XXI ENTAC – Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído
14 a 16 de outubro de 2026 | Goiânia-Brasil
DOI: https://doi.org/10.46421/entac.v21i1.8264

# Desempenho Térmico de Telhados Verdes em Climas Tropicais: Revisão Sistemática (PRISMA)

## Thermal Performance of Green Roofs in Tropical Climates: A Systematic Review (PRISMA)

**Patrick Silva da Cruz**
UFRJ| Rio de Janeiro| Brasil | patrickcruz13@poli.ufrj.br
**Mel Lacerda**
UFRJ | Rio de Janeiro| Brasil | mellacerdalyra2002.20222@poli.ufrj.br
**Alice Vitória Ibá Dias**
UFRJ | Rio de Janeiro| Brasil | aliceibadias.20241@poli.ufrj.br
**Maria Eduarda de Oliveira**
UFRJ | Rio de Janeiro| Brasil | mariaoliveira.20222@poli.ufrj.br
**Elaine Garrido Vazquez**
UFRJ | Rio de Janeiro| Brasil | elaine@poli.ufrj.br

**Resumo**
O crescimento urbano, aliado ao aumento das superfícies impermeáveis, intensifica o fenômeno das ilhas de calor, tornando necessárias soluções de resfriamento passivo, como os telhados verdes. No entanto, existe uma lacuna na literatura quanto à síntese de dados experimentais focados estritamente em climas tropicais brasileiros. Este trabalho analisa evidências científicas sobre o desempenho térmico de telhados verdes em comparação com coberturas convencionais (lajes e telhas cerâmicas/metálicas) por meio de uma revisão sistemática baseada no protocolo PRISMA. A metodologia envolveu a triagem de 295 artigos em bases científicas, com apoio de ferramentas de IA para garantir o rigor na seleção. Os resultados indicam reduções de temperatura interna de até 14 °C, evidenciando a eficácia do sistema na mitigação do calor urbano. A contribuição reside na sistematização de evidências para suporte à tomada de decisão em projetos de telhados verdes em regiões de clima tropical.

Palavras-chave: Clima tropical. Desempenho térmico. Metodologia PRISMA. Telhado verde.

**Abstract**
Urban growth, combined with an increase in impervious surfaces, intensifies the heat island effect, requiring passive cooling solutions like green roofs. However, there is a gap in the literature regarding the synthesis of experimental data focused strictly on Brazilian tropical climates. This study analyzes scientific evidence on the thermal performance of green roofs compared to conventional roofing (concrete slabs and ceramic/metal tiles) through a systematic review based on the PRISMA protocol. The methodology involved screening 295 articles in scientific databases, with the support of AI tools to ensure rigorous selection. The results indicate reductions in indoor temperature of up to 14°C, demonstrating the system's effectiveness in mitigating urban heat. The contribution lies in the systematization of evidence to support decision-making in green roof projects in tropical climate regions.

*Keywords: Tropical climate. Thermal performance. PRISMA methodology. Green roof.*

CRUZ, P. S.; LACERDA, M.; DIAS, A. V. I.; OLIVEIRA, M. E.; VAZQUEZ, E. G Desempenho Térmico de Telhados Verdes em Climas Tropicais: Revisão Sistemática (PRISMA). In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 21, 2026, Goiânia. **Anais**... Goiânia: ANTAC, 2026.

## INTRODUÇÃO

O crescimento urbano acelerado tem intensificado desafios ambientais e climáticos. Segundo o Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente, as cidades são responsáveis por cerca de 70% das emissões globais de gases de efeito estufa [1]. Entre os impactos associados destaca-se a formação da Ilha de Calor Urbana (ICU), favorecida pela substituição da vegetação por superfícies impermeáveis e de baixo albedo, como asfalto e concreto, que alteram o balanço energético local [2].

Esse aquecimento afeta o desempenho térmico das edificações, aumentando a demanda por climatização artificial e o consumo de energia no setor de edificações [3]. Em regiões de clima quente e tropical, sistemas convencionais de coberturas, como lajes de concreto, telhas cerâmicas ou metálicas, tendem a absorver grande quantidade de radiação solar, elevando a temperatura superficial e o calor transmitido ao interior das edificações [4], o que intensifica o consumo energético e reduz o conforto térmico em áreas urbanas densas, ainda que o sombreamento entre edificações e a configuração urbana possam modificar localmente a intensidade da ilha de calor [5].

Nesse contexto, o conforto térmico, definido como a condição de satisfação do ocupante com o ambiente térmico [6], pode ser alcançado por meio de estratégias construtivas que melhorem o desempenho da envoltória das edificações [7], promovendo eficiência energética e reduzindo a dependência de sistemas mecânicos para climatização [8].

Entre essas soluções destacam-se os telhados verdes, sistemas compostos por camadas de impermeabilização, drenagem, substrato e vegetação instaladas sobre as coberturas das edificações [9]. Estudos indicam que esses sistemas reduzem a temperatura superficial e o fluxo de calor para o interior das edificações, contribuindo para a mitigação da ilha de calor urbana e para melhores condições de aceitabilidade térmica nos ambientes internos [4]. Além disso, podem ser classificados como extensivos ou intensivos, conforme a profundidade do substrato, o tipo de vegetação e as necessidades de manutenção [5].

Apesar do crescente número de pesquisas sobre o tema, observa-se dispersão metodológica entre os estudos experimentais desenvolvidos em climas tropicais, especialmente quanto aos parâmetros de avaliação térmica e às comparações entre telhados verdes e coberturas convencionais (lajes e telhas cerâmicas/metálicas) [10]. Nesse sentido, torna-se relevante sistematizar as evidências científicas disponíveis, identificando tendências, métodos empregados e resultados obtidos na literatura recente.

