

Telhado verde e seu desempenho térmico em residências de regiões semiáridas

Green roof and its thermal performance in residences in semi-arid regions

Josias Jordão Andrade Alves¹, Cinara Wanderléa Félix Bezerra², Renato Veríssimo da Silva Filho³, José Victor da Silva Souza⁴, José Allysson Cordeiro⁴, Luzia Ferreira da Silva⁵

RESUMO: O telhado verde é utilizado como alternativa para o resfriamento térmico residencial, pois auxilia na transferência de calor e proporciona benefícios ambientais e econômicos. Desta forma, esta pesquisa objetivou avaliar se a presença do telhado verde altera as condições térmicas residenciais em região semiárida. O telhado verde foi conduzido em área residencial, onde se instalaram dois sensores (termo-higrômetro) em ambiente interno e externo. Foi determinada uma área de 8,4 m² para o telhado verde, onde foram instaladas quatro camadas (compensado de madeira, carpete, papelão e substrato) e, em seguida, realizado o transplante de *Selaginella convoluta* (Selaginellaceae). Os tratamentos foram realizados em duas situações distintas, analisando o ambiente interno e externo, com e sem utilização de telhado verde (EXTER_S, EXTER_C, INTER_S e INTER_C). Os dados da temperatura e umidade relativa foram coletados às 09, 15 e 21 horas durante oito dias e submetidos ao teste de Tukey ($p < 0,05$). A temperatura média às 09 horas foi de 23,32°C e às 15 horas, 32,8°C e 31,75°C em média, para o EXTER_S e INTER_S, respectivamente. Houve redução na temperatura interna e externa, 1,53°C e 1,7°C, respectivamente, às 09 horas, seguidas de 2,4°C e 4,58°C, às 15 horas e 3,65°C e 4,37°C às 21 horas nos ambientes estudados. A UR% aumentou nos horários avaliados, tendo aumento considerável às 21 horas (22,32%) no ambiente EXTER_C. O telhado verde auxilia na redução da temperatura e no aumento da UR residencial, tornando-se uma alternativa sustentável para o resfriamento térmico em regiões semiáridas.

Palavras-chave: Cobertura vegetal. Ilhas de calor. Sustentabilidade. Variação térmica.

ABSTRACT: The green roof is used as an alternative for residential thermal cooling, as it aids in heat transfer and provides environmental and economic benefits. Thus, it aimed to evaluate whether the presence of the green roof alters the thermal residential conditions in a semi-arid region. The green roof was conducted in a residential area, where two sensors (thermo-hygrometer) were installed indoors and outdoors. An area of 8.4 m² was determined for the green roof, where four layers (wood plywood, carpet, cardboard, and substrate) were installed, and then the transplanting of *Selaginella convoluta* (Selaginellaceae) was carried out. The treatments were carried out in two different situations, analyzing the internal and external environment, with and without the use of a green roof (EXTER_S, EXTER_C, INTER_S and INTER_C). Temperature and relative humidity data were collected at 9:15 am and 9 pm for eight days and submitted to Tukey's test ($p < 0.05$). The average temperature at 9 am was 23.32 °C and at 3 pm, 32.8 °C and 31.75 °C on average for EXTER_S and INTER_S, respectively. There was a reduction in internal and external temperature, 1.53 °C and 1.7 °C, respectively, at 9 am, followed by 2.4 °C and 4.58 °C, at 3 pm and 3.65 °C and 4.37 °C at 9 pm in the studied environments. The RH% increased in the evaluated times, having a considerable increase at 9 pm (22.32%) in the EXTER_C environment. The green roof helps to reduce temperature and increase residential RH, making it a sustainable alternative for thermal cooling in semi-arid regions.

Keywords: Vegetation cover. Heat islands. Sustainability. Thermal variation.

Autor correspondente:

Josias Jordão Andrade Alves: jordaoalvez@gmail.com

Recebido em: 03/03/2020

Aceito em: 31/08/2020

INTRODUÇÃO

Uma das principais preocupações para as próximas décadas é o aumento da temperatura em nível global, que decorre principalmente da produção dos gases do efeito estufa pela população humana (WAKE, 2019). Para minimizar as altas temperaturas, o uso de aparelhos responsáveis pelo resfriamento em residências é um grande desafio.

