COMPORTAMENTO TÉRMICO DE TELHADO VERDE NAS ESTAÇÕES ÚMIDA E SECA EM CLIMA TROPICAL

Wellington S. Silva (1); Ricardo V. R. Barbosa (2)
(1) Doutorando do Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo do Instituto de Arquitetura e Urbanismo, Arquiteto, Universidade de São Paulo, wellingtonsouza@usp.br
(2) Doutor, Professor do Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo - Dinâmicas do Espaço Habitado (PPGAU/DEHA), Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal de Alagoas, rvictor@fau.ufal.br
Universidade Federal de Alagoas, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo
Av. Lourival Melo Mota, s/n, Tabuleiro do Martins, Maceió-AL, CEP 57072-900

RESUMO
O objetivo desta pesquisa foi analisar o comportamento térmico de telhado verde nas estações úmida (período quente e úmido – QU) e seca (período quente e seco – QS) de um clima categoria As (tropical com estação seca de verão), segundo Köppen-Geiger. Para tanto, foi realizada pesquisa experimental com células teste na cidade de Arapiraca-AL, a partir de análise comparativa entre um telhado verde e um sistema com telhas cerâmicas. Foram monitoradas temperaturas superficiais internas e externas, a partir de imagens termográficas, tomadas em intervalos horários, durante um dia (24 h) para cada período. Os resultados mostraram que no período QU a resposta térmica quanto ao aquecimento superficial do telhado verde ocorreu de forma mais lenta e com menor intensidade, sugerindo a influência da maior retenção de umidade no solo neste comportamento. Por fim, observou-se que o telhado verde apresentou melhor desempenho térmico em relação à cobertura com telhas cerâmicas, em ambos os períodos monitorados, permitindo concluir que este sistema se apresenta como adequada estratégia bioclimática em clima tropical com estação seca de verão.

Palavras-chave: cobertura verde, comportamento térmico, células teste.

ABSTRACT
This research aimed to analyze the thermal behavior of green roof in the humid (hot and humid period – QU) and dry (hot and dry period – QS) seasons of a category As climate (tropical with dry summer season), according to Köppen-Geiger. For this, experimental research was carried out with test cells in the city of Arapiraca-AL, based on comparative analysis between a green roof and a system with ceramic tiles. Internal and external surface temperatures were monitored from thermographic images taken at time intervals during one day (24 h) for each period. The results showed that in the QU period the thermal response to surface heating of the green roof occurred slower and with lower intensity, suggesting the influence of higher soil moisture retention in this behavior. Finally, it was observed that the green roof presented better thermal performance concerning the roof with ceramic tiles, in both monitored periods, allowing to conclude that this system presents itself as an adequate bioclimatic strategy in tropical climate with dry summer season.

Keywords: green roof, thermal performance, test cells.

1. INTRODUÇÃO

Telhados verdes são "sistemas de cobertura constituídos por camadas especiais que proporcionam a sobrevivência e integridade física de uma massa de vegetação sobre a superfície superior da edificação" (PARIZOTTO FILHO, 2010, p. 89). Em sua composição básica, o telhado verde possui cinco camadas: impermeabilização da estrutura de suporte (laje ou outro elemento); camada de drenagem, destinada a escoar, drenar e armazenar água; camada de filtragem, para reter as partículas do solo e impedi-las de obstruir a circulação de ar e água na camada inferior (drenagem); substrato, que fornece os nutrientes e a estrutura de suporte às plantas; e a vegetação, com espécies adequadas à tipologia do telhado verde e ao clima local (RAPOSO, 2013; KOZMHINSKY, PINHEIRO, EL-DEIR, 2016).

Quanto às tipologias, os telhados verdes são classificados pela espessura do substrato, principalmente. A tipologia extensiva possui 0,05 m a 0,15 m de substrato, apresenta baixo peso estrutural (72,6kg/m² a 169.4 kg/m²) e suporta plantas rústicas ou rasteiras. Os telhados verdes intensivos, com espessura entre 0,20 m e 1,20m de substrato, possuem maior peso estrutural (290,0 kg/m² a 967,7 kg/m²) e grande variedade de espécies, suportando gramíneas, arbustos e árvores. Já a categoria semi-extensiva ou semi-intensiva, é um meio termo entre os dois tipos descritos anteriormente (PECK et. al., 1999; MINK, 2003; LOPES, 2007; BEATRICE, 2011; FERRAZ, 2012; KOZMHINSKY, PINHEIRO, EL-DEIR, 2016).

A utilização de telhados verdes promove inúmeros benefícios, tanto para a edificação como para o microclima. Dentre eles podemos citar o aumento da vida útil da estrutura da coberta, retenção de águas pluviais, redução da temperatura interna das edificações e externas na cidade e suprimento de falta de áreas vegetadas em centros urbanos consolidados, pois os jardins são transferidos para os telhados das edificações e, assim, diminuem as ilhas de calor (LOPES, 2007; SILVA, 2011; KOZMHINSKY, PINHEIRO, EL-DEIR, 2016; GARTLAND, 2010). Diante de tantas qualidades, a principal barreira para o amplo uso dos telhados verdes é econômica. Entretanto, o seu alto custo de implantação pode ser considerado investimento, pois eles reduzem em 14,5% o consumo anual de energia de um edifício (LOPES, 2007).

Em um estudo experimental realizado na cidade de São Carlos-SP, Vecchia (2005) analisou o comportamento do sistema de cobertura verde leve (CVL) frente a outras coberturas, como a telha cerâmica. Os dados coletados em protótipos mostraram que o CVL conferiu um atraso térmico de 4h e uma menor amplitude térmica dentre os sistemas analisados (cerâmica, fibrocimento, aço galvanizado e laje pré-moldada cerâmica). Já Santos (2016) estudou dois sistemas de telhado verde com variação de espécies vegetais (babosa e cacto coroa-de-frade) e o sistema tradicional de cobertura. Os resultados mostraram um melhor desempenho do telhado verde em comparação à telha cerâmica no clima semiárido da cidade de Caruaru - PE, se mostrando mais eficiente quando a temperatura externa ultrapassa 34 ºC.

A literatura sobre telhados verdes é ampla e envolve estudos com diferentes abordagens. Uma delas é estudar o telhado verde em diferentes climas (aspecto importante diante da diversidade climática brasileira), analisando seu desempenho térmico, viabilidade, impactos etc., como o estudo de Wilkinson e Feitosa (2015), que analisaram o desempenho térmico do telhado verde nas cidades do Rio de Janeiro (Brasil) e Sidney (Austrália). Além disso, é importante também estudar o comportamento do telhado verde diante às variações sazonais, haja vista alterações no comportamento da temperatura do ar, umidade relativa do ar, pluviosidade, radiação solar e demais elementos climáticos, que podem influenciar no desempenho do telhado verde.

