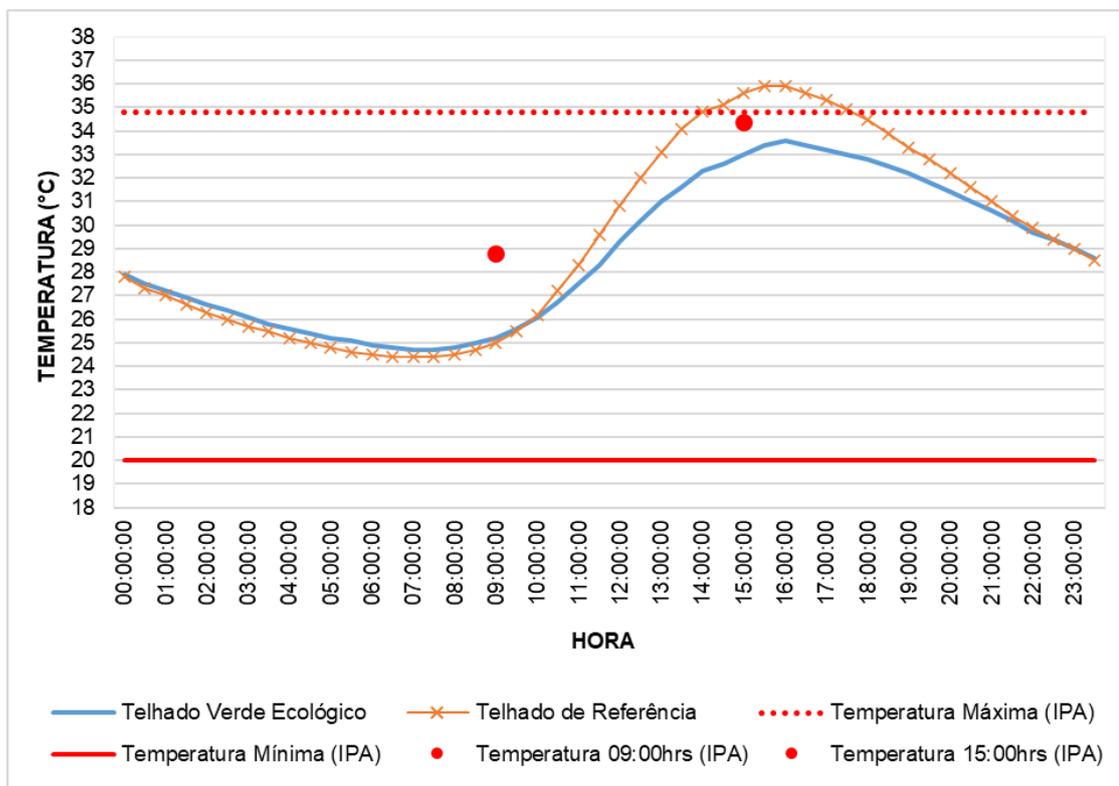
\* Estação Manual Experimental José Nilson de Melo.  
Fonte: Autora.

**Figura 58** - Temperaturas no teto dos protótipos e externa\*, em 24/11/2019.



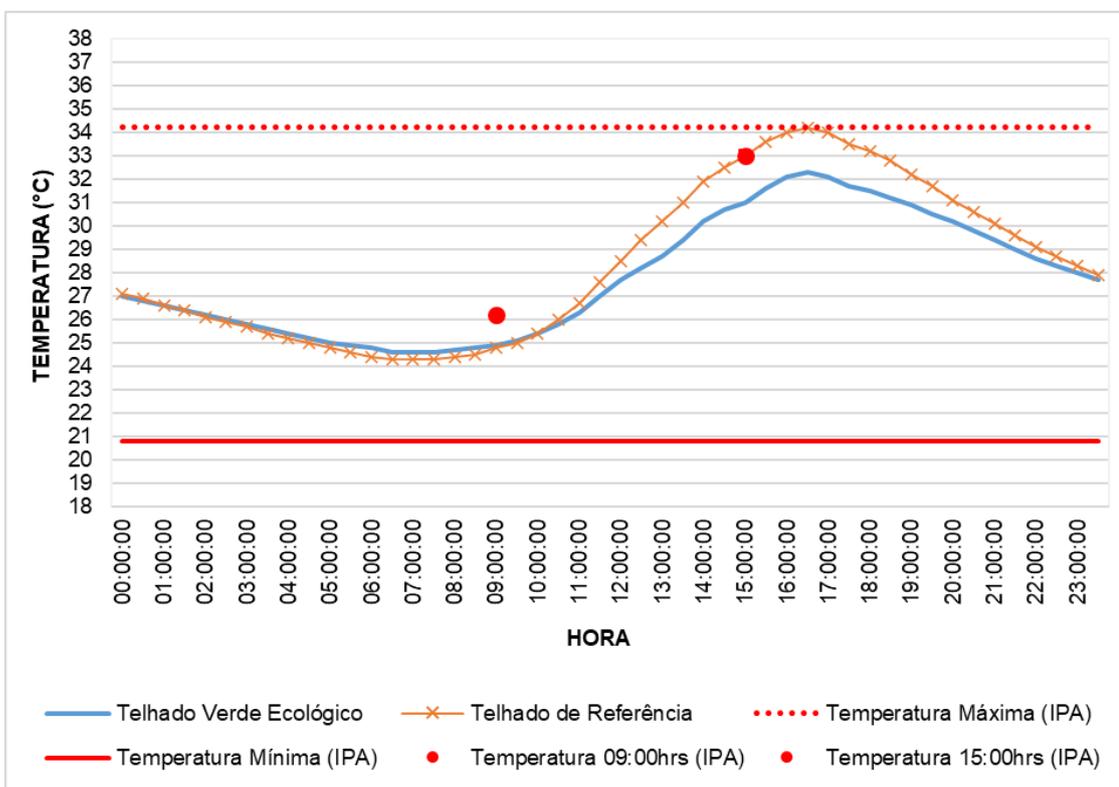
\* Estação Manual Experimental José Nilson de Melo.  
Fonte: Autora.

**Figura 59** - Temperaturas no teto dos protótipos e externa\*, em 07/12/2019.



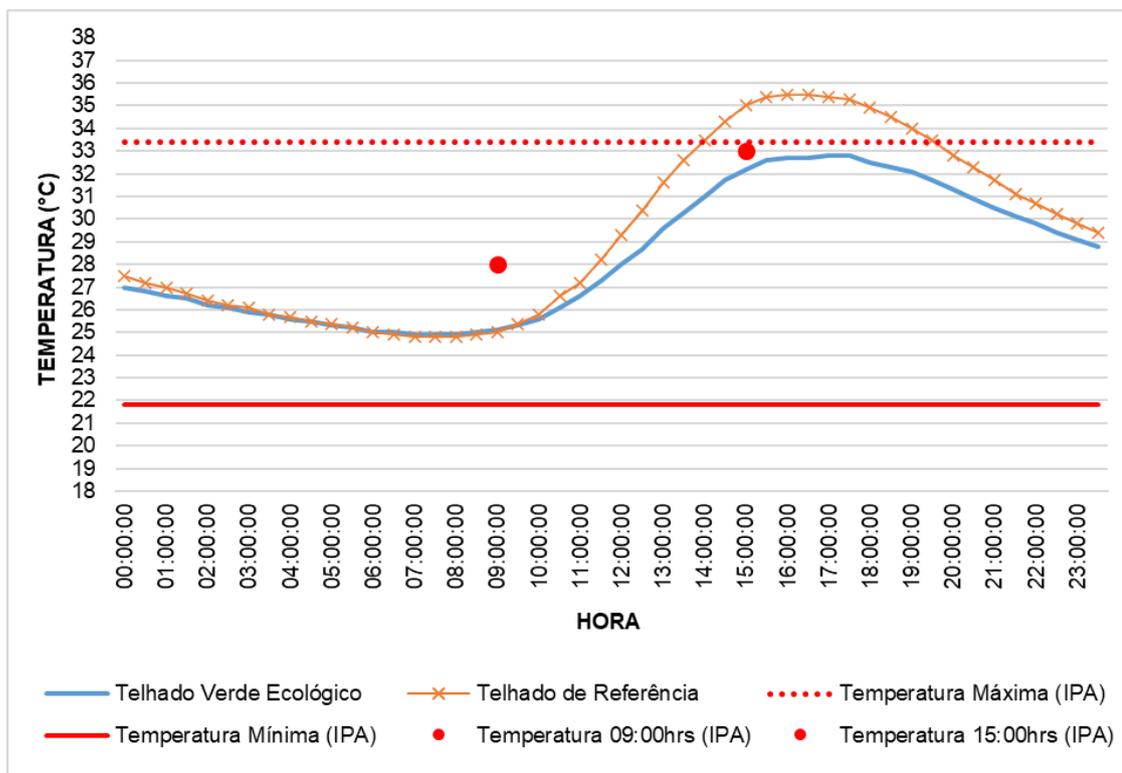
\* Estação Manual Experimental José Nilson de Melo.  
Fonte: Autora.

**Figura 60** - Temperaturas no teto dos protótipos e externa\*, em 07/01/2020.



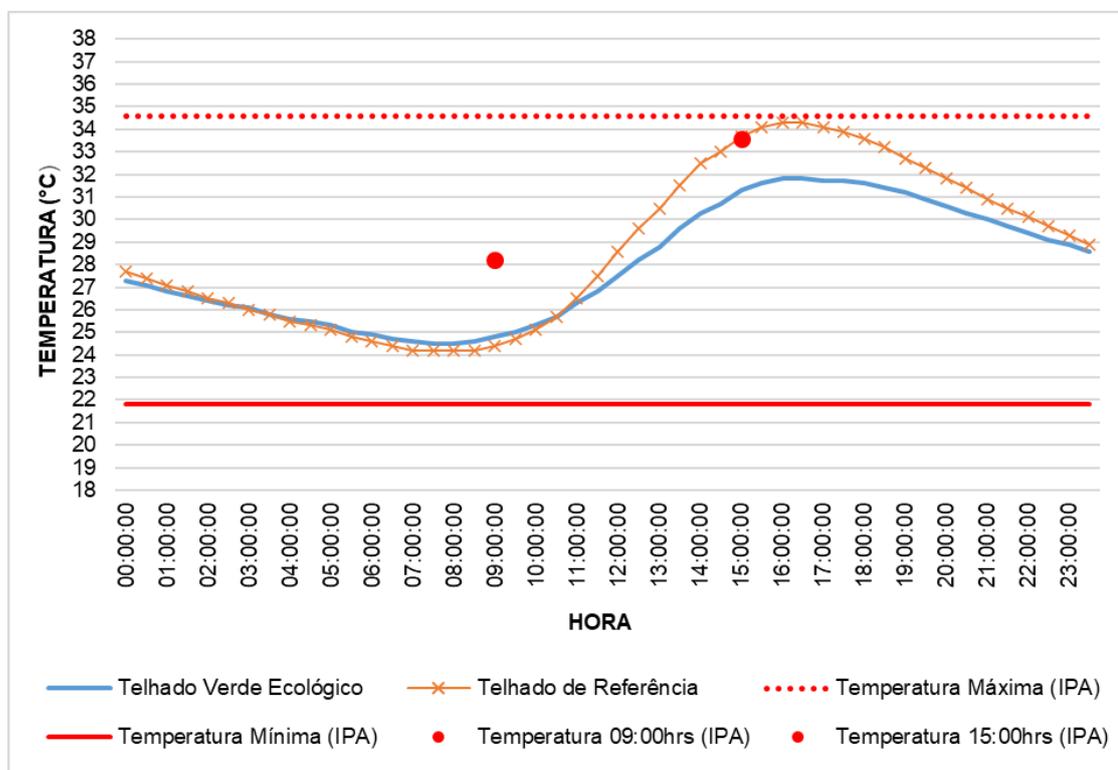
\* Estação Manual Experimental José Nilson de Melo.  
Fonte: Autora.

**Figura 61** - Temperaturas no teto dos protótipos e externa\*, em 23/02/2020.



\* Estação Manual Experimental José Nilson de Melo.  
Fonte: Autora.

**Figura 62** - Temperaturas no teto dos protótipos e externa\*, em 06/03/2020.



\* Estação Manual Experimental José Nilson de Melo.  
Fonte: Autora.

Como se pode observar nos gráficos (Figuras 57 a 62), em dois dos seis dias investigados, a temperatura no teto abaixo do telhado de referência foi bem semelhante da temperatura externa no momento de maior temperatura diária, e nos demais dias a temperatura no teto abaixo do telhado de referência superou a temperatura externa neste momento crítico. Este comportamento também foi observado por Carneiro *et al.* (2015), que estudou protótipos reduzidos (telhados verdes, telhado de fibrocimento e telha reciclável) e obteve valores médios de temperatura do ar no interior das unidades superiores aos do ambiente externo. Os autores associaram esse comportamento à existência de apenas uma entrada de ventilação nos protótipos, à baixa velocidade do vento, ao acúmulo da energia oriunda da radiação solar e à consequente baixa na dissipação da massa de ar quente, o que se assemelha a realidade dos protótipos construídos para este experimento. Carvalho (2018) também destacou a influência da radiação solar no acúmulo de calor nos ambientes internos. No que se refere ao desempenho das coberturas dos protótipos, no momento em que as temperaturas internas mínimas diárias foram registradas, os valores praticamente coincidem. Sendo a precisão do sensor dos tetos dos ambientes (parte inferior das lajes dos protótipos) de  $\pm 1^\circ\text{C}$  (para a faixa de medição de  $-10^\circ\text{C}$  até  $40^\circ\text{C}$ ), pode-se considerar que, nesta circunstância, não há impacto do uso do telhado verde ecológico no clima Semiárido.