¹ Discente do Programa de Pós-graduação em Produção Vegetal (PGPV) da Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE), Serra Talhada (PE), Brasil.

² Discente do Programa de Pós-graduação em Ciências Biológicas - Entomologia (PPGEnto) da Universidade Federal do Paraná (UFPR), Curitiba (PR), Brasil.

³ Discente do Programa de Pós-graduação em Ciências do Solo (PPGCS) da Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE), Recife (PE), Brasil.

⁴ Engenheiro Agrônomo formado pela Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE), Unidade Acadêmica de Serra Talhada (UAST), Serra Talhada (PE), Brasil.

⁵ Professora Associada da Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE), Unidade Acadêmica de Serra Talhada (UAST), Serra Talhada (PE), Brasil.

Nos últimos anos com o avanço das tecnologias civis e de arquitetura, diversos estudos que abordam a importância do telhado verde estão sendo desenvolvidos, pois, podem ser uma alternativa no aumento do conforto térmico, na redução do consumo de energia residencial, redução da transferência de calor da construção e ainda proporcionar benefícios estéticos, ambientais e econômicos (BARRIO, 1998; PEREZ *et al.*, 2011; OLUWAFEYIKEMI; JULIE, 2015; STOCCO; CANTÓN; CORREA, 2015; KHOTBEHSARA; DAEMEI; MALEKJAHAN, 2019; HONG; GUO; TANG, 2019; DAEMEI; EGHBALI; KHOTBEHSARA, 2019).

O telhado verde é uma alternativa para restabelecer uma conexão entre a natureza e as cidades. Com os avanços tecnológicos, sua construção está cada vez mais fácil, podendo ser adaptada à maioria dos projetos urbanos atuais. Eles são construídos basicamente por camadas, sendo elas: vegetação, substrato, filtro, elemento de drenagem, isolantes e membrana impermeável. Os materiais podem variar dependendo do local, disponibilidade, entre outros fatores (MORAKINYO *et al.*, 2017).

Os telhados verdes podem reduzir em até 80% o fluxo de calor no verão e em 2,2 a 16,7% o consumo de energia em relação aos telhados normais (KARTERIS *et al.*, 2016). Eles podem ser divididos em três categorias: coberturas verdes intensivas, semi-intensivas e extensivas (CARTER; BUTLER, 2008; VACEK; STRUHALA; MAT JKA, 2017). Os telhados verdes intensivos possuem maior quantidade e profundidade de substratos (> 15 cm), o que permite aumento na diversidade de plantas, que possibilitam o cultivo de arbustos e até árvores, em contrapartida, os custos, o peso e os requisitos de manutenção são maiores quando comparados aos extensivos. Esses possuem uma camada de substrato mais superficial (5-15 cm) são mais finos e leves, o que proporciona custos relativamente baixos, no entanto, a carga de água pluvial suportada é menor em relação ao intensivo (CARTER; BUTLER, 2008). Ainda para os autores, os telhados verdes semi-intensivos (ou intensivos simples) são considerados intermediários entre os intensivos e extensivos. Eles podem ser constituídos por uma camada de substrato mais profunda em comparação com o modelo extensivo, variando de 12 a 25 cm, o que permite o cultivo de plantas como herbáceas e arbustos de crescimento médio.

Geralmente para de telhados verdes, as plantas utilizadas são espécies suculentas, devido a sua resistência, baixa necessidade de água e manutenção (SUSCA, 2019). Entre as espécies disponíveis, a *Selaginella convoluta* foi escolhida por sua tolerância a condições de clima e ambiente extremos, bom desenvolvimento na caatinga, até mesmo sob afloramentos rochosos e boa capacidade de cobertura (ASSIS; LABIAK, 2009).

O clima da região tem altas temperaturas associadas às baixas umidades durante a maior parte do ano (ALVARES *et al.*, 2014). Desta forma, podem (quem? O clima? as baixas umidades?) afetar negativamente o conforto térmico residencial e a construção de telhados verdes pode ser uma solução para esse problema, além de ser uma das melhores opções para integrar a vegetação em ambientes construídos e apresentar baixo custo (PEREZ; PERINI, 2018).