2. OBJETIVO

O objetivo desta pesquisa foi analisar o comportamento térmico do telhado verde em duas estações distintas: uma úmida (período quente e úmido – QU) e outra seca (período quente e seco – QS), em clima de categoria As (tropical com estação seca de verão), segundo classificação de Köppen-Geiger.

3. MÉTODO

Considerando os métodos utilizados por Vecchia (2005) e Changolla-Aranda et.al. (2017) em seus estudos sobre desempenho térmico de coberturas a partir de células teste ou protótipos, a metodologia desta pesquisa foi experimental, utilizando monitoramento de temperaturas superficiais em coberturas de células teste construídas na cidade de Arapiraca-Alagoas.

3.1. Área de estudo

Arapiraca está localizada na mesorregião do Agreste Alagoano, no centro do estado de Alagoas, distante 132 km da capital do estado, Maceió. Ocupa uma área de 345,655 km², com estimativa de 233.047 habitantes

para 2020 (IBGE, 2021). A cidade encontra-se dentro da delimitação do Semiárido brasileiro junto com outros 37 municípios no estado de Alagoas, considerando como critérios de classificação a precipitação média anual igual ou interior a 800mm, índice de aridez de Thornthwaite igual ou inferior a 0,50 e percentual diário de déficit hídrico igual ou superior a 60% (considerando todos os dias do ano), conforme as resoluções nº 107, de 27/07/2017 e de nº 115, de 23/11/2017 (SUDENE, 2017; 2021).

Segundo a classificação climática proposta por Köppen-Geiger, o clima de Arapiraca é tropical com estação seca de verão, categoria As, considerando o pressuposto que a vegetação natural de cada região é a expressão do clima prevalecente (KOTTERK et al, 2006). Estudos recentes do clima local realizados por Silva (2019) apresentaram duas estações características para a cidade: um verão quente e pouco chuvoso (outubro a março), também chamado de quente e seco (QS), e um inverno mais ameno e chuvoso (abril a setembro) ou quente e úmido (QU). A Figura 1 apresenta um gráfico do comportamento médio mensal da temperatura do ar e da umidade relativa apresentados por Silva (2019). O mês mais quente, identificado pela autora, foi dezembro, com 33,2 ºC de temperatura máxima média, enquanto o mês mais frio foi agosto, com 18,6 ºC de temperatura mínima média.

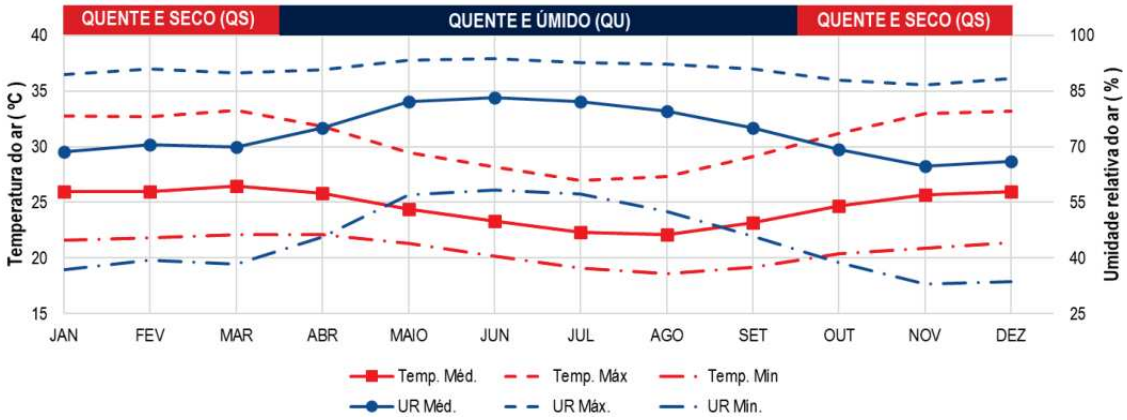


Figura 1 – Temperatura e umidade relativa média mensal do ar de Arapiraca, Alagoas
Fonte: Adaptado de SILVA, 2019

A temperatura média do ar varia entre 22,1 ºC e 26,5 ºC, com amplitudes térmicas entre 8ºC (meses chuvosos) e 12ºC (meses secos). A umidade relativa média do ar varia entre 70% e 80%, atingindo valores menores que 50% no período seco. As chuvas ocorrem entre abril e setembro vindas principalmente da direção Sudeste, com precipitação anual média de 890,0 mm. Os ventos são oriundos principalmente de Leste e Sudeste com velocidade entre 1,6 a 3,4 m/s (fraco) e 3,4 a 5,5 m/s (bonançoso) (SILVA, 2019).

3.2. Descrição das células teste

As células teste utilizadas encontram-se construídas em um *Campus* da Universidade Federal de Alagoas na cidade de Arapiraca. Elas estão afastadas entre si no mínimo 3,2 m e no máximo 4,0 m, dispostas intercaladas de modo a não influenciar no comportamento da célula teste mais próxima, considerando a trajetória solar e a predominância dos ventos na região. A Figura 2 ilustra o dimensionamento das células teste.