Para uma comparação mais detalhada sobre o desempenho das duas coberturas, apresenta-se na Tabela 6, uma síntese dos dados relativos aos sensores de teto (temperaturas máxima e mínima diárias com horário de ocorrência, amplitude térmica, e valores às 9h e 15h) e à temperatura externa registrada na Estação Manual Experimental José Nilson de Melo (temperaturas máxima e mínima diárias, amplitude térmica e valores às 9h e 15h). Na Tabela 7 estão apresentados os comparativos de temperaturas máxima e mínima, e de amplitude térmica, entre os sensores instalados nos tetos dos protótipos, e entre esses e a temperatura externa.

Sobre o desempenho das coberturas dos protótipos, no momento em que as temperaturas máximas diárias foram registradas, os valores abaixo da cobertura do telhado verde ecológico foram inferiores ao registrados pelo sensor de teto abaixo do telhado de referência nos seis dias investigados, e as diferenças variaram de  $1,9^\circ\text{C}$  a  $2,7^\circ\text{C}$ , Tabela 7. Este comportamento está de acordo com a afirmação de Matheus *et al.* (2016), em que envoltórias vegetadas possuem capacidade autorreguladora, atuando positivamente sobre os fluxos de calor e proporcionando temperaturas mais

estáveis. O valor encontrado para a atenuação térmica por Cortés e Castillo (2011) é da mesma ordem de grandeza e os autores obtiveram uma redução de 3°C com o emprego de um sistema composto por PET. Panziera *et al.* (2015) também encontraram redução da ordem de 3°C com o emprego de garrafas PET em comparação com um telhado convencional de fibrocimento, em que a temperatura máxima superou 30°C.

Comparando os valores máximos abaixo do telhado de referência com as temperaturas externas máximas diárias, observa-se que esta diferença foi de até 2,1°C, e com relação ao telhado verde ecológico, a temperatura externa máxima diária foi superior, nos seis dias investigados, sendo que esta diferença foi de até 2,8°C.

Comparando os valores mínimos abaixo do telhado de referência com as temperaturas mínimas externas diárias, observa-se que esta diferença foi de 2,4°C a 4,4°C, e com relação ao telhado verde ecológico, a temperatura externa mínima diária foi inferior, nos seis dias investigados, sendo que esta diferença foi de 2,7°C a 4,7°C.

Ao analisar as amplitudes, observa-se que, a temperatura externa apresentou os maiores valores, sendo a diferença para as amplitudes do telhado verde ecológico variando de 3,7°C a 5,9°C, e para as amplitudes do telhado de referência variando de 0,9°C a 3,5°C. Comparando as amplitudes registradas pelos sensores de teto, observa-se que os maiores valores estão associados ao telhado de referência e a diferença para as amplitudes do telhado verde ecológico variaram de 2,2°C a 2,8°C.

**Tabela 6** - Síntese das temperaturas internas e externa\* no período investigado (continua).

23/10/2019					
Ambiente	T Máx (°C)	T Mín (°C)	AmT (°C)	T – 9:00h (°C)	T – 15:00h (°C)
Telhado de Referência (Dados internos)	34,3 (15:30h)	22,3 (06:30h)	12,0	23,0	34,1
Telhado Verde Ecológico (Dados internos)	31,9 (16:30h)	22,7 (06:30h)	9,2	23,3	31,4
Dados externos (IPA)*	33,0	19,6	13,4	27,0	31,6
24/11/2019					
Ambiente	T Máx (°C)	T Mín (°C)	AmT (°C)	T – 9:00h (°C)	T – 15:00h (°C)
Telhado de Referência (Dados internos)	36,5 (15:00h)	24,4 (07:30h)	12,1	24,9	36,5
Telhado Verde Ecológico (Dados internos)	33,9 (16:00h)	24,5 (07:00h)	9,4	24,9	33,7
Dados externos (IPA)*	35,2	21,2	14,0	27,0	33,8

**Tabela 6** - Síntese das temperaturas internas e externa\* no período investigado (conclusão).

07/12/2019					
Ambiente	T Máx (°C)	T Mín (°C)	AmT (°C)	T – 9:00h (°C)	T – 15:00h (°C)
Telhado de Referência (Dados internos)	35,9 (15:30h)	24,4 (06:30h)	11,5	25,0	35,6
Telhado Verde Ecológico (Dados internos)	33,6 (16:00h)	24,7 (07:00h)	8,9	25,2	33,0
Dados externos (IPA)*	34,8	20,0	14,8	28,8	34,4
07/01/2020					
Ambiente	T Máx (°C)	T Mín (°C)	AmT (°C)	T – 9:00h (°C)	T – 15:00h (°C)
Telhado de Referência (Dados internos)	34,2 (16:30h)	24,3 (06:30h)	9,9	24,8	33,0
Telhado Verde Ecológico (Dados internos)	32,3 (16:30h)	24,6 (06:30h)	7,7	24,9	31,0
Dados externos (IPA)*	34,2	20,8	13,4	26,2	33,0
23/02/2020					
Ambiente	T Máx (°C)	T Mín (°C)	AmT (°C)	T – 9:00h (°C)	T – 15:00h (°C)
Telhado de Referência (Dados internos)	35,5 (16:00h)	24,8 (07:00h)	10,7	25,0	35,0
Telhado Verde Ecológico (Dados internos)	32,8 (17:00h)	24,9 (07:00h)	7,9	25,1	32,2
Dados externos (IPA)*	33,4	21,8	11,6	28,0	33,0
06/03/2020					
Ambiente	T Máx (°C)	T Mín (°C)	AmT (°C)	T – 9:00h (°C)	T – 15:00h (°C)
Telhado de Referência (Dados internos)	34,3 (16:30h)	24,2 (07:00h)	10,1	24,4	33,7
Telhado Verde Ecológico (Dados internos)	31,8 (16:00h)	24,5 (07:00h)	7,3	24,8	31,3
Dados externos (IPA)*	34,6	21,8	12,8	28,2	33,6

Legenda: \* Estação Manual Experimental José Nilson de Melo | T = temperatura | AmT = amplitude térmica | T Máx = temperatura máxima | T Mín = temperatura mínima

Fonte: Autora.

**Tabela 7** - Comparativos das temperaturas internas e externa\* e amplitudes no período investigado (continua).

Data	Ambientes comparados	$\Delta T$ Máx (°C)	$\Delta T$ Mín (°C)	$\Delta AmT$ (°C)
23/10/2019	TReferência - TVEcológico	2,4	-0,4	2,8
	TReferência - TExterna	1,3	2,7	-1,4
	TVEcológico - TExterna	-1,1	3,1	-4,2
24/11/2019	TReferência - TVEcológico	2,6	-0,1	2,7
	TReferência - TExterna	1,3	3,2	-1,9
	TVEcológico - TExterna	-1,3	3,3	-4,6
07/12/2019	TReferência - TVEcológico	2,3	-0,3	2,6
	TReferência - TExterna	1,1	4,4	-3,3
	TVEcológico - TExterna	-1,2	4,7	-5,9

**Tabela 7** - Comparativos das temperaturas internas e externa\* e amplitudes no período investigado (conclusão).

<b>Data</b>	<b>Ambientes comparados</b>	<b><math>\Delta T</math> Máx (°C)</b>	<b><math>\Delta T</math> Mín (°C)</b>	<b><math>\Delta AmT</math> (°C)</b>
07/01/2020	TReferência - TVEcológico	1,9	-0,3	2,2
	TReferência - TExterna	0,0	3,5	-3,5
	TVEcológico - TExterna	-1,9	3,8	-5,7
23/02/2020	TReferência - TVEcológico	2,7	-0,1	2,8
	TReferência - TExterna	2,1	3,0	-0,9
	TVEcológico - TExterna	-0,6	3,1	-3,7
06/03/2020	TReferência - TVEcológico	2,5	-0,3	2,8
	TReferência - TExterna	-0,3	2,4	-2,7
	TVEcológico - TExterna	-2,8	2,7	-5,5

Legenda: \* Estação Manual Experimental José Nilson de Melo |  $\Delta T$  = diferença de temperatura |  $\Delta AmT$  = diferença de amplitude térmica |  $\Delta T$  Máx = diferença de temperatura máxima |  $\Delta T$  Mín = diferença de temperatura mínima | TReferência = telhado de referência | TVEcológico = telhado verde ecológico | TExterna = temperatura externa |  $\Delta$  = Menor diferença |  $\Delta$  = Maior diferença.

Fonte: Autora.

## 6 CONCLUSÕES

Esta pesquisa indicou ser possível a implantação de um telhado verde ecológico de baixo custo com o emprego de material de descarte, neste caso a garrafa PET, permanecendo com características semelhantes a composição do telhado verde tradicional sem perder os benefícios já consolidados quanto ao seu emprego. Sua concepção que englobou o progresso econômico, os aspectos sociais e a preservação ambiental, permitiu o cultivo da vegetação utilizada (*Kalanchoe laetivirens*) em um ambiente adequado e a formatação necessária. A cobertura verde ecológica foi implantada com um custo de R\$ 18,98/m<sup>2</sup>, caracterizando-se por sua fácil aplicabilidade, manuseio e manutenção, o que torna-se aspectos incentivadores a adesão em larga escala do sistema e ao potencial de desenvolvimento local futuro.

Da caracterização do comportamento da temperatura no município de Caruaru-PE, foi determinado o quadrimestre mais quente da cidade, entre novembro e março, período no qual se enquadra o desenvolvimento da pesquisa que englobou os meses de outubro/2019 a março/2020. Essas análises são fundamentais para a compreensão de ambientes mais adequados a necessidade específica, que por consequência auxiliam na realização de escolhas condicionadas a climatologia.

Com relação às temperaturas superficiais das paredes dos protótipos, foram observadas poucas oscilações, sem alterações significativas mesmo com o emprego do arranjo desenvolvido, o que reitera as condições climatológicas e estruturais semelhantes, resultando em um cenário inalterado e mais satisfatório para a análise do desempenho térmico das coberturas.

Todas as médias mensais do telhado verde ecológico apresentaram-se com valores de teto mais amenos se comparados ao telhado de referência. O confronto dos dados se deu entre as temperaturas do teto e do meio externo, evidenciando certo aumento entre a coberta de referência em laje impermeabilizada e tais dados, algo que é atribuído ao acúmulo de energia proveniente da radiação solar e pelas condições de ventilação no interior da unidade que dificulta a dissipação de massa de ar quente.

Os resultados comprovaram a minimização da amplitude térmica no modelo desenvolvido de telhado verde ecológico durante o período de importância, atenuando cerca de 3°C nos horários mais quentes do dia, nos quais o desempenho do sistema se mostra ainda mais notório. Por fim, evidencia-se completa eficácia do modelo

estudado quanto aos objetivos propostos, permitindo cada vez mais através da sua adesão um convívio respeitoso e sustentável entre a sociedade e o meio ambiente.

### **6.1 Trabalhos futuros**

Para continuidade desta pesquisa e intensificação da evidência dos benefícios dos telhados verdes, sugere-se um acompanhamento a longo prazo para avaliar o desempenho do sistema em um ciclo anual completo.

Preconiza-se estudos complementares nos âmbitos da retenção hídrica e qualidade da água escoada para o sistema de telhado verde ecológico desenvolvido, adaptações para o sistema de drenagem, implantações sobre telhados de fibrocimento devido ao crescente uso desse material nas habitações, além de um modelo de rega por gotejamento visto o déficit hídrico apresentado na localidade.

Ademais, um estudo voltado ao retorno econômico mais aprofundado referente preferencialmente a comercialização dos produtos advindos do telhado verde, para ocasionar um maior incentivo a sua utilidade e conseqüentemente na instauração de temáticas com questões sociais, ecológicas e econômicas na região.

## REFERÊNCIAS

ABIPET - Associação Brasileira dos Fabricantes de Embalagens PET. [Infográfico **Censo 2019**]. Mensagem recebida por <faleconosco@abipet.org.br> em 08 jun. 2020.

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR ISO 7726**: Ergonomia do ambiente térmico – Instrumentos para medição de grandezas físicas. Rio de Janeiro, 51 p., 1998.

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR ISO 37120**: Desenvolvimento sustentável de comunidades — Indicadores para serviços urbanos e qualidade de vida. Rio de Janeiro, 87 p., 2017.

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 13969**: Tanques sépticos - Unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos - Projeto, construção e operação. Rio de Janeiro, 60 p., 1997.

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 15220**: Norma Brasileira de Desempenho Térmico de Edificações, Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social. Rio de Janeiro, 30 p., 2005.

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 15527**: Água de Chuva – Aproveitamento de coberturas em áreas urbanas para fins não potáveis. Rio de Janeiro, 12 p., 2007.

