

CRITÉRIOS PARA A SELEÇÃO DE DIAS TÍPICOS PARA ANÁLISES TÉRMICAS DE TELHADOS VERDES EM CLIMA TROPICAL

CRITERIA FOR SELECTING STANDARDS DAYS FOR THERMAL ANALYSIS OF GREEN ROOFS IN TROPICAL CLIMATE

Elaine Garrido Vazquez¹; Patrick Silva da Cruz²; Agnes Rayol Guedes³; Beatriz Gonçalves Salvador⁴

¹Doutorado | elaine@poli.ufrj.br | UFRJ | Rio de Janeiro, Brasil; ²Graduando | patrickcruz13@poli.ufrj.br | UFRJ | Rio de Janeiro, Brasil; ³Graduando | agnesguedes.20231@poli.ufrj.br | UFRJ | Rio de Janeiro, Brasil; ⁴Graduando | biasalvador@poli.ufrj.br | UFRJ | Rio de Janeiro, Brasil.

Resumo:

A urbanização acelerada tem gerado uma série de desafios ambientais, como a formação de ilhas de calor e a impermeabilização excessiva dos solos, resultando em impactos negativos no conforto térmico das edificações. O telhado verde surge como uma possibilidade para reduzir a temperatura urbana e das edificações. Portanto, justificam-se os estudos de análise térmica em telhados verdes em clima tropical. Em uma análise térmica, a ABNT NBR 15575 (ABNT, 2013) indica a seleção de um dia típico de projeto de verão e de inverno para avaliação do desempenho térmico. Este estudo tem como objetivo propor um método para a seleção de dias típicos para as quatro estações do ano, com base em três critérios meteorológicos: ausência de precipitação, alta radiação solar e altas amplitudes térmicas. Para isso, foram analisados dados climáticos diários coletados da estação meteorológica de Xerém, no Rio de Janeiro, no ano de 2023. A metodologia proposta foi aplicada, sendo possível gerar um dia típico para cada uma das estações climáticas. Este estudo contribui para a ampliação do conhecimento sobre desempenho térmico desse sistema na condição climática tropical, servindo de base para a análise de dados experimentais e as condições de conforto, permitindo a comparação de todas as estações climáticas.

Palavras-chave:

Telhado Verde; Conforto Térmico; Dia típico; ABNT 15575/2013

Abstract:

Accelerated urbanization has led to a series of environmental challenges, such as the formation of urban heat islands and excessive soil impermeabilization, resulting in negative impacts on the thermal comfort of buildings. Green roofs emerge as a potential solution to reduce both urban and building temperatures. Therefore, studies on thermal performance analysis of green roofs in tropical climates are justified. In a thermal analysis, the Brazilian standard ABNT NBR 15575/2013 recommends selecting a typical summer and winter design day to assess thermal performance. This study aims to propose a method for selecting typical days for each of the four seasons of the year, based on three meteorological criteria: absence of precipitation, high solar radiation, and large thermal amplitudes. To achieve this, daily climate data from the meteorological station in Xerém, Rio de Janeiro, collected in 2023, were analyzed. The proposed methodology was applied, successfully generating a typical day for each of the climatic seasons. This study contributes to the expansion of knowledge on the thermal performance of this system in tropical climate conditions, serving as a basis for the analysis of experimental data and comfort conditions, allowing for the comparison of all climatic seasons.

Keywords:

Green Roof; Thermal Comfort; Standard Day; ABNT 15575/ 2013.

1. INTRODUÇÃO

O acelerado processo de urbanização das cidades obteve como consequência a redução de áreas verdes, tornando mais frequente e intenso o fenômeno de ilhas de calor (Perussi e Vecchia, 2017). Por possuírem índices de radiação solares mais intensos, regiões de clima tropical sofrem ainda mais com o aumento das temperaturas médias diárias (Silva, 2016). Além disso, a preferência atual por edificações com superfícies de materiais impermeáveis e de alta capacidade térmica, como o asfalto e o concreto, contribuem para a maior absorção de calor, agravando as condições térmicas nas áreas urbanas (Santt`ana Neto, 2011). Por isso, soluções arquitetônicas que promovam o conforto térmico e a eficiência energética nas edificações têm ganhado crescente relevância (Pereira, 2014).

Uma das estratégias que têm se destacado no meio técnico-científico é a adoção de telhados verdes, uma alternativa sustentável capaz de mitigar os efeitos das ilhas de calor urbanas e de aprimorar o desempenho térmico das edificações (Alberto *et al.*, 2012). Nesse contexto, torna-se essencial avaliar o comportamento desse sistema alternativo em comparação ao telhado convencional, a fim de quantificar, com base em protótipos experimentais, a eficiência térmica proporcionada por essa tecnologia.