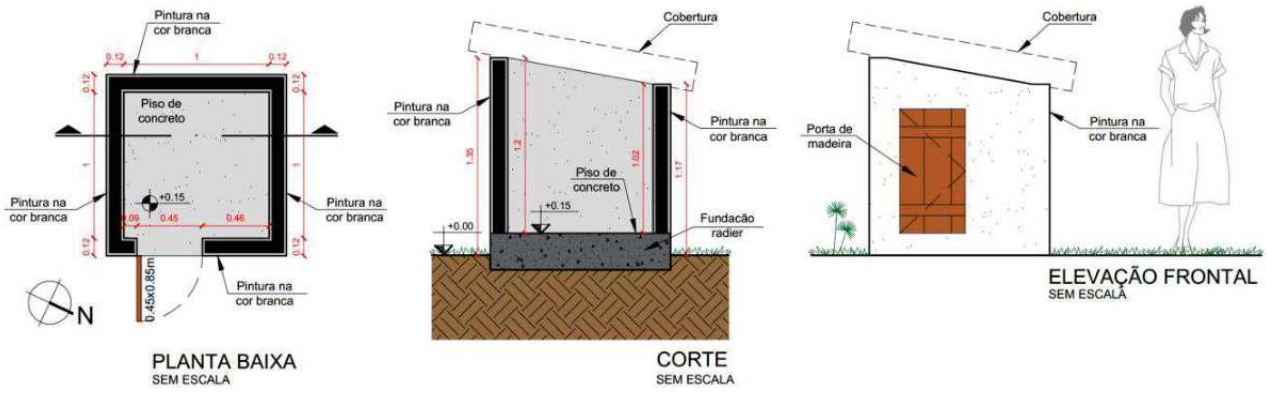


Figura 2 – Projeto das células teste
Fonte: Elaborado pelos autores

Elas são similares quanto às dimensões, aberturas, elementos construtivos e orientação solar. O projeto permite um volume interno de 1,0m³. A fundação é tipo radier, piso de concreto, alvenaria em tijolo cerâmico seis furos (9,0 x 14,0 x 19,0cm), assentados com argamassa de cimento e areia média, rebocada (1,5cm) com chapisco e emboço em ambos os lados (interno e externo) e com faces externas pintadas na cor branca. A única abertura possui uma porta feita de madeira nas dimensões 45,0 x 85,0cm. A estrutura permite a instalação de coberturas com inclinação de 20% voltadas para Norte, visando receber radiação solar o dia inteiro. Esses módulos experimentais são semelhantes em dimensão aos modelos utilizados por Wilkinson e Feitosa (2015), Chagolla-Aranda et. al. (2017) e Osuna-Motta, Herrera-Cáceres e López-Bernal (2017). Segundo Givoni (1998), a utilização de modelos reduzidos pode reproduzir as temperaturas internas de edifícios desde que os elementos da envoltória da edificação sejam os mesmos, considerando materiais, espessura etc.

Para esta pesquisa, foram utilizados dois sistemas de cobertura: telhado verde e cobertura com telha cerâmica. A escolha de análise comparativa com sistema de telha cerâmica deu-se por este ser mais comumente empregado na região.

3.3. Telhado verde

A tipologia selecionada de telhado verde foi a modalidade extensiva devido à fácil instalação e manutenção. A estrutura de suporte utilizada na célula teste foi uma laje cerâmica impermeabilizada com manta líquida na cor branca. O telhado verde foi composto de: argila expandida graúda (7,0cm) como drenagem; manta de jardim (filtro), também chamada manta bidim; substrato (10,0cm - valor médio para um sistema extensivo de telhado verde) composto de solo, areia e esterco caprino na proporção 2:1:1 - traço recomendado por Furtado (2019)); e *Zoysia japonica* (grama-esmeralda) como espécie vegetal, selecionada por apresentar rápida cobertura do solo, já que seu plantio ocorre a partir de tapetes pré-cultivados da vegetação. A manutenção do telhado verde consistiu na irrigação diária realizada no final do dia, a partir das 16:30h. A Figura 3 apresenta a sequência de instalação das camadas do telhado verde extensivo.

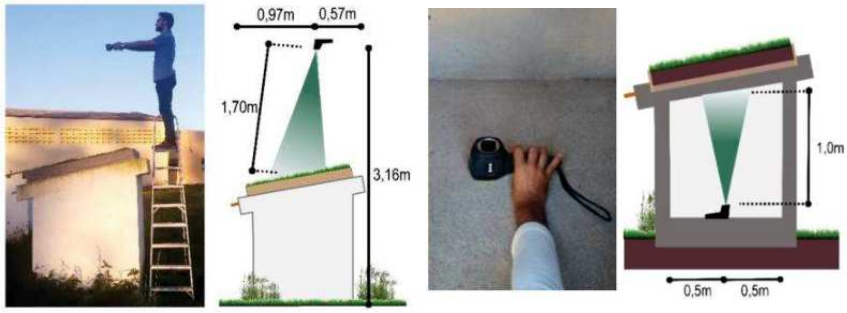


(a) (b) (c) (d)

Figura 3 – Instalação das camadas de (a) drenagem, (b) filtro, (c) substrato e (d) vegetação na célula teste
Fonte: Elaborado pelos autores

3.4. Monitoramento de dados

As temperaturas superficiais internas (Ts.in) e externas (Ts.ex) foram obtidas a partir de imagens termográficas registradas com uma câmera termográfica modelo FLIR i7 da FLIR® Systems, com resolução 120 x 120 pixels de infravermelho e precisão de ±2,0°C para uma temperatura ambiente entre 10°C e 35°C (FLIR, 2010). Para o registro da temperatura superficial interna (Ts.in), a câmera termográfica foi posicionada próximo ao piso da célula teste, distante aproximadamente 1,0m da cobertura. Para a face externa, os registros foram feitos a uma distância média de 1,70 m do ponto central da cobertura, como ilustrado pela Figura 4. As imagens foram tratadas no *software* FLIR Tools, vinculado ao equipamento, que permitiu ajustar a paleta de cores para *raibow* e definir os limites de temperatura. Através do mesmo *software* foi possível encontrar os valores médios de temperatura superficial nas imagens registradas, a partir de formas geométricas simples (ponto, reta, retângulo e círculo ou elipse) sobrescritas na imagem. Esses foram os valores de temperatura superficial utilizados na análise dos resultados.



(a) (b) (c) (d)

Figura 4 – Posicionamento do equipamento para o registro termográfico externo (a) e (b); e interno (c) e (d)
Fonte: Elaborado pelos autores

O monitoramento temperatura superficial foi horário e ocorreu em dois dias, um dia no período quente e úmido (17 de julho de 2019 - 15 dias após o plantio da vegetação no telhado verde) e outro no período quente e seco (14 de novembro de 2019 - 135 dias após o plantio da *Zoysia japonica*). Os dados do comportamento climático foram obtidos a partir de uma estação meteorológica automática Davis® Vantage Pro2™ - Conjunto de Sensores Integrados (ISS) - modelo wireless, instalada a 1,5m do solo, distante 9,0m das células teste.