Os custos iniciais e de gerenciamento de um telhado verde podem tornar sua instalação pouco atraente, principalmente em regiões mais quentes, onde a irrigação é potencialmente necessária para o desenvolvimento das plantas e do resfriamento térmico. Neste caso, os custos de irrigação podem exceder os benefícios econômicos decorrentes da diminuição na demanda por energia (ASCIONE *et al.*, 2013; FENG; HEWAGE, 2014; SPROUL *et al.*, 2014). Nesse sentido, objetivou verificar se a implantação do telhado verde de baixo custo, numa região semiárida, altera as condições térmicas residenciais.

2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi desenvolvido em residência localizada na cidade de Serra Talhada-PE com área de 42 m², situada na mesorregião do sertão do Pajeú, (7°59'13.0"S 38°17'03.9"W), 499 m. O clima característico da região, de

acordo com a classificação de Köopen, é BSW_h' (ALVARES *et al.*, 2014). Sendo classificado como semiárido quente, apresentando temperatura do ar que varia de 20,1 a 32,9°C, precipitação pluviométrica média 642 mm ano⁻¹, umidade relativa do ar em torno de 63% e demanda atmosférica acima de 1.800 mm ano⁻¹ (PEREIRA *et al.*, 2015).

O edifício estudado é uma construção de alvenaria estrutural de médio porte, com vários apartamentos, que apresentam finalidade habitacional. O experimento foi executado em um desses, com quatro cômodos, onde o telhado verde foi montado sob a sala (Figura 1).

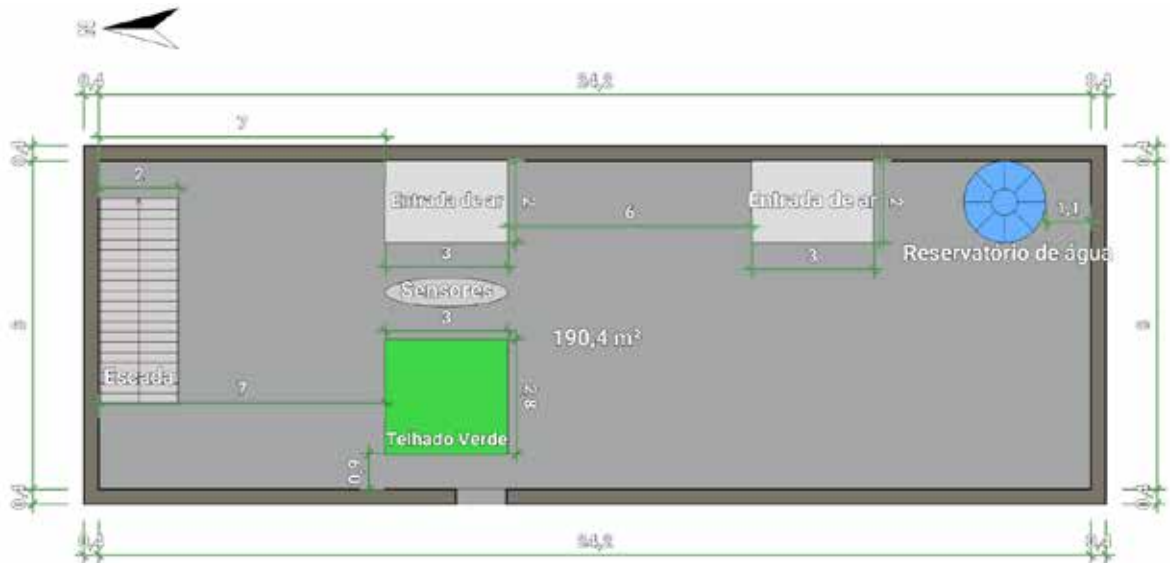


Figura 1. Croqui da área experimental onde foi instalado o telhado verde e laje, unidade em metros (m), escala 1:100, Serra Talhada, PE, 2016.

O delineamento estatístico foi o inteiramente casualizado, em esquema fatorial 2x2 (ambiente x presença de cobertura), totalizando quatro tratamentos: T1= Ambiente interno sem cobertura (INTER_S); T2= Ambiente interno com cobertura (INTER_C); T3= Ambiente externo sem cobertura (EXTER_S) e T4= Ambiente externo com cobertura (EXTER_C) e quatro repetições.

