RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR
ISSN 2675-6218

EFICÁCIA DOS TELHADOS VERDES NA MITIGAÇÃO DOS EFEITOS DA URBANIZAÇÃO: UMA REVISÃO DE LITERATURA

EFFECTIVENESS OF GREEN ROOFS IN MITIGATING THE EFFECTS OF URBANIZATION: A LITERATURE REVIEW

EFICACIA DE LAS CUBIERTAS VERDES PARA MITIGAR LOS EFECTOS DE LA URBANIZACIÓN: UNA REVISIÓN DE LA LITERATURA

Amanda Alessio[1], Camila Pires Cremasco Gabriel[2], Mariana Matulovic da Silva Rodrigueiro[3]

e656445
https://doi.org/10.47820/recima21.v6i5.6445

PUBLICADO: 5/2025

RESUMO

Esta pesquisa tem como objetivo estudar a eficiência de telhados verdes na mitigação dos efeitos negativos causados pela urbanização com ênfase no conforto térmico, escoamento e na retenção de águas pluviais por meio de uma revisão da literatura. Utilizou-se o *software* StArt com a finalidade de selecionar os artigos relevantes de 2019 a 2024. Os achados indicam reduções térmicas de 1,2°C a 15°C em edificações, sendo evidentes em climas áridos, e retenção de 20% a 90% das águas pluviais, que variam de acordo com o substrato e a precipitação. Foi identificada uma correlação de telhados verdes com os ODS 7, 9, 11, 12 e 15, em termos de resiliência climática e sustentabilidade. Destaca-se a necessidade de estudos específicos para o contexto brasileiro e países subdesenvolvidos e de criar, métodos interdisciplinares que integrem áreas como arquitetura, engenharia e ecologia, contribuindo para a adaptação de soluções sustentáveis às particularidades regionais.

PALAVRAS-CHAVE: Telhados verdes. Conforto térmico. Retenção de águas pluviais. Profundidade do telhado. Revisão bibliográfica da literatura.

ABSTRACT

This research aims to study the efficiency of green roofs in mitigating the negative effects caused by urbanization with emphasis on thermal comfort, runoff and rainwater retention through a literature review. The StArt software was used to select the relevant articles from 2019 to 2024. The findings indicate thermal reductions of 1.2°C to 15°C in buildings, being evident in arid climates, and retention of 20% to 90% of rainwater, which varies according to substrate and precipitation. A correlation of green roofs with SDGs 7, 9, 11, 12 and 15 has been identified, in terms of climate resilience and sustainability. The need is highlighted for specific studies for the Brazilian context and underdeveloped

[1] Mestrado PROFMAT, na área de matemática na Universidade Júlio de Mesquita Filho- UNESP. Pós - Graduação Lato Senso em nível de especialização na área da educação em Metodologia do Ensino da Matemática e Física e Metodologia do Ensino da Matemática pela Faculdade de Educação São Luís. Graduação em Licenciatura em Física pela Universidade Metropolitana de Santos. Graduação em Matemática - Faculdades Adamantinenses Integradas, doutoranda no Programa de Pós-graduação em Agronegócio e Desenvolvimento da Unesp de Tupã. Docente da escola ETEC Professor Eudécio Luiz Vicente, Coordenadora da ETEC Engenheiro Herval Bellusci e Faculdade de Tecnologia - Fatec Adamantina.

[2] Graduação em Licenciatura em Matemática pela FCT/UNESP, mestrado em Matemática pela UFSCar, doutorado em Agronomia/Energia na Agricultura pela FCA/UNESP, pós-doutorado em Biometria pela IB/UNESP e Livre-Docência em Matemática Aplicada pela UNESP. É líder do grupo de pesquisa Compositional Nutrient Diagnosis (CND). Professora Associada da FCE/UNESP e docente dos Programas de Pós-Graduação em Agronegócio e Desenvolvimento da FCE/UNESP e Engenharia Agrícola da FCA/UNESP. Bolsista Produtividade. Unesp - Campus de Tupã - SP.

[3] Graduada em Matemática pela Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Mestrado em Filosofia, com área de concentração em Lógica, pela Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Doutorado em Filosofia, com área de concentração em Lógica, pela Universidade Estadual de Campinas, Unicamp, Pós-Doutorado na Universidade Estadual Paulista, Unesp/Marília, na área de concentração em Lógica, Filosofia da Mente e Ciência Cognitiva; Pós-Doutoramento no Programa de pós-graduação em Educação Matemática (PPGEM). Professora Livre Docente na área de Lógica em Circuitos Digitais. Assistente Técnica Pedagógica (ATP) nas diretorias de Botucatu e Bauru em virtude do programa Bolsa Mestrado. Professora da Unesp/Tupã, nas disciplinas Automação, Cálculo, Ética e Circuitos Digitais.

RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR
ISSN 2675-6218

countries and to create interdisciplinary methods that integrate areas such as architecture, engineering and ecology, contributing to the adaptation of sustainable solutions to regional particularities.

KEYWORDS: *Green roofs. Thermal comfort. Rainwater retention. Roof depth. Literature review.*

RESUMEN
Esta investigación tiene como objetivo estudiar la eficiencia de los techos verdes en la mitigación de los efectos negativos causados por la urbanización con énfasis en el confort térmico, la escorrentía y la retención de agua de lluvia a través de una revisión de la literatura. El software StArt se utilizó para seleccionar artículos relevantes de 2019 a 2024. Los hallazgos indican reducciones térmicas de 1,2°C a 15°C en edificios, que son evidentes en climas áridos, y la retención de 20% a 90% de agua de lluvia, que varía según el sustrato y la precipitación. Se identificó una correlación entre los techos verdes y los ODS 7, 9, 11, 12 y 15, en términos de resiliencia climática y sostenibilidad. Se destaca la necesidad de estudios específicos para el contexto brasileño y los países subdesarrollados y la creación de métodos interdisciplinarios que integren áreas como la arquitectura, la ingeniería y la ecología, contribuyendo a la adaptación de soluciones sostenibles a las particularidades regionales.

PALABRAS CLAVE*: Techos verdes. Confort térmico. Retención de agua de lluvia. Profundidad del techo. Revisión bibliográfica.*

INTRODUÇÃO

Com a urbanização dos espaços surgem as descargas de calor antropogênicas que, combinadas com as mudanças climáticas, causam danos ao ambiente e consequentemente ao homem. A cobertura vegetal dá espaço às ruas, prédios calçadas e casas, aumento do uso de materiais de superfície impermeáveis artificiais, tendo como consequência o aumento da temperatura, desconforto térmico e inundações das cidades (Kato; Yamaguchi, 2007).

Nos últimos 30 anos, observou-se uma redução nos espaços verdes em zonas urbanas globais, uma tendência que precisa ser invertida devido às suas consequências para o clima. Globalmente, a proporção de áreas verdes em áreas urbanas caiu de 19,5% em 1990 para 13,9% em 2020. Além de impactarem o meio ambiente através das alterações climáticas e da diminuição da biodiversidade, a diminuição de áreas verdes tem consequências para a saúde humana e efeitos sociais (UN-HABITAT, 2024).

As cidades estão na vanguarda do enfrentamento do desafio das mudanças climáticas, tanto em termos de esforços diretos de mitigação e adaptação quanto de construção de resiliência. As cidades são idealmente adequadas para a resolução criativa de problemas que a mudança climática exige (UN-HABITAT, 2024).

Construir infraestruturas resilientes, promover a industrialização inclusiva e sustentável, fomentar a inovação (ODS 9) e tornar as cidades e os assentamentos humanos inclusivos, seguros, resilientes e sustentáveis (ODS 11), são dois dos Objetivos do Desenvolvimento Sustentáveis (ODS), que buscam minimizar os efeitos causados pelas alterações climáticas, proporcionando o bem-estar da população e meio ambiente (ONU Brasil, 2025).

As coberturas verdes surgem como uma solução eficaz, baseada na natureza, para os problemas ecoambientais decorrentes das alterações climáticas e da rápida urbanização, pois

RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR
ISSN 2675-6218

fornecem múltiplas utilidades ecossistêmicas e podem ter um impacto significativo no bem-estar humano (Liu *et al*., 2021).

Segundo Feitosa (2019), a aplicação de sistemas modulares vegetados em telhados ou coberturas surge como alternativa à melhoria das condições térmicas no interior de habitações, dispensando, algumas vezes, a climatização artificial e promovendo condições mais agradáveis no ambiente.

