

XXVI SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS

ANÁLISE DO COMPORTAMENTO TÉRMICO DE TELHADOS ECOLÓGICOS DE BAIXO CUSTO EM CLIMA TROPICAL

*João Henrique Pereira de Albuquerque Borba ¹; Haylla Rebeka de Albuquerque Lins Leonardo ²;
Debora Natália Oliveira de Almeida ³; Gabriel Vamberto de Souza Nobrega ⁴; Gustavo Lima
Cabral ⁵; Leidjane Maria Maciel de Oliveira ⁶; Sylvana Melo dos Santos ⁷ & Anderson Luiz Ribeiro
de Paiva ⁸*

Abstract: Increasing urbanization and the choice of conventional materials in construction contribute to rising temperatures in urban areas. In this context, green roofs emerge as efficient alternatives, as they absorb heat and block direct solar radiation. This article analyzed, with the help of the Python programming language, the thermal performance of four types of roofing installed at the Experimental Unit of Ecological Roofs in Recife (UETER/UFPE): traditional green roof, ecological green roof, low-cost ecological roof, and conventional roof. The analysis of the days with the highest rainfall in April (April 11) and May (May 13), both with 146.4 mm, revealed differences in thermal amplitude: while on 04/11 the outside temperature ranged from 23°C to 29°C (range of 6°C), on 05/13 it ranged from 23°C to 25°C (range of 2°C).

Resumo: A crescente urbanização e a escolha de materiais convencionais nas construções contribuem para o aumento da temperatura em áreas urbanas. Sob esse viés, os telhados ecológicos surgem como alternativas eficientes, por absorverem calor e bloquear a radiação solar direta. O presente artigo analisou, com auxílio da linguagem de programação *Python*, o desempenho térmico de quatro tipos de cobertura instaladas na Unidade Experimental de Telhados Ecológicos do Recife (UETER/UFPE): telhado verde tradicional, telhado verde ecológico, telhado ecológico de baixo custo e telhado convencional. A análise dos dias com maior precipitação de abril (11/04) e maio (13/05), ambos com 146,4 mm, revelou diferenças na amplitude térmica: enquanto em 11/04 a temperatura externa variou de 23°C a 29°C (amplitude de 6°C), em 13/05 variou de 23°C a 25°C (amplitude de 2°C).

Palavras-Chave – Desempenho Térmico; Alternativas Sustentáveis; Ilhas de calor.

¹) Graduando do Curso de Engenharia Civil do Departamento de Engenharia Civil e Ambiental – DECIV, Universidade Federal de Pernambuco – UFPE. Rua Acadêmico Hélio Ramos, s/n, Cidade Universitária, 50740-530 – Recife – PE – Brasil. Fone: +55 81 984611842. Email: joao.henriqueborba@ufpe.br

²) Doutoranda do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil – PPGEC, UFPE. Email: haylla.rebeka@ufpe.br

³) Doutoranda do PPGEC, UFPE. Email: debora.noalmeida@ufpe.br

⁴) Graduando do DECIV, UFPE. Email: gabriel.gvsn@ufpe.br

⁵) Engenheiro Civil do DECIV, UFPE. Email: gustavo.limacabral@ufpe.br

⁶) Professora Adjunta, DECIV, Professora Permanente do PPGEC, UFPE, Email: leidjane.oliveira@ufpe.br

⁷) Professora Titular, DECIV, Professora Permanente do PPGEC, UFPE, Email: sylvana.santos@ufpe.br

⁸) Professor Associado, DECIV, Professor Permanente do PPGEC, UFPE, Email: anderson.paiva@ufpe.br

INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, o Brasil tem experimentado um intenso processo de urbanização, transformando de maneira significativa a configuração das cidades, as relações humanas com o ambiente, bem como o uso adequado do solo. Segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2025), mais de 87% da população brasileira reside em áreas urbanas. Esse crescimento desordenado, especialmente nas cidades de médio e grande porte reproduzem padrões inadequados de uso e ocupação do solo, caracterizados pela redução das áreas, impermeabilização extensiva, elevando o escoamento superficial e dificultando a infiltração da água da chuva, além do aumento da quantidade das construções realizadas com materiais que absorvem e retém calor. Esses fatores favorecem a intensificação do fenômeno chamado ilhas de calor, fenômeno responsável por elevar consideravelmente a temperatura nos grandes centros urbanos. Evidentemente, o desconforto térmico causado por essas ilhas gera problemas na cidade, de natureza ambiental e social, sendo assim, um dos métodos mais eficientes para reduzir os efeitos negativos gerados pelas ilhas de calor nas áreas urbanas é o plantio de vegetação (Leonardo, 2021).