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 15575**: Edificações habitacionais – Desempenho – Parte 1: Requisitos gerais. Rio de Janeiro, 60 p., 2013a.

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 15575**: Edificações habitacionais – Desempenho – Parte 3: Requisitos para os sistemas de pisos. Rio de Janeiro, 40 p., 2013b.

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 16401**: Instalações de ar condicionado: sistemas centrais e unitários: Parte 2: Parâmetros de conforto térmico. Rio de Janeiro, 7 p., 2008.

ABRELPE - Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais. **Panorama dos resíduos sólidos no Brasil, 2017**. São Paulo, 74 p., 2017.

ABRELPE - Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais. **Panorama dos resíduos sólidos no Brasil 2018/ 2019**. São Paulo, 68 p., 2019.

ALBERTO, E. Z.; RECCHIA, F. M.; PENEDO, S. R. M.; PALETTA, F. C.. Estudo do telhado verde nas construções sustentáveis. In: XII Safety, Health And Environment World Congress. 2012. **Anais [...]**. São Paulo, 171 – 173, 2012.

ALMEIDA, O. A. **Qualidade da água de irrigação**. Cruz das Almas/BA, EMBRAPA, 227 p., 2010.

ALMEIDA, S. C.; BRITO, G. P.; SANTOS, S. M.. Revisão Histórica dos Telhados Verdes: da Mesopotâmia aos dias atuais. **Revista Brasileira de Meio Ambiente**, 2 (1): 42-51, 2018.

ALMEIDA, M.; ALMEIDA, C. V.. **Morfologia da folha de plantas com sementes**. Piracicaba: ESALQ/USP, 111 p., 2018.

ALTAÍDES, R.S.; FURTADO, T.V.. **A importância da utilização das normais climatológicas para análise de variação climática para análise de variação climática**. Trabalho de conclusão de curso (Técnico em meteorologia). Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia de Santa Catarina – IFSC. Florianópolis, 27 f., 2014.

APAC - Agência Pernambucana de Águas e Clima. Recife. Roni Valter de Souza Guedes. **Boletim do clima: síntese climática**. v. 7 n. 12. 32 p. dez. 2019a.

APAC - Agência Pernambucana de Águas e Clima. Recife. Vinícius Gomes Costa Júnior. **Boletim do clima: síntese climática** v. 6 n. 12. 33 p. jan. 2019b.

ARAÚJO, B. G.; SOUSA, A. M. S.; PERES, M. D.. Telhado Verde de garrafa PET. In: Simpósio de Produção Científica, 1., 2017, Marabá. **Anais [...]**. Marabá: Propit, 3 p., 2017.

ARAÚJO, S. M. S.. A Região Semiárida do Nordeste do Brasil: questões ambientais e possibilidades de uso sustentável dos recursos. **Rios Eletrônica- Revista Científica da FASETE**, Bahia, 5 (5), 89-98: 2011.

ARAÚJO, D. C.; MORAIS, C. R. C.; ALTIDIS, M. E.. Avaliação mecânica e físico-química entre telhas convencionais e alternativas usadas em habitações populares. **Revista Eletrônica de Materiais e Processos**, 3: 50-56, 2008.

BARTH, A. A.; LIMANA, L.; KIST, K. J.; REICHERT, L. S.. A importância da criação de casas ecológicas para a maximização da sustentabilidade. In: XXVIII Congresso Regional de Iniciação Científica e Tecnológica em Engenharia. 2017, Ijuí, **Anais [...]**. Rio Grande do Sul: UNIJUÍ, 4 p., 2017.

BESIR, A. B.; CUCE, E.. Green roofs and facades: A comprehensive review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, 82 (1): 915-939, 2018.

BRASIL, **Resolução nº 115** de 23 de novembro de 2017. Dispõe sobre a revisão da relação de municípios do semiárido aprovados pela Resolução CONDEL nº 107, de 27 de julho de 2017. Diário Oficial da República Federativa do Brasil. 2017.

BRASIL. **Lei Nº 6938** de 31 de agosto de 1981. Dispõe sobre uma Política Nacional do Meio Ambiente, seus objetivos e mecanismos de formulação e aplicação. Diário Oficial da República Federativa do Brasil. 1981.

BRASIL. **Lei Nº 12305** de 2 de Agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de a; e dá outras providências. Presidência da República. 2010.

BRASIL. Ministério da Saúde. **Portaria Nº 2914**, de 12 de dezembro de 2011. Dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. Disponível em: [http://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/2011/prt2914\\_12\\_12\\_2011.html](http://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/2011/prt2914_12_12_2011.html). Acesso em: 20 jun. 2020.

CARNEIRO, T. A.; GUISELINI, C.; PANDORFI, H.; LOPES NETO, J. P.; LOGES, V.; SOUZA, R. F. L.. Condicionamento térmico primário de instalações rurais por meio de diferentes tipos de cobertura. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, 19 (11): 1086-1092, 2015.

CARUARU. **Lei Complementar Nº 062** de 27 de dezembro de 2018. Institui o Programa de incentivo denominado IPTU Verde no Município de Caruaru e dá outras providências. Diário Oficial de Caruaru. 2018a.

CARUARU. **História**. Caruaru, 2018b. Disponível em: <https://caruaru.pe.gov.br/historia/>. Acesso em: 16 jul. 2019.

CARVALHO, G. C.. **Avaliação de sistemas de telhados verdes: análise térmica e hídrica nos diferentes sistemas cultivados com *Callisia repens***. Dissertação (Mestrado) - Curso de Ciências Ambientais, Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Sorocaba, 117 f., 2018.

COIMBRA, I. V.; DAMATO NETO, J.. A logística reversa de embalagens de PET e sua contribuição para o meio ambiente. In: Congresso Amazônico de Meio Ambiente e Energias Renováveis, 2., 2016, Belém. **Anais [...]**. Belém: UFRA, 11 p., 2016.

COMA, J.; PÉREZ, G.; SOLÉ, C. CASTELL, A.; CABEZA, L. F.. Thermal assessment of extensive green roofs as passive tool for energy savings in buildings. **Renewable Energy**, 85: 1106-1115, 2016.

CORTÉS, C. F.; CASTILLO, C. A. D.. Mejora de las condiciones de habitabilidad y del cambio climático a partir de ecotechos extensivos. **Cuaderno de Viviendas y Urbanismo**, 4 (8): 316-329, 2011.

CPRM - Serviço Geológico do Brasil. **Projeto Cadastro de Fontes de Abastecimento por Água Subterrânea Estado de Pernambuco: Diagnóstico do Município de Caruaru**. Recife: CPRM/PRODEEM, 25 p., 2005.

CTR - Central de Tratamento de Resíduos de Caruaru. **Relatório de Impacto Ambiental**, 72 p., 2013.

DIAS, L. S.; MARQUES M. D.. Meio ambiente e a importância dos princípios ambientais. **Fórum Ambiental da Alta Paulista**, São Paulo, 2011, 7 (5): 548-556, 2011. Disponível em: [http://amigosdanatureza.org.br/publicacoes/index.php/forum\\_ambiental/article/view/152](http://amigosdanatureza.org.br/publicacoes/index.php/forum_ambiental/article/view/152). Acesso em: 18 jul. 2019.

DINIZ, F.A.; RAMOS A. M.; REBELLO, E.R.G.. **Normas climatológicas do Brasil, 1981 – 2010**. Pesquisa agropecuária brasileira, 53 (2): 101 – 143, 2018.

DISTRITO FEDERAL (Estado). **Lei Estadual Nº 5965** de 16 de agosto de 2017. Cria o programa IPTU Verde, que dispõe sobre a redução no Imposto Predial e Territorial Urbano - IPTU como incentivo ambiental destinado a proteger, preservar e recuperar o meio ambiente. Diário Oficial do Estado. 2017.

DIMITRIJEVIĆ, D. G.; ŽIVKOVIC, P. M.; STOJILJKOVI, M. M.; TODOROVIC, M. N.; SPASIC-DJORDJEVIC, S. Z.. Green living roof implementation and influences of the soil layer on its properties. **Thermal Science**, 20 (5): S1511-S1520, 2016.

EUROPEAN COMMISSION. **9. Green and Brown Roofs**, 18 p., 2015. Disponível em: <http://www.elios-ec.eu/sites/default/files/pdf/Case-Study-9-Green-or-Brown-roofs.pdf>. Acesso em: 15 jun. 2020.

FARIAS, M. M. M. W. E. C.. **Aproveitamento de águas da chuva por telhados: aspectos quantitativos e qualitativos**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental). Universidade Federal de Pernambuco- UFPE. Caruaru, 117 f., 2012.

FEITOSA, R. C.; WILKINSON, S.. Uso de sistemas vegetados e os impactos na promoção da saúde. **Cadernos de Saúde Pública**, 34: e00003618, 2018.

FELÍCIO, R. A.. Mudanças Climáticas e Aquecimento Global –Nova Formatação e Paradigma para o Pensamento Contemporâneo. **Ciência e Natura**, 36 (Especial): 257-266, 2014.

FERRAZ, I. L.. **O desempenho térmico de um sistema de cobertura verde em comparação ao sistema tradicional de cobertura com telha cerâmica**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Universidade de São Paulo – USP, São Paulo, 133 f., 2012.

FORLIN, F.J. ; FARIAS, J. S. Considerações sobre Reciclagem de Embalagens Plásticas. **Polímeros: Ciência e Tecnologia**, 12 (1): 1-10, 2002.

FRANÇA, L. C. J.. O uso do telhado verde como alternativa sustentável aos centros urbanos: Opção viável para a sociedade moderna do século XXI. **Revista Húmus**, 2 (4): 105-113, 2012.

FRANÇA, M. V.; MEDEIROS, R. M.; HOLANDA, R. M.; SILVA, V. P.; FERRAZ, J. X. V.; SOBRAL, D. M.. Aptidão climática para o cultivo da banana em Caruaru-PE, Brasil. **Journal of Environmental Analysis and Progress**, 3 (3): 265-274, 2018.

FRANCIS, L. F. M.; JENSEN, M. B.. Benefits of green roofs: A systematic review of the evidence for three ecosystem services. **Urban Forestry & Urban Greening**, 28: 167-176, 2017.

FUNFGELT. K.; SOUZA, G. A.; TONET, E. A.; FACHINI, S.. Telhado verde e a influência no conforto térmico em uma edificação de madeira no IFC Campus Rio do

Sul. In: 5ª Mostra Nacional de Iniciação Científica e Tecnologia Interdisciplinar. 2012, Camboriú. **Anais[...]**. Camboriú: Instituto Federal Catarinense, 6 p., 2012.

GOIÂNIA. **Lei complementar Nº 235** de 28 de dezembro de 2012. Institui o programa IPTU verde no município de Goiânia. Diário Oficial de Goiânia. 2012.

GUARULHOS. **Lei Municipal Nº 6793** de 28 de dezembro de 2010. Dispõe sobre o lançamento, arrecadação e fiscalização do imposto sobre a propriedade predial e territorial urbana - IPTU e dá outras providências. Diário Oficial do Município. 2010.

HENEINE, M. C. A. S.. **Cobertura Verde**. Monografia (especialização). Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 49 f., 2008.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Mapas Semiárido 1:12.000.000**. 2018. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/cartas-e-mapas/mapas-regionais/15974-semiarido-brasileiro.html?=&t=acesso-ao-produto>. Acesso em 19 set. 2020.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Cadastro de Municípios localizados na Região Semiárida do Brasil**. 2007. Disponível em: <https://ww2.ibge.gov.br/home/geociencias/geografia/semiarido.shtm?c=4>. Acesso em: 13 maio 2019.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Panorama dos Estados e Cidades**. 2010. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pe/caruaru/panorama>. Acesso em: 12 maio 2019.

IMAFLOA - Instituto de Manejo e Certificação Florestal e Agrícola. **Evolução das emissões de gases do efeito estufa no Brasil (1970-2013): Setor de agropecuária**. São Paulo, 57 p., 2015.

JACOBSON, M. Z.; HOEVE, J. E. T.. Efeitos de superfícies urbanas e telhados brancos no clima global e regional. **Jornal do Clima**, 25 (3): 1028-1044, 2012.

JOBIM A. L.. **Diferentes tipos de telhados verdes no controle quantitativo de água pluvial**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Universidade Federal de Santa Maria- UFSM, Rio Grande do Sul, 76 f, 2013.

JUNGELS, J.; RAKOW, D. A.; ALLRED, S. B.; SKELLY, S. M.. Attitudes and aesthetic reactions toward green roofs in the Northeastern United States. **Landscape And Urban Planning**, 117: 13-21, 2013.

KOLB, W.. **Telhados de cobertura verde e manejo de águas pluviais**. In: Simpósio Brasileiro de captação e manejo de água de chuva, 4, Petrolina-PE, 10 p., 2003.

KOZMHINSKY, M.; MEDEIROS, R. M.; LUZ, E. L. P.; MEDEIROS, M. C.. A Indicação de Telhados Verdes nas Novas Edificações para o Município de Caruaru – PE. In: Congresso Internacional da Diversidade do Semiárido, 1., 2016, Campina Grande. **Anais [...]**. Campina Grande: Conidis, 12 p., 2016.