A NBR 15575: Edificações habitacionais - Desempenho - Parte 1: Requisitos gerais (ABNT, 2013) estabelece critérios rigorosos para o desempenho térmico de edificações habitacionais, considerando aspectos como a transmitância térmica, a capacidade térmica e o atraso térmico dos materiais e sistemas construtivos empregados. Essa regulamentação ressalta a relevância da adoção de soluções construtivas que favoreçam a inércia térmica das edificações, a fim de atenuar variações abruptas da temperatura interna e reduzir a dependência de sistemas artificiais de climatização. Tais diretrizes visam promover maior eficiência energética e conforto térmico aos ocupantes, em consonância com os princípios da sustentabilidade ambiental e do uso racional da energia.

No contexto da avaliação do desempenho térmico de telhados verdes sob distintas condições climáticas, a NBR 15575 (ABNT, 2013) estabelece a utilização do "dia típico de projeto de verão" como referência para análise das coberturas. Essa definição baseia-se em variáveis meteorológicas representativas - temperatura do ar, umidade relativa, velocidade do vento e radiação solar incidente sobre superfície horizontal -, considerando o dia mais quente do ano segundo a média dos últimos dez anos. A adoção desse critério visa assegurar que a avaliação do comportamento térmico dos sistemas construtivos ocorra sob condições climáticas características e extremas, garantindo, assim, resultados tecnicamente consistentes e passíveis de reprodução. A análise das edificações em fase de projeto deve, portanto, ser realizada com base nesse parâmetro normativo.

Contudo, considerando a variabilidade climática ao longo do ano e os efeitos das oscilações sazonais sobre o desempenho térmico das edificações, a presente pesquisa propõe a ampliação do conceito de "dia típico de projeto", conforme definido na NBR 15575 (ABNT, 2013), por meio da adoção de um dia representativo para cada estação do ano (verão, outono, inverno e primavera). Essa abordagem visa proporcionar uma avaliação mais abrangente e precisa, ao considerar diferentes condições ambientais que impactam diretamente o desempenho térmico das coberturas em distintos períodos sazonais.

A seleção dos dias típicos fundamentou-se em critérios meteorológicos específicos, com o intuito de assegurar uma base comparativa sólida entre coberturas verdes e convencionais. Os principais parâmetros considerados incluem: a ausência de precipitação, a fim de evitar interferências da umidade nos processos de troca térmica e na dissipação de calor pelas coberturas (Akbari *et al.*, 2001); a elevada incidência de radiação solar, variável determinante na absorção e reemissão de calor, com impacto direto sobre o balanço térmico da edificação (Santamouris, 2014); e a alta amplitude térmica diária, que evidencia a capacidade de inércia térmica dos materiais e permite verificar o comportamento dos diferentes sistemas construtivos frente às variações de temperatura entre o dia e a noite (Santamouris, 2010);.

A adoção desses critérios possibilita que as análises de desempenho térmico sejam conduzidas sob condições climáticas controladas e representativas da realidade local. Ademais, ao estender a metodologia para contemplar todas as estações do ano, esta pesquisa promove uma avaliação mais abrangente e acurada dos efeitos proporcionados pelos telhados verdes em distintos contextos climáticos. Durante o verão, por exemplo, a elevada temperatura do ar e a intensa radiação solar permitem observar a efetividade dos telhados verdes na mitigação da carga térmica incidente sobre a edificação. No inverno, por sua vez, a inércia térmica do sistema pode contribuir significativamente para a retenção do calor interno, favorecendo o conforto térmico e a eficiência energética. Já nas estações de transição - primavera e outono -, a análise permite compreender o desempenho adaptativo dos sistemas construtivos frente às variações sazonais, possibilitando uma caracterização mais completa de sua eficácia ao longo do ano (Ouldbouch, 2017).

Assim, a definição criteriosa de dias típicos para cada estação do ano não apenas atende às diretrizes estabelecidas pela NBR 15575 (ABNT, 2013), como também amplia o escopo analítico, possibilitando uma avaliação mais aprofundada dos efeitos dos telhados verdes sobre o conforto térmico das edificações em um espectro climático diversificado. Essa abordagem contribui para a robustez metodológica da pesquisa, reforçando a confiabilidade dos resultados obtidos e oferecendo subsídios técnicos relevantes para a adoção de soluções construtivas mais eficientes e ambientalmente sustentáveis.

Ressalta-se, contudo, que a metodologia adotada teve como base a versão de 2013 da norma, ainda que a NBR 15575 tenha sido atualizada em 2021. Tal escolha justifica-se pela necessidade de simplificação da análise de dados ao longo de um período estendido, permitindo a manutenção da consistência metodológica e a viabilidade da comparação longitudinal dos resultados.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Adotou-se uma abordagem metodológica de natureza exploratória e explicativa, com o objetivo de desenvolver uma metodologia de seleção de dias típicos representativos para cada estação do ano, a fim de viabilizar uma análise comparativa do conforto térmico entre telhados verdes e telhados convencionais em clima tropical. A pesquisa apresenta caráter exploratório, fundamentando-se na análise de dados meteorológicos fornecidos pela estação de Xerém, localizada no estado do Rio de Janeiro. O estudo possui natureza predominantemente qualitativa, com ênfase na observação sistemática dos dados, exigindo, contudo, o cruzamento e tratamento das informações obtidas para a definição de filtros e critérios que sustentem a seleção dos dias representativos.