Diante disso, este estudo analisa, por meio de uma revisão sistemática da literatura, as evidências científicas sobre o desempenho térmico de telhados verdes em climas tropicais, com foco em estudos experimentais que comparam esses sistemas às coberturas convencionais, especialmente quanto à redução da temperatura interna das edificações.

## MATERIAIS E MÉTODOS

A metodologia desta pesquisa foi estruturada em quatro etapas principais: definição da questão de investigação, estabelecimento da estratégia de busca bibliográfica, aplicação dos critérios de elegibilidade e análise crítica e síntese dos estudos

selecionados. Nesse contexto, adotou-se a revisão sistemática da literatura como método de pesquisa, caracterizada pela aplicação de procedimentos explícitos e transparentes para a identificação, seleção, avaliação crítica e síntese de estudos relevantes relacionados ao tema investigado. Diferentemente das revisões tradicionais ou narrativas, essa abordagem metodológica busca reduzir vieses por meio de estratégias sistemáticas de busca bibliográfica, critérios rigorosos de inclusão e exclusão e avaliação da qualidade dos estudos analisados, assegurando maior imparcialidade e confiabilidade dos resultados [11].

Quando os estudos selecionados apresentam similaridade metodológica e estatística, os dados extraídos podem ser combinados quantitativamente por meio da meta-análise, técnica que permite a síntese estatística de resultados provenientes de pesquisas independentes e comparáveis. A associação entre revisão sistemática e meta-análise possibilita a organização e racionalização de grandes volumes de informação científica, além de ampliar a precisão das análises, avaliar a consistência dos achados e fortalecer a robustez das conclusões obtidas no contexto da pesquisa [12].

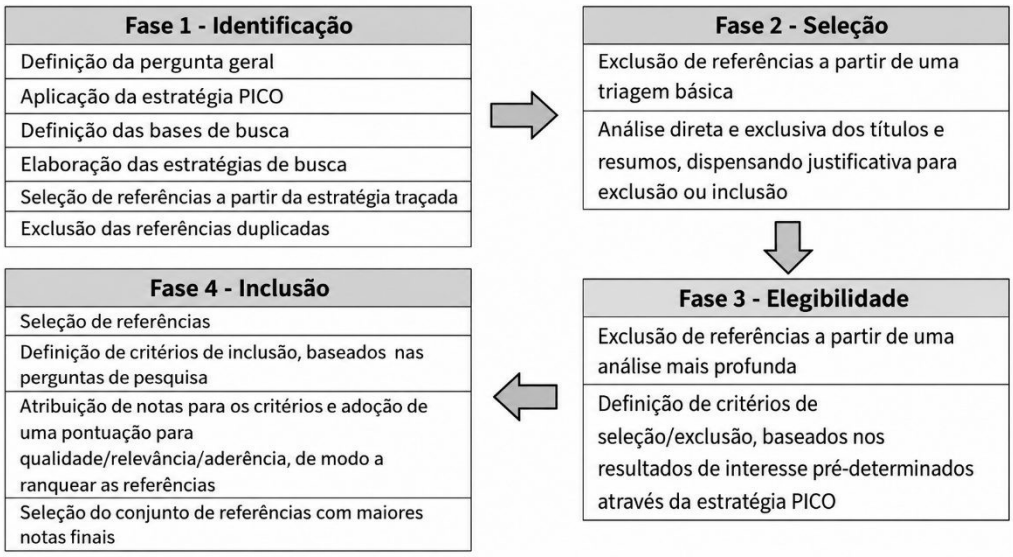
Nesse contexto, a adoção do protocolo PRISMA (*Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses*) fundamenta-se no seu caráter rigoroso e amplamente reconhecido para a condução de revisões sistemáticas com meta-análise, uma vez que associa, de forma estruturada, essas duas abordagens metodológicas [13].

### 2.2 Protocolo de Revisão Sistemática

A metodologia PRISMA consiste numa abordagem que organiza o processo de revisão em quatro etapas claramente definidas, permitindo a identificação abrangente dos estudos, a aplicação criteriosa de filtros de seleção e a avaliação da elegibilidade das pesquisas incluídas [14].

As quatro fases do protocolo PRISMA são apresentadas no fluxograma da Figura 1.

**Figura 1 - Fluxograma resumido das 4 fases do protocolo PRISMA**




Fonte: adaptado de Siqueira [15]

O processo de triagem dos estudos inicia-se pela etapa de identificação, na qual é definida a pergunta de pesquisa. Em seguida, aplica-se a estratégia PICO, acrônimo

utilizado para estruturar questões de pesquisa: “P” corresponde à população ou contexto analisado, “I” à intervenção em estudo, “C” à condição de comparação e “O” aos resultados ou desfechos investigados [16]. Nessa fase, as referências são coletadas conforme critérios previamente definidos, considerando bases de dados, período de busca e palavras-chave, com exclusão de registros duplicados.

Na etapa de seleção, realiza-se uma triagem preliminar com base na leitura de títulos e resumos, permitindo excluir estudos não aderentes ao tema. Em seguida, na fase de elegibilidade, os artigos selecionados passam por análise completa do texto, com aplicação de critérios de inclusão e exclusão fundamentados nos objetivos do estudo e na estratégia PICO. Por fim, na etapa de inclusão, os trabalhos elegíveis são avaliados quanto à qualidade metodológica, relevância e aderência temática, definindo-se o conjunto final de artigos da revisão sistemática.

## SÍNTESE QUALITATIVA – META-ANÁLISES

As meta-análises foram conduzidas com o objetivo de sintetizar quantitativamente os efeitos dos sistemas de telhados verdes na eficiência térmica das edificações em clima tropical, com ênfase na redução da temperatura interna em comparação com coberturas convencionais. Os dados extraídos foram organizados e padronizados para análise detalhada.