O dia de campanha no período QU (17/07/2019) apresentou amplitude térmica de 9,2°C. A temperatura do ar (Ta.ex) atingiu máxima de 27,4°C, às 14h – valor superior à média esperada de 27,0 °C. A umidade relativa do ar (Ua.ex) alcançou mínima de 64% - valor superior à média esperada de 57,2% (Figura 5 e Tabela 1). Os valores médios mensais foram extraídos de Silva (2019). Houve precipitação nos horários 23h e 24h, 1,02mm e 0,76mm de pluviosidade, respectivamente. Durante a maior parte do dia, o céu permaneceu parcialmente encoberto, apenas no início da manhã (6h, 7h e 8h) e final da tarde (16h e 17h) o céu se apresentou claro, com radiação solar global máxima diária de 875,0W/m² (11h), como mostra a Figura 6. De maneira geral, esse dia pode ser considerado típico para o período quente e úmido da cidade.

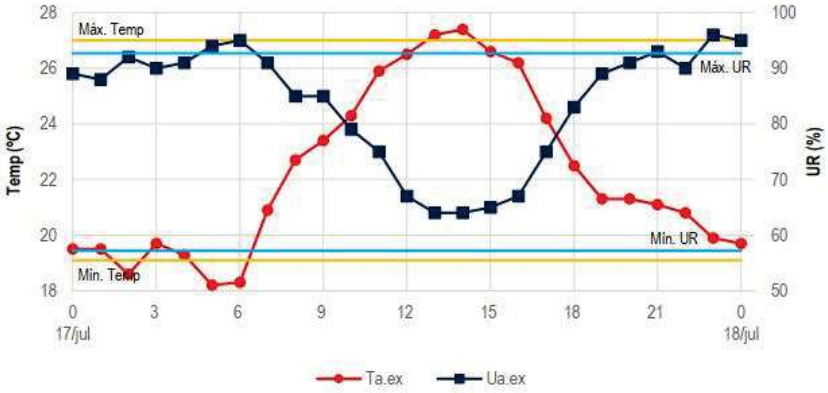


Figura 5 – Gráfico do comportamento da Ta.ex e Ua.ex no dia 17/07/2019 e média das temperaturas e umidades relativas mínimas e máximas diária para o mês de julho, de acordo com Silva (2019)
Fonte: Elaborado pelos autores



Figura 6 – Gráfico do comportamento da radiação solar global no dia 17/07/2019
Fonte: Elaborado pelos autores

Tabela 1 – Valores máximos e mínimos diários registrados pela estação automática no dia 17/07/2019
Fonte: Elaborado pelos autores

	17/07/2019		Média mensal – JUL SILVA (2019)	
	Ta.ex (ºC)	Ua.ex (%)	Ta.ex (ºC)	Ua.ex (%)
Máxima	27,4	96,0	27,0	92,7
Mínima	18,2	64,0	19,1	57,2
Amplitude / Variação	9,2	32,0	7,9	35,5

O dia monitorado no período QS (14/11/2019) apresentou uma amplitude térmica de 11,3°C. A temperatura do ar atingiu máxima de 31,7°C, às 13h – valor inferior à média esperada de 33,0°C. A umidade relativa do ar alcançou mínima de 49% - valor superior à média esperada de 32,9% (Figura 7 e Tabela 2). Os dados de precipitação foram nulos. Os registros de radiação solar global evidenciam condições de céu claro no início e fim do dia, permanecendo parcialmente encoberto nos demais horários, com máxima diária de

1107,0 W/m² (11h), como mostra a Figura 8. Assim, pode-se afirmar que esse dia apresentou comportamento de uma fase de transição entre as estações úmida (período quente e úmido) e seca (período quente e seco), no contexto climático em estudo.

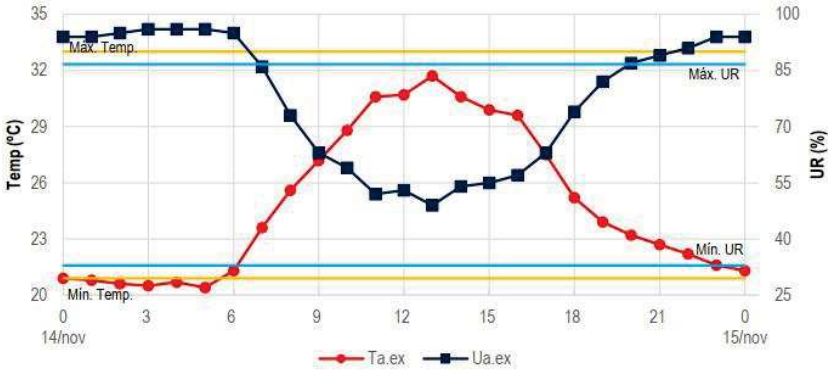


Figura 7 – Gráfico do comportamento da Ta.ex e Ua.ex no dia 14/11/2019 e média das temperaturas e umidades relativas mínimas e máximas diária para o mês de julho, de acordo com Silva (2019)
Fonte: Elaborado pelos autores



Figura 8 – Gráfico do comportamento da radiação solar global no dia 14/11/2019
Fonte: Elaborado pelos autores

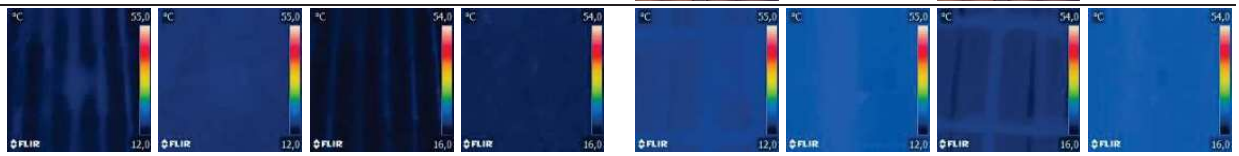
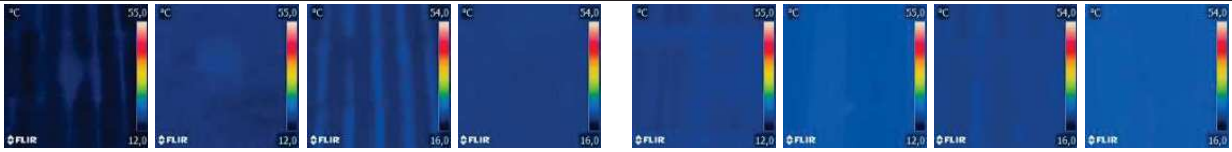
Tabela 2 – Valores máximos e mínimos diários registrados pela estação automática no dia 14/11/2019
Fonte: Elaborado pelos autores

	14/11/2019		Média mensal – NOV SILVA (2019)	
	Ta.ex (ºC)	Ua.ex (%)	Ta.ex (ºC)	Ua.ex (%)
Máxima	31,7	96,0	33,0	86,7
Mínima	20,4	49,0	20,9	32,9
Amplitude / Variação	11,3	47,0	12,1	53,8