Para a produção do telhado verde, em uma laje, foi determinada uma área de 8,4 m², correspondente à sala da residência, onde foram colocadas quatro camadas dispostas uma sobre a outra (compensado de madeira, carpete, papelão e substrato (areia e esterco curtido)), (Figura 2) e por fim foi feito o transplântio da *Selaginella convoluta* (Jericó), com altura de 7 cm.

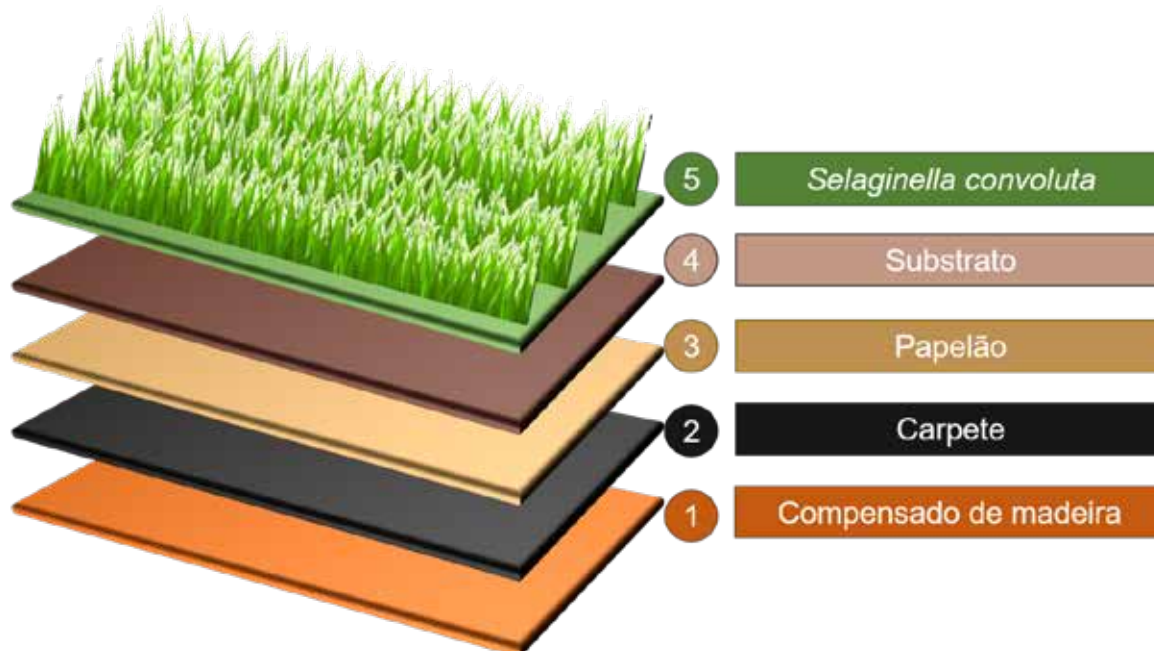


Figura 2. Materiais e camadas utilizadas para confecção do telhado verde, Serra Talhada, PE, 2016.

Foram instalados dois sensores (termo-higrômetro) no interior e parte externa do imóvel, os quais foram conectados a um data logger, onde os dados eram coletados a cada 5 minutos a 1,5 m de altura. Os dados foram coletados em horários distintos, 09, 15 e 21 horas por um período de oito dias, de 18 de junho de 2016 a 21 de junho de 2016 sem a instalação da cobertura verde e entre 23 de junho de 2016 a 26 de junho de 2016, após a implementação no dia 22, a fim de possibilitar a análise de variação diária de temperatura e umidade relativa do ar com e sem a presença da cobertura. Os dados coletados durante esse período foram descarregados por meio do software *Anemometer Formview*.