KREBS, L. F.. **Coberturas verdes extensivas: Análise da utilização em projetos na região metropolitana de Porto Alegre e Serra Gaúcha.** Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia, Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 181 f., 2005.

LACERDA, F. F.. **Tendências de temperatura e precipitação e cenários de mudanças climáticas de longo prazo no nordeste do Brasil e em ilhas oceânicas.** Tese (Doutorado) - Curso de Pós-graduação em Engenharia Civil, Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 110 f., 2015.

LIMA, G. C. O.. **Avaliação do desempenho de telhados verdes: capacidade de retenção hídrica e qualidade da água escoada.** Dissertação (Mestrado) – Curso de Pós- Graduação em Engenharia Civil e Ambiental, Universidade Federal de Pernambuco, Caruaru, 130 f., 2013.

LI, W. C.; YEUNG, K. K. A. A.. Comprehensive study of green roof performance from environmental perspective. **International Journal of Sustainable Built Environment**, 3 (1): 127-134, 2014.

LOIOLA, M. I. B.; ROQUE, A. A.; OLIVEIRA, A. C. P.. Caatinga: Vegetação do Semiárido Brasileiro. **Revista Ecologi@: Artigos de Divulgação**, 4: 14-19, 2012.

MACHADO, C. T.; MIRANDA, F. S.. Photovoltaic Solar Energy: A Briefly Review. **Revista Virtual de Química**, 7 (1): 126-143, 2015.

MACHADO NETO, N. B.; CUSTÓDIO, C. C.; CARVALHO, P. R.; YAMAMOTO, N. L.; CACCIOLARI, C.. Casca de pinus: avaliação da capacidade de retenção de água e da fitotoxicidade. **Colloquium Agrariae**, 1(1): 19-24, 2005.

MANHÃES, G. S.; ARAÚJO, R. S.. Sustentabilidade nas construções. **Humanas Sociais & Aplicadas**, 4 (11): 15-24, 2014.

MARENGO, J. A.; ALVES, L. M.; BESERRA, E. A.; LACERDA, F. F.. **Variabilidade e mudanças climáticas no semiárido brasileiro.** Campina Grande: Instituto Nacional do Semiárido, 40 p., 2011.

MARTINS, P.A.S.. **Normais climatológicas, balanço hídrico e classificação climática para a mesorregião sul do Amazonas.** Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais). Universidade Federal do Amazonas – UFAM. Humaitá, 87 f., 2019.

MARTINS, L. S.; PINTO, J. S.. Avaliação quali-quantitativa de telhado verde extensivo em escala piloto. **Disciplinarium Scientia**, 17 (2): 245-257, 2016.

MATHEUS, C.; CAETANO, F. D. N.; MORELLI, D. D. O.; LABAKI, L. C.. Desempenho térmico de envoltórias vegetadas em edificações no sudeste brasileiro. **Ambiente Construído**, 16 (1): 71-81, 2016.

MAUÁ. **Lei Municipal Nº 5199** de 10 de janeiro de 2017. Institui o Programa de Incentivo e Desconto, denominado "IPTU Verde", no Município de Mauá, e dá outras providências. Diário Oficial do Município. 2017.

MAYER, K. C. M.; LOPES, E. S. V. S.; BRITO, F. C. V.; ARAÚJO, J. A.. Incentivo à redução, reutilização e reciclagem com foco nas garrafas pet na cidade de Redenção-PA. **Revista de Educação, Ciência e Cultura**, 18 (2): 149-154, 2013.

MEDEIROS, R. M.; HOLANDA, R. M.; SILVA, V. P.. **Estudo climatológico do município de Caruaru –PE, Brasil**. TCC - Curso de Especialização em Engenharia Ambiental, Departamento de Tecnologia Rural, Universidade Federal Rural de Pernambuco, 23 p., Recife, 2017.

MORGADO, J. M.. **Coberturas Verdes: Expectativas e Experiências Brasileiras**. São Paulo, 2010.

MOWLA, Q. A.. Green Roof Concept for Eco-Sustainability in the Context of Urban Dhaka. In: The International seminar on "GO GREEN". **Anais [...]**. p. 25-30, Pakistan, 2010.

OBERNDORFER, E.; LUNDHOLM, J.; BASS, B.; COFFMAN, R. R.; DOSHI, H.; DUNNETT, N.I; GAFFIN, S.; KÖHLER, M.; LIU, K. K. Y.; ROWE, B.. Green Roofs as Urban Ecosystems: ecological structures, functions, and services: Ecological Structures, Functions, and Services. **Bioscience**, 57 (10): 823-833, 2007.

OHNUMA JÚNIOR, A. A.. **Medidas não convencionais de reservação d'água e controle da poluição hídrica em lotes domiciliares**. Tese (Doutorado) - Curso de Ciências da Engenharia Ambiental, Universidade de São Paulo, São Carlos, 331 f., 2008.

OLIVEIRA, E. W. N.. **Telhados verdes para habitações de interesse social: retenção das águas pluviais e conforto térmico**. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental. Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro - RJ, 87 f, 2009.

OLIVEIRA, T. A. A.. **Comparação de Preços Entre Telhados Verdes e Telhas Coloniais**. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 20 f., 2016.

PAIVA, A. L. R.; SANTOS, S. M.; SILVA, T. F.; SANTOS, G. C.. Capacidade de retenção de água em um telhado verde: estudo de caso em Caruaru. In: Simpósio De Hidráulica e Recursos Hídricos dos Países de Língua Portuguesa, 13., 2017, Porto. **Anais [...]**. Porto: FEUP, 2017. p. 1-10.

PANZIERA, A. G.; CALIL, V. S.; AMARAL, F. D.; SWAROVSKY, A.. Desempenho de diferentes tipos de telhado verde no conforto térmico urbano na cidade de Santa Maria, RS. **Disciplinarum Scientia**, 16 (3): 445-457, 2015.

PARAÍBA. **Lei Estadual Nº 10047** de 09 de julho de 2013. Dispõe sobre a obrigatoriedade da instalação do “Telhado Verde” nos locais que especifica e dá outras providências. Diário Oficial da Paraíba. 2013.

PECK, S.; KUHN, M.. **Design Guidelines for Green Roofs**. Vancouver Public Library Green Roof. Environment Canada, Toronto, 22 p. 2003.

PENG, L, L, H.; JIM, C, Y.. Green-Roof effects on neighborhood microclimate and human thermal sensation. **Energies**, 6: 598-618, 2013.

PEREIRA JÚNIOR, A. A. M.; SILVA, S. A. O.. **Montagem de telhado verde com a utilização de materiais de baixo custo**. Projeto No. 604. Monografia apresentada ao Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, Belo Horizonte: CEFET, 2011. Disponível em: <https://dspaceprod02.grude.ufmg.br/dspace/bitstream/handle/RDUFMG/855/Montagem%20de%20um%20telhado%20verde%20com%20a%20utiliza%C3%A7%C3%A3o%20de%20materiais%20de%20baixo%20custo.pdf?sequence=1>. Acesso em 15 jun. 2020.

PEREIRA, P. G. G.; VIAIS NETO, D. S.; CREMASCO, C. P.; GABRIEL FILHO, L. R. A.. Análise financeira e ambiental para a instalação de telhado verde no ambiente construído a partir do Projeto Casa Pet. **Periódico Técnico e Científico Cidades Verdes**, 3 (4): 70-84, 2015.

PERNAMBUCO. Base de dados do Estado (BDE). Recife. **Perfil Municipal de Caruaru**, 1-3p. dez. 2017. Disponível em: <http://www.bde.pe.gov.br/ArquivosPerfilMunicipal/Caruaru.pdf.pdf>. Acesso em: 23 jun. 2020.

PESSANHA L. B.. **Proposta de implantação de um sistema de telhado verde extensivo utilizando a técnica de wetland, na Escola Politécnica - UFRJ**. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 59 f., 2017.

PILZ, T. L.; BERTOLDO, G. F.; SANTOS, A. P. L.; MACHADO, E. L.; SOTSEK N. C.. Um estudo comparativo entre telhas convencionais e alternativas: Uma revisão sistemática da literatura. In: VIII Congresso Brasileiro De Engenharia De Produção, 8., 2018, Ponta Grossa. **Anais[...]**. Ponta Grossa, 1 – 12 p., 2018.

PRADO, D.. As caatingas da América do Sul. In: Leal, I.R., Tabarelli, M., Silva, J.M.C. (eds). **Ecologia e conservação da Caatinga**. Recife, Editora Universitária, Universidade Federal de Pernambuco, 3-73, 2003.

RAGHEB, A.; EL-SHIMY, H.; RAGHEB, G.. Green architecture: a concept of sustainability. **Procedia-Social and Behavioral Sciences**, 216: 778-787, 2016.

RAMALHO, M. F. J. L.. A fragilidade ambiental do Nordeste brasileiro: o clima semiárido e as imprevisões das grandes estiagens. **Sociedade e Território**, 25 (2): 104-115, 2013.

RECIFE. **Lei Municipal Nº 18112**, de 12 de janeiro de 2015. Dispõe sobre a melhoria da qualidade ambiental das edificações por meio da obrigatoriedade de instalação do “Telhado Verde”, e construção de reservatórios de acúmulo ou de retardo do escoamento das águas pluviais para a rede de drenagem e dá outras providências. Recife, PE: Diário Oficial de Pernambuco, 13 jan. 2015.

REIS, E. A., REIS, I. A.. **Análise descritiva de dados**. Relatório técnico do departamento de Estatística. Minas Gerais: UFMG, 64 p., 2002.

RIBEIRO NETO, F. M.; PAES, L. S.. Caracterização estrutural e análise micológica de partes vegetativas das PANCS. **Revista de Educação, Ciência e Tecnologia do IFAM**, 8 (2): 104, 2018.

RIGHI, D. P.; KOHLER, L. G.; ANTOCHEVES, R.; SANTOS NETO, A. B. S.; MOHAMAD G.. Cobertura verde: Um uso sustentável na construção civil. **Mix Sustentável**, 2 (2): 29-36, 2016.

RIOS, M.. **Telhado verde: uma estratégia para as cidades sustentáveis**. II Encontro Nacional dos GTMAs, Fortaleza, 43 p., 2016.

RODAL, M. J. N.; COSTA, K. C. C.; SILVA, A. C. B. L.. Estrutura da Vegetação Caducifólia Espinhosa (Caatinga) de uma área do sertão central de Pernambuco. **Hoehnea**, 35(2): 209-217, 2008.

SAITO, C. H.. **Conservação e utilização sustentável da diversidade biológica brasileira – PROBIO**. Brasília: Departamento de Ecologia da Universidade de Brasília. Brasília, 2006.

SALVADOR. **Decreto nº 25899** de 24 de março de 2015. Regulamenta o art. 5º da lei nº 8.474, de 02 de outubro de 2013, e institui o programa de certificação sustentável "IPTU VERDE" em edificações no município de Salvador, que estabelece benefícios fiscais aos participantes do programa, assim como o art. 5º da lei nº 8.723, de 22 de dezembro de 2014, e dá outras providências. Diário Oficial do Município do Salvador. 2015.

SANTOS, S. M.; MONTEGRO, S. M. G. L.; ARAÚJO FILHO, P. F.; CABRAL, J. J. S. P.; ARAÚJO T. F.. Determinação da utilidade do uso de telhado verde no Agreste Pernambucano. In: V Encontro Nacional e III Encontro Latino- Americano Sobre Edificações e Comunidades Sustentáveis, 5., 2009, Recife. **Anais[...]**. A: Elecs, 10 p., 2009.

SANTOS, A.P.S.; PEREZ-MARIN, A.M.; FORERO L.F.U.; MOREIRA, J.M.; MEDEIROS, A.M.L.; LIMA, R.C.S.A.; BEZERRA, H.A.; BEZERRA B.G.; SILVA, L.L.. **O semiárido brasileiro: riquezas, diversidades e saberes**. Campina Grande: Instituto Nacional do Semiárido, 66 p. 2013a.

SANTOS, P. T. S.; SANTOS, S. M.; MONTENEGRO, S. M. G. L.; COUTINHO, A. P.; MOURA, G. S. S.; ANTONINO, A. C. D.. Telhado verde: desempenho do sistema construtivo na redução do escoamento superficial. **Ambiente Construído**, 13 (1): 161-174, 2013b.

SANTOS, D. O.; BARBOSA A. C. L.. Uso de telhados verdes como alternativa sustentável ao semiárido brasileiro: Opção ao município de Pau dos Ferros-RN. In: Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia, 2015, Ceará. **Anais eletrônicos**. Ceará: CONTECC, 4 p. 2015. Disponível em: <https://www.confrea.org.br/confira-os-trabalhos-apresentados-na-segunda-edicao-do-contecc>. Acesso em: 24 de junho de 2019.

SANTOS, G. C.. **Desempenho Térmico De Telhados Verdes No Agreste Pernambucano**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental). Universidade Federal de Pernambuco, Caruaru, 96 p., 2016.