4. RESULTADOS

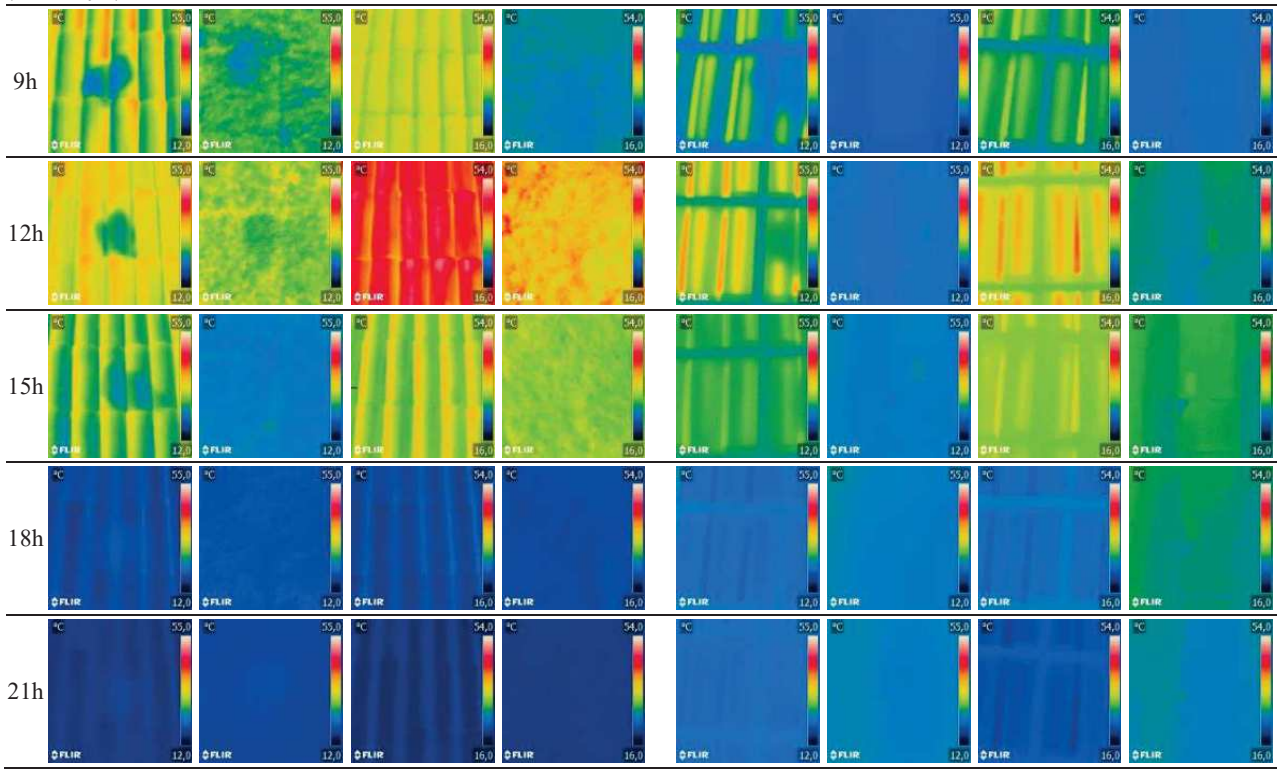
O Quadro 1 reuni algumas das imagens termográficas internas e externas registradas nos dois dias de monitoramento de dados, 17 de julho de 2019 e 14 de novembro de 2019. Já os gráficos das Figuras 9 a 12 apresentam o comportamento horário das temperaturas superficiais externas (Ts.ex) e internas (Ts.in) nas coberturas, respectivamente, além dos dados de radiação solar global e temperatura do ar externo (Ta.ex) para os dois períodos monitorados, quente e úmido e quente e seco.

Quadro 1 – Fotografias termográficas externas e internas das coberturas a cada 3h nos dois dias de monitoramento
Fonte: Elaborado pelos autores

	TEMP. SUP. EXTERNA (Ts.ex)				TEMP. SUP. INTERNA (Ts.in)			
	QUENTE E ÚMIDO (QU) – 17/07/2019		QUENTE E SECO (QS) – 14/11/2019		QUENTE E ÚMIDO (QU) – 17/07/2019		QUENTE E SECO (QS) – 14/11/2019	
	Telha cerâmica (TC)	Telhado verde (TV)	Telha cerâmica (TC)	Telhado verde (TV)	Telha cerâmica (TC)	Telhado verde (TV)	Telha cerâmica (TC)	Telhado verde (TV)
								
3h								
6h								

(continua)

(continuação)



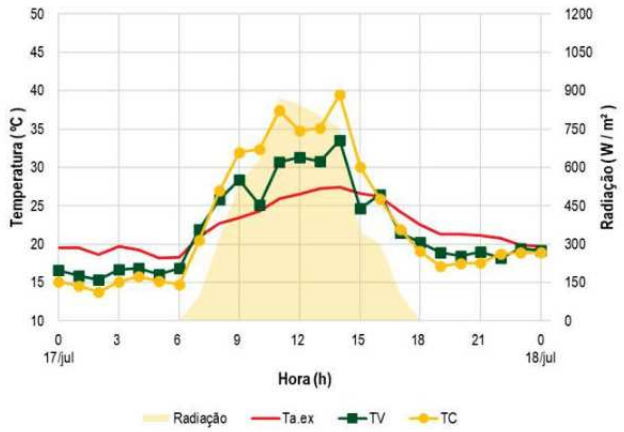


Figura 9 – Gráfico do comportamento da radiação solar global, da Ta.ex e Ts.ex nas coberturas no dia 17/07/2019 (QU)
Fonte: Elaborado pelos autores

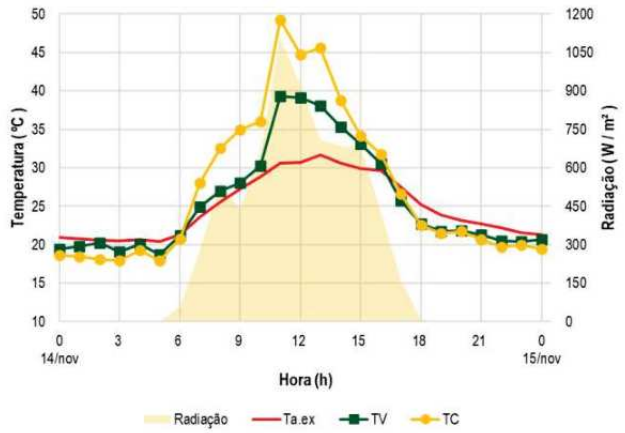


Figura 10 – Gráfico do comportamento da radiação solar global, da Ta.ex e Ts.ex nas coberturas no dia 14/11/2019 (QS)
Fonte: Elaborado pelos autores