O presente estudo foi conduzido em quatro etapas distintas. A primeira etapa consistiu em uma revisão bibliográfica, na qual a definição de "dia típico" foi analisada tanto à luz da norma NBR 15575 (ABNT, 2013) quanto de publicações acadêmicas nas bases google acadêmico, Scopus e Science Direct, que abordam aspectos relacionados à localidade e ao clima. A partir dessa análise, foi possível delinear uma metodologia aplicável à segunda etapa, a qual consistiu no estabelecimento de critérios para a seleção de um dia típico representativo para cada estação do ano. Os três critérios adotados foram: ausência de precipitação no dia, elevada radiação solar e elevada amplitude térmica. Com a definição desses parâmetros, a terceira etapa assumiu um caráter exploratório, na qual os dados correspondentes aos critérios estabelecidos foram obtidos por meio da estação meteorológica (estação de Xerém). Por fim, na quarta etapa, realizou-se a identificação final dos dias típicos para cada estação do ano, conforme ilustrado na Figura 1.

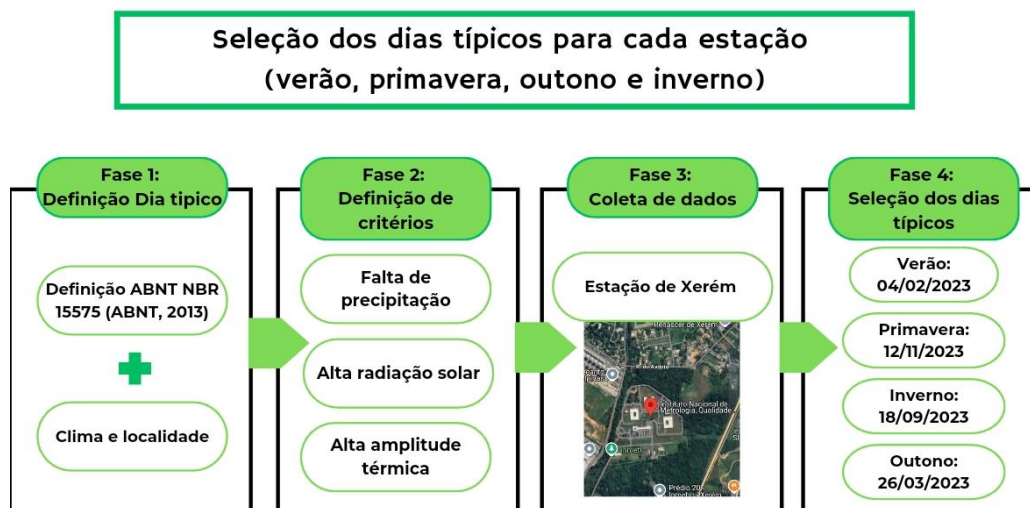


Figura 1: Fluxograma da metodologia da pesquisa.
Fonte: os autores (2025).

2.1. FASE 1: DEFINIÇÃO DOS DIAS TÍPICOS

2.1.1 DEFINIÇÃO DE DIA TÍPICO SEGUNDO A NBR 15575 (ABNT, 2013)

A NBR 15575: Edificações habitacionais - Desempenho - Parte 1: Requisitos Gerais (ABNT, 2013) estabelece que a avaliação do desempenho térmico das edificações deve ser realizada com base em "dias típicos" representativos das condições climáticas críticas, ou seja, nos períodos mais quentes e mais frios do ano. Para isso, definem-se os dias típicos de verão e inverno, considerando variáveis como temperaturas máximas e mínimas externas, amplitude térmica, temperatura de bulbo úmido e nebulosidade. No entanto, a referida norma não especifica todas as variáveis consideradas importantes para simulações térmicas mais precisas, como a velocidade e direção do vento e os algoritmos de cálculo da radiação solar, o que pode introduzir incertezas nos resultados e não permite a elaboração fiel de um dia típico. Além disso, um dos principais critérios indicados pela NBR 15575 (ABNT, 2013) é a temperatura máxima do dia.

2.1.2 DEFINIÇÃO DE DIA TÍPICO EM CLIMA TROPICAL

Em regiões de clima tropical, como em Xerém, Duque de Caxias, no Rio de Janeiro onde o estudo foi conduzido, a definição de dias típicos para estudos de conforto térmico deve levar em consideração as características específicas desse tipo de clima. Diferente das regiões temperadas, onde há uma diferença marcante entre verão e inverno, nas regiões tropicais a variabilidade climática é influenciada principalmente por fatores como intensidade da radiação solar, alta umidade relativa, chuvas frequentes e menor variação sazonal das temperaturas.

Para assegurar uma representação mais precisa das condições térmicas ao longo do ano, recomenda-se a inclusão de dias típicos não apenas do verão, mas também das demais estações — outono, inverno e primavera. Tal abordagem permite uma avaliação mais abrangente e acurada do desempenho térmico das edificações sob condições climáticas intermediárias, as quais podem exercer influência significativa sobre o conforto térmico dos ocupantes.