Telhados verdes são um tipo de solução baseada na natureza com o objetivo de mitigar os efeitos da ilha de calor urbana e escoamento superficial de águas pluviais, que estão relacionadas a impermeabilidade superficial dos centros urbanos, (Zheng *et al*., 2021) além de melhorar o resfriamento/aquecimento por meio da conservação de energia e promover a biodiversidade local (Mihalakakou *et al.,* 2023).

Um telhado verde, também referido como telhado vivo ou, em alguns casos, telhado ecológico, é um telhado ou *deck* destinado à plantação de vegetação ou abrigo para a vida selvagem (Grant; Gedge, 2019, p. 6).

Telhados verdes podem ser divididos em duas categorias principais: intensivos e extensivos. Telhados verdes intensivos geralmente são irrigados e recebem diversas visitas de manutenção a cada ano. Os solos (meios de cultivo artificiais geralmente conhecidos como substratos) normalmente ultrapassam os 200 mm de espessura. Telhados verdes extensivos são geralmente cobertos com vegetação rasteira e tolerante à seca, como *Sedum* e vegetação de prado seco. A profundidade varia entre 40 mm e 150 mm. Requerem pouca manutenção, geralmente não são irrigados e possuem baixa manutenção quando comparado com o intensivo (Grant; Gedge, 2019, p. 6).

Nesse contexto, o presente artigo fornece uma vasta gama de informações referentes à eficiência de telhados verdes na mitigação dos efeitos negativos causados pela crescente urbanização com foco em aspectos como conforto térmico, retenção e escoamento de águas pluviais, profundidade e declividade dos telhados verdes. O levantamento dos dados para esta pesquisa foi realizado por meio de revisão da literatura publicada nos últimos cinco anos, com o objetivo de delimitar e fornecer uma visão holística das pesquisas da atualidade deste campo, estabelecendo assim, uma base de dados sólidos para pesquisas futuras.

De acordo com os dados e informações coletadas, telhados verdes podem ser considerados uma ferramenta baseada na natureza para mitigação dos efeitos adversos causados pela urbanização, proporcionando benefícios como redução da temperatura interior e exterior dos ambientes, retenção de águas pluviais, melhoria da estética urbana, promoção da biodiversidade, entre outros. Esses fatores contribuem significativamente para o bem-estar da sociedade.

Verifica-se ainda a necessidade de avaliar o impacto dos telhados verdes em países subdesenvolvidos, considerando diferentes biomas e padrões climáticos, além de interrelacionar áreas como arquitetura, engenharia, ecologia e planejamento urbano para desenvolver soluções integradas.

RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR
ISSN 2675-6218

MÉTODOS

A realização da revisão da literatura foi realizada com o auxílio do *software* StArt como ferramenta de busca e seleção dos artigos. Os critérios de pesquisa foram definidos para selecionar apenas artigos específicos para esta revisão sendo descritos no Quadro 1 assim como, critério os de exclusão (Quadro 2):

Quadro 1 - Critérios de inclusão

Critério	Descrição do Critério de Inclusão
CI1	Estudos que investigam a utilização de telhados verdes para mitigação dos efeitos negativos gerados pela urbanização.
CI2	Estudos que descrevem as características e benefícios dos telhados verdes.
CI3	Estudos que abordam aspectos como conforto térmico e gestão das águas pluviais.
CI4	Estudos disponíveis na íntegra.
CI5	Estudos publicados de 2019 a 2024.
CI6	Estudos com altas pontuações ou citações.

Fonte: Próprio autor (2024).

Quadro 2 - Critérios de exclusão

Critério	Descrição do Critério de Exclusão
CE1	Estudos que não abordam especificamente o tema telhado verde.
CE2	Estudos que não relatam aspectos como conforto térmico, escoamento e retenção da água por telhados verdes.
CE3	Estudos que não estejam disponíveis na íntegra.
CE4	Artigos duplicados.
CE5	Artigos com baixas pontuações ou citações (Q4).
CE6	Estudos anteriores a 2019.

Fonte: Próprio autor (2024)

Quatro bases de dados foram exploradas: *SciELO*, *Science Direct*, *Web of Science* e *Scopus.* O *software* selecionou um total de 1478 artigos, dos quais 640 vêm da *Science Direct*, 583 da *Scopus*, 253 da *Web of Science* e 2 da *SciELO.*

Dos 1478 artigos, 79 foram selecionados para a fase de extração e, posteriormente, apenas 52 para a fase de sumarização. A Figura 1 apresenta as palavras que aparecem com mais frequência nos artigos selecionados.

RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR
ISSN 2675-6218

Figura 1 - Seleção de palavras mais frequentes



Fonte: Próprio autor (2024).

Dos 79 artigos selecionados, 52 se destacaram e foram para a fase de sumarização, na qual tenta-se responder as seguintes indagações do Quadro 3:

Quadro 3 - Extração de informações

Campo	Conteúdo
Citou os Benefícios proporcionado pelos telhados verdes?	Sim, não. Quais?
Conforto térmico no interior dos ambientes urbanizados foi mensurado? Quais as variações verificadas?	Sim, não. Quais?
Escoamento da água foi analisado? Qual a vazão?	Sim, não. Quais?
A retenção da água foi verificada?	Sim, não. Quais?
A declividade do telhado foi analisada?	Sim, não. Quais?

Fonte: Próprio autor (2024).

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Após todo o processo de aplicação do protocolo, apresenta-se no Quadro 4 os itens abordados pelos 52 artigos selecionados.

Dos 52 trabalhos analisados, todos citaram os benefícios proporcionados pelos telhados verdes. O conforto térmico foi citado em 37 artigos destes, 2 não especificaram valores de variações de temperatura. O escoamento foi relatado em 31 artigos dos quais, 11 não informaram valores de taxa de retenção de escoamento ou vazão. Com relação a declividade _ telhado_ ou profundidade _ telhado/substrato_, 38 artigos abordaram os temas, entretanto, 3 não informam valores de profundidade ou declividade.

Resultados

Mihalakakou *et al.,* (2023) proporcionam uma revisão das abordagens de modelagem, na sua maior parte, modelos matemáticos que descrevem o desempenho térmico dos telhados verdes,

RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR
ISSN 2675-6218

baseando-se no balanço energético dos diferentes componentes do sistema e seus benefícios energéticos, ambientais, ecossistêmicos, socio-estéticos e psicológicos. A título de exemplo, em Osaka, Japão, a temperatura da superfície do telhado foi reduzida em até 30°C durante o verão de 1991, enquanto em Atenas, Grécia (verão de 2013), a temperatura da superfície do telhado verde foi 15°C menor do que a de um telhado convencional.

Follmi *et al.,* (2023) comparam o desempenho térmico de telhados azul-esverdeados (telhados verdes com adicional de água da chuva) em relação aos telhados de cascalho tradicional no leste da cidade de Amsterdã – Holanda, durante o inverno e o verão de 2021. As temperaturas foram medidas usando registradores de temperatura iButton com intervalo de medição de 10 minutos e precisão de 0,5°C.

Assim como Mihalakakou *et al.,* (2023), Perivoliotis *et al.,* (2023) realizaram uma revisão da literatura de modelos teóricos e técnicas de otimização de telhados verdes com o intuito de avaliar seu comportamento térmico. Verificou -se uma redução significativa da temperatura interna durante o verão, principalmente devido à evapotranspiração e sombreamento das plantas do telhado. A temperatura interna pode ser reduzida em até 15°C.

De acordo com vários fatores como tipo de telhado verde, umidade, vegetação, tamanho das plantas e duração/intensidade da chuva, a retenção de água varia de 40% a 60% da precipitação total (Perivoliotis *et al*.,2023). Destaca-se que telhados verdes têm a capacidade de reter água pluvial, o que ajuda na gestão de águas pluviais e na mitigação de enchentes.

Nos estudos experimentais de Koranteng, Simons e Nyame-Tawiah (2021) na cidade de Kumasi – Gana, em 2016, verificou-se que telhados verdes resultaram em uma redução significativa da temperatura interna, variando entre 1,2°C e 1,5°C em comparação com o telhado de controle do experimento.

Koranteng, Simons e Nyame-Tawiah (2021) verificam que profundidades de solo maiores permitiram um armazenamento de calor mais prolongado, resultando em menores flutuações de temperatura interna ao longo do dia. O desempenho térmico do telhado verde é influenciado pela profundidade do substrato e pelas características das plantas.

Barnhart *et al.* (2021) utilizam um modelo de bacia hidrográfica denominado *Visualizing Ecosystem Land Management Assessments* (VELMA) para avaliar o desempenho da adoção generalizada de telhados verdes em escalas de bacias hidrográficas em quatro bacias hidrográficas no noroeste do Pacífico (EUA), nas cidades de Seattle e Washington.