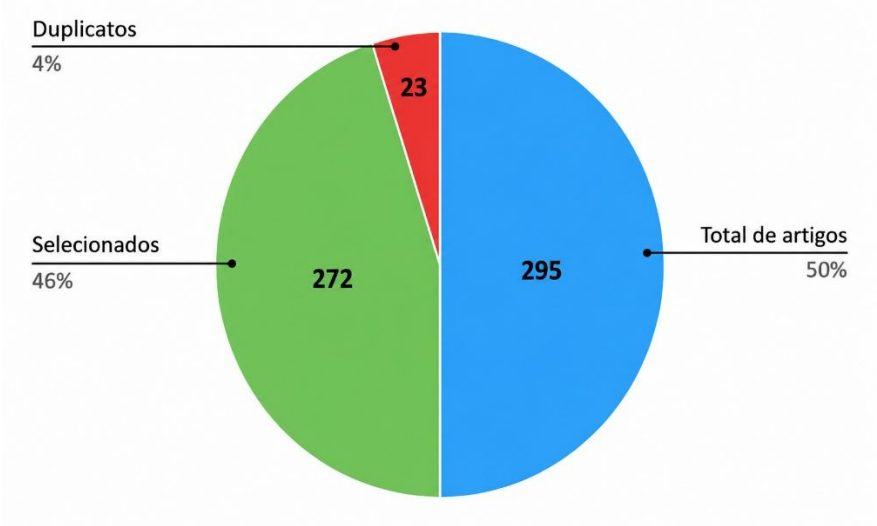
Na primeira fase, foi definida a pergunta de pesquisa: qual a eficiência térmica de sistemas de telhados verdes em comparação com coberturas convencionais, considerando a temperatura interna em regiões de clima tropical? Para estruturar a investigação, aplicou-se a estratégia PICO: população (eficiência térmica), intervenção (telhados verdes), comparação (coberturas convencionais) e resultados (temperatura interna).

A pesquisa priorizou estudos publicados entre 2020 e 2025, visando identificar o estado da arte mais recente. O levantamento bibliográfico foi realizado nas bases *Scopus*, *ScienceDirect* e *Engineering Village*, complementado por Google Acadêmico, Portal de Periódicos CAPES e repositórios institucionais. A estratégia de busca combinou descritores em português e inglês, como *green roof*, *thermal efficiency*, *thermal comfort*, *internal temperature* e *tropical climate*.

Os resultados da fase de identificação estão apresentados na Figura 2.

**Figura 2: Resultados 1ª Fase - Identificação**

DOI: https://doi.org/10.46421/entac.v21i1.8264

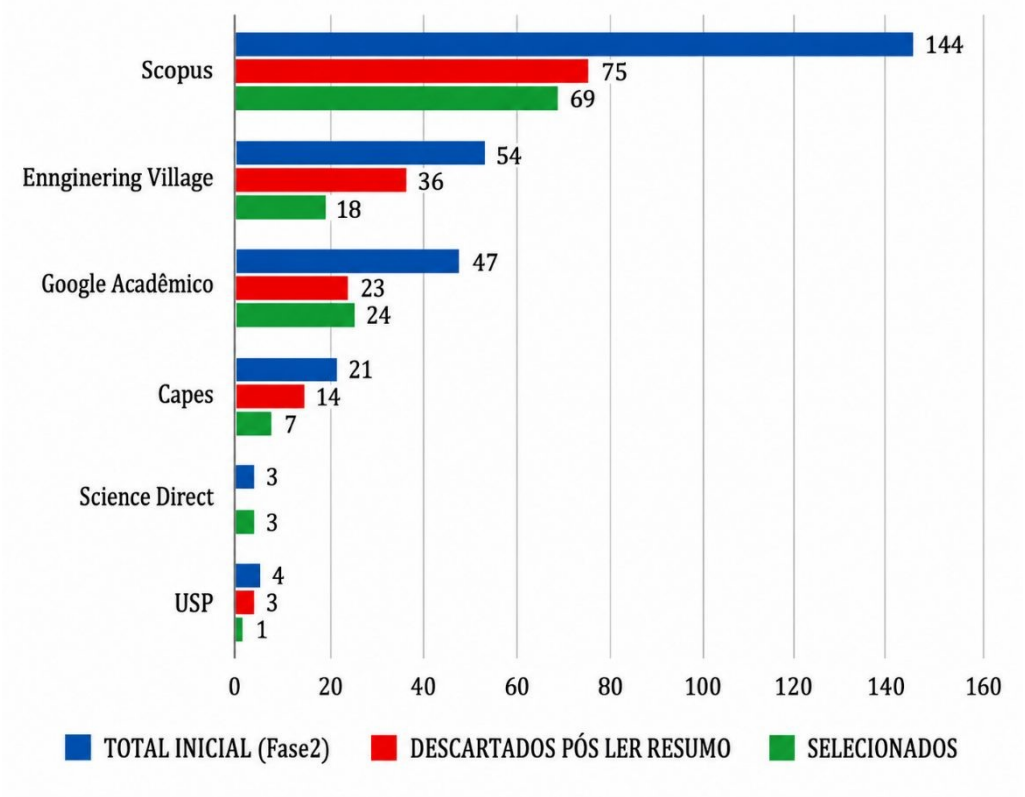



Fonte: o autor.