Em regiões de clima tropical, a seleção dos dias de referência deve considerar três variáveis fundamentais: elevada radiação solar, elevada amplitude térmica e ausência de precipitação. A alta radiação solar é um fator determinante, uma vez que a incidência direta da radiação solar impacta consideravelmente o aquecimento das superfícies e, conseqüentemente, a temperatura interna dos ambientes. A amplitude térmica elevada é relevante para verificar o comportamento da edificação diante de variações térmicas expressivas ao longo do dia, caracterizadas por aquecimento diurno e resfriamento noturno. A ausência de precipitação, por sua vez, é essencial, pois a ocorrência de

chuvas pode alterar significativamente a temperatura do ar e a umidade relativa, comprometendo a precisão da análise do desempenho térmico.

A incorporação desses critérios na seleção dos dias típicos contribui para a realização de estudos térmicos mais representativos e compatíveis com as condições reais do local de implantação da edificação.

2.2. FASE 2: DEFINIÇÃO DE CRITÉRIOS

A definição dos dias típicos foi conduzida com base nos três critérios metodológicos previamente estabelecidos, conforme descrito na seção anterior e sintetizados na Tabela 1.

Critério	Descrição do Critério
Falta de precipitação	Dias sem chuva foram priorizados para evitar que a umidade alterasse os resultados das medições térmicas. A precipitação pode impactar a temperatura do ar e das superfícies, mascarando o desempenho natural dos materiais construtivos.
Alta radiação solar	A incidência solar direta é um fator crítico no desempenho térmico das edificações. Dias com alta radiação foram escolhidos para analisar como os elementos construtivos respondem ao ganho de calor, algo essencial para entender o conforto térmico interno.
Alta amplitude térmica	A diferença significativa entre temperaturas máximas e mínimas permite avaliar a inércia térmica da edificação. Materiais com maior capacidade de armazenamento de calor tendem a suavizar variações de temperatura ao longo do dia, afetando diretamente o conforto dos usuários.

Tabela 2: Critérios de escolha.

Fonte: os autores (2025).

É relevante destacar que tanto a elevada radiação solar quanto a acentuada amplitude térmica foram adotadas como critérios complementares à concepção de "dia típico" conforme preconizado pela NBR 15575 (ABNT, 2013). A análise realizada indicou que os dias com maior incidência de radiação solar não coincidem, necessariamente, com aqueles que apresentam as maiores amplitudes térmicas. Com o objetivo de selecionar dias que reunissem, de forma equilibrada, ambos os atributos, foi realizada uma ponderação entre os dias que atendiam a esses dois critérios em níveis elevados, de modo a identificar uma condição intermediária. Essa metodologia será exemplificada na Seção 2.4, a qual descreve a etapa de comparação dos resultados.

2.3. FASE 3: COLETA DE DADOS

A área de estudo está situada no município do Rio de Janeiro, especificamente no bairro de Duque de Caxias. Dessa forma, a coleta dos dados de precipitação, radiação solar e amplitude térmica foi realizada na estação meteorológica de Xerém, pertencente ao Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (Inmetro), identificada como IMET A603. Esta estação foi selecionada por ser a mais próxima da área de interesse, localizada a aproximadamente 9,5 km do ponto de estudo.

2.4. FASE 4: SELEÇÃO DOS DIAS TÍPICOS

Na etapa final, foi realizada uma filtragem dos dias correspondentes a cada estação do ano, excluindo-se aqueles que apresentaram qualquer ocorrência de precipitação ao longo das 24 horas. Em seguida, foi feita uma análise gráfica comparativa entre os dias disponíveis em cada intervalo de tempo, com o objetivo de identificar sequências de, no mínimo, três dias consecutivos que atendessem a esse critério (Figura 2). A adoção do intervalo de três dias visou assegurar que eventuais precipitações anteriores não influenciassem os resultados, aumentando, assim, a confiabilidade da seleção dos dias típicos.