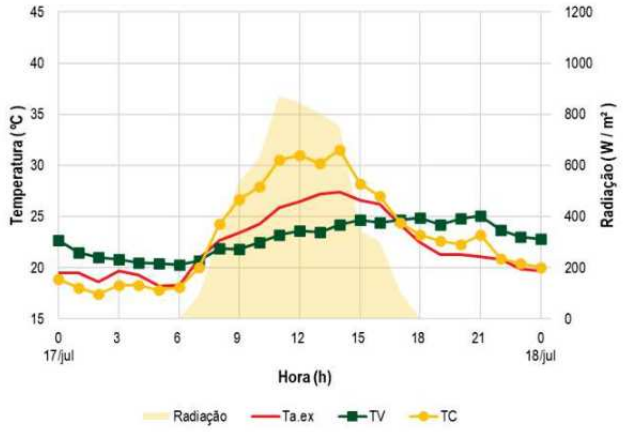


Figura 11 – Gráfico do comportamento da radiação solar global, da Ta.ex e Ts.in nas coberturas no dia 17/07/2019 (QU)
Fonte: Elaborado pelos autores

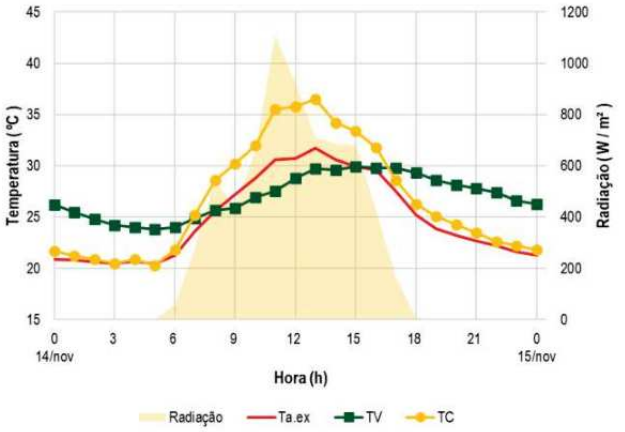


Figura 12 – Gráfico do comportamento da radiação solar global, da Ta.ex e Ts.in nas coberturas no dia 14/11/2019 (QS)
Fonte: Elaborado pelos autores

Fica evidente a influência da radiação solar na temperatura superficial externa (Ts.ex) das coberturas. No período QS a radiação mais elevada permitiu valores maiores de Ts.ex que no período QU, provocando a manutenção da Ts.in mais elevada por mais tempo que no período QU. O comportamento da radiação solar nos dois dias, sobretudo no período QU, demonstra presença de nebulosidade na maior parte do dia com um céu parcialmente nublado, que teve influência na Ts.ex, sobretudo no período QU, permitindo que os valores de Ts.ex oscilassem mais que no período QS.

De maneira geral o telhado verde (TV) apresentou comportamento semelhante nos dois períodos quando comparado à telha cerâmica (TC), permanecendo com valores menores que ela (TC) no período de influência da radiação solar. A principal diferença é encontrada no tempo de resposta da Ts.ex à radiação solar. No QU as diferenças entre TC e TV são expressivas (maiores que a precisão do equipamento – ±2,0 °C) a partir das 9h, enquanto que no QS a resposta da Ts.ex ocorreu logo após o início da radiação solar, iniciando com 3,1 °C de diferença entre os valores monitorados no TV e na TC às 7 h.

Não foram encontradas diferenças no comportamento da temperatura superficial interna (Ts.in) no TV entre os períodos QU e QS, mas na magnitude dos valores. No período QS, por apresentar maior radiação solar, o substrato no TV retém mais energia por ser um elemento de alta capacidade térmica, e essa energia é emitida pela cobertura para o interior da célula teste no final do dia. Como a radiação solar é mais elevada no período QS, os valores de Ts.in no TV nesse período são mais elevados em relação à TC, que no período QU, no qual o TV absorve menos energia. A Tabela 3 e as Figuras 13 e 14 apresentam essas diferenças entre os valores de temperaturas superficiais encontrados no TV e na TC nos períodos QU e QS.

Tabela 3 – Diferença entre os valores de temperatura superficial monitorados no telhado verde (TV) e na cobertura com telha cerâmica (TC) nos dias 17/07/2019 (QU) e 14/11/2019 (QS)
Fonte: Elaborado pelos autores

	TEMP. SUP. EXTERNA		TEMP. SUP. INTERNA	
H	**QU**	**QS**	**QU**	**QS**
0	1,5	0,8	3,8	4,5
1	1,3	1,3	3,5	4,3
2	1,6	2,1	3,6	3,9
3	1,6	1,2	2,5	3,7
4	1,1	0,8	2,2	3,1
5	0,9	0,8	2,6	3,5
6	2,2	0,4	2,2	2,2
7	1,4	-3,1	0,7	-0,3
8	-1,2	-5,6	-2,4	-2,9
9	-3,5	-7	-4,9	-4,3
10	-7,3	-5,7	-5,4	-5,1
11	-6,7	-9,9	-7,3	-8
12	-3,5	-5,6	-7,4	-7
13	-4,3	-7,5	-6,7	-6,8
14	-6	-3,5	-7,3	-4,6
15	-5,4	-1,1	-3,5	-3,5
16	0,5	-1,3	-2,6	-2
17	-0,4	-0,9	0,3	1,2
18	1,1	0,2	1,7	3
19	1,8	0,2	1,6	3,5
20	1	0,1	2,5	3,8
21	1,4	0,6	1,9	4,3
22	-0,5	0,8	2,8	4,8
23	0,5	0,4	2,6	4,4
24	0,3	1,3	2,8	4,5