Conforme a NBR 15575-1 (ABNT, 2013), que define os critérios necessários para garantir o bom desempenho térmico das edificações, informa que durante o verão, a máxima temperatura do ar no interior de ambientes de permanência prolongada, como salas e dormitórios, sem a influência de fontes internas de calor, deve ser igual ou inferior ao valor máximo da temperatura externa. No inverno, a temperatura mínima dentro dos ambientes de permanência prolongada deve ser sempre superior ou igual à temperatura mínima externa acrescida de 3°C. Diante disso, os telhados verdes surgiram como uma ferramenta para alcançar um maior conforto térmico nas edificações.

De acordo com Vilarim (2022), esse tipo de cobertura oferece temperaturas mais amenas durante as horas mais quentes do dia e temperaturas mais elevadas durante as horas mais frias do dia. Os telhados verdes melhoram a qualidade do ar, reduzem o efeito de ilha de calor urbana, aumentam a biodiversidade e gerenciam eficazmente as águas pluviais. Além disso, contribuem para o bem-estar psicológico dos habitantes urbanos, proporcionando espaços verdes tranquilos em meio à paisagem frequentemente árida das cidades (Silva; Oliveira, 2024).

Em relação ao conforto térmico, a cobertura vegetal proporciona o fornecimento de sombra, reduz a radiação solar do solo exposto ao calor e traz um resfriamento evaporativo. Em aspecto hidrológico, sua principal função, é absorver os volumes de água de chuvas e liberá-los em um ritmo reduzido e controlado, ainda possibilitando o posterior reuso da água captada. Infere-se, portanto, que a implementação de telhados verdes em grandes centros urbanos, auxilia o desenvolvimento sustentável da localidade onde é inserido, promovendo a melhoria da qualidade da água e do ar, reduzindo a necessidade de sistemas de refrigeração interna.

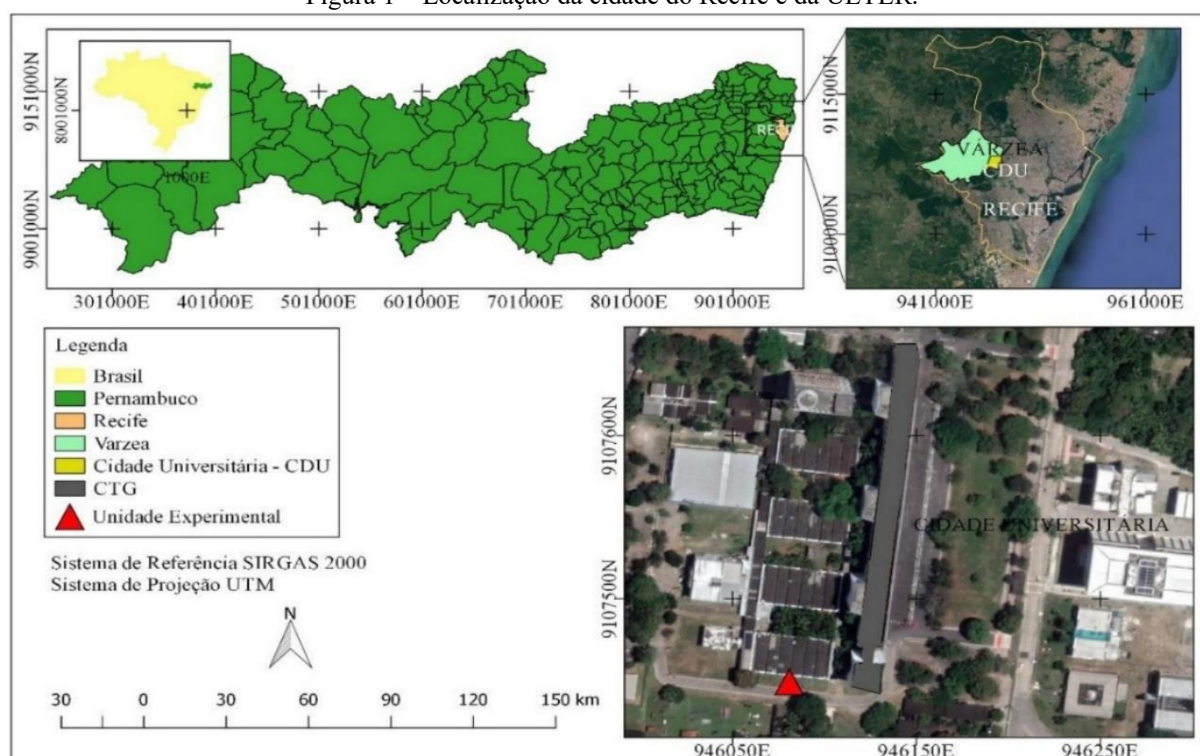
Nesse contexto, este artigo tem por finalidade avaliar o desempenho térmico dos quatro diferentes tipos de telhados: convencional, verde tradicional, verde ecológico e ecológico de baixo custo. Para isso, será realizada uma análise comparativa baseada em métodos estatísticos aplicados aos dados de precipitação pluviométrica, temperatura interna e externa dos ambientes estudados.