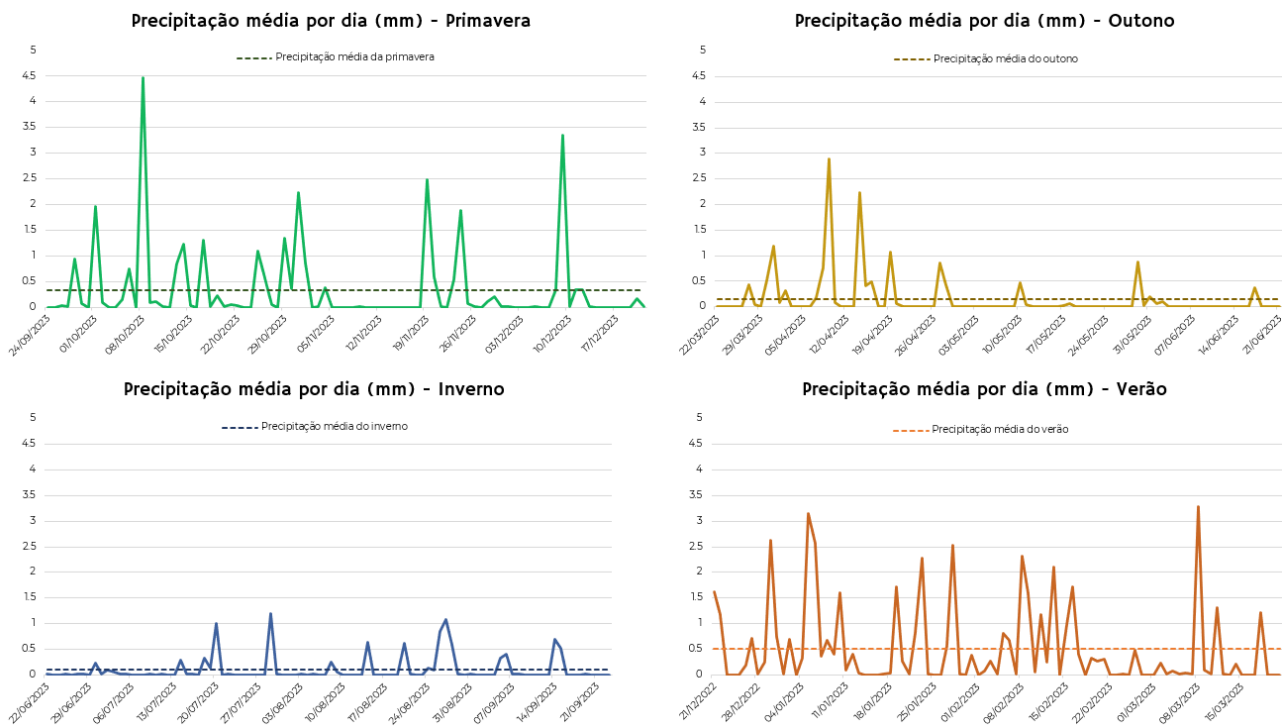


Figura 2: Precipitação média por dia, por estação do ano de 2023.
Fonte: os autores (2025).

O segundo passo consistiu na identificação dos dias que apresentaram, simultaneamente, os maiores índices de radiação solar e as mais elevadas amplitudes térmicas. Ressalta-se que esses dois parâmetros nem sempre ocorrem no mesmo dia; ou seja, os dias com maior radiação não correspondiam, necessariamente, aos dias com maior amplitude térmica. Por esse motivo, essa etapa demandou uma análise comparativa criteriosa entre os dados disponíveis. Após a aplicação de todos os filtros e critérios estabelecidos, foram selecionados quatro dias típicos, representando cada uma das estações do ano.

Como exemplificado na Tabela 2, para a estação da primavera foram identificados, com base na Figura 2, três intervalos de três dias consecutivos sem ocorrência de precipitação: 11 a 13 de novembro de 2023, 3 a 5 de dezembro de 2023 e 16 a 18 de dezembro de 2023. A partir desses intervalos, realizou-se uma comparação entre os valores de radiação solar e amplitude térmica média. O intervalo de 3 a 5 de dezembro foi descartado por apresentar os menores valores tanto de radiação quanto de amplitude térmica, em relação aos demais dias analisados. Em seguida, excluiu-se o período de 16 a 18 de dezembro, uma vez que sua amplitude térmica média (12,4 °C) foi consideravelmente inferior à do intervalo de 11 a 13 de novembro (16,3 °C). Dessa forma, foi selecionado como dia típico da estação o dia 12 de novembro de 2023, por apresentar o maior valor de amplitude térmica entre os dias remanescentes.

Data	Amplitude térmica (°C)	Maior radiação do dia (Kj/ m ²)
11/11/2023	15,337	3601,4
12/11/2023	18,746	3637,4
13/11/2023	14,946	3528,8
03/12/2023	14,962	3596,4
04/12/2023	9,564	3289,2
05/12/2023	4,054	2635,3
16/12/2023	14,214	3936,1
17/12/2023	12,454	3721,7
18/12/2023	10,531	4024,4

Tabela 2: Seleção do dia típico da primavera (12/11/2023).
Fonte: os autores (2025).

3. RESULTADOS

As estações do ano na região em estudo seguem o padrão climático do hemisfério sul, com o verão ocorrendo entre 21 de dezembro e 21 de março, o outono entre 21 de março e 21 de junho, o inverno entre 21 de junho e 23 de setembro, e a primavera entre 23 de setembro e 21 de dezembro.

Na primavera, o dia com maior amplitude térmica foi 19/11/2023 (22,3 °C); entretanto, esse dia foi desconsiderado devido à ocorrência de precipitação. Assim, foi selecionado o dia 12/11/2023, que apresentou a maior amplitude térmica entre os dias restantes e valores de radiação próximos ao máximo registrado no período, alcançando 4024 W/m².

Para a estação do outono, o dia escolhido foi 26/03/2023, por atender aos critérios estabelecidos de ausência de precipitação, elevada radiação solar e alta amplitude térmica. Neste dia, a estação meteorológica registrou uma temperatura máxima de 31,4 °C e mínima de 14,6 °C, valores levemente superiores aos padrões médios do outono na região, que giram em torno de 28 °C para as máximas e 16 °C para as mínimas.