Os dados foram submetidos à ANOVA e as médias comparadas pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade, analisados no programa estatístico R (R Core Team, 2018) e os gráficos elaborados no SigmaPlot.14.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

No geral, para a variável temperatura, observou-se que os maiores valores foram registrados às 15 horas, independente do ambiente ou instalação da cobertura verde, com médias superiores a 29°C (Figura 3). Por outro lado, no período das 09 horas da manhã, a presença da cobertura atenuou as temperaturas internas e externas em 1,53°C e 1,7°C, respectivamente, neste horário também foram registrados os menores valores de temperatura, com média de 23,3°C.

A presença do telhado verde proporcionou diminuição nas temperaturas nos dois ambientes estudados, com redução de 4,58°C e 3,53°C para o ambiente interno e externo, respectivamente, às 15 horas (Figura 3), comportamento que também foi observado às 21 horas com reduções de 3,65°C e 4,38°C. Essa atenuação pode ser explicada pela presença da superfície verde que possui função regulatória no desempenho térmico, que pode melhorar as características térmicas intrínsecas e conferir maior capacidade de resfriamento (STOCCO; CANTÓN; CORREA, 2015).

Na temperatura nos dois ambientes, às 21 horas, observou-se que a instalação da cobertura verde promoveu redução potencial nos valores desta variável (Figura 3), que proporcionou maior conforto térmico percebido pelos moradores do imóvel.

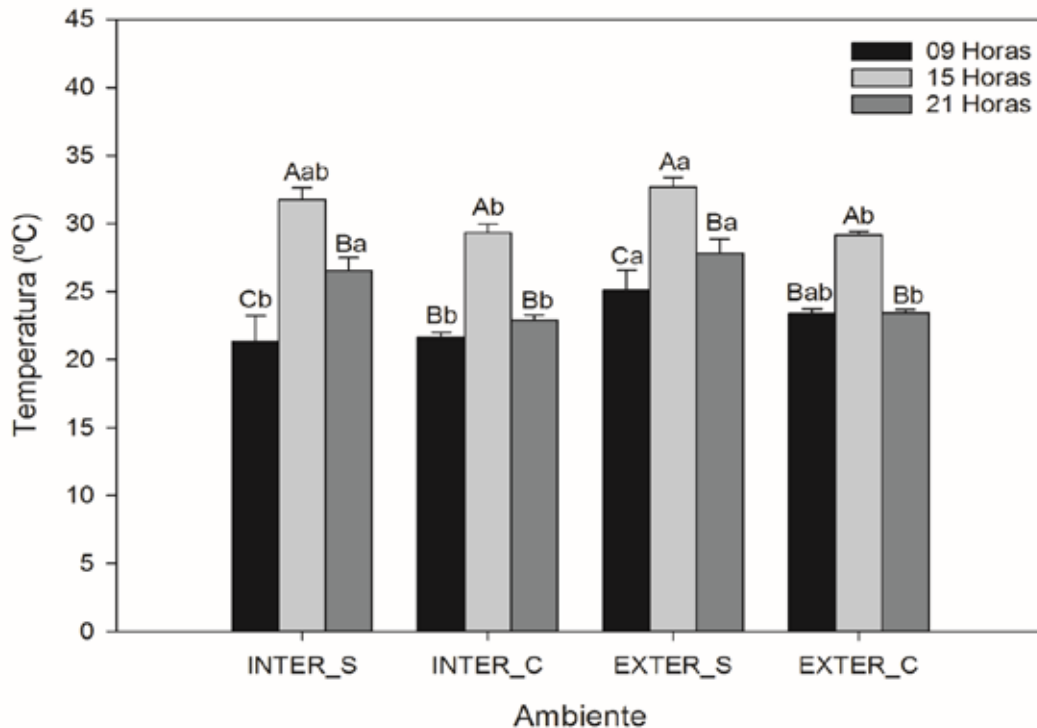


Figura 3. Variação da temperatura em dois ambientes: INTER_S (ambiente interno sem cobertura vegetal), INTER_C (ambiente interno com cobertura vegetal), EXTER_S (ambiente externo sem cobertura vegetal) e EXTER_C (ambiente externo com cobertura vegetal) para os horários 09, 15 e 21 horas, Serra Talhada, PE, 2016.