Como primeiro resultado, apresenta-se a distribuição dos 295 artigos identificados na etapa inicial da pesquisa, ilustrada no gráfico de pizza (Figura 3a), que mostra os registros coletados nas bases de dados antes da aplicação dos critérios de elegibilidade. A base *Scopus* concentrou o maior número de publicações (148 artigos), seguida por *Engineering Village* (56) e *Google* Acadêmico (52). Na sequência aparecem o Portal de Periódicos CAPES (27), *ScienceDirect* (8) e o repositório da Universidade de São Paulo (USP), com 4 artigos. Esses dados evidenciam a predominância de bases internacionais na etapa inicial de busca.

A segunda fase da metodologia PRISMA correspondeu à seleção dos estudos, realizada por meio da leitura dos títulos e resumos para verificar a aderência aos critérios de inclusão e exclusão. Nessa etapa, foram excluídos trabalhos fora do escopo da pesquisa ou que não atendiam aos elementos da estratégia PICO. Como resultado, 151 artigos foram removidos, restando 122 estudos para a etapa de elegibilidade, conforme apresentado na Figura 3.

**Figura 3 – resultados 2ª Fase – Seleção**




Fonte: o autor.

As fases de elegibilidade e inclusão foram conduzidas de forma integrada, por meio da análise do texto completo dos estudos selecionados, conforme recomendado pelo PRISMA 2020.

A utilização de ferramentas de inteligência artificial (IA) no processo de revisão sistemática, fundamentado no protocolo PRISMA, visa ampliar a confiabilidade e a eficiência da triagem bibliográfica ao mitigar vieses interpretativos. No presente estudo, a aplicação do ChatGPT e do NotebookLM permitiu identificar padrões consistentes de seleção, priorizando artigos com metodologias robustas e resultados quantitativos claros sobre o desempenho térmico de telhados verdes. Ambas as ferramentas demonstraram convergência ao valorizarem estudos com delineamento experimental definido, monitoramento in loco e comparações diretas entre sistemas construtivos em regiões de baixa latitude.

Contudo, a análise comparativa revelou distinções metodológicas cruciais entre os dois modelos, especialmente no que tange ao rigor de seleção e à profundidade analítica. Enquanto o ChatGPT apresentou uma abordagem mais sensível e interpretativa, resultando em uma amostra inicial mais ampla que incluiu contribuições teóricas e indiretas, o NotebookLM manifestou uma tendência restritiva e conservadora. Essa maior especificidade na filtragem assegurou que apenas os estudos com forte aderência aos critérios técnicos previamente estabelecidos fossem incluídos na etapa final de análise.

A escolha do NotebookLM como base para a síntese qualitativa justifica-se por sua objetividade e foco direto nas evidências experimentais explícitas. Diferentemente de abordagens mais permissivas, essa ferramenta priorizou a correspondência técnica rigorosa aos critérios de monitoramento de temperatura interna e aplicabilidade ao clima tropical, reduzindo a inclusão de trabalhos periféricos que poderiam

comprometer a precisão da meta-análise. Assim, a seletividade demonstrada pelo NotebookLM conferiu maior rigor técnico à filtragem, garantindo que a amostra final fosse composta estritamente por dados empíricos de alta relevância científica.

Ademais, a validação do processo de triagem ocorreu por meio de um prompt estruturado com base nos critérios de elegibilidade da Tabela 1, o que garantiu a padronização da leitura integral dos artigos por ambas as IA's. A conformidade da amostra final, em que 100% dos artigos atenderam aos critérios de comparação entre coberturas e análise de eficiência térmica, ratifica a eficácia do uso combinado dessas ferramentas. Portanto, a utilização do NotebookLM não substituiu a análise crítica dos pesquisadores, mas atuou como um suporte metodológico preciso, equilibrando a abrangência interpretativa necessária na fase exploratória com o rigor científico indispensável para a conclusão da revisão.

**Tabela 1: Tabela de critérios**

| | Critérios | Pontuação |
|---|---|---|
| 1 | Comparação entre Telhado verde e Telhado convencional | 0 a 2 |
| 2 | Eficiência térmica | 0 a 2 |
| 3 | Temperatura interna | 0 a 2 |
| 4 | Clima tropical | 0 a 2 |
| 5 | Comparação entre análise experimental, análise teórica ou simulação | 0 a 2 |
| | Total | 0 a 10 |

Fonte: o autor.

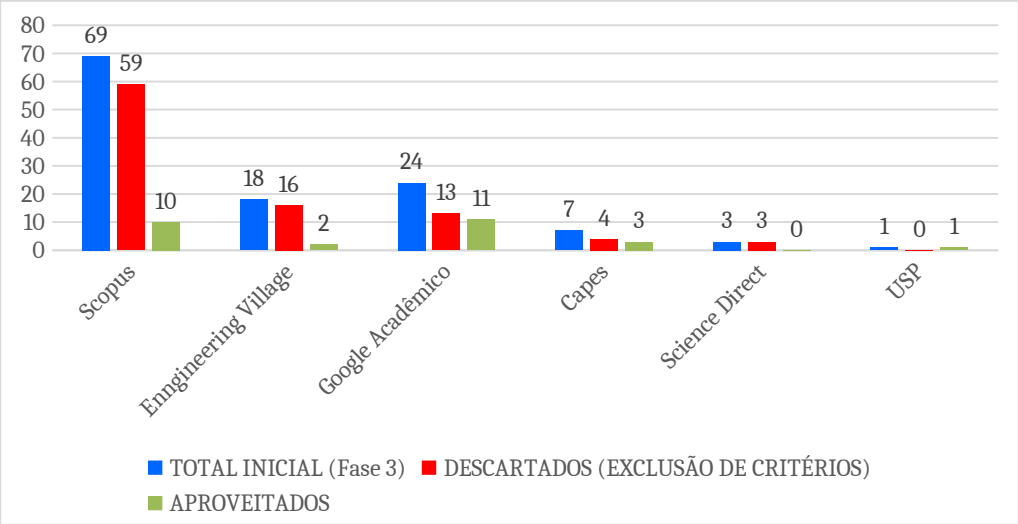
Foram considerados elegíveis para inclusão apenas os estudos que atingiram a pontuação maior que 9,0, seguindo a esses critérios, com ênfase em pesquisas experimentais que avaliassem o impacto dos telhados verdes sobre o desempenho térmico, a temperatura interna e o conforto térmico em edificações localizadas em clima tropical.