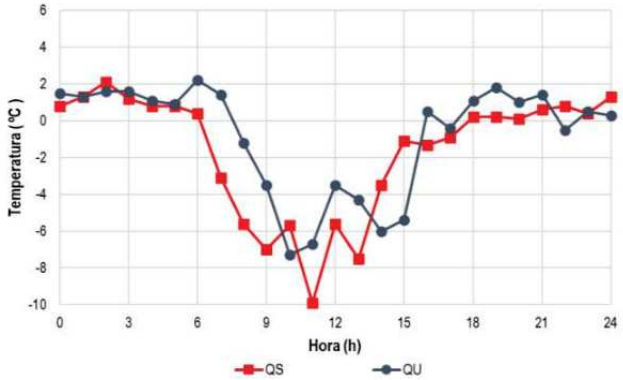


Figura 13 – Gráfico da diferença entre os valores de temperatura superficial externa monitorado no telhado verde (TV) e na cobertura com telha cerâmica (TC) nos dias 17/07/2019 (QU) e 14/11/2019 (QS)
Fonte: Elaborado pelos autores

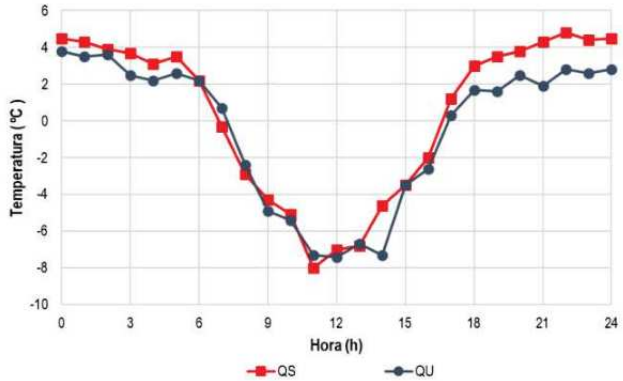


Figura 14 – Gráfico da diferença entre os valores de temperatura superficial interna monitorado no telhado verde (TV) e na cobertura com telha cerâmica (TC) nos dias 17/07/2019 (QU) e 14/11/2019 (QS)
Fonte: Elaborado pelos autores

As diferenças de temperatura superficial externa (Ts.ex) verificadas entre o TV e a TC apresentaram muitas variações de valores a partir das 9 h. Não foi possível observar um padrão que permitisse inferir diferenças ou semelhanças de comportamento entre os dois períodos monitorados. Entretanto, é possível

confirmar a diferença na resposta térmica à radiação solar, efeito já observado nos gráficos das Figuras 9 e 10.

No período QS essa resposta ocorreu mais cedo (2 h) e com maior intensidade (3,2 ºC de diferença) que no período QU, resultado das diferentes umidades nas superfícies (coberturas) e da umidade relativa do ar nos períodos. No período QS o TV apresentou-se mais úmido que a TC, principalmente devido a irrigação que a cobertura recebia. Além disso o ar encontrava-se mais seco (menores valores de umidade relativa do ar - UR), e acabava retirando umidade das superfícies. A TC, que já encontra-se com pouca umidade, aquecia mais rápido e provocava diferenças entre TV e TC na Ts.ex mais rápidas no QS que no período QU. Neste último (QU), o ar necessitava de uma menor quantidade de umidade pois já se encontrava com valores elevados de UR, portanto as diferenças entre TV e TC são mais expressivas quando a radiação solar se eleva.

Na temperatura superficial interna (Ts.in) as diferenças entre TV e TC atingem valores acima de 7,0 ºC. Entretanto, quando os períodos QU e QS são comparados, diferenças acima da precisão do equipamento (±2,0 °C) ocorrem apenas após o pôr do sol. Devido ao maior aquecimento da estrutura, no período QS a Ts.in apresenta maiores diferenças em relação à TC, confirmando o que havia sido observado nos gráficos anteriores. Por outro lado, no restante do período monitorado, as diferenças de comportamento nos períodos QU e QS são muito pequenas ou bem próximas à precisão do equipamento.

5. CONCLUSÕES

A análise das temperaturas superficiais permitiu concluir que o telhado verde apresentou comportamento semelhante para os dois períodos. Embora no período QS o telhado verde tenha apresentado maiores temperaturas superficiais internas no período noturno e uma resposta mais rápida na temperatura superficial em relação à radiação solar.

Os resultados mostram apenas indícios de que o telhado verde tem comportamento similar independente da estação na cidade de Arapiraca - AL, pois foram analisados apenas um único dia em cada período (QU e QS), devido o equipamento utilizado na coleta de temperaturas superficiais (câmera termográfica) realizar apenas a leitura manual da variável. Além disso, nos dois períodos o telhado verde recebeu irrigação até o dia anterior ao monitoramento de dados. O monitoramento ou simulação anual dos dados pode melhorar a compreensão do comportamento térmico do telhado verde, principalmente se ele estiver funcionando de maneira natural, sem receber água além da precipitação natural e com espécie vegetal adaptada à períodos de seca.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BEATRICE, Caio Cury. **Avaliação do potencial de uso de três espécies vegetais como cobertura leve de telhados em edificações**. 2011. 125 f. Dissertação (Mestrado em Ciências da Engenharia Ambiental) – Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Carlos, 2011. Disponível em:<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18139/tde-22092011-151752/pt-br.php>. Acesso em: 09 jan. 2021.

CHAGOLLA-ARANDA, M.A.; SIMÁ, E.; XAMÁN, J.; ÁLVAREZ, G.; HERNÁNDEZ-PÉREZ, I.; TÉLLEZ-VELÁZQUEZ, E. Effect of irrigation on the experimental termal performance of green roof in a semi-warm climate in Mexico. **Energy and Buildings**, v. 154, p. 232-243, 2017. DOI: http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2017.08.082. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S037877881732412X>. Acesso em: 21 jan. 2021.

FERRAZ, Iara Lima. **O desempenho térmico de um sistema de cobertura verde em comparação ao sistema tradicional de cobertura com telha cerâmica**. 2012. 133f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Construção Civil e Urbana – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Departamento de Engenharia de Construção Civil, 2012. Disponível em: <https://teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3146/tde-07062013-144209/publico/IaraLimaFerraz_CoberturasVerdes.pdf >. Acesso em: 03 mar. 2021.

FLIR. **FLIR i3, FLIR i5, FLIR i7, Extech IRC30 Manual do utilizador**. 2010. Disponível em: <https://www.eletropecas.com/_uploads/ProdutoDownload/produto_6419.pdf>. Acesso em: 20 out. 2019.

FURTADO, Daniela Cavalcanti de Medeiros. **Traço para substrato em telhado verde** [mensagem pessoal]. Mensagem recebida por <wellington-souza94@hotmail.com> em 28 de junho de 2019.