A utilização de telhados verdes intensivos tem maior capacidade de armazenamento pelo fato de sua profundidade e plantas serem maiores, e são, portanto, capazes de reduzir o escoamento anual de forma mais eficaz do que os telhados verdes extensivos, produzindo reduções máximas de escoamento simulado de 20% a 25% e 10% a 15% para telhados verdes intensivos e extensivos, respectivamente (Barnhart *et al.,* (2021).

Zhang *et al.,* (2021) estudam os efeitos da profundidade e dos tipos de substratos na retenção de águas pluviais nos telhados verdes. O estudo avaliou três tipos de substratos: Solo Local, Solo Projetado e Meio Leve; e dois tipos de profundidade 10 cm e 15 cm. Verifica-se que para o

RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR
ISSN 2675-6218

telhado verde cuja profundidade do substrato era de 10 cm, obteve-se uma variação na retenção das águas pluviais de 81% a 87%, e uma taxa de atenuação de descarga de pico de 83% a 87% em eventos de chuva leve _ inferior a 10 mm (Zhang *et al.*,2021). Para chuvas acima de 10 mm, as taxas de retenção diminuíram: 73% _ Solo Local, 72% _Solo projetado _ e 58% _ Meio Leve, as taxas de atenuação de descarga de pico também caíram para 70%, 72% e 62%, respectivamente. Os atrasos médios no tempo de início do escoamento do solo local, solo projetado e telhados verdes médios leves foram de 210, 189 e 82 minutos, respectivamente. Já os atrasos médios no pico de descarga foram de 131, 118 e 63 minutos, respectivamente (Zhang *et al.,*2021).

Tan e Wang (2023) investigam o uso de biocarvão na composição do substrato em telhados verdes. Verificou-se uma redução na temperatura da superfície superior do telhado de 3°C a 5°C. Com relação ao escoamento de águas pluviais, observou-se que para chuvas leves _ inferiores a 10 mm_, a taxa de redução do escoamento superficial fica entre 90,32% e 100%, com uma taxa média de redução de 98,88%. Para precipitações moderadas, as taxas de redução do escoamento superficial variam de 72,08% a 100%, sendo a taxa média de 83,35%. Em chuvas fortes, as taxas de redução do escoamento superficial diminuem, ficando entre 43,30% e 60.03%, e o escoamento médio taxa de redução cai para 51,75%.

Schrieke *et al.,* (2023) estudam o desempenho de telhados verdes com vegetação espontânea em dois tipos de profundidade de substratos _ 7 cm e 14 cm. Nesse sentido, observou-se que a vegetação espontânea atrasou o início do escoamento em 28% em substrato raso e em 20% em substrato profundo durante a fase úmida, demonstrando a eficácia da vegetação em reduzir o escoamento superficial, chegando à conclusão de que a vegetação espontânea em telhados verdes pode fornecer uma retenção de água comparável à de espécies plantadas especificamente para essa finalidade, com a vantagem de demandar menos manutenção.

Susca (2019) destaca como os telhados verdes podem reduzir o consumo de energia dos edifícios e mitigar o efeito de ilha de calor urbana, entretanto, a eficácia desses telhados varia conforme o clima e o design específico, bem como a importância da espessura do substrato, da seleção das plantas e da irrigação para maximizar os benefícios dos telhados verdes. O estudo conclui que, apesar dos desafios, a implementação generalizada de telhados verdes pode proporcionar benefícios ambientais significativos tanto em escala de edifício quanto no meio urbano.

Assim como Hu *et al.,* (2021), Zheng (2023), Krebs; Johansson (2021), Jamei *et al.*, (2023), Fang *et al.,* (2024) analisaram a eficácia dos telhados verdes na mitigação do efeito de ilha de calor urbana em Pequim, utilizando simulações com o *software* ENVI-met. Os resultados sugerem que os telhados verdes têm potencial significativo para reduzir as temperaturas superficiais e melhorar o microclima urbano, especialmente em áreas densamente construídas. A pesquisa também destaca a importância de considerar fatores econômicos na implementação de telhados verdes, para determinar o caminho de implementação ideal para coberturas verdes.

Li *et al.,* (2019) exploram o impacto dos telhados verdes na redução do escoamento superficial e no aumento da evapotranspiração (AET), introduzindo uma camada de armazenamento adicional. Os resultados indicam que os benefícios hidrológicos como, por exemplo, redução do

RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR
ISSN 2675-6218

escoamento e aumento do AET, dos telhados verdes se fortalecem com o aumento da profundidade da camada de armazenamento; no entanto, a taxa de aumento é reduzida à medida que a profundidade da camada de armazenamento é superior a 20 mm.

Dois estudos conduzidos no Brasil foram revisados, Krebs e Johansson (2021) e Santos *et al.* (2019). Krebs e Johansson (2021) utilizaram simulações com os *softwares* ENVI-met e EnergyPlus _ já mencionado anteriormente_ em um conjunto habitacional com 24 casas térreas, na cidade de Porto Alegre (RS), analisando o desempenho térmico de um telhado verde comparado a um telhado cerâmico tradicional. Para tal experimento, dois cenários foram considerados: cenário original _ sem vegetação adicional no entorno _ e cenário verde _ com grama e árvores com sombra parcial. No verão, os telhados verdes reduziram a temperatura em 4,3°C _ no cenário com árvores _ e 2,8°C _ no cenário sem árvores. Assim, verificou-se que a presença de vegetação no entorno potencializa os benefícios do telhado verde, sugerindo que sua eficácia não depende apenas do material, mas também do microclima local. Já no inverno, o impacto do telhado verde foi menos expressivo.

Santos *et al.,* (2019) analisaram a aplicação conjunta de telhados verdes e tradicionais para diminuir o desconforto térmico e incentivar a coleta de água pluvial na cidade Caruaru, no estado de Pernambuco, localizada no semiárido brasileiro. Foram monitoradas temperaturas internas e externas em unidades habitacionais com telhado verde e telhado convencional para avaliar as variações térmicas diárias. Dois cenários foram comparados, cenário 1: toda a superfície do telhado utilizada para captação de água da chuva; cenário 2: parte do telhado utilizada para captação de água e parte como telhado verde. O telhado verde diminuiu as flutuações de temperatura diárias, resultando em um ambiente interno mais resiliente. A aplicação do telhado verde levou a uma diminuição na economia de água na rede pública de 28,43% _ sem telhado verde _ e 23,13% _ com telhado verde. Santos *et al*., (2019) verificam que a fusão de telhados verdes e tradicionais pode balancear a demanda por conforto térmico e armazenamento de água, representando uma opção viável para regiões semiáridas.

RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR
ISSN 2675-6218

Quadro 4 - Sumarização dos artigos extraídos

Título	Autor	Ano	Citou os Benefícios proporcionado pelos telhados verdes?	Conforto térmico no interior dos ambientes foi mensurado?	Escoamento da água foi analisado?	A retenção da água foi verificada?	A declividade ou a profundidade do telhado foi analisada?
Green roofs as a nature-based solution for improving urban sustainability: Progress and perspectives	Mihalakakou, G.; *et al.*	2023	X	X	X	X	
Sustainable Urban Environment through Green Roofs: A Literature Review with Case Studies	Perivoliotis, D.; *et al.*	2023	X	X	X	X	X
Simulation-based analysis of the effect of green roofs on thermal performance of buildings in a tropical landscape	Koranteng, C.; Simons, B.; Nyame-Tawiah, D.	2021	X	X	X	X	X
Implementing Green Roofs in the Private Realm for City-Wide Stormwater Management in Vancouver: Lessons Learned from Toronto and Portland	Wang, JL; Mukhopadhyaya, P.; Valeo, C.	2023	X	X	X	X	X
Stormwater retention performance of green roofs with various configurations in different climatic zones	Yan, J.; *et al.*	2022	X			X	X

RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR
ISSN 2675-6218

The effectiveness of cool and green roofs in mitigating urban heat island and improving human thermal Comfort	Wang, X.; Li, H.; Sodoudi, S.	2022	X	X			
Stormwater retention and detention performance of green roofs with different substrates: Observational data and hydrological simulations	Zhang, S.; Lin, Z.; Zhang, S.; Ge, D.	2021	X		X	X	X
Modeling the hydrologic effects of watershed-scale green roof implementation in the Pacific Northwest, United States	Barnhart, B. *et al.*	2021	X		X	X	X
Influence of blue-green roofs on surface and indoor temperatures over a building scale	Föllmi, D.; *et al.*	2023	X	X	X	X	X
Substrate modified with biochar improves the hydrothermal properties of green roofs	Tan, K.; Wang, J.	2023	X	X	X	X	X
Impact of Morphological Characteristics of Green Roofs on Pedestrian Cooling in Subtropical Climates	Zhang, Gaochuan; *et al.*	2019	X	X			X
Evaluating the effectiveness of spontaneous vegetation for stormwater mitigation on green roofs	Schrieke, Dean*; et al.*	2023	X		X	X	X
Green roofs to reduce building energy use? A review on key structural factors of green roofs and their effects on urban climate	Susca, T.	2019	X	X	X	X	X
Study on thermal environment and human	Hu, Xinkang;	2021	X	X	X		

RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR
ISSN 2675-6218

thermal comfort of green roof based on ENVI-met simulation-Green roofs of Anhui Institute of Building Research and Design as an example	et al.						
Assessment of green roofs' potential to improve the urban thermal environment: The case of Beijing	Fang, Van; *et al.*	2023	X	X			X
Modelling the combined effects of runoff reduction and increase in evapotranspiration for green roofs with a storage layer	Li, Shu-xiao; *et al.*	2019	X	X	X	X	X
The effects of green roofs on outdoor thermal comfort, urban heat island mitigation and energy savings	Mutani, Guglielmina; Todeschi, Valeria.	2020	X	X			X
Biochar in green roofs	Lee, Jechan; Kwon, Eilhann E.	2024	X	X	X	X	X
Green roof cooling and carbon mitigation benefits in a subtropical city	Zheng, Xiandi; *et al.*	2023	X	X			X
Green roofs and walls design intended to mitigate climate change in urban areas across all continentes	Barriuso, Fernando; Urbano, Beatriz.	2021	X	X	X	X	X
Costs and benefits of green roof types for	Meulen, S. H.	2019	X		X	X	

RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR
ISSN 2675-6218

cities and building owners	Van Der.						
Enhanced environmental and economic benefits of green roofs in a humid subtropical region under future climate	Lee, E.; Seo, Y.; Woo, D. K.	2024	X	X			X
Green roof as an effective tool for sustainable urban development: An Australian perspective in relation to stormwater and building energy management	Alim, Mohammad A.; *et al.*	2022	X	X	X	X	X
Effects of cooling roofs on mitigating the urban heat island and human thermal stress in the Pearl River Delta, China	Wang, Xueyuan. *et al.*	2023	X	X			X
The influence of structural factors on stormwater runoff retention of extensive green roofs: new evidence from scale-based models and real experiments	Liu, Wen; *et al.*	2019	X		X	X	X
Integrating conventional and green roofs for mitigating thermal discomfort and water scarcity in urban áreas	Santos, Sylvana Melo dos; *et al.*	2019	X	X		X	
Review on the cooling potential of green roofs in different climates	Jamei, Elmira; et al.	2021	X	X			X
Urban Resilience through Green Roofing: A Literature Review on Dual Environmental Benefits	Zhang, Xingyu; *et al.*	2024	X	X	X	X	X
Investigating the hydrological performance of	Paithankar,	2020	X		X	X	X

RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR
ISSN 2675-6218

green roofs using storm water management model	Deepak N.; Taji, Satish G.						
Thermal performance and energy consumption analysis of eight types of extensive green roofs in subtropical monsoon climate	Zhang, Kexin; *et al.*	2022	X	X			X
Influence of microclimate on the effect of green roofs in southern Brazil – A study combining external and internal thermal simulations	Krebs, Lisandra Fachinello; Johansson, Erik.	2021	X	X			X
Environmental benefits of green roof to the sustainable urban development: A review	Chow, M. F.; Abu Bakar, M. F.	2019	X	X	X	X	X
The effect of green roofs on the reduction of mortality due to heatwaves: Results from the application of a spatial microsimulation model to four European cities	Marvuglia, A; Koppelaar, R.; Rugani, B.	2020	X	X			
Simulation-based evaluation of the effect of Green Roofs in Office Building Districts on Mitigating the Urban Heat Island effect and reducing CO2 emissions	Hirano, Yujiro; *et al.*	2019	X	X		X	
Effects of Green Roof in Reducing Surface Temperature and Addressing Urban Heat	Ahmad, Sohif Bin Mat; *et al.*	2022	X	X			

RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR
ISSN 2675-6218

Island in Tropical Climate of Malaysia							
An analysis on the efficiency of green roof in managing urban stormwater runoff	Azis, Shazmin Shareena Ab.; *et al.*	2021	X		X	X	X
Influence of the Hydrogel Amendment on the Water Retention Capacity of Extensive Green Roof Models	Deska, Iwona; *et al.*	2020	X		X	X	
Urban stormwater retention capacity of nature-based solutions at different climatic conditions	Kõiv-vainik, Margit; *et al.*	2022	X			X	X
Investigating the cooling effect of a green roof in Melbourne	Jamei, Elmira; *et al.*	2023	X	X			
The seasonal microclimate trends of a large scale extensive green roof	Smalls-Mantey, L.; Montalto, F.	2021	X	X			
Green Roofs and Greenpass	Scharf, B.; Kraus, F.	2019	X	X	X		
Ten years of greening a wide brown land: A synthesis of Australian green roof research and roadmap forward	Williams, N. S.G.; *et al.*	2021	X	X	X	X	X
Efficiency of green roofs with different depth and ways to reflect it in the legislative requirements	Bozhilova, M.; Zhiyanski, M.	2020	X		X	X	X
Simulating annual runoff retention	Liu, W.; Engel,	2022	X		X	X	X

RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR
ISSN 2675-6218

performance of extensive green roofs: A comparison of four climatic regions in China	B. A.; Feng, Gi; Li, R.						
Quantitative assessment of the cooling effects of green roofs under different urban spatial forms in high-density urban áreas	Zuo, Jin; *et al.*	2022	X	X			
A simplified model for analyzing rainwater retention performance and irrigation management of green roofs with an inclusion of water storage layer	Wang, Jun; *et al.*	2023	X		X	X	X
Quantitative study on the cooling effect of green roofs in a high-density urban area - A case study of Xiamen, China	Dong, Jing; *et al.*	2020	X	X			
Assessing urban heat island mitigation potential of realistic roof greening across local climate zones: A highly-resolved weather research and forecasting model study	Joshi, M. Y.; Teller, J.	2024	X	X			X
Impact of the hydrogel amendment and the dry period duration on the green roof retention capacity	Deska, Iwona; *et al.*	2020	X		X	X	X
Water retention performance of green roof technology: A comparison of canadian climates	Talebi, Ashkan; *et al.*	2019	X		X	X	X
Impacts of green roofs on water,	Liu, Hongqing;	2021	X	X	X	X	X

RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR
ISSN 2675-6218

temperature, and air quality: A bibliometric review	*et al.*						
Hydrological Behaviour of Extensive Green Roofs with Native Plants in the Humid Subtropical Climate Context	Bortolini, L.; Bettella, F.; Zanin, G.	2021	X		X	X	X

Fonte: Própria autora (2024).

RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR
ISSN 2675-6218

Discussões

Os resultados da revisão indicam que os telhados verdes oferecem benefícios relevantes para áreas urbanizadas, especialmente relacionados à mitigação de efeitos negativos da urbanização, como o aumento da temperatura ambiente, escoamento excessivo de águas pluviais e perda de biodiversidade. Entre os 52 estudos analisados, destacam-se três áreas principais de impacto: conforto térmico, gestão hídrica, biodiversidade e sustentabilidade.

Com relação ao conforto térmico, a média das temperaturas internas oscilou em até 3°C, com registros extremos de até 15°C apresentadas em algumas regiões áridas. Em climas tropicais, a eficácia dos telhados verdes foi menos relevante, devido à alta umidade e menor amplitude térmica.

Em climas áridos, os telhados verdes demonstraram maior eficiência na retenção hídrica, com valores de até 84% devido à baixa saturação inicial do substrato conforme Yan *et al*., (2022). Já em climas tropicais, o desempenho é reduzido devido à alta umidade e à saturação constante do substrato, limitando sua eficácia hídrica e térmica.

Reduções térmicas variam de 1,2°C a 1,5°C em climas tropicais (Koranteng *et al*., 2021) sugerindo que a umidade elevada limita o efeito de resfriamento, enquanto em climas áridos e temperados podem alcançar até 15°C (Mihalakakou *et al*., 2023), demonstrando que o clima afeta na eficiência do telhado verde.

No que se refere à gestão hídrica, verificou-se retenção de águas pluviais variando de 20% a 90%, dependendo da profundidade do substrato, do tipo de vegetação e da intensidade das chuvas. Contextos urbanos de regiões secas e semiáridas demonstraram maior retenção devido à capacidade de evapotranspiração. Yan *et al*., (2022) identificam retenção de até 84% em climas áridos enquanto o estudo proposto por Perivoliotis *et al*., (2023) observam valores bem menores (40% a 60%) em regiões úmidas, sinalizando a possibilidade de saturação rápida do substrato.