Dos 122 estudos avaliados em texto completo, a análise apoiada pelo *ChatGPT* resultou na inclusão de 59 estudos, enquanto a análise conduzida pelo *Notebook LM* identificou 27 estudos elegíveis. A análise comparativa realizada a partir das pontuações e justificativas atribuídas aos artigos pelo ChatGPT e pelo NotebookLM permitiu identificar padrões relevantes no processo de seleção dos estudos relacionados ao desempenho térmico de telhados verdes em climas tropicais, especialmente no contexto brasileiro.

Em diversos casos, artigos que receberam notas elevadas pelo ChatGPT obtiveram classificações intermediárias no NotebookLM devido à ausência de foco experimental direto ou insuficiente aderência ao contexto climático tropical. O NotebookLM demonstrou uma tendência mais restritiva, priorizando estudos com forte aderência metodológica e relação direta com o objetivo da pesquisa. Esse padrão demonstra coerência entre os critérios estabelecidos na revisão e o objetivo central da pesquisa, voltado à análise experimental da eficiência térmica de telhados verdes em clima tropical. Essa maior especificidade na filtragem assegurou que apenas os estudos com forte aderência aos critérios técnicos previamente estabelecidos fossem incluídos na etapa final de análise.

Considerando a maior seletividade do NotebookLM, 27 estudos foram incluídos na síntese qualitativa, conforme apresentado na figura 4.

**Figura 4 – Elegibilidade e Inclusão dos Estudos - Notebook L**




Fonte: o autor.

Os 27 estudos considerados elegíveis compuseram a base para a síntese qualitativa, na qual as informações relevantes foram extraídas, organizadas e analisadas de forma sistemática, visando identificar tendências, convergências e lacunas na literatura relacionada ao tema investigado.

A classificação climática adotada pelo Notebook LM durante a etapa de elegibilidade considerou uma interpretação ampliada do conceito de clima tropical, baseada não apenas na nomenclatura climática estrita, mas também nas características ambientais e térmicas semelhantes às observadas em regiões tropicais urbanas, como o Rio de Janeiro. Dessa forma, estudos desenvolvidos em climas subtropicais, semiáridos, quentes, mediterrâneos e mistos puderam ser considerados elegíveis quando apresentavam condições de elevada radiação solar, altas temperaturas médias, forte incidência térmica e demandas de resfriamento semelhantes às do contexto tropical. Essa abordagem encontra respaldo na literatura climatológica, que reconhece a existência de subclasses e zonas de transição do clima tropical, especialmente em regiões de clima tropical úmido, tropical de altitude e tropical sazonal, segundo classificações como Köppen-Geiger. Assim, o Notebook LM interpretou o “clima tropical” como um espectro climático de comportamento térmico compatível com ambientes urbanos quentes e úmidos, priorizando a similaridade das condições de desempenho térmico das edificações em vez da classificação climática rígida. Essa interpretação permitiu incluir estudos relevantes conduzidos em contextos climáticos análogos ao brasileiro, ampliando a robustez da revisão sistemática e garantindo maior representatividade das análises sobre eficiência térmica de telhados verdes.

## SÍNTESE QUALITATIVA - EVIDÊNCIAS CIENTÍFICAS

Na síntese quantitativa é apresentada uma análise mais detalhada dos 27 artigos, dos quais 59 % são de origem nacional e 41% internacionais. Embora a maioria das

publicações seja brasileira, ressalta-se que o Brasil, por apresentar dimensões continentais e ampla diversidade climática, não pode ser considerado homogêneo sob o ponto de vista térmico. Assim, a filtragem baseada exclusivamente no país de origem não se mostra suficiente para garantir a similaridade das condições climáticas entre os estudos analisados.

Para a verificação final da eficácia da metodologia PRISMA, procedeu-se à análise das porcentagens de artigos (Tabela 2) que atenderam a cada um dos critérios previamente estabelecidos (Tabela 1), permitindo avaliar o grau de conformidade da amostra final com os parâmetros definidos na estratégia metodológica da revisão.

**Tabela 2: Resultado dos critérios (%)**

| | Critérios | Resultado (%) |
|---|---|---|
| 1 | Comparação entre Telhado verde e Telhado convencional | 100% |
| 2 | Eficiência térmica | 100% |
| 3 | Temperatura interna | 93% |
| 4 | Clima tropical | 66% |
| 5 | Comparação entre análise experimental, análise teórica ou simulação | 93% |

Fonte: o autor.

O primeiro critério (comparação entre telhado verde e telhado convencional) foi plenamente atendido pelos 27 estudos analisados, todos baseados em comparações experimentais entre sistemas de cobertura, utilizando protótipos, células-teste, edificações monitoradas ou simulações. Essa conformidade reflete a aplicação rigorosa dos critérios de inclusão alinhados à estratégia PICO, garantindo elevada aderência temática.

O segundo critério, referente à eficiência térmica associada ao telhado verde, também apresentou total conformidade. Todos os estudos avaliaram o desempenho térmico, a redução da temperatura interna, a economia de energia ou a melhoria do conforto térmico, atendendo diretamente ao desfecho estabelecido na revisão.