O uso de plantas herbáceas em coberturas favorece o resfriamento potencial das estruturas de construções urbanas, pois reduz as temperaturas em horários de pico e atua na redução de perdas por fluxo de calor (EUMORFOPOULOU; KONTOLEON, 2009). A aplicação desta prática torna-se importante, principalmente em regiões de clima quente e países de clima tropical, onde na maior parte do ano prevalecem as altas temperaturas, o que favorece a formação de ilhas de calor (KONTOLEON; EUMORFOPOULOU, 2010; WONG *et al.*, 2010).

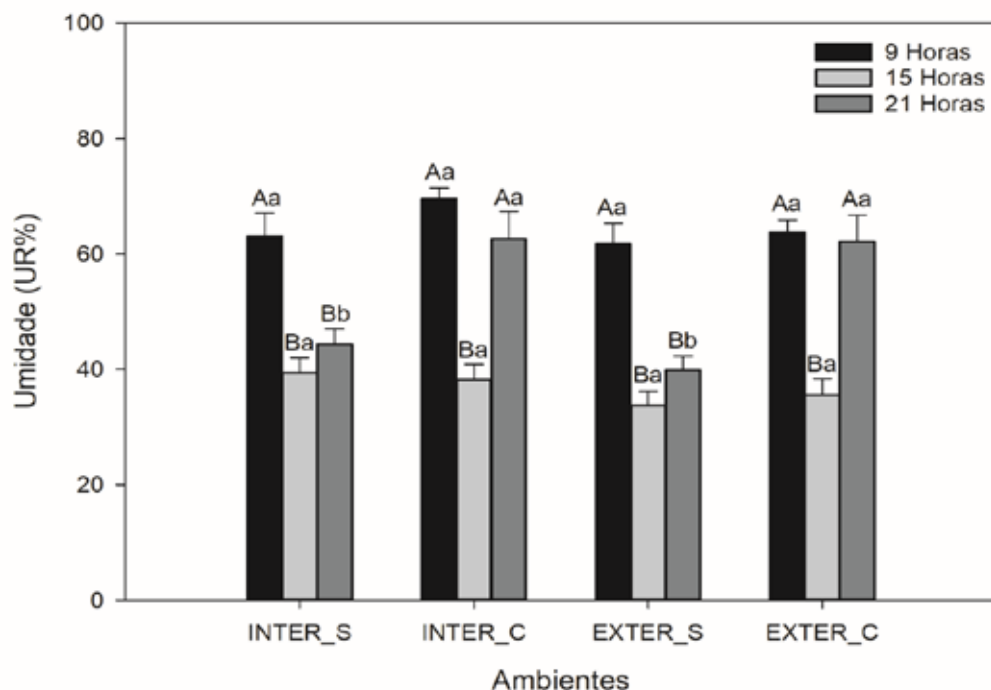
A redução do consumo de energia elétrica, após a construção de telhados e paredes verdes, pode estar relacionada ao aumento do conforto térmico em épocas quentes do ano. Tal fato ocorre por meio da diminuição da temperatura e aumento da umidade relativa, pois pode favorecer a diminuição no uso de aparelhos domésticos, como ar-condicionado, ventilador, climatizador, umidificador, entre outros (STEC; VAN PAASSEN; MAZIARZ, 2005; CHENG; CHEUNG; CHU, 2010; PEREZ *et al.*, 2011; KARTERIS *et al.*, 2016; KHOTBEHSARA; DAEMEI; MALEKJAHAN, 2019).

Cheng (2010) avaliou o desempenho térmico de um edifício, após a instalação de uma parede verde composta por vários módulos verticais de grama e os resultados demonstraram que as temperaturas do interior do imóvel diminuíram e, conseqüentemente, houve atraso na transferência de calor, o que proporcionou a diminuição no consumo de energia do ar-condicionado. Para o autor, o efeito de resfriamento observado pode estar associado à área de cobertura das plantas e alterações nos valores de umidade proporcionada pelo meio de cultivo.

O estudo de simulação de KHOTBEHSARA (2019) demonstrou a influência de um telhado tradicional e um telhado verde sobre o desempenho térmico e transferência de calor em quatro climas distintos em blocos de construção residencial. O autor verificou que o telhado verde reduziu a dissipação de calor dos blocos e evidenciou que essa técnica é passiva e ideal para melhor desempenho térmico residencial.