METODOLOGIA

Área de estudo

Os estudos referentes aos três tipos de coberturas, foram conduzidos na área de experimentação correspondente à Unidade Experimental de Telhados Ecológicos do Recife (UETER), situada na área posterior do Centro de Tecnologia e Geociências (CTG), da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE). A UFPE está localizada na região Nordeste do Brasil, cidade do Recife, capital do Estado de Pernambuco, conforme ilustra a Figura 1. A cidade é caracterizada predominantemente pelo clima tropical úmido. Segundo dados oficiais do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), Recife apresenta uma temperatura média anual de aproximadamente 26,0°C, além de precipitações médias que variam entre 1500 mm e 2500 mm, concentrando o maior volume entre os meses de abril e julho.

Figura 1 – Localização da cidade do Recife e da UETER.

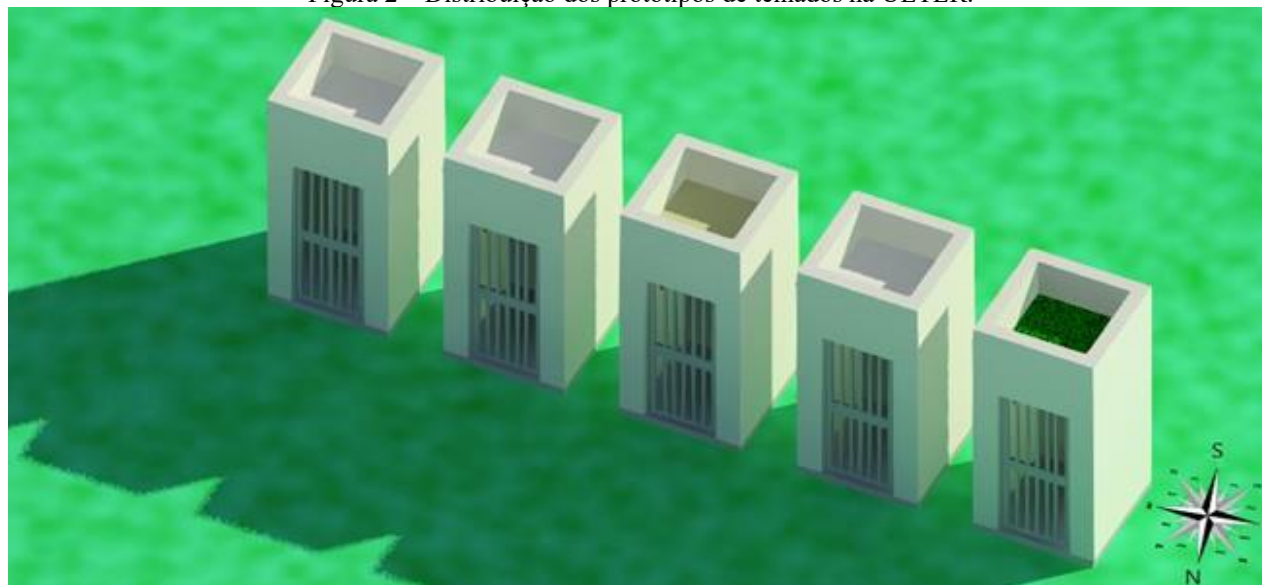


Fonte: Leonardo (2021).