A profundidade do telhado e do substrato implicam na gestão hídrica, conforme enfatiza Barnhart *et al*., (2021). Telhados verdes extensivos, com menor profundidade do substrato, apresentam menor custo em relação a telhados intensivos. No entanto, esses sistemas oferecem benefícios limitados em comparação aos telhados intensivos, mais eficazes em áreas periféricas ou de baixa densidade devido à maior capacidade de retenção de águas pluviais.

Com relação aos estudos brasileiros, a pesquisa realizada em Porto Alegre (RS) emprega simulações computacionais, enquanto a realizada em Caruaru (PE) se concentra no monitoramento experimental e no controle hídrico. Em Caruaru (PE), verifica-se a presença de ambientes heterogênicos, enquanto Porto Alegre (RS) apresenta um clima frio e úmido durante o inverno, Caruaru (PE) sofre com altas temperaturas e falta de água. Krebs e Johansson (2021) se concentram no conforto térmico, sem considerar o problema da água, enquanto Santos *et al.,* (2019) consideram o conflito entre a comodidade térmica e a captação de água.

Os dois estudos atestam a efetividade dos telhados verdes na diminuição do desconforto térmico. Em regiões de clima subtropical, telhados verdes se tornam mais eficazes quando associados à vegetação ao seu redor. Já no ambiente semiárido, surge um desafio extra: equilibrar o

RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR
ISSN 2675-6218

conforto térmico com a demanda por água. A combinação entre telhados verdes e telhados tradicionais podem ser uma resposta flexível a variadas condições climáticas.

De cordo com as literaturas revisadas, telhados verdes promovem maior biodiversidade urbana, atuando como corredores ecológicos para polinizadores e pequenas espécies, proporcionando benefícios estéticos e sociais, como redução do ruído urbano e estresse térmico e diminuição da poluição visual, acarretando valorização imobiliária e melhoria qualidade do ar.

Estudos recentes indicam o potencial de telhados azuis-verdes para melhorar a resiliência climática, integrando camadas de armazenamento de água que aumentam a retenção hídrica e ajuda a reduzir o ruído urbano (Follmi *et al.,* 2023). Entretanto, substratos com biocarvão têm demonstrado melhoria na retenção hídrica e na eficiência térmica, especialmente em regiões com escassez de água (Tan *et al*., 2023).

Os achados nas pesquisas indicam que telhados verdes podem ser uma ferramenta eficaz na mitigação dos efeitos negativos causados pela crescente urbanização, podendo estar alinhado com os Objetivos do Desenvolvimento Sustentável, conforme evidenciado no Quadro 5:

Quadro 5 - Síntese da relação entre telhados verdes e ODS

ODS	Meta	Contribuição dos Telhados verdes
7. Assegurar o acesso confiável, sustentável, moderno e a preço acessível à energia para todas e todos	7.3 Até 2030, dobrar a taxa global de melhoria da eficiência energética	Redução do uso de climatização artificial
9. Construir infraestruturas resilientes, promover a industrialização inclusiva e sustentável e fomentar a inovação	9.1 Desenvolver infraestrutura de qualidade, confiável, sustentável e resiliente, incluindo infraestrutura regional e transfronteiriça, para apoiar o desenvolvimento econômico e o bem-estar humano, com foco no acesso equitativo e a preços acessíveis para todos	Resiliência climática: Redução do impacto de chuvas intensas, evitando alagamentos e do efeito de ilhas de calor urbanas
11. Tornar as cidades e os assentamentos humanos inclusivos, seguros, resilientes e sustentáveis	11.3 Até 2030, aumentar a urbanização inclusiva e sustentável, e as capacidades para o planejamento e gestão de assentamentos humanos participativos, integrados e	Redução de ilhas de calor e gestão hídrica

RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR
ISSN 2675-6218

	sustentáveis, em todos os países	
12. Assegurar padrões de produção e de consumo sustentáveis	12.2 Até 2030, alcançar a gestão sustentável e o uso eficiente dos recursos naturais. 12.5 Até 2030, reduzir substancialmente a geração de resíduos por meio da prevenção, redução, reciclagem e reuso	Promoção da agricultura urbana, reutilização dos substratos e recursos hídricos pluviais
15. Proteger, recuperar e promover o uso sustentável dos ecossistemas terrestres, gerir de forma sustentável as florestas, combater a desertificação, deter e reverter a degradação da terra e deter a perda de biodiversidade	15.5 Tomar medidas urgentes e significativas para reduzir a degradação de habitat naturais, deter a perda de biodiversidade e, até 2020, proteger e evitar a extinção de espécies ameaçada	Criação de *habitats* urbanos

Fonte: (ONU BRASIL, 2025).

Observa-se no Quadro 5 os benefícios dos telhados verdes quando elencados a alguns Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) e suas metas. Nesse contexto, destacam-se: diminuição da necessidade de sistemas de climatização artificial devido ao isolamento térmico, favorecendo o consumo responsável, resiliência climática em zonas urbanas, graças à atenuação da ilha de calor e à diminuição do pico de inundações, reutilização de substratos e recursos hídricos.

Lacunas e limitações também foram verificadas nas bibliografias revisadas. A maioria dos estudos revisados concentra-se em regiões de clima temperado (América do Norte, Europa e partes da Ásia), enquanto regiões em desenvolvimento, como a América Latina, são escassamente representadas. No Brasil, por exemplo, apenas dois estudos foram identificados, Krebs e Johansson (2021), Santos *et al.* (2019), apesar do grande potencial para sua implementação, deixando um vazio significativo em relação à aplicabilidade em biomas locais e à variabilidade climática.

Verificou-se uma limitação metodológica com relação predominância de estudos em pequena escala, muitas vezes em ambientes controlados utilizando simuladores, o que torna mais desafiador a aplicação dos resultados a contextos urbanos complexos, reduzindo a aplicabilidade dos resultados para cidades altamente urbanizadas, com exceção os estudos de Jamei *et al.,* (2021), Chow *et al.,* (2019), e Williams *et al.,* (2021), que se concentraram em aplicações de telhados verdes em cidades altamente urbanizadas ao redor do mundo.

Poucos estudos abordam a viabilidade econômica, incluindo custos de implementação e manutenção de telhados verdes. A maior parte das pesquisas se concentra nos benefícios

RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR
ISSN 2675-6218

ambientais, porém poucos examinam o custo-benefício e os obstáculos financeiros para a adoção em grande escala. Nota-se também, que há poucos estudos que avaliam o desempenho dos telhados verdes ao longo dos anos, especialmente em relação à deterioração do substrato e à manutenção da vegetação.

Países que têm uma parcela maior de moradia e empregos informais são mais vulneráveis às mudanças climáticas. A urbanização acelerada contínua, especialmente em países em desenvolvimento (África, Ásia, América Latina), onde cidades estão se expandindo sem planejamento (UN-HABITAT, 2024), aumentando a degradação ambiental (Jatobá, 2011).

Verifica-se a necessidade de avaliar o impacto dos telhados verdes em cidades de médio e grande porte no Brasil e países em desenvolvimento, retratando a realidade geográfica de países de clima tropical, considerando diferentes biomas e padrões climáticos, além de interrelacionar áreas como arquitetura, engenharia, ecologia e planejamento urbano para desenvolver soluções integradas.

Este trabalho agrega valor à ciência ambiental ao oferecer uma avaliação comparativa das vantagens dos telhados verdes em variados cenários climáticos e urbanos, demonstrando a importância de ampliar as pesquisas para áreas tropicais e de criar métodos interdisciplinares que integre áreas como arquitetura, engenharia e ecologia.

Recomenda-se que os governos estabeleçam incentivos fiscais e normas bem definidas para promover a adoção de telhados verdes em regiões urbanas populosas, com ênfase na resiliência climática e na administração sustentável dos recursos hídricos, seguindo o modelo implementado em Stuttgart, Alemanha, que conta com o *Stuttgarter Grunprogram*, um programa que fornece suporte financeiro para a implementação de telhados verdes (Stuttgart, 2021). Berlim também conta com um projeto que visa a instalação de telhados verdes, o programa proporciona apoio financeiro para iniciativas que buscam ampliar a resiliência climática da cidade (Berlim, 2025).