Não houve diferença entre os tratamentos em relação à variável umidade relativa (UR%) no horário das 09 horas (Figura 4). Entretanto, é perceptível que às 21 horas, tanto o ambiente interno quanto o externo, quando instalado

o telhado verde, apresentaram aumento significativo de umidade comparado ao ambiente sem a presença dele. Neste horário, observa-se aumento de 22,32% na UR% para o ambiente externo e 18,23% para o interno.



936 **Figura 4.** Variação da umidade relativa do ar (UR%) em dois ambientes INTER_S (ambiente interno sem cobertura vegetal), INTER_C (ambiente interno com cobertura vegetal), EXTER_S (ambiente externo sem cobertura vegetal) e EXTER_C (ambiente externo com cobertura vegetal) para os horários 09, 15 e 21 horas, Serra Talhada, PE, 2016.

As características dos meios de cultivo são consideradas parâmetros essenciais, que contribuem para a eficiência dos telhados verdes. A densidade, a umidade relativa e a profundidade do cultivo são os principais fatores que podem levar à alteração de parâmetros como temperatura e UR% (SAADATIAN *et al.*, 2013). Com base nos resultados obtidos neste estudo, acredita-se que o aumento da umidade relativa se deve à irrigação diária do substrato, juntamente com a evapotranspiração da cultura, que promoveu o acréscimo de um microclima ideal.

Alguns pesquisadores acreditam que meios de cultivos úmidos podem atuar como bons isolantes térmicos, o que pode justificar também as reduções de temperatura apresentadas neste estudo com a utilização do telhado verde (CASTLETON *et al.*, 2010; ÁVILA-HERNÁNDEZ *et al.*, 2020).

As regiões semiáridas têm como característica baixos valores de umidade relativa, na maior parte do ano, muitas vezes abaixo dos 20%, o que desencadeia desconforto e danos à saúde da população. Desta forma, os resultados observados no trabalho ressaltam que o telhado verde pode ser uma alternativa para a manutenção da UR%, além de promover diminuição nos valores de temperatura e beneficiar os cidadãos com conforto térmico.

Para a construção de um telhado verde, infinitas são as possibilidades de combinações de materiais, contudo, cada um tem um impacto diferente em termos ambientais e de energia. Os materiais utilizados neste estudo foram em sua totalidade reciclados e, com os resultados obtidos, recomenda-se potencialmente o uso destes materiais para a composição de telhados verdes.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O telhado verde pode alterar as condições térmicas residenciais na região semiárida, pois diminui a temperatura interna em até 4,58°C, no período de maior insolação e, conseqüentemente, aumenta a umidade relativa do ar no interior e o no exterior residencial em relação a ambientes sem sua instalação.