O terceiro critério, relacionado à temperatura interna, apresentou alto nível de conformidade: 25 estudos (93%) mensuraram diretamente a temperatura do ar interno, enquanto 2 (7%) analisaram variáveis térmicas correlatas, como fluxo de calor e temperatura nas camadas do sistema.

Quanto ao critério climático, a análise quantitativa demonstra predominância de estudos conduzidos em clima tropical, representando 37% da amostra selecionada, seguido pelas subclasses subtropical e semiárido/árido, ambas com 15%. Esses resultados indicam que a maior parte dos estudos selecionados apresenta condições climáticas de elevada exposição térmica e intensa radiação solar, reforçando a coerência da seleção metodológica adotada pelo Notebook LM para compor a síntese qualitativa e a futura análise gráfica das subclasses climáticas contempladas na revisão sistemática.

O quinto critério, referente ao delineamento experimental, também apresentou alta conformidade: 25 estudos (93%) utilizaram protótipos ou módulos experimentais instrumentados, e 2 (7%) consistiram em estudos de caso com monitoramento em edificações existentes.

Após a aplicação da fase final do método PRISMA, 27 artigos permaneceram na amostra, sendo selecionados 12 estudos experimentais conduzidos em clima tropical para análise aprofundada.

A análise quantitativa da amostra demonstrou predominância de estudos desenvolvidos no Brasil, representando 80% dos artigos selecionados, enquanto 20% corresponderam a pesquisas conduzidas na Índia. Esse resultado evidencia a crescente relevância da temática em países caracterizados por elevada radiação solar, altas temperaturas médias e intensa demanda por estratégias passivas de resfriamento térmico aplicadas ao ambiente construído.

Em relação à classificação metodológica, verificou-se que 60% dos estudos adotaram metodologia estritamente experimental, com monitoramento térmico direto em protótipos ou células-teste instrumentadas. Outros 20% associaram procedimentos experimentais à termografia infravermelha para análise da distribuição térmica superficial das coberturas, enquanto 10% utilizaram monitoramento automatizado contínuo por sensores e 10% combinaram análise experimental com simulação computacional. Esses resultados evidenciam a predominância de pesquisas aplicadas fundamentadas em monitoramento in loco, fator que amplia a confiabilidade e a representatividade dos dados obtidos na revisão sistemática.

Quanto à vegetação empregada nos sistemas de telhado verde, observou-se predominância de gramíneas ornamentais ou gramíneas não especificadas, presentes em aproximadamente 50% dos estudos analisados. As demais pesquisas utilizaram culturas comestíveis (20%), gramíneas nativas ou forrageiras (20%) e sistemas consorciados entre gramíneas, suculentas e cactáceas (10%). Essa distribuição demonstra a preferência da literatura por espécies vegetais de baixa manutenção, elevada resistência climática e maior capacidade de cobertura superficial, características diretamente relacionadas ao aumento da eficiência térmica e à redução do ganho de calor nas coberturas vegetadas.

A análise das pontuações atribuídas aos artigos revelou que 70% dos estudos alcançaram pontuação máxima (10/10), indicando conformidade integral com os critérios estabelecidos na revisão, especialmente quanto à comparação experimental entre telhados verdes e coberturas convencionais, análise da eficiência térmica, monitoramento da temperatura interna e aplicação em clima tropical. Os demais 30% obtiveram pontuação 9/10 devido a limitações metodológicas pontuais, principalmente relacionadas à classificação climática da região estudada ou à ausência de mensuração direta da temperatura interna do ambiente.

Entre os estudos que não atingiram pontuação máxima, observou-se que duas pesquisas perderam pontuação devido à localização em regiões classificadas como clima tropical de altitude ou subtropical, embora apresentassem comportamento térmico compatível com condições tropicais urbanas. Outro estudo apresentou limitação parcial quanto à mensuração direta da temperatura interna, concentrando parte da análise em variáveis térmicas correlatas, como temperatura superficial e comportamento da cobertura vegetal. Ainda assim, todos os artigos mantiveram elevada aderência temática e metodológica, justificando sua permanência na amostra final.

Os resultados experimentais identificados confirmam a eficácia dos telhados verdes na mitigação térmica das edificações em regiões quentes. Os maiores desempenhos térmicos foram observados em estudos que combinaram elevada densidade vegetal, substratos mais espessos e monitoramento contínuo das condições microclimáticas,

fatores diretamente relacionados ao aumento da inércia térmica, da evapotranspiração e da capacidade de retenção de calor do sistema vegetado.

Dentre os resultados mais significativos identificados na amostra experimental, destacam-se os estudos que registraram as maiores reduções de temperatura interna em edificações com telhado verde quando comparadas às coberturas convencionais. Silva e Barbosa (2021) [17] observaram redução máxima de aproximadamente 7 °C, enquanto Rodrigues et al. (2020) [18] verificaram abatimento térmico de até 8 °C em protótipos monitorados experimentalmente. Resultados ainda mais expressivos foram reportados nos estudos conduzidos em Chennai, na Índia, nos quais Visvanathan et al. (2023) [19] identificaram reduções variando entre 4 °C e 11 °C, podendo alcançar aproximadamente 14 °C em cenários simulados de elevada eficiência térmica. Esses resultados demonstram que os telhados verdes atuam como importantes mecanismos passivos de isolamento térmico, reduzindo significativamente a transferência de calor para o ambiente interno das edificações. Além disso, evidenciam que a presença da cobertura vegetal associada ao substrato contribui diretamente para o aumento da inércia térmica, da evapotranspiração e do sombreamento superficial, fatores que justificam o elevado desempenho térmico observado nos estudos experimentais selecionados.