GARTLAND, Lisa. **Ilhas de Calor**: como mitigar zonas de calor em áreas urbanas. Tradução Silvia Helena Gonçalves. São Paulo: Oficina dos Textos, 2010.

GIVONI, Baruch Effectiveness of mass and night ventilation in lowering the indoor daytime temperatures. Part I: 1993 experimental periods. **Energy and Buildings**, v. 28, p. 25-32, 1998. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S037877889700056X>. Acesso em: 20 mar. 2021.

GOOGLE EARTH. **Google Earth**. Website. 2020. Disponível em: <https://www.google.com.br/intl/pt-BR/earth/>. Acesso em: 07 jan. 2020.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Arapiraca.** Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/al/arapiraca/panorama> Acesso em: 18 de mar. 2021.

KOTTERK, Markus; GRIESER, Jürgen; BECK, Christoph; RUDOLF, Bruno; RUBEL, Frank. World Map of the Köppen-Geiger climate classification updated. **Meteorologische Zeitschrift**, Berlim, v. 15, p. 259-263, jun. 2006. DOI: 10.1127/0941-2948/2006/0130. Disponível em: <http://koeppen-geiger.vu-wien.ac.at/present.htm>. Acesso em: 08 abr. 2021.

KOZMHINSKY, Marcelo; PINHEIRO, Sara Maria Gomes, EL-DEIR, Soraya Giovanetti. **Telhados verdes**: uma iniciativa sustentável. Recife: EDUFRPE, 2016. 65p.

LOPES, Daniele Arantes Rodrigues. **Análise do comportamento térmico de uma cobertura verde leve (CVL) e diferentes sistemas de cobertura**. 2007. 145 f. Dissertação (Mestrado em Ciências da Engenharia Ambiental) – Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Carlos, 2007. Disponível em: <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18139/tde-11122007-093813/pt-br.php>. Acesso em: 10 fev. 2021.

MINK, Gernot**. Techos verdes**: planificación, ejecución, consejos prácticos. Montevideo: Fin de Siglo, [2003?]. 86p.

OSUNA-MOTTA, Iván; HERRERA-CÁCERES, Carlos; LÓPEZ-BERNAL, Oswaldo. Techo plantado como dispositivo de climatización pasiva en el trópico. **Revista de Arquitectura**, Bogotá, v. 19(1), p. 42-55, 2017. DOI: http://dx.doi.org/10.14718/RevArq.2017.19.1.1109. Disponível em: <http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S1657-03082017000100042&lng=es&nrm=is&tlng=pt >. Acesso em: 21 mar. 2021.

PARIZOTTO FILHO, Sergio. Telhado vegetado. In: LAMBERTS et. al. **Casa eficiente:** bioclimatologia e desempenho térmico. Florianópolis: UFSC/LabEEE, 2010, v. 1. p. 89-122. Disponível em: <http://www.labeee.ufsc.br/sites/default/files/publicacoes/livros/CasaEficiente_vol_I_WEB.pdf>. Acesso em: 10 mar. 2020.

PECK, Steven W. et. al. **Greenbacks from green roofs**: forcing a new industry in Canada status report on benefits, barriers and opportunities for green roof and vertical garden technology diffusion. Canadá: Canada Mortgage and Housing Corporation, 1999. Disponível em: <https://www.nps.gov/tps/sustainability/greendocs/peck-sm.pdf>. Acesso em: 13 mar. 2021.

RAPOSO, Fausto Miguel Ferreira. **Manual de boas práticas de coberturas verdes**. Análises de casos de estudo. 2013. 187 f. Dissertação (Mestrado em Construção e Reabilitação) – Técnico Lisboa, Lisboa, 2013. Disponível em: <https://fenix.tecnico.ulisboa.pt/downloadFile/395146020357/Dissertacao_CobVerdes_FRaposo_R01.pdf>. Acesso em: 18 jan. 2021.

SANTOS, Gilles Chaves dos. **Desempenho térmico de telhados verdes no agreste pernambucano**. 2016. 95 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) – Centro Acadêmico do Agreste, Universidade Federal de Pernambuco, Caruaru, 2016. Disponível em: <https://www3.ufpe.br/ppgecam/images/documentos/Dissertacoes/2016/dissertacao%20gilles.pdf>. Acesso em: 16 dez. 2020.

SILVA, Mônica Ferreira da. **Estratégias bioclimáticas para seis cidades alagoanas**: contribuições para a adequação da arquitetura ao clima local. 2019. 185 f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo: Dinâmicas do Espaço Habitado) – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2019.

SILVA, Neusiane da Costa**. Telhado verde:** sistema construtivo de maior eficiência e menor impacto ambiental. Belo Horizonte: 2011. Monografia (Curso de Especialização em Construção Civil). Escola de Engenharia da UFMG, 2011. Disponível em: <https://repositorio.ufmg.br/handle/1843/BUOS-9AEGBV>. Acesso em: 3 jan 2020.

SUDENE. Superintendência de Desenvolvimento do Nordeste. **Delimitação do semiárido** - Alagoas. [S. I.]: ODNE, 2017. 1 mapa, color. Disponível em: <http://antigo.sudene.gov.br/images/arquivos/semiarido/arquivos/mapa-semiarido-1262municipios-Sudene.pdf>. Acesso em: 09 abr. 2021.

_____. **Delimitação do semiárido**. Website. 2021. Disponível em: <http://antigo.sudene.gov.br/delimitacao-do-semiarido>. Acesso em: 09 abr. 2021.

VECCHIA, Francisco. Cobertura verde leve (CVL): ensaio experimental. In: ENCONTRO NACIONAL, 8., ENCONTRO LATINO-AMERICANO DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 4., 2005. Maceió. **Anais eletrônicos [...]**. Maceió, 2005. Disponível em: <http://www.infohab.org.br/encac/files/2005/ENCAC05_2146_2155.pdf>. Acesso em: 14 nov. 2019.

WILKINSON, Sara; FEITOSA, Renato Castiglia. Retrofitting housing with lightweight green roof technology in Sydney, Australia, and Rio de Janeiro, Brazil. **Sustainability**, Basel, v. 7, p. 1081-1098, 2015. DOI: 10.3390/su7011081. Disponível em: < https://www.mdpi.com/2071-1050/7/1/1081/htm>. Acesso em: 05 nov. 2019.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a CAPES e ao CNPq pelo apoio por meio da concessão de bolsa de mestrado, e ao Laboratório de Fisiologia e Parasitologia Animal da Universidade Federal de Alagoas, Campus Arapiraca, pelo empréstimo da câmera termográfica.