No inverno, o dia selecionado apresentou a maior amplitude térmica e a maior radiação solar registrada durante toda a estação, o que garante uma representação adequada dos efeitos de resfriamento noturno e aquecimento diurno típicos da estação.

Por fim, no verão, a escolha foi baseada na combinação de elevada amplitude térmica e alta radiação solar, representando de forma fiel um cenário característico de calor intenso e elevada carga térmica sobre as edificações.

A tabela 3 apresenta os resultados descritos anteriormente.

Estação do ano	Dia típico	Amplitude térmica (°C)	Radiação solar (Kj/m ²)	Radiação máxima da estação (W/m ²)	Temperatura máxima (°C)	Temperatura mínima (°C)
Primavera	12/11/2023	19,8°	3637,4	4073,2	41,0°	21,2°
Outono	26/03/2023	17,1°	3263,6	3458,4	37,8°	20,7°
Inverno	18/09/2023	21,0°	3392,9	3392,9	37,3°	16,3°
Verão	04/02/2023	16,6°	3830,3	4250,4	39,3°	22,7°

Tabela 3: Seleção dos dias típicos (primavera, outono, inverno e verão).
Fonte: os autores (2025).

Os resultados obtidos demonstram que a metodologia empregada foi eficaz na seleção de dias representativos para cada estação do ano, abrangendo diferentes condições térmicas que

impactam diretamente o conforto ambiental das edificações. A escolha de dias sem ocorrência de precipitação assegurou que os efeitos do ganho térmico por radiação solar fossem analisados de forma isolada, sem interferências externas.

Os critérios de radiação solar elevada e ampla variação térmica diária foram essenciais para a identificação de dias que reproduzem condições extremas de aquecimento e resfriamento, contribuindo para uma análise mais precisa do desempenho térmico das edificações.

Observou-se que a primavera e o verão registraram os maiores valores de radiação solar, enquanto o inverno apresentou a maior amplitude térmica diária, evidenciando a importância da adoção de estratégias construtivas específicas para cada estação. O outono apresentou valores intermediários, refletindo a natureza de transição gradual entre os extremos térmicos do ano.

4. CONCLUSÃO

Este estudo buscou definir os dias típicos para avaliação do conforto térmico de edificações conforme a norma NBR 15575 (ABNT, 2013), considerando não apenas os períodos extremos de verão e inverno, mas também as estações intermediárias de outono e primavera. A metodologia adotada permitiu uma seleção do dia mais representativo para cada estação, utilizando os parâmetros: ausência de precipitação, radiação solar elevada e alta amplitude térmica.

Os resultados obtidos demonstraram que a seleção de dias típicos deve ser realizada de forma mais abrangente do que a proposta originalmente pela norma, pois os critérios adotados permitiram uma análise mais precisa do comportamento térmico das edificações em diferentes condições climáticas. A inclusão do outono e da primavera se mostrou essencial para capturar variabilidades climáticas que podem impactar diretamente no conforto térmico, principalmente em regiões de clima tropical, onde a radiação solar e a umidade têm grande influência sobre a percepção de conforto dos usuários.

A análise dos dados revelou que o dia escolhido para cada estação apresentam características distintas que os tornam representativos. No verão, os dias são marcados por temperaturas elevadas e uma forte incidência solar, o que reforça a necessidade de sistemas passivos de resfriamento e sombreamento adequado. No inverno, apesar de temperaturas médias mais baixas, a alta amplitude térmica indica a importância do isolamento térmico para manter o conforto interno das edificações. O outono e a primavera se mostraram períodos de transição, com dias de grande variabilidade térmica, reforçando a necessidade de sistemas construtivos adaptáveis para garantir conforto durante todo o ano.

Outro ponto relevante é que, apesar da norma enfatizar a temperatura máxima como critério principal, os resultados evidenciaram que a amplitude térmica e a radiação solar são fatores igualmente críticos para a definição dos dias típicos. Um dia com alta temperatura máxima pode não representar fielmente o comportamento térmico da edificação caso tenha baixa radiação ou pequena variação entre temperaturas diurnas e noturnas. Portanto, é fundamental que futuros estudos considerem esses elementos para refinamento dos critérios adotados na seleção dos dias padrões.

Por fim, este trabalho contribui para o aprimoramento dos métodos de avaliação de conforto térmico, propondo uma abordagem mais detalhada e alinhada às condições climáticas reais. A aplicação desse método pode proporcionar resultados mais confiáveis na fase de projeto e simulação de edificações, possibilitando soluções mais eficazes para garantir o conforto dos ocupantes ao longo de todo o ano. É recomendável que estudos futuros explorem o impacto de outras variáveis, como a velocidade do vento e a umidade relativa, para um refinamento ainda maior na definição dos dias típicos na previsão de condições térmicas ideais para diferentes tipos de edificação.