De forma geral, os resultados demonstram elevada consistência metodológica da amostra selecionada, reforçando a efetividade do protocolo PRISMA associado aos critérios de pontuação adotados na revisão sistemática. A predominância de estudos experimentais, desenvolvidos majoritariamente em clima tropical e fundamentados em monitoramento térmico real, evidencia a robustez científica das conclusões obtidas acerca do desempenho térmico dos telhados verdes em regiões quentes e urbanizadas.

## CONCLUSÃO

A presente revisão sistemática, conduzida sob o rigor metodológico do protocolo PRISMA, permitiu atingir o objetivo de avaliar o desempenho térmico de telhados verdes em comparação aos sistemas de vedação horizontal convencionais, tais como lajes de concreto e coberturas cerâmicas ou metálicas. A aplicação criteriosa dos parâmetros de inclusão e exclusão permitiu a consolidação de uma amostra consistente, apta a sustentar análises críticas e discussões fundamentadas em evidências científicas. A utilização combinada de ferramentas de IA associada à análise crítica do pesquisador tende a aumentar a eficiência do processo de revisão sistemática sem substituir a interpretação científica humana.

A pesquisa contribuiu para o preenchimento de uma lacuna relevante ao sistematizar evidências científicas dispersas sobre o comportamento térmico desses sistemas em regiões de clima tropical, especialmente no contexto brasileiro. Os resultados obtidos confirmam que os telhados verdes atuam como eficientes filtros térmicos, promovendo maior estabilidade da temperatura interna das edificações e contribuindo para a mitigação das ilhas de calor urbanas.

As pontuações e justificativas evidenciaram que a literatura mais relevante sobre telhados verdes em clima tropical prioriza estudos experimentais comparativos,

monitoramento térmico in loco e análises aplicadas ao conforto térmico e à eficiência energética de edificações em regiões quentes.

A análise das pontuações também permitiu identificar tendências relevantes na literatura científica sobre telhados verdes em clima tropical. Os estudos mais bem avaliados apresentaram predominantemente: comparação experimental entre telhado verde e cobertura convencional; monitoramento térmico contínuo; uso de sensores automatizados; análise da temperatura interna das edificações; avaliação do conforto térmico; enfoque em redução de ganho térmico e eficiência energética.

Além disso, observou-se crescimento significativo de estudos experimentais aplicados à sustentabilidade urbana, conforto térmico passivo e adaptação climática em regiões quentes.

Outra tendência identificada foi a valorização de pesquisas com aplicações práticas e replicáveis, principalmente aquelas desenvolvidas em protótipos reais ou edificações experimentais.

Não obstante, a revisão revelou lacunas significativas, particularmente quanto à escassez de investigações desenvolvidas em clima tropical, cenário que limita a extrapolação direta dos resultados para regiões com elevada umidade e intensa radiação solar, como ocorre em grande parte do território brasileiro. Tal constatação reforça a necessidade de ampliação de estudos em diferentes contextos climáticos, com maior padronização metodológica e aprofundamento das análises comparativas.

Os resultados evidenciam a progressiva consolidação do tema na literatura, especialmente no que se refere à contribuição dos telhados verdes para a redução da temperatura interna das edificações e para a melhoria do conforto térmico, com destaque para contextos urbanos densamente ocupados. As evidências analisadas corroboram o potencial dessa solução construtiva como estratégia sustentável de mitigação das ilhas de calor e de qualificação ambiental urbana.

Um dos principais avanços desta pesquisa consistiu na organização dos resultados segundo a classificação climática de Köppen-Geiger, permitindo uma análise mais precisa do comportamento térmico dos sistemas em diferentes contextos ambientais. Observou-se que os maiores índices de redução térmica ocorreram em climas estritamente tropicais, classificados como Aw e As, como os encontrados em Arapiraca, Alagoas, e em Chennai, na Índia. Em regiões de clima tropical de altitude ou subtropical, embora o desempenho tenha se apresentado de forma mais moderada, os telhados verdes ainda demonstraram resultados superiores quando comparados aos sistemas convencionais. Essa diferenciação climática evidencia a importância de considerar as especificidades ambientais no desenvolvimento de soluções construtivas sustentáveis.

Dessa forma, conclui-se que os telhados verdes representam uma estratégia construtiva eficiente para a melhoria do desempenho térmico de edificações em climas tropicais, contribuindo para a redução do consumo energético, para o aumento do conforto térmico e para a mitigação dos impactos ambientais urbanos. Como perspectivas futuras, recomenda-se o desenvolvimento de pesquisas com maior

padronização metodológica, especialmente em regiões caracterizadas por elevada umidade relativa e intensa radiação solar, além da ampliação de estudos que integrem análises de custo-benefício econômico, desempenho ambiental e viabilidade construtiva, visando à consolidação de soluções arquitetônicas climaticamente adequadas à realidade brasileira.

## DECLARAÇÃO

Durante a preparação deste artigo, todos os autores utilizaram as ferramentas do chat GPT para a tradução, revisão, melhoria de coesão, interpretação de dados, geração de imagens do texto. Após a utilização das ferramentas, os autores revisaram e editaram o conteúdo conforme necessário e assumem total responsabilidade pelo conteúdo do artigo publicado.

## REFERÊNCIAS

[1] UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME (UNEP). Cities and climate change. Nairobi: UNEP, [2022]. Disponível em: https://www.unep.org/explore-topics/resource-efficiency/what-we-do/cities-and-climate-change.

[2] BARROS, H. R.; LOMBARDO, M. A. A ilha de calor urbana e o uso e cobertura do solo em São Paulo-SP. Geousp – Espaço e Tempo (Online), v. 20, n. 1, p. 160-177, abr. 2016. Disponível em: https://revistas.usp.br/geousp/article/view/97783/112921.