REFERÊNCIAS

- ALVARES, C. A. *et al.* Koppen's climate classification map of Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, Germany, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2014.
- ASCIONE, F. *et al.* Green roofs in European climates. Are effective solutions for the energy savings in air-conditioning?. **Applied Energy**, v. 104, p. 845-859, 2013.
- ASSIS, E. L. M.; LABIAK, P. H. Lycophyta da borda oeste do Pantanal, Mato Grosso do Sul, Brasil. **Acta Botânica Brasileira**, v. 23, n. 3, p. 703-712, 2009.
- ÁVILA-HERNÁNDEZ, A. *et al.* Test box experiment and simulations of a green-roof: Thermal and energy performance of a residential building standard for Mexico. **Energy and Buildings**, v. 209, Article 109709, 2020.
- BARRIO, E. P. D. Analysis of the green roofs cooling potential in buildings. **Energy and buildings**, v. 27, n. 2, p. 179-193, 1998.
- CARTER, T.; BUTLER, C. Ecological impacts of replacing traditional roofs with green roofs in two urban areas. **Cities and the Environment**, v. 1, n. 2, p. 9, 2008.
- CASTLETON, H. F. *et al.* Green roofs; building energy savings and the potential for retrofit. **Energy and buildings**, v. 42, n. 10, p. 1582-1591, 2010.
- CHENG, C. Y.; CHEUNG, K. K.; CHU, L. M. Thermal performance of a vegetated cladding system on facade walls. **Building and environment**, v. 45, n. 8, p. 1779-1787, 2010.
- DAEMEI, A. B.; EGHBALI, S. R.; KHOTBEHSARA, E. M. Bioclimatic design strategies: A guideline to enhance human thermal comfort in Cfa climate zones. **Journal of Building Engineering**, v. 25, Article. 100758, 2019.
- EUMORFOPOULOU, E. A.; KONTOLEON, K. J. Experimental approach to the contribution of plant-covered walls to the thermal behaviour of building envelopes. **Building and Environment**, v. 44, n. 5, p. 1024-1038, 2009.
- FENG, H.; HEWAGE, K. Energy saving performance of green vegetation on LEED certified buildings. **Energy and buildings**, v. 75, p. 281-289, 2014.
- HONG, W.; GUO, R.; TANG, H. Potential assessment and implementation strategy for roof greening in highly urbanized areas: A case study in Shenzhen, China. **Cities**, v. 95, Article 102468, 2019.
- KARTERIS, M. *et al.* Towards a green sustainable strategy for Mediterranean cities: Assessing the benefits of large-scale green roofs implementation in Thessaloniki, Northern Greece, using environmental modelling, GIS and very high spatial resolution remote sensing data. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 58, p. 510-525, 2016.
- KHOTBEHSARA, E. M.; DAEMEI, A. B.; MALEKJAHAN, F. A. Simulation study of the eco green roof in order to reduce heat transfer in four different climatic zones. **Results in Engineering**, v. 2, Article. 100010, 2019.

- KONTOLEON, K. J.; EUMORFOPOULOU, E. A. The effect of the orientation and proportion of a plant-covered wall layer on the thermal performance of a building zone. **Building and environment**, v. 45, n. 5, p. 1287-1303, 2010.
- PEREZ, G., PERINI, K. Green Roofs Social and Aesthetic Aspects. **Nature Based Strategies for Urban and Building Sustainability**, p. 273-281, 2018.
- MORAKINYO, T. E. et al. Temperature and cooling demand reduction by green-roof types in different climates and urban densities: A co-simulation parametric study. **Energy and Buildings**, v. 145, p. 226-237, 2017.
- OLUWAFEYIKEMI, A.; JULIE, G. Evaluating the impact of vertical greening systems on thermal comfort in low income residences in Lagos, Nigeria. **Procedia engineering**, v. 118, p. 420-433, 2015.
- PEREIRA, L. S. *et al.* Crop evapotranspiration estimation with FAO56: Past and future. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 147, p. 4-20, 2015.
- PEREZ, G. *et al.* Green vertical systems for buildings as passive systems for energy savings. **Applied energy**, v. 88, n. 12, p. 4854-4859, 2011.
- SAADATIAN, O. *et al.* A review of energy aspects of green roofs. **Renewable and sustainable energy reviews**, v. 23, p. 155-168, 2013.
- SCHMIDT M. **Energy and water, a decentralized approach to an integrated sustainable urban development**. RIO World Climate and Energy Event, Rio de Janeiro – RJ, Brazil; 2006.
- SPROUL, J. *et al.* Economic comparison of white, green, and black flat roofs in the United States. **Energy and Buildings**, v. 71, p. 20-27, 2014.
- STEC, W. J.; VAN PAASSEN, A. H. C.; MAZIARZ, A. Modelling the double skin façade with plants. **Energy and Buildings**, v. 37, p.419-427, 2005.
- STOCCO, S.; CANTÓN, M. A.; CORREA, E. N. Design of urban green square in dry areas: Thermal performance and comfort. **Urban Forestry & Urban Greening**, v. 14, n. 2, p. 323-335, 2015.
- 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**, Article 106273, 2019.
- VACEK, P.; STRUHALA, K.; MAT JKA, L. Life-cycle study on semi intensive green roofs. **Journal of cleaner production**, v. 154, p. 203-213, 2017.
- WAKE, B. Climate research for the twenty-first century. **Nature Climate Change**, v.9, p. 183–185, 2019.
- WONG, N. H. *et al.* Thermal evaluation of vertical greenery systems for building walls. **Building and environment**, v. 45, n. 3, p. 663-672, 2010.