Reconhece-se a relevância da validação experimental como etapa fundamental para demonstrar a aplicabilidade e a efetividade dos dias típicos selecionados. Embora este estudo tenha se concentrado no desenvolvimento conceitual e na aplicação inicial da metodologia, com base em dados históricos, está previsto, em trabalhos futuros, a realização de experimentos controlados em

condições reais. Tais experimentos permitirão avaliar o desempenho prático da abordagem proposta, ampliando sua robustez e validade externa. Ressalta-se que, apesar da ausência de validação empírica nesta etapa, os resultados preliminares obtidos indicam o potencial da metodologia, ainda que validações complementares sejam necessárias para consolidar sua eficácia e aplicabilidade em diferentes contextos.

A seleção de um único dia representativo por estação fundamentou-se nos critérios estabelecidos pela NBR 15575 (ABNT, 2013), com o intuito de atender objetivamente às exigências normativas vigentes à época. Apesar de a abordagem desta pesquisa não corresponder mais às diretrizes atuais da norma, uma vez que a ABNT NBR 15575 foi atualizada em 2021, a metodologia adotada seguiu a versão de 2013, na qual a avaliação considerava um dia típico crítico representativo das condições climáticas locais.

No entanto, reconhece-se que tal abordagem pode restringir a representatividade das condições climáticas sazonais e comprometer a robustez estatística da análise. Como aprimoramento metodológico, propõe-se, em etapas futuras, a ampliação da amostragem para incluir múltiplos dias por estação. Essa expansão permitirá capturar de forma mais abrangente a variabilidade climática e, conseqüentemente, aumentar a confiabilidade e a generalização dos indicadores obtidos.

A atualização em 2021 da NBR 15575 trouxe uma mudança metodológica importante para a análise do desempenho térmico das edificações. Antes, a norma recomendava a definição de um "dia típico" para cada estação do ano, enquanto a versão mais recente orienta que a avaliação térmica seja realizada considerando todos os dias do ano. Essa alteração foi motivada pelo avanço das técnicas de monitoramento climático e pela necessidade de considerar eventos meteorológicos extremos, como ondas de calor e frentes frias, que impactam significativamente o conforto térmico e o desempenho das construções.

Em contraste, a norma revisada passou a exigir uma análise baseada em dados anuais, proporcionando uma visão mais abrangente do comportamento térmico e higroscópico dos materiais ao longo do tempo, além de permitir maior precisão na consideração da sazonalidade, do atraso térmico e das variações diárias. Diante das melhorias metodológicas introduzidas na atualização, recomenda-se que futuros estudos considerem a norma vigente para garantir uma avaliação mais detalhada e representativa.

A adoção da versão 2013 da NBR 15575 constituiu uma escolha metodológica deliberada, justificada por sua vigência durante a fase inicial do estudo e pela ampla adoção ainda observada em pesquisas correlatas. Contudo, reconhece-se que a atualização da norma em 2021 introduziu alterações significativas, notadamente a recomendação de uma abordagem contínua de análise ao longo do ano, o que implica impactos diretos na representatividade e adequação da seleção de dias típicos adotada neste trabalho.

Nesse contexto, reconhece-se a importância de uma discussão mais aprofundada acerca das implicações decorrentes da atualização da norma. Como desdobramento futuro, propõe-se a incorporação de análises complementares que considerem alternativas metodológicas, tais como o uso de dias médios, percentis ou agrupamentos de dias representativos por estação. Tais abordagens visam ampliar a representatividade climática, avaliar a sensibilidade dos resultados obtidos e fortalecer a robustez estatística da metodologia proposta.