Unidade Experimental de Telhados Ecológicos do Recife (UETER)

A Figura 2 ilustra a disposição dos protótipos distribuídos ao longo da área. Leonardo (2021) investigou o desempenho térmico de quatro diferentes tipos de cobertura dos protótipos: telhado convencional, telhado ecológico, telhado verde tradicional e telhado verde ecológico. O telhado ecológico foi implementado em três diferentes configurações: o Arranjo 1 consistiu em um tapete refletivo confeccionado com material de Tetra Pak, associados a garrafas PET preenchidas com água; o Arranjo 2 utilizou o mesmo tapete refletivo, mas com garrafas PET vazias; já o Arranjo 3 foi composto exclusivamente pelo tapete refletivo de Tetra Pak, enquanto o telhado verde ecológico foi constituído. Os dados utilizados para a realização da pesquisa foram referentes aos meses de abril, maio e junho de 2021 para a realização de novas análises.

Figura 2 – Distribuição dos protótipos de telhados na UETER.



Fonte: Leonardo (2021).

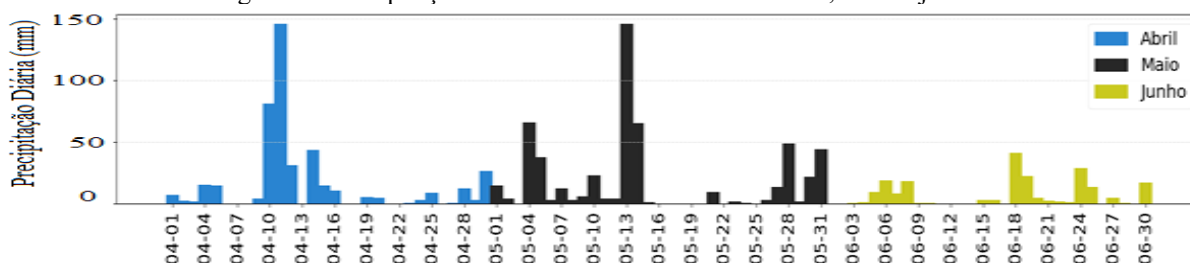
Para a realização da análise climatológica, foram utilizados dados de temperatura do ar e precipitação do banco de dados do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), especificamente da estação automática Recife A301, localizada no bairro da Várzea. A base de dados abrange o período de abril a junho de 2021, contemplando informações com resolução horária, permitindo uma avaliação detalhada das variações climáticas locais. Adicionalmente, os dados internos relativos à temperatura foram obtidos a partir do banco de dados gerados por Leonardo (2021), possibilitando uma análise comparativa entre as condições internas e externas do ambiente estudado. Análise de dados estruturados foi realizada a partir da biblioteca *Pandas* e criação e visualização de gráficos da biblioteca *Mathplotlib*, ambas desenvolvidas pela linguagem de programação *Python*. Os gráficos possibilitaram a visualização do comportamento das variáveis meteorológicas, contribuindo para a interpretação dos padrões climáticos observados durante o período estudado.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Análise de Precipitações Diárias e Temperatura Externa

A Figura 3 ilustra um gráfico do tipo *Barplot*, com dados de precipitações diárias referentes aos meses de abril, maio e junho de 2021. Foram observadas diferenças significativas e algumas semelhanças importantes em termos de intensidade e frequência das chuvas no intervalo analisado. O mês de maio destaca-se como o mês de maior precipitação pluviométrica, registrando um total de 533,6 mm, seguido pelo mês de abril, com 437,2 mm e 182,8 mm para o mês de junho. Tanto abril quanto maio registraram um pico de registro de chuvas em eventos pontuais, tendo sido possível notar que os dias 11/04 e 13/05, foram aqueles como dias de maior precipitação, com 146,4 mm em cada.