No Brasil, a Lei Nº 6793, de 28 de dezembro de 2010 da cidade de Guarulhos (SP), onde prevê no artigo 61 um desconto de 3% sobre o Imposto sobre a Propriedade Predial e Territorial Urbana – IPTU, para instalação de telhado verde, em todos os telhados disponíveis no imóvel (Guarulhos, 2010). Em Recife (PE) os telhados verdes tornaram-se obrigatórios, de acordo com a Lei nº 18.112/2015, para edificações habitadas com mais de quatro pavimentos ou edificações desabitadas, como garagens de estacionamento com mais de 400 m² de área coberta (Omar *et al*., 2018).

Faz-se necessário estudos subsequentes, com o objetivo de priorizar pesquisas a longo prazo e em larga escala, com a utilização de padrões internacionais para medir a eficiência de telhados verdes, além de combinações como telhados verdes-azuis e substratos inovadores, investigando sua viabilidade em nações em desenvolvimento de clima tropical, a fim de averiguar, o comportamento de telhados verdes quando expostos, em larga escala, em chuvas torrenciais.

CONSIDERAÇÕES

Esta pesquisa buscou, por meio de uma revisão da literatura, verificar a eficiência de telhados verdes na mitigação dos efeitos negativos causados pela urbanização e posteriormente fornecer uma

RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR
ISSN 2675-6218

visão geral sobre estudos que abordam telhados verdes, descrevendo seus aspectos como conforto térmico, escoamento e retenção de águas pluviais.

Os dados extraídos dos artigos foram organizados em categorias, incluindo, título, autor, ano, benefícios dos telhados verdes, conforto térmico, escoamento, retenção de águas pluviais, profundidade e declividade do telhado. Os achados indicam reduções térmicas de 1,2°C a 15°C em edificações, sendo evidentes em climas áridos, e retenção de 20% a 90% das águas pluviais, que variam de acordo com o substrato e a precipitação. Foi identificada uma correlação com os ODS 7, 9, 11, 12 e 15.

Com base na análise das informações e dados contidos nos artigos revisados, pode-se concluir que a implantação em larga escala de telhados verdes pode mitigar os danos causados pela crescente urbanização, proporcionando conforto térmico através da redução da temperatura interior e exterior nos ambientes, bem como a minimização dos picos de enchente provocadas pelas chuvas. Estratégias como adicionar biocarvão ao substrato para absorção de água ou, a adição de uma camada água nos telhados permite uma maior taxa de evaporação pode contribuir para a mitigação do efeito de ilha de calor urbana.

Entretando, o desempenho dos telhados verdes depende de muitas variáveis, como as estruturais, profundidade do telhado, tipo de substrato, tipo de vegetação, declividade, além de variáveis climáticas, como precipitação e clima.

O levantamento dos dados desta revisão fornece uma visão holística das pesquisas da atualidade deste campo, fornecendo uma base de dados sólidos para pesquisas futuras. Todavia, destaca-se a necessidade de estudos específicos para o contexto brasileiro e para regiões tropicais e de criar métodos interdisciplinares que integre áreas como arquitetura, engenharia e ecologia. contribuindo para a adaptação de soluções sustentáveis às particularidades regionais.

REFERÊNCIAS

AHMAD, Sohif Bin Mat; SHEIKH MOHAMED, Norhisham Bin; MOHD ZAINAL, Mohd Amir Bin; ISMAIL, Mohamed Kamil; ABDULLAH, Ahmad Zuhairi. Effects of Green Roof in Reducing Surface Temperature and Addressing Urban Heat Island in Tropical Climate of Malaysia. **Journal of Environmental Management**, v. 249, p. 109410, 2019. Disponível em: https://doi.org10.1016/j.jenvman.2019.109410. Acesso em: 12 ago. 2024.

ALIM, Mohammad A.; RAHMAN, Ataur; TAO, Zhong; GARNER, Brad; GRIFFITH, Robert; LIEBMAN, Mark. Green roof as an effective tool for sustainable urban development: An Australian perspective in relation to stormwater and building energy management. **Journal of Cleaner Production**, v. 362, p. 132561, 2022. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.132561. Acesso em: 11 ago. 2024.

AZIS, Shazmin Shareena Ab.; MOHAMED RAZALI, Muhammad Najib Bin; MAIMUN, Nurul Hana Adi; YUSOFF, Nurul Syakima Mohd; ABDUL RAHMAN, Mohd Shahril; ZULKIFLI, Nur Amira Aina. An Analysis on the Efficiency of Green Roof in Managing Urban Stormwater Runoff. Planning Malaysia: **Journal of the Malaysian Institute of Planners**, v. 19, n. 3, p. 111-122, 2021. Disponível em: https://doi.org/10.21837/pm.v19i17.991. Acesso em: 12 ago. 2024.

RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR
ISSN 2675-6218

BARNHART, Brad et al. Modeling the hydrologic effects of watershed-scale green roof implementation in the Pacific Northwest, United States. **Journal of Environmental Management**, v. 277, p. 111418, 2021. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.111418. Acesso em: 30 jul. 2024.

BARRIUSO, Fernando; URBANO, Beatriz. Green roofs and walls design intended to mitigate climate change in urban areas across all continents. **Sustainability**, v. 13, n. 4, p. 2245, 2021. Disponível em: https://doi.org/10.3390/su13042245. Acesso em: 11 ago. 2024.

BERLIM. **GründachPLUS:** Förderprogramm für Gebäudebegrünung. Berlim: [s. n.], 2025. Disponível em: https://www.berlin.de/sen/uvk/natur-und-gruen/stadtgruen/gebaeudegruen/gruendachplus/. Acesso em: 31 jan. 2025.

BORTOLINI, Lucia; BETTELLA, Francesco; ZANIN, Giampaolo. Hydrological Behaviour of Extensive Green Roofs with Native Plants in the Humid Subtropical Climate Context. **Water**, v. 13, n. 1, p. 44, 2021. Disponível em: https://doi.org/10.3390/w13010044. Acesso em: 17 jul. 2024.

BOZHILOVA, Mariam; ZHIYANSKI, Miglena. Efficiency of Green Roofs with Different Depth and Ways to Reflect It in the Legislative Requirements. *In:* **20th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM 2020**, September 2020, Bulgarian Academy of Sciences, Institute of Forest Research, Sofia, Bulgaria. Disponível em: https://doi.org10.5593/sgem2020/6.1/s27.072. Acesso em: 17 jul. 2024.

CHOW, Ming Fai; ABU BAKAR, Muhammad Fadhlullah. Environmental Benefits of Green Roof to the Sustainable Urban Development: A Review. *In:* **Proceedings of the International Conference on Green Technology**, 2019. Disponível em: https://doi.org.1007/978-981-10-8016-6_110. Acesso em: 12 ago. 2024.

DESKA, Iwona; MROWIEC, Maciej; OCIEPA, Ewa; LEWANDOWSKA, Agnieszka. Influence of the Hydrogel Amendment on the Water Retention Capacity of Extensive Green Roof Models. **Journal of Ecological Engineering**, v. 21, n. 1, p. 195-204, 2020. Disponível em: https://doi.org/10.12911/22998993/112763. Acesso em: 12 ago. 2024.

DESKA, Iwona; MROWIEC, Maciej; OCIEPA, Ewa; MICHNIEWSKI, Michał. Impact of the hydrogel amendment and the dry period duration on the green roof retention capacity. **Ecol Chem Eng S**., v. 27, n. 3, p. 357-371, 2020. Disponível em: https://intapi.sciendo.com/pdf/10.2478/eces-2020-0023. Acesso em: 17 jul. 2024.

DONG, Jing; LIN, Meixia; ZUO, Jin; LIN, Tao; LIU, Jiakun; SUN, Caige; LUO, Jiancheng. Quantitative study on the cooling effect of green roofs in a high-density urban área - A case study of Xiamen, China. **Journal of Cleaner Production**, v. 255, p. 120152, 2020. Disponível em: https://doi.org10.1016/j.jclepro.2020.120152. Acesso em: 17 jul. 2024.

FANG, Yan; DU, Xintong; ZHAO, Haiyue; HU, Miao; XU, Xiaoming. Assessment of green roofs' potential to improve the urban thermal environment: The case of Beijing. **Environmental Research**, v. 237, p. 116857, 2023. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.envres.2023.116857. Acesso em: 10 ago. 2024.

FEITOSA, Renato Castiglia. Uso de sistemas modulares vegetados para promoção da saúde urbana e atenuação do estresse térmico. **Saúde em Debate,** Rio de Janeiro, v. 43, n. especial 3, p. 109-120, dez. 2019. Disponível em: https://doi.org/10.1590/0103-11042019S308. Acesso em: 12 maio 2025.