SANTOS, S. M.; PAIVA, A. L. R.; SANTOS, G. C.; SILVA, T. F.. Desempenho térmico de telhados verdes no semiárido brasileiro. In: Simpósio de Hidráulica e Recursos Hídricos dos Países de Língua Portuguesa, 13, 2017, Porto. **Anais [...]**. Porto: FEUP, 10 p., 2017a.

SANTOS, L. R. L.; LIMA, J. V. F.; TIBÚRCIO NETO, L.; ROLEMBERG, R. R.; GONZAGA, G. B. M.. Telhado verde: uma proposta sustentável para a construção civil. **Cadernos de Graduação Ciências Exatas e Tecnológicas**, 4 (2): 195-206, 2017b.

SANTOS, C. M. L. S. A.. **Estatística descritiva: manual de auto-aprendizagem**. 3. ed. Lisboa: Sílabo, 18 p., 2018.

SÃO PAULO (Município). **Decreto Nº 53889** de 08 de maio de 2013. Regulamenta o Termo De Compromisso Ambiental - TCA, instituído pelo artigo 251 e seguintes da Lei nº 13.430, de 13 de setembro de 2002 (plano diretor estratégico). Prefeitura do Município de São Paulo. 2013.

SAVI, A. C.. **Telhados Verdes: Análise Comparativa de Custo com Sistemas Tradicionais de Cobertura**. 2012. 128 f. Monografia (Especialização) - Curso de Especialização em Construções Sustentáveis II, Departamento Acadêmico de Construção Civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2012.

SCRENSKI, A. J.. **Viabilidade do telhado verde como instrumento de redução de emissões de carbono**. Monografia - Curso de Especialização em Projetos Sustentáveis, Mudanças Climáticas e Gestão Corporativa de Carbono, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 32 f., 2015.

SETRA - Secretaria de Transportes do Governo do Estado de Pernambuco. Estudo e Relatório de Impacto Ambiental do Empreendimento "Adequação de Capacidade da Rodovia BR-104" - Trecho: Entroncamento PE 160 (Pão de Açúcar) e Entroncamento DAPE 149 (Agrestina), com Extensão aproximadamente de 51,4km, no Estado de Pernambuco. Volume 2/4 – **Diagnóstico e Avaliação Ambiental**. 264 p., 2009.

SHAFIQUE, M.; KIM, R.; RAFIQ, M.. Green roof benefits, opportunities and challenges – A review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, 90: 757-773, 2018.

SILVA, F. A.; ALMEIDA, L. P. A.. **Estudo da viabilidade técnica do uso de concreto celular adicionado de pet triturado na fabricação de residências e seu impacto**

**ecológico.** XXX Encontro Nacional de Engenharia de Produção - Maturidade e desafios da Engenharia de Produção: competitividade das empresas, condições de trabalho, meio ambiente. São Carlos, SP, Brasil, 12 a 15 de outubro de 2010, 10 p., 2010.

SILVA, F. C. M.; SIQUEIRA, J.P.; ARAGÃO, S. F.. **Telhados Verdes e seus Benefícios à Sociedade e ao Meio Ambiente**, 20 p., 2017. Disponível em: [https://servicos.unitoledo.br/repositorio/bitstream/7574/240/1/Silva\\_Siqueira\\_Arag%  
c3%a3o\\_2017.pdf](https://servicos.unitoledo.br/repositorio/bitstream/7574/240/1/Silva_Siqueira_Arag%c3%a3o_2017.pdf). Acessado em 16/06/2020.

SILVA, D. M.; RÊGO, E. R.; SILVA, K. E. F.; PESSOA, A. M.; RÊGO, M. M.. Banco de germoplasma de cactáceas e suculentas do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal da Paraíba - CCA-UFPB. **Revista Recursos Genéticos News**, 3 (2): 137, 2017.

SILVA, N. C.. **Telhado verde: sistema construtivo de maior eficiência e menor impacto ambiental.** Monografia (Especialização) - Curso de Curso de Especialização em Construção Civil, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 63 f., 2011.

SILVA, T. F.. **Tecnologia alternativa em drenagem urbana: telhado verde.** Dissertação - Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental. Universidade Federal de Pernambuco, Caruaru, 136 f., 2017.

SOROCABA. **Lei Ordinária Nº 9571** de 16 de maio de 2011. Institui o “IPTU Ecológico”, desconto no Imposto Predial Territorial Urbano (IPTU) Às habitações sustentáveis e dá outras providências. Diário Oficial do Município. 2011.

SOUZA, R. L. R.; FONTES, A. R. M.; SALOMÃO, S.. A triagem de materiais recicláveis e as variabilidades inerentes ao processo: estudo de caso em uma cooperativa. **Ciência & Saúde Coletiva**, 19 (10): 4185-4195, 2014.

STRACHOSKI, P.. **Análise de viabilidade econômica de um projeto de investimento em uma indústria de artefatos de cimentos.** TCC - Curso de Ciências Contábeis da Universidade do Extremo Sul Catarinense – UNES, 50 f., 2011.

SUSCA, T.. Green roofs to reduce building energy use? A review on key structural factors of green roofs and their effects on urban climate. **Building and Environment**, 162: 106273, 2019.

VIJAYARAGHAVAN, K.. Green roofs: A critical review on the role of components, benefits, limitations and trends. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, 57: 740-752, 2016.

VISENTIN, T. G.; NECKEL, A.; BREDA, A.. Telhados verdes como um meio sustentável nas cidades: Propostas recicláveis de produção. In: VI Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental, 2015, Porto Alegre. **Anais[...]**. Rio Grande do Sul. IBEAS, 5p., 2015.

WARK, C. G.; WARK, W. W.. Green roof specification & standards. **Construction Specifier**, 56 (8): 76-82, 2003.

XAVIER, M. E. R.; KERR, A. S.. A análise do efeito estufa em textos paradidáticos e periódicos jornalísticos. **Caderno Brasileiro de ensino de Física**, 21 (3): 325-349, 2004.

YUDELSON, J.. **Projeto Integrado e Construções Sustentáveis**. Porto Alegre: Bookman, 253 p., 2013.

ZANELLA, M. E.. Considerações sobre o clima e os recursos hídricos do semiárido nordestino. **Caderno Prudentino de Geografia**, 36: 126-142, 2014.

ZINCO. **Zinco Green Roof Systems**. Ecobuild Green Roof, 2007. Disponível em: <https://zinco-greenroof.com/green-roof-systems>. Acessado em: 18/06/2020.

ZORZETO, T. Q.; DECHEN, S. C. F.; ABREU, M. F.; FERNANDES JÚNIOR, F.. Caracterização física de substratos para plantas. **Bragantia**, 73 (3): 300-311, 2014.

## **APÊNDICE A - DADOS EXTERNOS DE TEMPERATURA**

O apêndice A é composto pelas Tabelas A1 e A2 com os dados externos de temperatura fornecidos pela IPA referentes à Estação Manual Experimental José Nilson de Melo.

**Tabela A1 - Dados externos de temperatura da Estação Manual Experimental José Nilson de Melo – IPA (de outubro/2019 a dezembro/2019).**

DATA	Temperatura externa (°C)				DATA	Temperatura externa (°C)				DATA	Temperatura externa (°C)			
	Máxima	Mínima	09:00hrs	15:00hrs		Máxima	Mínima	09:00hrs	15:00hrs		Máxima	Mínima	09:00hrs	15:00hrs
01/10/2019	29,8	19,2	24,8	29,2	01/11/2019	30,8	19	26,4	29,8	01/12/2019	33	19	26,6	31,2
02/10/2019	29,4	18,6	24,4	28,2	02/11/2019	30,4	19,4	26	28,8	02/12/2019	34,6	20,6	27,6	33,8
03/10/2019	29,8	19,2	25	28,2	03/11/2019	30,6	20	25	29,6	03/12/2019	34,6	21	27,2	33,6
04/10/2019	28,4	19,8	24,4	26	04/11/2019	31,4	20,4	26,6	30,4	04/12/2019	31,8	20,2	27,8	30,2
05/10/2019	29,4	19	25,8	27,2	05/11/2019	32,4	19	27,2	30,6	05/12/2019	32,6	18	28,4	31
06/10/2019	30,4	18,6	25,6	29,4	06/11/2019	31,2	19,8	27,4	30	06/12/2019	33,4	19,6	27,6	32,8
07/10/2019	30,8	18,6	25	27,6	07/11/2019	30,6	19,8	27	28,8	07/12/2019	34,8	20	28,8	34,4
08/10/2019	29,6	18,8	25,2	28	08/11/2019	30,6	21	26	29,2	08/12/2019	33	22	28	30,2
09/10/2019	29,2	18,4	24,6	27,6	09/11/2019	31	19,4	26	29,4	09/12/2019	31,8	19,6	26,4	30
10/10/2019	28,6	19	20,2	24,8	10/11/2019	31	19	26,4	29,4	10/12/2019	31,8	20,2	26	29,8
11/10/2019	27,6	19,6	23,4	27	11/11/2019	31,2	20,6	26,2	29	11/12/2019	32,6	20,2	26,6	31,4
12/10/2019	28,2	19,6	24,2	25,6	12/11/2019	31	20,4	26,6	29	12/12/2019	33,4	20,2	26,6	30,2
13/10/2019	28,8	19,2	25,4	27,6	13/11/2019	30,4	18,6	26,6	29,6	13/12/2019	32,6	20,4	26,2	31,2
14/10/2019	28,4	19,4	21,2	27	14/11/2019	31,2	19,6	26	29,6	14/12/2019	32	18,8	16,2	25,6
15/10/2019	28,8	19,2	24,2	26,2	15/11/2019	31,8	18,8	27,4	29,8	15/12/2019	30,6	19,6	30,6	28,4
16/10/2019	29	19,6	25,2	26,8	16/11/2019	32,2	20,2	26,6	30,4	16/12/2019	29	19,4	21,6	22,2
17/10/2019	29	18,8	26	26,8	17/11/2019	31,8	20	27,4	30,6	17/12/2019	30,4	20,2	25,6	28,8
18/10/2019	27,6	19,8	22,2	26	18/11/2019	32,6	19,2	27,4	30,4	18/12/2019	32,4	20,2	26,6	31,4
19/10/2019	30,8	20	25,2	30	19/11/2019	30,4	21,2	25,6	28,2	19/12/2019	30,8	19,4	27,2	29,8
20/10/2019	31,6	20,8	24,6	30,8	20/11/2019	29,6	18,6	24,2	28,2	20/12/2019	28,8	20,6	26,4	28
21/10/2019	31,6	20,6	25,8	30,2	21/11/2019	30,6	18,6	28,8	30,2	21/12/2019	29,8	21	28,4	27,8
22/10/2019	31,8	18,2	26,6	30,6	22/11/2019	32,4	19,8	27,4	30,2	22/12/2019	30,8	20	28,8	28,4
23/10/2019	33	19,6	27	31,6	23/11/2019	33	18,8	26,8	32,2	23/12/2019	32,4	19,6	26,2	30,6
24/10/2019	32	20,2	26,4	28,6	24/11/2019	35,2	21,2	27	33,8	24/12/2019	32,2	20,6	27,4	31,4
25/10/2019	29,6	19,6	24,6	28,2	25/11/2019	33,4	21,6	28,2	32,2	25/12/2019	31	20	23	29
26/10/2019	30,4	20,4	26	29	26/11/2019	33,2	21,4	26,8	31,8	26/12/2019	31,8	19,6	29,6	18,8
27/10/2019	31	20,6	26,8	29,4	27/11/2019	31,6	20,4	24,8	29,8	27/12/2019	31	20,2	30	30,2
28/10/2019	30,2	18,8	26,2	26,8	28/11/2019	32,8	20,2	29,8	32,2	28/12/2019	31,4	18,6	30,6	29,8
29/10/2019	29	19,4	25,4	28	29/11/2019	33,2	18,4	27,2	32	29/12/2019	31,6	19,2	30,2	30,8
30/10/2019	30,2	18,2	25,8	28,6	30/11/2019	31,8	19,4	26,8	30,6	30/12/2019	31,8	19,2	25,2	27,2
31/10/2019	30,6	18,6	26	29,2	-	-	-	-	-	31/12/2019	30,6	21	28,6	26,8

Fonte: Autora.