[3] PEDROSO, T. M. Análise de desempenho termoenergético de uma edificação residencial multifamiliar em Braço do Norte - SC. Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), Araranguá, 2020. Disponível em: https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/218718.

[4] SANTAMOURIS, M. Cooling the cities – A review of reflective and green roof mitigation technologies to fight heat island and improve comfort in urban environments. Solar Energy, v. 103, n. 103, p. 682–703, maio 2014.

[5] O'HARA, A. C. et al. The Sustainable Prescription: Benefits of Green Roof Implementation for Urban Hospitals. Frontiers in Sustainable Cities, v. 4, 6 maio 2022. Disponível em: https://www.frontiersin.org/journals/sustainable-cities/articles/10.3389/frsc.2022.798012/full.

[6] AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS (ASHRAE). Standard 55-1992: Thermal environmental conditions for human occupancy. Atlanta: ASHRAE, 1992.

[7] MACHADO, R. M. et al. A utilização de estratégias passivas de conforto térmico e eficiência energética para o desenvolvimento de uma habitação unifamiliar. Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental, Santa Maria, v. 10, n. 10, p. 2147-2158, mar. 2013. Disponível em: https://periodicos.ufsm.br/reget/article/view/7958.

[8] MORAES, L. A.; SILVA, A. C. Construções sustentáveis na Engenharia Civil e a responsabilidade socioambiental. Revista Brasileira de Gestão Ambiental e Sustentabilidade, [S. l.], v. 3, n. 6, p. 1-11, 2016. Disponível em: http://revista.ecogestaobrasil.net/v3n6/v03n06a01.pdf.

[9] BALDESSAR, S. M. N. Telhado verde e sua contribuição na redução da vazão da água pluvial escoada. Dissertação (Mestrado em Construção Civil) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2012. Disponível em: https://acervodigital.ufpr.br/handle/1884/52621.

[10] ALESSIO, A.; GABRIEL, C. P. C.; RODRIGUEIRO, M. M. S. Eficácia dos telhados verdes na mitigação dos efeitos da urbanização: uma revisão de literatura. RECIMA21 – Revista Científica Multidisciplinar, v. 6, n. 5, 2025.

[11] DONATO, H.; DONATO, M. Etapas na Condução de uma Revisão Sistemática. Acta Médica Portuguesa, v. 32, n. 3, p. 227–235, 29 mar. 2019.

[12] ROMANHOLI, Wilian M. de M., 2023. Produção de biometano veicular via biodigestão de resíduos sólidos urbanos: revisão sistemática. Dissertação de mestrado, Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ, Rio de Janeiro, 2023.

[13] PAGE, M. J. et al. PRISMA 2020 Explanation and elaboration: Updated Guidance and Exemplars for Reporting Systematic Reviews. British Medical Journal, v. 372, n. 160, 29 mar. 2021.

[14] ORTIZ-MARTÍNEZ, V. M., ANDREO-MARTINEZ, P., GARCIA-MARTINEZ, N., DE LOS RÍOS, A. P., HERNÁNDEZ-FERNÁNDEZ, F. J., QUESADA-MEDINA, J. Approach to biodiesel production from microalgae under supercritical conditions by the PRISMA method. Fuel processing technology, v. 191, p. 211-222, 2019.

[15] SIQUEIRA, Pedro Henrique Melo. Conforto térmico a partir do uso do sistema de telhado verde: aplicação de revisão sistemática para a seleção de artigos científicos. 2023. Projeto de Graduação (Graduação em Engenharia Civil) – Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2023.

[16] ROEVER, L.; GOMES-NETO, M.; RODRIGUES DURÃES, A.; EDUARDO OCKE REIS, P.; POLLO-FLORES, P.; MARY LISBOA DA SILVA, R.; SANTOS RESENDE, E.; ROEVER AVENIDA PARÁ, L. Compreendendo o GRADE: PICO e qualidade dos estudos. Rev Soc Bras Clin Med, v. 19, n. 1, p. 54–61, 2021.

[17] SILVA, W. S..; BARBOSA, R. V. R. **COMPORTAMENTO TÉRMICO DE TELHADO VERDE NAS ESTAÇÕES ÚMIDA E SECA EM CLIMA TROPICAL**. In: ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 16., 2021. Anais [...]. [S. l.], 2021. p. 811–820. Disponível em: https://eventos.antac.org.br/index.php/encac/article/view/4465.

[18] RODRIGUES, B. et al. **Telhado verde: desenvolvimento de um protótipo utilizando a aprendizagem baseada em projetos.** Revista Educação em Foco, Indaiatuba, SP: Centro Universitário Max Planck, 2020. Disponível em: https://portal.unisepe.com.br/unifia/wp-content/uploads/sites/10001/2020/01/TELHADO-VERDE-DESENVOLVIMENTO-DE-UM-PROT%C3%93TIPO-UTILIZANDO-A-APRENDIZAGEM-BASEADA-EM-PROJETOS.pdf

[19] VISVANATHAN, G.; PATIL, K.; SURYAWANSHI, Y.; CHUMCHU, P. **Sensor based dataset to assess the impact of urban heat island effect mitigation and indoor thermal comfort via terrace gardens.** Data in Brief, v. 49, 2023. Disponível em: https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-85165493192&origin=resultslist&sort=plf-f&src=s&sot=b&sdt=cl&cluster=scosubjabbr%2C%22SOCI%22%2Cf%2C%22COMP%22%2Cf%2C%22EART%22%2Cf&s=%28TITLE-ABS-KEY%28Green+Roof%29+AND+TITLE-ABS-KEY%28Thermal+Comfort%29%29+AND+PUBYEAR+%3E+2019+&sessionSearchId=6871d6d91d1fe02fcf812dc49fa7b81f&relpos=60