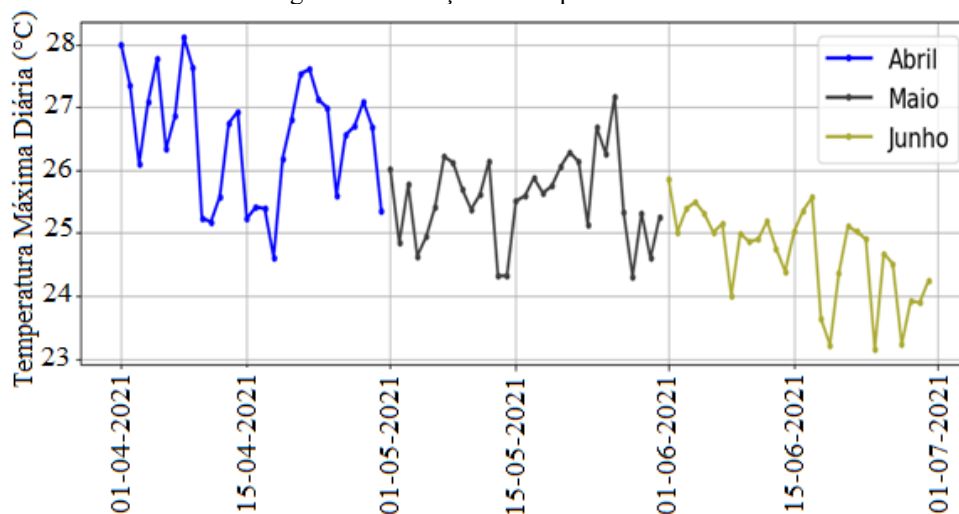
Figura 3 – Precipitações diárias durante os meses de abril, maio e junho.



Fonte: Autores.

As variações de temperatura média diária referentes ao período entre abril e junho foram apresentadas no gráfico *LinePlot* da Figura 4, onde é possível observar uma redução gradual das temperaturas ao longo do período. O mês de abril é marcado pelas maiores médias de temperaturas, com picos superiores a 28°C nos dias 01 e 08. Os meses de maio e junho possuem variações de temperatura mais amenas com mínimas que oscilaram entre 23°C e 25°C.

Figura 4 – Variação de temperatura externa



Fonte: Autores.

A partir dos gráficos mostrados, selecionou-se um dia representativo de cada mês para realizar a análise da eficiência térmica dos diferentes tipos de telhados experimentados na UETER, conforme Tabela 1.

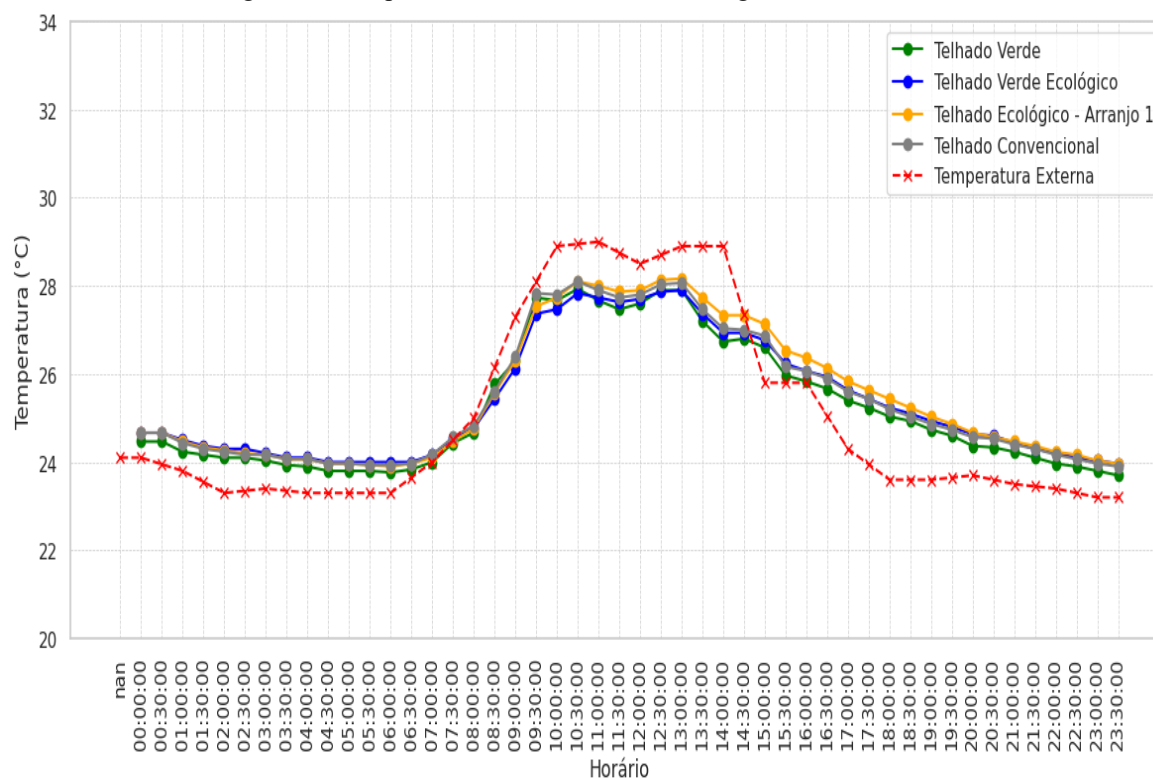
Tabela 1 – Postos pluviométricos utilizados.