**Tabela A2 - Dados externos de temperatura da Estação Manual Experimental José Nilson de Melo – IPA (de janeiro/2020 a março/2020).**

DATA	Temperatura externa (°C)				DATA	Temperatura externa (°C)				DATA	Temperatura externa (°C)			
	Máxima	Mínima	09:00hrs	15:00hrs		Máxima	Mínima	09:00hrs	15:00hrs		Máxima	Mínima	09:00hrs	15:00hrs
01/01/2020	28,2	21,4	22,6	27,2	01/02/2020	31	22	26	24	01/03/2020	30,8	21,2	26,8	25,8
02/01/2020	31,4	21,2	25,2	30,4	02/02/2020	31	22,2	26	26,8	02/03/2020	32	19,8	27,8	28
03/01/2020	33,4	21,2	26,6	33	03/02/2020	31,6	21,6	26	24,6	03/03/2020	30,6	22,4	26,8	30
04/01/2020	33	21	26,4	32,2	04/02/2020	30,4	22	27,8	26,4	04/03/2020	32	22,4	27,8	30
05/01/2020	29,6	21	25,6	29,2	05/02/2020	31,4	20,8	26,8	30,2	05/03/2020	33,4	22,4	27,8	32,2
06/01/2020	31,8	20	26,8	30,6	06/02/2020	31,4	20,8	25,6	30,4	06/03/2020	34,6	21,8	28,2	33,6
07/01/2020	34,2	20,8	26,2	33	07/02/2020	32	21,4	26	30,6	07/03/2020	33,8	21,6	27,8	32,4
08/01/2020	33	20,2	26,6	32,2	08/02/2020	32,2	20,4	26,4	21,6	08/03/2020	33,6	20,8	28,2	31,4
09/01/2020	33,8	21	26,6	29,8	09/02/2020	31,4	20,8	26,4	31,2	09/03/2020	33	21,6	28,6	32,2
10/01/2020	31,6	21,6	24,6	30	10/02/2020	32,2	21,2	27,4	31,6	10/03/2020	34,2	18,4	27,8	33,8
11/01/2020	33,2	19,6	27	32,4	11/02/2020	31,6	22	27,2	30	11/03/2020	34,6	22,2	27,4	32,2
12/01/2020	32,2	19,6	27	30,8	12/02/2020	32,2	21,4	25,8	30,2	12/03/2020	31,6	22	27,8	33,2
13/01/2020	33,4	19,8	27,4	32,4	13/02/2020	26	22	22,2	24,8	13/03/2020	31,4	21,4	26,6	28,2
14/01/2020	32,8	20,6	26,8	32	14/02/2020	31,2	21,4	26,2	30,2	14/03/2020	28,8	21,8	26,2	26,8
15/01/2020	32,4	20,6	27	31,6	15/02/2020	31,6	19,8	27	30,6	15/03/2020	31	21,6	25,4	23,4
16/01/2020	32,4	20	25,8	31,6	16/02/2020	32,8	20	25,4	32,2	16/03/2020	28,6	20,8	21,8	27,8
17/01/2020	32,4	20,8	27,8	30,8	17/02/2020	32	21,6	27,8	30,8	17/03/2020	30	20,8	24,8	28
18/01/2020	32,8	20,4	27,6	31	18/02/2020	31,8	21,6	25,2	30,2	18/03/2020	30	31,8	25	28
19/01/2020	32,6	21,6	27,2	31,2	19/02/2020	31,6	21,2	25,6	31,4	19/03/2020	30	21,2	24,8	29,6
20/01/2020	32	21	26,4	26,8	20/02/2020	31,8	20,6	25,4	27,8	20/03/2020	31,2	21,2	25,6	30,8
21/01/2020	32,8	21	25,8	31	21/02/2020	31	20,2	25,4	30,2	21/03/2020	31,8	21,2	27,2	31,4
22/01/2020	29,8	19,8	25,4	27,2	22/02/2020	31,2	22	25,8	30,2	22/03/2020	31,8	21,4	26	31,2
23/01/2020	30,4	22,2	26	28	23/02/2020	33,4	21,8	28	33	23/03/2020	31,2	22	26,4	24
24/01/2020	27,4	22	25	27	24/02/2020	30,8	22,4	27,4	29,4	24/03/2020	31,8	22	26	30,8
25/01/2020	31,8	21,4	26,4	31,2	25/02/2020	32	22,2	27,4	30,6	25/03/2020	28,8	21,8	25,8	25,6
26/01/2020	32,6	22,2	27,8	32,4	26/02/2020	31,8	21,8	27,4	29	26/03/2020	29,2	20,4	27	25,2
27/01/2020	32,4	21,2	28,2	32,6	27/02/2020	32,8	20,8	27	32	27/03/2020	27,6	22	25,6	22,6
28/01/2020	32,6	20,8	26,6	31,2	28/02/2020	33,4	22	27,8	31,8	28/03/2020	29,2	21,2	26,2	28,6
29/01/2020	31,2	21,6	26,4	30,6	29/02/2020	32,4	20,8	27,2	31	29/03/2020	29	21	25,8	25,2
30/01/2020	31,4	20,8	26,2	29,6	-	-	-	-	-	30/03/2020	27,2	21,2	25	23,8
31/01/2020	30,4	20,4	26,8	28,2	-	-	-	-	-	31/03/2020	28,8	21,4	24,4	27

Fonte: Autora.

## **APÊNDICE B - DADOS INTERNOS DE TEMPERATURA**

O apêndice B é composto pelas Tabelas B1, B2, B3, B4, B5 e B6 com os dados internos de temperatura dos telhados verde ecológico e de referência, dos dias 23/10, 24/11, 07/12, 07/01, 23/02 e 06/03, respectivamente.

Tabela B1 - Dados internos de temperatura dos protótipos, no dia 23/10/2019.

HORÁRIO	TELHADO VERDE ECOLÓGICO					TELHADO DE REFERÊNCIA					HORÁRIO	TELHADO VERDE ECOLÓGICO					TELHADO DE REFERÊNCIA				
	Paredes				Teto	Paredes				Teto		Paredes				Teto	Paredes				Teto
	T1 (°C)	T2 (°C)	T3 (°C)	Média (T1,T2,T3) (°C)	T4 (°C)	T5 (°C)	T6 (°C)	T7 (°C)	Média (T5,T6,T7) (°C)	T8 (°C)		T1 (°C)	T2 (°C)	T3 (°C)	Média (T1,T2,T3) (°C)	T4 (°C)	T5 (°C)	T6 (°C)	T7 (°C)	Média (T5,T6,T7) (°C)	T8 (°C)
00:00	25,8	25,8	26	25,87	25,9	25,9	25,6	26,2	25,90	25,7	12:00	27,1	26,7	26,5	26,77	27,3	26,8	26,7	26,4	26,63	29
00:30	25,5	25,4	25,7	25,53	25,5	25,6	25,3	25,9	25,60	25,2	12:30	27,7	27,3	27	27,33	28,2	27,5	27,3	27,1	27,30	30,1
01:00	25,1	25,1	25,4	25,20	25,2	25,3	24,9	25,5	25,23	24,8	13:00	28,3	27,9	27,7	27,97	29,1	28,2	28	27,8	28,00	31,3
01:30	24,9	24,8	25,1	24,93	24,8	25	24,6	25,2	24,93	24,4	13:30	28,9	28,6	28,3	28,60	30	28,9	28,7	28,4	28,67	32,4
02:00	24,6	24,6	24,9	24,70	24,5	24,7	24,4	24,9	24,67	24	14:00	29,6	29,2	29	29,27	30,8	29,6	29,3	29,1	29,33	33,3
02:30	24,4	24,4	24,7	24,50	24,3	24,6	24,2	24,7	24,50	23,7	14:30	29,8	29,5	29,4	29,57	31,2	29,9	29,7	29,6	29,73	33,9
03:00	24,2	24,2	24,5	24,30	24	24,4	24	24,5	24,30	23,4	15:00	30,1	29,7	29,7	29,83	31,4	30,2	29,9	29,9	30,00	34,1
03:30	24	24	24,2	24,07	23,8	24,1	23,8	24,2	24,03	23,2	15:30	30,4	30,1	30,2	30,23	31,6	30,6	30,3	30,4	30,43	34,3
04:00	23,8	23,8	24,1	23,90	23,5	23,9	23,6	24,1	23,87	23	16:00	30,6	30,4	30,5	30,50	31,8	30,9	30,6	30,8	30,77	34,3
04:30	23,7	23,7	23,9	23,77	23,3	23,8	23,5	23,9	23,73	22,8	16:30	30,8	30,6	30,7	30,70	31,9	31	30,8	31	30,93	34,1
05:00	23,6	23,6	23,7	23,63	23,1	23,6	23,4	23,8	23,60	22,6	17:00	30,7	30,5	30,7	30,63	31,7	30,9	30,6	30,9	30,80	33,8
05:30	23,4	23,4	23,6	23,47	23	23,5	23,2	23,6	23,43	22,5	17:30	30,5	30,2	30,6	30,43	31,4	30,6	30,4	30,8	30,60	33,3
06:00	23,3	23,3	23,5	23,37	22,8	23,4	23,1	23,5	23,33	22,4	18:00	30,2	30	30,5	30,23	31,1	30,5	30,2	30,7	30,47	32,9
06:30	23,3	23,3	23,4	23,33	22,7	23,3	23,1	23,5	23,30	22,3	18:30	29,9	29,8	30,2	29,97	30,8	30,2	29,9	30,4	30,17	32,3
07:00	23,3	23,3	23,4	23,33	22,7	23,3	23,1	23,4	23,27	22,3	19:00	29,7	29,6	29,9	29,73	30,4	29,9	29,6	30,1	29,87	31,7
07:30	23,4	23,3	23,4	23,37	22,7	23,3	23,1	23,4	23,27	22,3	19:30	29,3	29,2	29,6	29,37	30	29,5	29,2	29,7	29,47	31,1
08:00	23,6	23,4	23,4	23,47	22,7	23,3	23,2	23,4	23,30	22,3	20:00	28,9	28,9	29,3	29,03	29,6	29,1	28,8	29,3	29,07	30,5
08:30	23,9	23,7	23,6	23,73	22,9	23,5	23,5	23,5	23,50	22,6	20:30	28,6	28,5	28,9	28,67	29,1	28,7	28,4	28,9	28,67	29,8
09:00	24,3	24	23,8	24,03	23,3	23,7	23,8	23,7	23,73	23	21:00	28,2	28,1	28,5	28,27	28,6	28,3	28	28,5	28,27	29,1
09:30	24,7	24,3	24,1	24,37	23,7	24	24,1	24	24,03	23,6	21:30	27,8	27,7	28,1	27,87	28,2	27,9	27,6	28,1	27,87	28,5
10:00	25,1	24,7	24,5	24,77	24,2	24,4	24,5	24,4	24,43	24,4	22:00	27,4	27,4	27,7	27,50	27,7	27,5	27,2	27,7	27,47	27,9
10:30	25,6	25,1	24,9	25,20	24,9	25	25	24,8	24,93	25,5	22:30	27,1	27,1	27,4	27,20	27,3	27,2	26,8	27,3	27,10	27,4
11:00	26	25,6	25,3	25,63	25,6	25,6	25,5	25,3	25,47	26,6	23:00	26,8	26,7	27	26,83	26,9	26,9	26,5	27	26,80	26,9
11:30	26,5	26,1	25,9	26,17	26,4	26,2	26,1	25,8	26,03	27,7	23:30	26,5	26,5	26,8	26,60	26,5	26,6	26,3	26,8	26,57	26,5

Fonte: Autora.

Tabela B2 - Dados internos de temperatura dos protótipos, no dia 24/11/2019.