FÖLLMI, Dante; CORPEL, Lisanne; SOLCEROVA, Anna; KLUCK, Jeroen. Influence of blue-green roofs on surface and indoor temperatures over a building scale. **Nature-Based Solutions**, v. 4, p. 100076, 2023. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.nbsj.2023.100076. Acesso em: 18 jul. 2024.

RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR
ISSN 2675-6218

GRANT, Gary; GEDGE, Dusty. **Living Roofs and Walls – from policy to practice:** 10 years of urban greening in London and beyond. [S. l.]: Livingroofs.org; European Federation of Green Roof and Green Wall Associations, 2019. 48 p. Disponível em: https://livingroofs.org. Acesso em: 12 maio 2025.

GUARULHOS. Lei nº 6.793, de 28 de dezembro de 2010. Dispõe sobre o lançamento, arrecadação e fiscalização do Imposto sobre a Propriedade Predial e Territorial Urbana - IPTU e dá outras providências. **Diário Oficial do Município de Guarulhos, Guarulhos**: 28 de dezembro de 2010. Disponível em: https://leismunicipais.com.br/a/sp/g/guarulhos/lei-ordinaria/2010/679/6793/lei-ordinaria-n-6793-2010. Acesso em: 31 jan. 2025.

HIRANO, Yujiro; IHARA, Tomohiko; GOMI, Kei; FUJITA, Tsuyoshi. Simulation-Based Evaluation of the Effect of Green Roofs in Office Building Districts on Mitigating the Urban Heat Island Effect and Reducing CO2 Emissions. **Sustainability**, v. 11, n. 2055, 2019. Disponível em: https://doi.org10.3390/su11072055. Acesso em: 12 ago. 2024.

HU, Xinkang; GU, Kangkang; GENG, Shiyao; XIE, Weidong. Study on Thermal Environment and Human Thermal Comfort of Green Roofs Based on ENVI-met Simulation: Example of Green Roofs of Anhui Building Design and Research Institute. **Journal of Environmental and Occupational Medicine**, v. 38, n. 7, p. 694-700, 2021. Disponível em: http://www.jeom.org/article/en/10.13213/j.cnki.jeom.2021.21011. Acesso em: 10 ago. 2024.

JAMEI, Elmira; CHAU, Hing Wah; SEYEDMAHMOUDIAN, Mehdi; STOJCEVSKI, Alex. Review on the cooling potential of green roofs in different climates. **Science of the Total Environment**, v. 791, p. 148407, 2021. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.148407. Acesso em 12 ago. 2024.

JAMEI, Elmira; THIRUNAVUKKARASU, Ganesh; CHAU, Hong Wei; SEYEDMAHMOUDIAN, Mehdi; STOJCEVSKI, Alex; MEKHILEF, Saad. Investigating the Cooling Effect of a Green Roof in Melbourne. **Building and Environment**, v. 246, p. 110965, 2023. Disponível em: https://doi.org10.1016/j.buildenv.2023.110965. Acesso em: 12 ago. 2024.

JOSHI, Mitali Yeshwant; TELLER, Jacques. Assessing urban heat island mitigation potential of realistic roof greening across local climate zones: A highly-resolved weather research and forecasting model study. **Science of the Total Environment**, v. 944, p. 173728, 2024. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2024.173728.

KATO, Soushi; YAMAGUCHI, Yasushi. Estimation of storage heat flux in an urban area using ASTER data. **Remote Sensing of Environment**, v. 110, n. 1, p. 1-17, 2007. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.rse.2007.02.011. Acesso em: 13 ago. 2024.

KÕIV-VAINIK, Margit; KILL, Keit; ESPENBERG, Mikk; UUEMAA, Evelyn; TEEMUSK, Alar; MADDISON, Martin; PALTA, Monica M.; TÖRÖK, Liliana; MANDER, Ülo; SCHOLZ, Miklas; KASAK, Kuno. Urban Stormwater Retention Capacity of Nature-Based Solutions at Different Climatic Conditions. **Nature-Based Solutions**, v. 2, p. 100038, 2022. Disponível em: https://doi.org10.1016/j.nbsj.2022.100038. Acesso em: 12 ago. 2024.

KORANTENG, Christian; SIMONS, Barbara; NYAME-TAWIAH, David. Simulation-Based Analysis of the Effect of Green Roofs on Thermal Performance of Buildings in a Tropical Landscape. RISUS - **Journal on Innovation and Sustainability**, São Paulo, v. 12, n. 1, p. 45-56, jan./fev. 2021. Disponível em: http://dx.doi.org/10.23925/2179-3565.2021v12i1p45-56. Acesso em: 21 jul. 2024.

KREBS, Lisandra Fachinello; JOHANSSON, Erik. Influence of Microclimate on the Effect of Green Roofs in Southern Brazil – A Study Coupling Outdoor and Indoor Thermal Simulations. **Energy and Buildings**, v. 241, p. 110963, 2021. Disponível em: https://doi.org10.1016/j.enbuild.2021.110963. Acesso em:12 ago. 2024.

RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR
ISSN 2675-6218

LEE, Esther; SEO, Yongwon; WOO, Dong Kook. Enhanced environmental and economic benefits of green roofs in a humid subtropical region under future climate**. Ecological Engineering**, v. 201, p. 107221, 2024. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2024.107221. Acesso em: 11 ago. 2024.

LEE, Jechan; KWON, Eilhann E. Biochar in green roofs. **Journal of Building Engineering**, v. 89, p. 109272, 2024. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.jobe.2024.109272. Acesso em: 11 ago. 2024.

LI, Shu-xiao; QIN, Hua-peng; PENG, Yue-nuan; KHUC, Soon Thiam. Modelling the combined effects of runoff reduction and increase in evapotranspiration for green roofs with a storage layer. **Ecological Engineering**, v. 127, p. 302-311, 2019. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2018.12.003. Acesso em: 11 ago. 2024.

LIU, Hongqing; KONG, Fanhua; YIN, Haiwei; MIDDEL, Ariane; ZHENG, Xiandi; HUANG, Jing; XU, Hairong; WANG, Ding; WEN, Zhihao. Impacts of Green Roofs on Water, Temperature, and Air Quality: A Bibliometric Review. **Building and Environment**, v. 196, p. 107794, 2021. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2021.107794. Acesso em: 17 jul. 2024.

LIU, Wen; ENGEL, Bernard A.; FENG, Qi; LI, Ruolin. Simulating annual runoff retention performance of extensive green roofs: A comparison of four climatic regions in China. **Journal of Hydrology**, v. 610, p. 127871, 2022. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2022.127871. Acesso em: 17 jul. 2024.

LIU, Wen; FENG, Qi; CHEN, Weiping; WEI, Wei; DEO, Ravinesh C. The influence of structural factors on stormwater runoff retention of extensive green roofs: New evidence from scale-based models and real experiments. **Journal of Hydrology**, v. 569, p. 230-238, 2019. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2018.11.066. Acesso em: 11 ago. 2024.

MARVUGLIA, Antonino; KOPPELAAR, Rembrandt; RUGANI, Benedetto. The effect of green roofs on the reduction of mortality due to heatwaves: results from the application of a spatial microsimulation model to four European cities. **Ecological Modelling**, v. 438, p. 109351, 2020. Disponível em: https://doi.org10.1016/j.ecolmodel.2020.109351. Acesso em: 12 ago. 2024.

MEULEN, S. H. van der. Costs and Benefits of Green Roof Types for Cities and building owners. Journal of Sustainable Development of Energy, **Water and Environment Systems**, v. 7, n. 1, p. 57-71, 2019. Disponível em: https://doi.org/10.13044/j.sdewes.d6.0225. Acesso em: 11 ago. 2024.

MIHALAKAKOU, Giouli et al. Green roofs as a nature-based solution for improving urban sustainability: Progress and perspectives. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 180, p. 113306, 2023. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.rser.2023.113306. Acesso em: 18 jul. 2027.

MUTANI, Guglielmina; TODESCHI, Valeria. The effects of green roofs on outdoor thermal comfort, urban heat island mitigation and energy savings. **Atmosphere**, v. 11, n. 2, p. 123, 2020. Disponível em: https://doi.org/10.3390/atmos11020123. Acesso em: 10 ago. 2024.

OMAR, Aline; VIGODERIS, Ricardo; PANDORFI, Héliton; MOURA, Geber; GUISELINI, Cristiane. Green roof: simulation of energy balance components in Recife, Pernambuco State, Brazil. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 38, n. 3, p. 334–342, maio/jun. 2018. Disponível em: https://doi.org/10.1590/1809-4430-Eng.Agric.v38n3p334-342/2018. Acesso em: 14 abr. 2025.