Data	Critério de escolha
11/04/2021	Dia de maior precipitação do mês de abril (146,4 mm)
13/05/2021	Dia de maior precipitação do mês de maio (146,4 mm)
18/05/2021	Dia de maior precipitação do mês de junho (41,2 mm)

Análise dos dados internos

Conforme Figura 5, o dia de maior precipitação do mês de abril foi marcado por uma considerável variação de temperatura, com as médias mais elevadas concentrando-se entre as 9h e 14h. Os telhados verdes e verde ecológico, comportam-se de maneira mais eficiente comparados aos demais, tratando-se da redução da temperatura interna do ambiente. Na máxima registrada no dia, marcando 29°C, no telhado verde foi marcada uma temperatura de 27,67°C, enquanto a cobertura verde ecológica registrou 27,73°C, já a cobertura ecológica de baixo custo absorveu calor de maneira semelhante à cobertura convencional, registrando uma temperatura levemente superior à cobertura convencional, com 27,9°C e 28°C, respectivamente.

Figura 5 – Temperatura interna e externa, ao longo do dia 11 de abril.

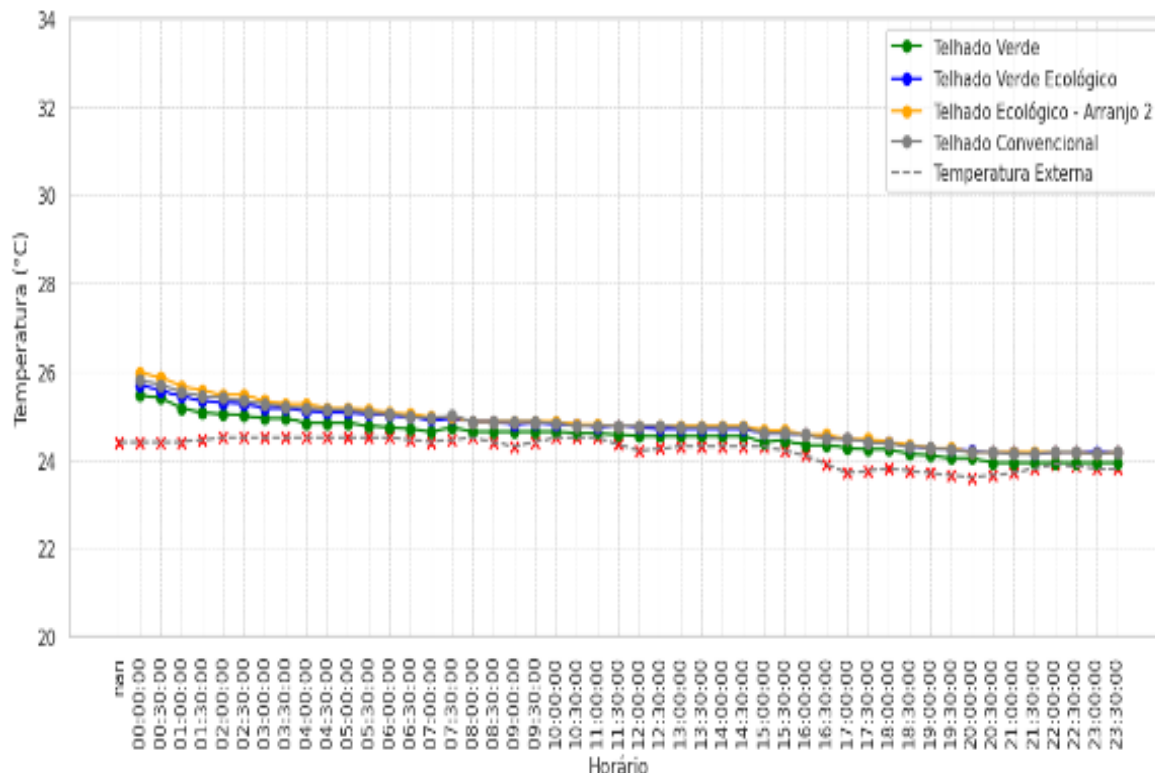


Fonte: Autores.