HORÁRIO	TELHADO VERDE ECOLÓGICO					TELHADO DE REFERÊNCIA					HORÁRIO	TELHADO VERDE ECOLÓGICO					TELHADO DE REFERÊNCIA				
	Paredes				Teto	Paredes				Teto		Paredes				Teto	Paredes				Teto
	T1 (°C)	T2 (°C)	T3 (°C)	Média (T1,T2,T3) (°C)	T4 (°C)	T5 (°C)	T6 (°C)	T7 (°C)	Média (T5,T6,T7) (°C)	T8 (°C)		T1 (°C)	T2 (°C)	T3 (°C)	Média (T1,T2,T3) (°C)	T4 (°C)	T5 (°C)	T6 (°C)	T7 (°C)	Média (T5,T6,T7) (°C)	T8 (°C)
00:00	27,9	27,8	28	27,90	27,4	27,8	27,5	27,9	27,73	27,8	12:00	29	28,4	28	28,53	29	28,8	29	28,4	28,57	30,8
00:30	27,6	27,5	27,8	27,63	27,1	27,5	27,3	27,7	27,50	27,4	12:30	29,6	29,1	29	29,20	30,1	29,5	29	29	29,23	32,1
01:00	27,4	27,3	27,5	27,40	26,8	27,3	27	27,4	27,23	27,1	13:00	30,4	29,8	30	29,93	31	30,3	30	29,7	29,97	33,2
01:30	27,1	27,1	27,3	27,17	26,6	27,1	26,8	27,2	27,03	26,8	13:30	31	30,5	30	30,57	31,9	31	31	30,5	30,73	34,3
02:00	26,9	26,9	27,1	26,97	26,4	26,9	26,6	27	26,83	26,5	14:00	31,7	31,2	31	31,27	32,7	31,8	31	31,2	31,47	35,3
02:30	26,8	26,7	26,9	26,80	26,1	26,7	26,4	26,8	26,63	26,2	14:30	32	31,5	31	31,60	33,1	32,1	32	31,6	31,80	35,9
03:00	26,6	26,5	26,7	26,60	25,9	26,5	26,3	26,6	26,47	26	15:00	32,6	32,1	32	32,20	33,7	32,8	32	32,2	32,43	36,5
03:30	26,4	26,3	26,5	26,40	25,7	26,3	26,1	26,4	26,27	25,8	15:30	32,5	32,1	32	32,23	33,7	32,7	32	32,4	32,50	36,4
04:00	26,2	26,2	26,3	26,23	25,5	26,1	25,9	26,3	26,10	25,6	16:00	32,9	32,4	33	32,60	33,9	33	33	32,8	32,83	36,5
04:30	26	26	26,1	26,03	25,4	26	25,8	26,1	25,97	25,4	16:30	32,8	32,4	33	32,60	33,8	33	33	32,9	32,87	36,3
05:00	25,9	25,8	26	25,90	25,2	25,8	25,6	25,9	25,77	25,1	17:00	32,7	32,4	33	32,57	33,6	32,9	33	32,9	32,80	36
05:30	25,7	25,7	25,8	25,73	25	25,6	25,5	25,8	25,63	25	17:30	32,6	32,3	33	32,50	33,4	32,8	33	32,8	32,70	35,6
06:00	25,6	25,5	25,6	25,57	24,8	25,5	25,3	25,6	25,47	24,8	18:00	32,5	32,2	33	32,40	33,3	32,7	32	32,8	32,63	35,2
06:30	25,5	25,4	25,5	25,47	24,6	25,4	25,2	25,5	25,37	24,6	18:30	32,3	32,1	32	32,23	33	32,4	32	32,5	32,37	34,7
07:00	25,4	25,4	25,4	25,40	24,5	25,3	25,2	25,5	25,33	24,5	19:00	32,1	31,9	32	32,03	32,7	32,2	32	32,3	32,13	34,1
07:30	25,4	25,3	25,4	25,37	24,5	25,3	25,2	25,4	25,30	24,4	19:30	31,7	31,6	32	31,70	32,4	31,9	32	31,9	31,80	33,6
08:00	25,5	25,4	25,4	25,43	24,6	25,3	25,2	25,4	25,30	24,5	20:00	31,4	31,3	32	31,40	32	31,5	31	31,6	31,47	33
08:30	25,6	25,5	25,5	25,53	24,7	25,5	25,3	25,5	25,43	24,6	20:30	31,1	31	31	31,10	31,6	31,2	31	31,3	31,13	32,4
09:00	25,9	25,7	25,6	25,73	24,9	25,6	25,5	25,6	25,57	24,9	21:00	30,8	30,7	31	30,80	31,2	30,8	31	31	30,80	31,9
09:30	26,3	26	25,9	26,07	25,3	25,9	25,9	25,9	25,90	25,5	21:30	30,5	30,4	31	30,47	30,8	30,5	30	30,6	30,47	31,3
10:00	26,7	26,4	26,2	26,43	25,8	26,3	26,2	26,3	26,27	26,2	22:00	30,1	30	30	30,10	30,4	30,1	30	30,3	30,10	30,8
10:30	27,2	26,8	26,6	26,87	26,5	26,8	26,7	26,7	26,73	27,2	22:30	29,7	29,7	30	29,77	30	29,8	30	29,9	29,77	30,3
11:00	27,8	27,3	27,1	27,40	27,2	27,4	27,3	27,2	27,30	28,4	23:00	29,4	29,3	30	29,40	29,6	29,4	29	29,5	29,37	29,7
11:30	28,3	27,8	27,6	27,90	28,1	28,1	27,8	27,7	27,87	29,5	23:30	29,1	29	29	29,10	29,2	29,1	29	29,2	29,03	29,3

Fonte: Autora.

Tabela B3 - Dados internos de temperatura dos protótipos, no dia 07/12/2019.

HORÁRIO	TELHADO VERDE ECOLÓGICO					TELHADO DE REFERÊNCIA					HORÁRIO	TELHADO VERDE ECOLÓGICO					TELHADO DE REFERÊNCIA				
	Paredes				Teto	Paredes				Teto		Paredes				Teto	Paredes				Teto
	T1 (°C)	T2 (°C)	T3 (°C)	Média (T1,T2,T3) (°C)	T4 (°C)	T5 (°C)	T6 (°C)	T7 (°C)	Média (T5,T6,T7) (°C)	T8 (°C)		T1 (°C)	T2 (°C)	T3 (°C)	Média (T1,T2,T3) (°C)	T4 (°C)	T5 (°C)	T6 (°C)	T7 (°C)	Média (T5,T6,T7) (°C)	T8 (°C)
00:00	28	27,9	28,1	28,00	27,9	28	27,8	28,1	27,97	27,8	12:00	29,3	28,8	28,5	28,87	29,3	29,1	28,8	28,7	28,87	30,8
00:30	28	27,6	27,8	27,70	27,5	27,7	27,5	27,8	27,67	27,3	12:30	29,9	29,4	29,1	29,47	30,2	29,7	29,4	29,3	29,47	32
01:00	27	27,4	27,5	27,43	27,2	27,5	27,2	27,6	27,43	27	13:00	30,5	30	29,7	30,07	31	30,4	30	29,9	30,10	33,1
01:30	27	27,1	27,3	27,20	26,9	27,2	26,9	27,3	27,13	26,6	13:30	30,9	30,4	30,2	30,50	31,6	30,8	30,5	30,4	30,57	34,1
02:00	27	26,9	27,1	27,00	26,6	27	26,7	27,1	26,93	26,3	14:00	31,4	30,9	30,7	31,00	32,3	31,4	31,1	30,9	31,13	34,8
02:30	27	26,7	26,8	26,73	26,4	26,7	26,5	26,8	26,67	26	14:30	31,6	31,2	31	31,27	32,6	31,6	31,3	31,2	31,37	35,1
03:00	27	26,5	26,6	26,53	26,1	26,5	26,2	26,6	26,43	25,7	15:00	34,4	31,8	31,6	32,60	33	35,1	32	31,9	33,00	35,6
03:30	26	26,3	26,4	26,33	25,8	26,3	26,1	26,4	26,27	25,5	15:30	33,1	32,2	32,1	32,47	33,4	33	32,4	32,4	32,60	35,9
04:00	26	26,1	26,2	26,13	25,6	26,1	25,9	26,2	26,07	25,2	16:00	33	32,5	32,4	32,63	33,6	33,1	32,7	32,7	32,83	35,9
04:30	26	25,9	26	25,97	25,4	26	25,7	26,1	25,93	25	16:30	32,7	32,3	32,4	32,47	33,4	32,8	32,5	32,6	32,63	35,6
05:00	26	25,8	25,9	25,83	25,2	25,8	25,6	25,9	25,77	24,8	17:00	32,5	32,2	32,4	32,37	33,2	32,7	32,4	32,6	32,57	35,3
05:30	26	25,6	25,7	25,63	25,1	25,6	25,4	25,7	25,57	24,6	17:30	32,4	32,1	32,3	32,27	33	32,5	32,2	32,5	32,40	34,9
06:00	26	25,5	25,6	25,53	24,9	25,5	25,3	25,6	25,47	24,5	18:00	32,2	31,9	32,2	32,10	32,8	32,2	32	32,3	32,17	34,5
06:30	26	25,5	25,5	25,50	24,8	25,5	25,3	25,6	25,47	24,4	18:30	31,9	31,6	31,9	31,80	32,5	31,9	31,6	32	31,83	33,9
07:00	25	25,4	25,5	25,43	24,7	25,4	25,2	25,5	25,37	24,4	19:00	31,5	31,3	31,6	31,47	32,2	31,5	31,2	31,6	31,43	33,3
07:30	26	25,4	25,5	25,47	24,7	25,4	25,2	25,5	25,37	24,4	19:30	31,2	31,1	31,3	31,20	31,8	31,3	31	31,4	31,23	32,8
08:00	26	25,5	25,5	25,53	24,8	25,5	25,3	25,5	25,43	24,5	20:00	30,9	30,8	31,1	30,93	31,4	31	30,7	31,1	30,93	32,2
08:30	26	25,7	25,6	25,70	25	25,7	25,5	25,7	25,63	24,7	20:30	30,6	30,5	30,8	30,63	31	30,7	30,5	30,8	30,67	31,6
09:00	26	25,9	25,8	25,90	25,2	25,9	25,7	25,9	25,83	25	21:00	30,3	30,2	30,5	30,33	30,6	30,4	30,2	30,6	30,40	31
09:30	26	26,2	26,1	26,23	25,6	26,1	26	26,1	26,07	25,5	21:30	29,9	29,9	30,1	29,97	30,2	30	29,8	30,2	30,00	30,4
10:00	27	26,5	26,4	26,57	26,1	26,5	26,4	26,5	26,47	26,2	22:00	29,6	29,5	29,7	29,60	29,7	29,6	29,4	29,8	29,60	29,9
10:30	27	27	26,8	27,03	26,7	27	26,9	26,9	26,93	27,2	22:30	29,3	29,2	29,4	29,30	29,4	29,4	29,1	29,5	29,33	29,4
11:00	28	27,5	27,3	27,57	27,5	27,6	27,5	27,4	27,50	28,3	23:00	29	28,9	29,1	29,00	29	29	28,8	29,2	29,00	29
11:30	29	28,1	27,9	28,20	28,3	28,4	28,1	28	28,17	29,6	23:30	28,7	28,6	28,8	28,70	28,6	28,7	28,5	28,9	28,70	28,5

Fonte: Autora.

Tabela B4 - Dados internos de temperatura dos protótipos, no dia 07/01/2020.

HORÁRIO	TELHADO VERDE ECOLÓGICO					TELHADO DE REFERÊNCIA					HORÁRIO	TELHADO VERDE ECOLÓGICO					TELHADO DE REFERÊNCIA				
	Paredes				Teto	Paredes				Teto		Paredes				Teto	Paredes				Teto
	T1 (°C)	T2 (°C)	T3 (°C)	Média (T1,T2,T3) (°C)	T4 (°C)	T5 (°C)	T6 (°C)	T7 (°C)	Média (T5,T6,T7) (°C)	T8 (°C)		T1 (°C)	T2 (°C)	T3 (°C)	Média (T1,T2,T3) (°C)	T4 (°C)	T5 (°C)	T6 (°C)	T7 (°C)	Média (T5,T6,T7) (°C)	T8 (°C)
00:00	27,5	27,5	27,5	27,50	27	27,5	27,3	28	27,47	27,1	12:00	28	27,8	27,5	27,77	27,7	27,9	27,8	27,7	27,80	28,5
00:30	27,3	27,3	27,4	27,33	26,8	27,3	27,1	27	27,27	26,9	12:30	28,4	28,2	28	28,20	28,2	28,4	28,3	28,2	28,30	29,4
01:00	27,1	27,1	27,2	27,13	26,6	27,1	26,9	27	27,10	26,6	13:00	28,8	28,5	28,3	28,53	28,7	28,7	28,7	28,5	28,63	30,2
01:30	26,9	26,9	27	26,93	26,4	27	26,8	27	26,97	26,4	13:30	29,4	29,2	29	29,20	29,4	29,4	29,4	29,2	29,33	31
02:00	26,7	26,7	26,8	26,73	26,2	26,8	26,6	27	26,77	26,1	14:00	30,1	29,9	29,6	29,87	30,2	30,1	30,1	29,9	30,03	31,9
02:30	26,5	26,5	26,6	26,53	26	26,5	26,3	27	26,47	25,9	14:30	30,5	30,2	30	30,23	30,7	30,5	30,4	30,3	30,40	32,5
03:00	26,3	26,3	26,4	26,33	25,8	26,3	26,1	26	26,27	25,7	15:00	30,9	30,6	30,4	30,63	31	31	30,8	30,7	30,83	33
03:30	26,1	26,1	26,2	26,13	25,6	26,1	25,9	26	26,07	25,4	15:30	33	31,2	31	31,73	31,6	32,5	31,5	31,4	31,80	33,6
04:00	25,9	25,9	26	25,93	25,4	26	25,8	26	25,93	25,2	16:00	32,1	31,6	31,4	31,70	32,1	32,2	31,9	31,8	31,97	34
04:30	25,8	25,8	25,9	25,83	25,2	25,8	25,6	26	25,77	25	16:30	32,2	31,9	31,8	31,97	32,3	32,3	32,1	32,1	32,17	34,2
05:00	25,7	25,7	25,8	25,73	25	25,7	25,5	26	25,63	24,8	17:00	31,9	31,6	31,7	31,73	32,1	32	31,9	32	31,97	34
05:30	25,5	25,5	25,6	25,53	24,9	25,5	25,3	26	25,47	24,6	17:30	31,4	31,2	31,4	31,33	31,7	31,6	31,4	31,7	31,57	33,5
06:00	25,4	25,4	25,5	25,43	24,8	25,4	25,2	26	25,37	24,4	18:00	31,2	30,9	31,2	31,10	31,5	31,4	31,2	31,6	31,40	33,2
06:30	25,3	25,3	25,4	25,33	24,6	25,4	25,1	25	25,30	24,3	18:30	30,9	30,7	31	30,87	31,2	31,2	31	31,3	31,17	32,8
07:00	25,3	25,3	25,4	25,33	24,6	25,3	25,1	25	25,27	24,3	19:00	30,7	30,5	30,8	30,67	30,9	30,9	30,7	31,1	30,90	32,2
07:30	25,4	25,3	25,4	25,37	24,6	25,4	25,2	25	25,33	24,3	19:30	30,4	30,3	30,5	30,40	30,5	30,7	30,4	30,8	30,63	31,7
08:00	25,5	25,4	25,4	25,43	24,7	25,4	25,2	25	25,33	24,4	20:00	30,1	30	30,2	30,10	30,2	30,3	30,1	30,5	30,30	31,1
08:30	25,6	25,5	25,5	25,53	24,8	25,5	25,3	26	25,43	24,5	20:30	29,7	29,7	29,9	29,77	29,8	30	29,7	30,2	29,97	30,6
09:00	25,7	25,6	25,6	25,63	24,9	25,6	25,5	26	25,57	24,8	21:00	29,4	29,4	29,6	29,47	29,4	29,7	29,4	29,9	29,67	30,1
09:30	25,9	25,8	25,7	25,80	25,1	25,7	25,6	26	25,67	25	21:30	29,1	29	29,3	29,13	29	29,3	29,1	29,5	29,30	29,6
10:00	26,2	26,1	25,9	26,07	25,4	26	25,9	26	25,97	25,4	22:00	28,9	28,8	29	28,90	28,6	29	28,8	29,2	29,00	29,1
10:30	26,5	26,4	26,2	26,37	25,8	26,3	26,3	26	26,27	26	22:30	28,6	28,5	28,7	28,60	28,3	28,7	28,5	28,9	28,70	28,7
11:00	27	26,8	26,6	26,80	26,3	26,8	26,8	27	26,80	26,7	23:00	28,3	28,3	28,4	28,33	28	28,4	28,2	28,6	28,40	28,3
11:30	27,5	27,3	27,1	27,30	27	27,3	27,2	27	27,23	27,6	23:30	28	27,9	28,1	28,00	27,7	28,1	27,9	28,3	28,10	27,9

Fonte: Autora.