Isso permitirá uma avaliação mais detalhada da resiliência dos telhados verdes em diferentes cenários climáticos, contribuindo para a formulação de diretrizes mais precisas para projetos arquitetônicos sustentáveis. Além disso, a análise contínua ao longo de todo o ano poderá fornecer subsídios para políticas públicas e normas técnicas mais robustas, incentivando o uso de soluções passivas de climatização e promovendo construções mais eficientes do ponto de vista energético e ambiental.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575**: Edificações habitacionais – Desempenho. Rio de Janeiro, 2013.
- ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575-1**: Edificações habitacionais — Desempenho — Parte 1: Requisitos gerais. Rio de Janeiro, 2013.
- ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575-1: 2021**: Edificações habitacionais — Desempenho — Parte 1: Requisitos gerais. Rio de Janeiro, 2021.
- AKBARI, H.; POMERANTZ, M.; TAHA, H. Cool surfaces and shade trees to reduce energy use and improve air quality in urban areas. **Solar Energy**, v. 70, n. 3, p. 295-310, 2001.
- ALBERTO, R. M. *et al.* Influência do telhado verde no conforto térmico das edificações. **Revista Brasileira de Engenharia Sustentável**, v. 10, p. 32-44, 2012.
- AMORIM, M. C. C. T. Estudo do conforto térmico em ambiente tropical. **Revista Geográfica de América Central**, Número Especial EGAL, 2011.
- AZEVEDO, S. V. Estratégias de projeto responsivas ao clima e seu impacto no desempenho térmico das edificações. **Revista Brasileira de Arquitetura Bioclimática**, v. 4, p. 87-101, 2017.
- CASTLETON, H. F.; STYLES, D.; ORME, M.; KINABARA, G. Green roofs as a means of improving thermal performance of buildings: A review. **Building and Environment**, v. 45, n. 10, p. 2580-2594, 2010.
- DAEMEI, A. B.; EGHBALI, S. S.; KHOTBEHSARA, E. M. Green roof performance in tropical climates: Review and analysis. **Building and Environment**, v. 156, p. 168-181, 2019.
- DE LIZ, T. M. A influência da cobertura na eficiência energética de edificações. **Revista de Sustentabilidade e Eficiência Energética**, v. 2, p. 15-28, 2017.
- DIAS, L. A. As ilhas de calor urbanas e seus impactos climáticos. **Climatologia Aplicada**, v. 9, n. 1, p. 56-72, 2016.
- FEITOSA, R. C.; WILKINSON, S. J. Thermal performance of green roofs in different climate zones. **Journal of Environmental Management**, v. 206, p. 194-203, 2018.
- FERRAZ, C. A. Telhados verdes: características térmicas e eficiência energética. **Revista de Engenharia Ambiental**, v. 19, p. 78-92, 2012.
- FROTA, A. B.; SCHIFFER, S. R. **Manual de conforto térmico**: arquitetura, urbanismo. 5. ed. São Paulo: Studio Nobel, 2001.
- HONG, B.; GUO, R.; TANG, T. The potential of green roofs for mitigating urban heat island effects under different climate conditions. **Sustainable Cities and Society**, v. 45, p. 117-128, 2019.
- IGRA – INTERNATIONAL GREEN ROOF ASSOCIATION. **Green Roofs in Urban Areas**. Stuttgart, 2010.
- JIM, C. Y.; PENG, L. L. H. Weather effect on thermal and energy performance of an extensive green roof. **Building and Environment**, v. 57, p. 269-282, 2012.
- KHOTBEHSARA, E. M.; DAEMEI, A. B.; MALEKJAHAN, A. Impact of green roofs on urban climate and energy efficiency: A review. **Energy and Buildings**, v. 202, p. 109-125, 2019.
- KAVISKI, J. Análise experimental do desempenho térmico de coberturas verdes em protótipos urbanos. **Revista Brasileira de Engenharia Civil Sustentável**, v. 7, p. 34-50, 2018.
- LABEEE – Laboratório de Eficiência Energética em Edificações. **Desempenho térmico de edificações**. Universidade Federal de Santa Catarina, 2016.

- OBERNDORFER, E. *et al.* Green roofs as urban ecosystems: Ecological structures, functions, and services. **Bioscience**, v. 57, n. 10, p. 823-833, 2007.
- OULDBOUCH, A.; MESTER, B. **Green roofs and their role in urban thermal comfort: Seasonal performance and energy savings**. Springer, 2017.
- OLUWAFEYIKEMI, O.; JULIE, J. The role of green roofs in reducing heat stress in urban environments. **Urban Climate Journal**, v. 14, p. 45-56, 2015.
- PARIZOTTO, S.; LAMBERTS, R. The influence of green roofs on thermal comfort in urban areas: A study in a tropical climate. **Building and Environment**, v. 46, p. 1460-1473, 2011.
- PEREIRA, E. B. *et al.* **Atlas brasileiro de energia solar**. São José dos Campos: INPE, 2006.
- PEREIRA, F. O. R. Arquitetura e eficiência energética: estratégias para edifícios sustentáveis. **Revista de Arquitetura e Meio Ambiente**, v. 6, p. 65-79, 2014.
- PERUSSI, M. M.; VECCHIA, F. A. S. O crescimento desordenado das cidades e seus impactos ambientais. **Revista de Geografia e Meio Ambiente**, v. 10, p. 89-103, 2017.
- SANTT'ANA NETO, J. L. Clima urbano e qualidade ambiental nas cidades tropicais. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 7, p. 22-39, 2011.
- SANTAMOURIS, M. Cooling the cities – A review of reflective and green roof mitigation technologies to fight heat island and improve urban climate. **Solar Energy**, v. 103, p. 682-703, 2014.
- SANTAMOURIS, M. **Advances in passive cooling**. London: Earthscan, 2010.
- SAVÍ, C. L. Desempenho térmico de coberturas vegetadas: um estudo comparativo em protótipos. **Revista de Engenharia Sustentável**, v. 8, p. 51-64, 2015.
- SILVA, A. C. O efeito das ilhas de calor urbanas e sua relação com o conforto térmico. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 12, p. 103-119, 2016.
- SILVA, L. A.; LIMA, T. P.; CARDOSO, M. J. O impacto dos telhados verdes na eficiência térmica das edificações. **Revista de Arquitetura Sustentável**, v. 4, p. 19-31, 2016.
- STOCCO, L.; CANTÓN, M. A.; CORREA, E. A influência das coberturas vegetadas na redução do consumo energético de edificações urbanas. **Sustainable Building Journal**, v. 23, p. 89-105, 2015.