O dia mais chuvoso do mês de maio foi marcado por pequenas variações de temperatura, conforme ilustra a Figura 6, os quatro diferentes tipos de cobertura marcam variações térmicas muito semelhantes durante o dia. Em grande parte do dia, a temperatura externa foi inferior às temperaturas registradas nos telhados. Os telhados verdes (tradicional e ecológico), mantêm temperaturas mais constantes e inferiores ao longo do dia, comprovando sua eficiência térmica conforme os estudos de Leonardo (2021). A cobertura ecológica possui em alguns momentos do dia comportamento semelhante ao telhado verde ecológico, porém, assim como na cobertura convencional, ainda absorve muito calor nos horários mais quentes, registrando a temperatura mais elevada com 25,97°C, muito próxima ao telhado convencional, com 25,80°C, enquanto a temperatura externa marcava 24,40°C.

De acordo com Vilarim (2022), esse tipo de cobertura oferece temperaturas mais amenas durante as horas mais quentes do dia e temperaturas mais elevadas durante as horas mais frias do dia.

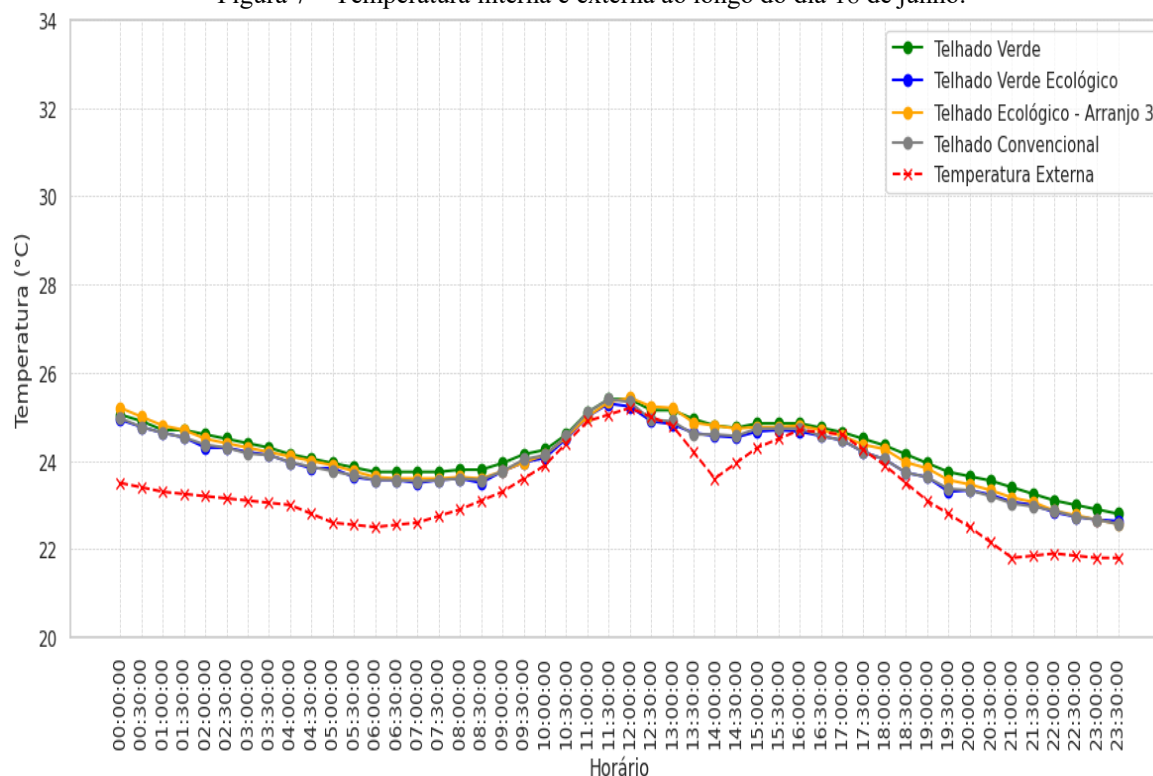
Figura 6 – Temperatura interna e externa, ao longo do dia 13 de maio.