Tabela B5 - Dados internos de temperatura dos protótipos, no dia 23/02/2020.

HORÁRIO	TELHADO VERDE ECOLÓGICO					TELHADO DE REFERÊNCIA					HORÁRIO	TELHADO VERDE ECOLÓGICO					TELHADO DE REFERÊNCIA				
	Paredes				Teto	Paredes				Teto		Paredes				Teto	Paredes				Teto
	T1 (°C)	T2 (°C)	T3 (°C)	Média (T1,T2,T3) (°C)	T4 (°C)	T5 (°C)	T6 (°C)	T7 (°C)	Média (T5,T6,T7) (°C)	T8 (°C)		T1 (°C)	T2 (°C)	T3 (°C)	Média (T1,T2,T3) (°C)	T4 (°C)	T5 (°C)	T6 (°C)	T7 (°C)	Média (T5,T6,T7) (°C)	T8 (°C)
00:00	27,4	27,3	27,5	27,40	27	27,7	27,5	27,8	27,67	27,5	12:00	28,1	27,8	27,6	27,83	28	28,2	27,9	27,9	28,00	29,3
00:30	27,2	27,1	27,3	27,20	26,8	27,5	27,3	27,6	27,47	27,2	12:30	28,7	28,4	28,2	28,43	28,7	28,8	28,7	28,6	28,70	30,4
01:00	27	27	27,1	27,03	26,6	27,3	27,1	27,4	27,27	27	13:00	29,2	28,9	28,6	28,90	29,6	29,3	29,1	29	29,13	31,6
01:30	26,9	26,8	27	26,90	26,5	27,1	26,9	27,3	27,10	26,7	13:30	29,6	29,3	29,1	29,33	30,3	29,9	29,7	29,6	29,73	32,6
02:00	26,7	26,6	26,8	26,70	26,2	27	26,7	27,1	26,93	26,4	14:00	30,2	29,8	29,6	29,87	31	30,4	30,2	30,1	30,23	33,5
02:30	26,5	26,5	26,6	26,53	26,1	26,8	26,6	26,9	26,77	26,2	14:30	30,7	30,4	30,2	30,43	31,7	31	30,8	30,7	30,83	34,3
03:00	26,4	26,4	26,5	26,43	25,9	26,7	26,4	26,8	26,63	26,1	15:00	31,2	30,9	30,7	30,93	32,2	31,5	31,3	31,3	31,37	35
03:30	26,3	26,2	26,4	26,30	25,8	26,5	26,3	26,6	26,47	25,8	15:30	31,5	31,2	31,1	31,27	32,6	31,8	31,5	31,6	31,63	35,4
04:00	26,2	26,1	26,3	26,20	25,6	26,4	26,2	26,5	26,37	25,7	16:00	31,7	31,4	31,4	31,50	32,7	32,1	31,9	32,1	32,03	35,5
04:30	26	26	26,1	26,03	25,5	26,3	26	26,4	26,23	25,5	16:30	31,7	31,5	31,6	31,60	32,7	32,2	31,9	32,2	32,10	35,5
05:00	25,9	25,8	26	25,90	25,3	26,1	25,9	26,2	26,07	25,4	17:00	31,9	31,7	31,9	31,83	32,8	32,5	32,2	32,5	32,40	35,4
05:30	25,7	25,7	25,8	25,73	25,2	26	25,7	26	25,90	25,2	17:30	31,9	31,6	31,9	31,80	32,8	32,4	32,1	32,5	32,33	35,3
06:00	25,6	25,6	25,7	25,63	25	25,8	25,6	25,9	25,77	25	18:00	31,6	31,4	31,8	31,60	32,5	32,1	31,9	32,4	32,13	34,9
06:30	25,6	25,5	25,7	25,60	25	25,8	25,6	25,9	25,77	24,9	18:30	31,4	31,2	31,6	31,40	32,3	31,9	31,6	32,1	31,87	34,5
07:00	25,6	25,5	25,6	25,57	24,9	25,8	25,5	25,8	25,70	24,8	19:00	31,2	31	31,4	31,20	32,1	31,7	31,4	31,9	31,67	34
07:30	25,6	25,5	25,6	25,57	24,9	25,7	25,5	25,8	25,67	24,8	19:30	31	30,8	31,2	31,00	31,7	31,5	31,2	31,7	31,47	33,5
08:00	25,7	25,6	25,6	25,63	24,9	25,8	25,6	25,8	25,73	24,8	20:00	30,7	30,5	30,9	30,70	31,3	31,2	30,9	31,4	31,17	32,8
08:30	25,8	25,6	25,7	25,70	25	25,8	25,6	25,8	25,73	24,9	20:30	30,4	30,2	30,6	30,40	30,9	30,9	30,6	31,1	30,87	32,3
09:00	25,9	25,8	25,8	25,83	25,1	25,9	25,8	25,9	25,87	25	21:00	30,1	30	30,3	30,13	30,5	30,6	30,3	30,8	30,57	31,7
09:30	26,2	26	25,9	26,03	25,3	26,1	26	26,1	26,07	25,4	21:30	29,9	29,8	30,1	29,93	30,1	30,3	30	30,5	30,27	31,1
10:00	26,5	26,2	26,1	26,27	25,6	26,4	26,3	26,3	26,33	25,8	22:00	29,6	29,5	29,8	29,63	29,8	30	29,7	30,2	29,97	30,7
10:30	26,8	26,6	26,5	26,63	26,1	26,7	26,7	26,6	26,67	26,6	22:30	29,4	29,3	29,5	29,40	29,4	29,7	29,5	29,9	29,70	30,2
11:00	27,2	26,9	26,8	26,97	26,6	27,1	27	27	27,03	27,2	23:00	29,1	29,1	29,3	29,17	29,1	29,5	29,2	29,7	29,47	29,8
11:30	27,7	27,3	27,2	27,40	27,3	27,6	27,5	27,4	27,50	28,2	23:30	28,9	28,8	29	28,90	28,8	29,2	29	29,4	29,20	29,4

Fonte: Autora.

Tabela B6 - Dados internos de temperatura dos protótipos, no dia 06/03/2020.

HORÁRIO	TELHADO VERDE ECOLÓGICO					TELHADO DE REFERÊNCIA					HORÁRIO	TELHADO VERDE ECOLÓGICO					TELHADO DE REFERÊNCIA				
	Paredes				Teto	Paredes				Teto		Paredes				Teto	Paredes				Teto
	T1 (°C)	T2 (°C)	T3 (°C)	Média (T1,T2,T3) (°C)	T4 (°C)	T5 (°C)	T6 (°C)	T7 (°C)	Média (T5,T6,T7) (°C)	T8 (°C)		T1 (°C)	T2 (°C)	T3 (°C)	Média (T1,T2,T3) (°C)	T4 (°C)	T5 (°C)	T6 (°C)	T7 (°C)	Média (T5,T6,T7) (°C)	T8 (°C)
00:00	27,8	27,8	27,9	27,83	27,3	27,9	28	28	27,87	27,7	12:00	27,7	27,4	27,3	27,47	27,5	27,5	27,5	27,2	27,40	28,6
00:30	27,5	27,5	27,7	27,57	27,1	27,7	27	27,8	27,63	27,4	12:30	28,2	27,9	27,7	27,93	28,2	28	28	27,7	27,90	29,6
01:00	27,3	27,4	27,5	27,40	26,8	27,5	27	27,6	27,43	27,1	13:00	28,6	28,4	28,1	28,37	28,8	28,5	28,5	28,2	28,40	30,5
01:30	27,2	27,2	27,3	27,23	26,6	27,3	27	27,4	27,23	26,8	13:30	29,1	28,9	28,7	28,90	29,6	29,2	29,1	28,8	29,03	31,5
02:00	27	26,9	27,1	27,00	26,4	27,1	27	27,1	27,00	26,5	14:00	29,7	29,4	29,2	29,43	30,3	29,7	29,7	29,4	29,60	32,5
02:30	26,8	26,8	26,9	26,83	26,2	26,9	27	26,9	26,80	26,3	14:30	30	29,8	29,6	29,80	30,7	30	30	29,8	29,93	33
03:00	26,6	26,6	26,7	26,63	26,1	26,7	26	26,7	26,60	26	15:00	30,4	30,2	30,1	30,23	31,3	30,5	30,5	30,3	30,43	33,7
03:30	26,4	26,4	26,5	26,43	25,8	26,5	26	26,5	26,40	25,8	15:30	30,7	30,5	30,5	30,57	31,6	30,9	30,8	30,7	30,80	34,1
04:00	26,1	26,2	26,3	26,20	25,6	26,3	26	26,3	26,20	25,5	16:00	31	30,8	30,8	30,87	31,8	31,1	31	31,1	31,07	34,3
04:30	26	26	26,1	26,03	25,5	26,1	26	26,1	26,00	25,3	16:30	31	30,8	30,9	30,90	31,8	31,2	31,1	31,2	31,17	34,3
05:00	25,8	25,8	25,9	25,83	25,3	25,9	26	25,9	25,80	25,1	17:00	31	30,9	31	30,97	31,7	31,3	31,2	31,4	31,30	34,1
05:30	25,6	25,6	25,7	25,63	25	25,7	25	25,7	25,60	24,8	17:30	31	30,9	31	30,97	31,7	31,2	31,1	31,4	31,23	33,9
06:00	25,4	25,4	25,5	25,43	24,9	25,5	25	25,6	25,43	24,6	18:00	30,9	30,8	30,9	30,87	31,6	31,1	31	31,3	31,13	33,6
06:30	25,3	25,3	25,4	25,33	24,7	25,4	25	25,4	25,30	24,4	18:30	30,7	30,7	30,8	30,73	31,4	31	30,9	31,2	31,03	33,2
07:00	25,3	25,3	25,4	25,33	24,6	25,3	25	25,4	25,27	24,2	19:00	30,6	30,6	30,7	30,63	31,2	30,9	30,8	31	30,90	32,7
07:30	25,3	25,2	25,3	25,27	24,5	25,3	25	25,3	25,20	24,2	19:30	30,5	30,5	30,6	30,53	30,9	30,7	30,6	30,9	30,73	32,3
08:00	25,4	25,3	25,3	25,33	24,5	25,3	25	25,3	25,23	24,2	20:00	30,3	30,3	30,3	30,30	30,6	30,5	30,4	30,7	30,53	31,8
08:30	25,5	25,4	25,4	25,43	24,6	25,3	25	25,3	25,23	24,2	20:30	30,1	30,1	30,2	30,13	30,3	30,3	30,2	30,5	30,33	31,4
09:00	25,7	25,5	25,5	25,57	24,8	25,4	25	25,3	25,33	24,4	21:00	29,9	29,9	29,9	29,90	30	30,1	29,9	30,3	30,10	30,9
09:30	25,9	25,7	25,6	25,73	25	25,6	26	25,5	25,53	24,7	21:30	29,6	29,6	29,7	29,63	29,7	29,8	29,7	30	29,83	30,5
10:00	26,2	26	25,9	26,03	25,3	25,8	26	25,7	25,77	25,1	22:00	29,4	29,3	29,4	29,37	29,4	29,5	29,4	29,7	29,53	30,1
10:30	26,5	26,3	26,2	26,33	25,7	26,2	26	26	26,10	25,7	22:30	29,1	29,1	29,2	29,13	29,1	29,3	29,1	29,5	29,30	29,7
11:00	26,9	26,7	26,5	26,70	26,3	26,6	27	26,4	26,50	26,5	23:00	28,9	28,9	29	28,93	28,9	29	28,9	29,2	29,03	29,3
11:30	27,3	27,1	26,9	27,10	26,8	27,1	27	26,8	26,97	27,5	23:30	28,6	28,6	28,7	28,63	28,6	28,8	28,6	29	28,80	28,9

Fonte: Autora.