Fonte: Autores.

Já no dia de maior precipitação do mês de junho, é possível observar, conforme mostra a Figura 7, que as temperaturas de todos os tipos de telhado mantiveram-se próximas até o meio da manhã. O pico de temperatura externa marcou 25,20°C às 12h e todos os tipos de telhados acompanharam temperaturas muito próximas. Porém, após às 15h todas as temperaturas começam a descer com as temperaturas se estabilizando até o final da noite, ainda assim a temperatura externa permanece inferior. Os telhados verdes e ecológicos de baixo custo foram mais eficientes termicamente, uma vez que esquentam menos nas horas mais quentes e resfriam mais rápido à noite, comparados à cobertura convencional, corroborando com os estudos realizados por Rocha (2020) e as conclusões obtidas por Leonardo (2021).

Figura 7 – Temperatura interna e externa ao longo do dia 18 de junho.



Fonte: Autores.

CONCLUSÕES

A partir da análise comparativa realizada durante os dias de maior precipitação de cada mês, foi possível observar que apesar de os dias de maior precipitação do mês de abril e maio registrarem precipitações diárias iguais (146,4 mm), os dois dias diferem de forma significativa na amplitude térmica diária, enquanto no dia 11/04, a temperatura externa variou entre 23°C e 29°C, no dia 13/05, ela oscilou entre 23°C e 25°C. Em ambos os dias, bem como no dia mais chuvoso de junho, é possível concluir que os telhados verdes, em especial o telhado verde ecológico, apresentaram maior capacidade de regulação térmica, os dados demonstraram uma menor amplitude térmica comparada ao telhado convencional, com temperaturas internas mais amenas e estáveis ao longo do dia, o ecológico difere do tradicional especialmente no período da tarde, quando as tradicionais registram temperaturas superiores, indicando uma maior absorção de calor.

Ademais, os arranjos de telhados ecológicos registraram temperaturas muito semelhantes às do telhado convencional, com picos de temperatura até mais elevados em horários mais quentes do dia. No entanto, o Arranjo 3 destaca-se por possibilitar uma menor amplitude térmica comparada ao telhado convencional, indicando uma menor retenção de calor. Portanto, são consideradas possibilidades de soluções tecnológicas e sustentáveis que combinem as soluções ecológicas de baixo custo aos telhados verdes, a fim de otimizar o desempenho térmico das coberturas, tornando os ambientes energeticamente eficientes e reduzindo os efeitos gerados por ilhas de calor.

AGRADECIMENTOS

Os autores expressam seus agradecimentos à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo apoio, Código de Financiamento 001, à Fundação de Amparo à Ciência e Tecnologia de Pernambuco (FACEPE) pela bolsa de iniciação científica do primeiro autor, à Fundação de Amparo à Ciência e Tecnologia de Pernambuco (FACEPE) pela bolsa de Doutorado (IBPG 1657-3.01/21) da segunda autora, à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela bolsa de Doutorado da terceira autora (88887.827976/2023-00), ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelas bolsas de iniciação científica do quarto autor.

REFERÊNCIAS

- ABNT (2013). “*NBR 15575: Edificações habitacionais – Desempenho*”. Rio de Janeiro.
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia Estatística. Cidades e Estados. “*Recife*”. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/pe/recife.html>. Acesso em 20 de maio de 2025.
- INMET – Instituto Nacional de Meteorologia (2022). Banco de dados horários da estação meteorológica Recife (A301). Disponível em: <https://mapas.inmet.gov.br>. Acessado em: abril/2025.
- LEONARDO, H. R. A. L. (2021). “*Desempenho de telhados ecológicos em área urbana*”. Dissertação de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Pernambuco. 147 pp.
- ROCHA, R. S. T. M. (2020). “*Desempenho térmico de telhado verde ecológico de baixo custo em clima semiárido*”. Dissertação de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental, Universidade Federal de Pernambuco, 134 pp.
- SILVA, R. F.; OLIVEIRA, P. P. (2024). “*Eficiência de telhados verdes nos centros urbanos: uma abordagem analítica*”. Revista Multidisciplinar do Nordeste Mineiro, [S. l.], v. 6, n. 1. DOI: 10.61164/rnm.v6i1.2516.
- VILARIM, M. B. (2022). “*Desempenho térmico de telhado verde de baixo custo em região de clima tropical úmido*”. 2022. 139 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2022.