PAITHANKAR, Deepak N.; TAJI, Satish G. Investigating the Hydrological Performance of Green Roofs Using Storm Water Management Model. Materials Today: **Proceedings**, v. 32, p. 943–950, 2020. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.05.085. Acesso em 12 ago. 2024.

PERIVOLIOTIS, Dimitris; ARVANITIS, Iasonas; TZAVALI, Anna; PAPAKOSTAS, Vassilios; KAPPOU, Sophia; ANDREAKOS, George; FOTIADI, Angeliki; PARAVANTIS, John A.; SOULIOTIS, Manolis; MIHALAKAKOU, Giouli. Sustainable Urban Environment through Green Roofs: A Literature Review

with Case Studies. **Sustainability**, v. 15, n. 22, p. 15976, 2023. Disponível em: https://doi.org/10.3390/su152215976. Acesso em: 21 jul. 2024.

RAPISARDA, Renata; NOCERA, Francesco; COSTANZO, Vincenzo; SCIUTO, Gaetano; CAPONETTO, Rosa. Hydroponic Green Roof Systems as an Alternative to Traditional Pond and Green Roofs: A Literature Review. **Energies**, v. 15, n. 2190, p. 1-27, 2022. Disponível em: https://doi.org.10.3390/en15062190. Acesso em: 13 ago. 2024.

SANTOS, Sylvana Melo dos; SILVA, Jhonata Fernandes Ferreira; SANTOS, Gilles Chaves dos; MACEDO, Patrícia Martins Torres de; GAVAZZA, Sávia. Integrating conventional and green roofs for mitigating thermal discomfort and water scarcity in urban areas. **Journal of Cleaner Production**, v. 219, p. 639-648, 2019. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.01.068. Acesso em: 11 ago. 2024.

SCHARF, Bernhard; KRAUS, Florian. Green Roofs and Greenpass. **Buildings**, v. 9, n. 9, p. 205, 2019. Disponível em: https://doi.org10.3390/buildings9090205. Acesso em 12 ago. 2024.

SCHRIEKE, Dean; SZOTA, Christopher; WILLIAMS, Nicholas S.G.; FARRELL, Claire. Evaluating the effectiveness of spontaneous vegetation for stormwater mitigation on green roofs. **Science of the Total Environment**, v. 898, 2023. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.165643. Acesso em: 10 ago. 2024.

SMALLS-MANTEY, Lauren; MONTALTO, Franco. The Seasonal Microclimate Trends of a Large Scale Extensive Green Roof. **Building and Environment**, v. 197, p. 107792, 2021. Disponível em: https://doi.org10.1016/j.buildenv.2021.107792. Acesso em: 12 ago. 2024.

STUTTGART. **Förderprogramme Urbanes Grün:** Stuttgarter Grünprogramm. Stuttgart: [s. n.], 2021. Disponível em: https://www.stuttgart.de/leben/stadtentwicklung/stadtplanung/stadterneuerung/foerderprogramme-urbanes-gruen.php. Acesso em: 31 jan. 2025.

SUSCA, Tiziana. Green roofs to reduce building energy use? A review on key structural factors of green roofs and their effects on urban climate. **Building and Environment,** v. 162, 2019, p. 106273. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2019.106273. Acesso em: 10 ago. 2024.

TALEBI, Ashkan; BAGG, Scott; SLEEP, Brent E.; O'CARROLL, Denis M. Water retention performance of green roof technology: A comparison of Canadian climates. **Ecological Engineering**, v. 126, p. 1-15, 2019. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2018.10.006. Acesso em: 17 jul. 2024.

TAN, Kanghao; WANG, Junsong. Substrate modified with biochar improves the hydrothermal properties of green roofs. **Environmental Research**, v. 216, p. 114405, 2023. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.envres.2022.114405. Acesso em: 01 ago. 2024.

WANG, J.; MUKHOPADHYAYA, P.; VALEO, C. Implementing green roofs in the private realm for city-wide stormwater management in Vancouver: lessons learned from Toronto and Portland. **Environments**, v. 10, n. 102, p. 1-15, 2023. Disponível em: https://doi.org/10.3390/environments10060102. Acesso em: 24 jul. 2024.

WANG, Jun; MEI, Guoxiong; GARG, Ankit; CHEN, Deqiang; LIU, Ning. A simplified model for analyzing rainwater retention performance and irrigation management of green roofs with an inclusion of water storage layer**. Journal of Environmental Management**, v. 326, p. 116740, 2023. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.116740. Acesso em: 17 jul. 2024.

WANG, Xueyuan; LIU, Gang; ZHANG, Ning; LIU, Hongnian; TANG, Xiaodong; LYU, Mengyao; MENG, Handong. Effects of cooling roofs on mitigating the urban heat island and human thermal stress in the Pearl River Delta, China. **Building and Environment**, v. 245, p. 110880, 2023. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2023.110880. Acesso em: 11 ago. 2024.

RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR
ISSN 2675-6218

WANG, Xun; LI, Huidong; SODOUDI, Sahar. The effectiveness of cool and green roofs in mitigating urban heat island and improving human thermal comfort. **Building and Environment**, v. 217, p. 109082, 2022. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2022.109082. Acesso em: 22 jul. 2024.

WILLIAMS, Nicholas S. G.; BATHGATE, Rachael S.; FARRELL, Claire; LEE, Kate E.; SZOTA, Chris; BUSH, Judy; JOHNSON, Katherine A.; MILLER, Rebecca E.; PIANELLA, Andrea; SARGENT, Leisa D.; SCHILLER, Julia; WILLIAMS, Kathryn J. H.; RAYNER, John P. Ten years of greening a wide brown land: A synthesis of Australian green roof research and roadmap forward. **Urban Forestry & Urban Greening**, v. 62, p. 127179, 2021. Disponível em: https://doi.org10.1016/j.ufug.2021.127179. Acesso em: 12 ago. 2024.

YAN, Jing; ZHANG, Sunxun; WEI, Liangyi; WANG, Renzhongyuan; ZHANG, Chengyu; ZHANG, Jianjun; ZHANG, Shouhong; YANG, Hang. Stormwater retention performance of green roofs with various configurations in different climatic zones. **Journal of Environmental Management**, v. 319, p. 115447, 2022. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.115447. Acesso em: 21 jul. 2024.

ZHANG, Gaochuan; HE, Bao-Jie; ZHU, Zongzhou; DEWANCKER, Bart Julien. Impact of Morphological Characteristics of Green Roofs on Pedestrian Cooling in Subtropical Climates. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, v. 16, n. 179, p. 1-20, 2019. Disponível em: http://www.mdpi.com/journal/ijerph. Acesso em: 07 ago. 2024.

ZHANG, Kexin; GARG, Ankit; MEI, Guoxiong; JIANG, Mingjie; WANG, Hao; HUANG, Shan; GAN, Lin. Thermal performance and energy consumption analysis of eight types of extensive green roofs in subtropical monsoon climate. **Building and Environment**, v. 216, p. 108982, 2022. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2022.108982. Acesso em: 11 ago. 2024.

ZHANG, Shouhong; LIN, Zixuan; ZHANG, Sunxun; GE, De. Stormwater retention and detention performance of green roofs with different substrates: Observational data and hydrological simulations. **Journal of Environmental Management**, v. 291, 2021. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.112682. Acesso em: 31 jul. 2024.

ZHANG, Xingyu; SOE, Aung Naing; DONG, Sihui; CHEN, Minghao; WU, Mengzhen; HTWE, Thet. Urban Resilience through Green Roofing: A Literature Review on Dual Environmental Benefits. **E3S Web of Conferences**, v. 536, p. 01023, 2024. Disponível em: https://doi.org/10.1051/e3sconf/202453601023. Acesso em: 12 ago. 2024.

ZHENG, Xiandi; KONG, Fanhua; YIN, Haiwei; MIDDEL, Ariane; YANG, Shaoqi; LIU, Hongqing; HUANG, Jing. Green roof cooling and carbon mitigation benefits in a subtropical city. **Urban Forestry & Urban Greening**, v. 86, p. 128018, 2023. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.ufug.2023.128018. Acesso em: 11 ago. 2024.

ZHENG, Xinzhu; ZOU, Yicheng; LOUNSBURY, Amanda W.; WANG, Can; WANG, Ranran. Green roofs for stormwater runoff retention: A global quantitative synthesis of the performance. **Resources, Conservation & Recycling**, v. 170, p. 105577, 2021. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2021.105577. Acesso em: 10 ago. 2024.

ZUO, Jin; MA, Jiahe; LIN, Tao; DONG, Jing; LIN, Meixia; LUO, Jiancheng. Quantitative assessment of the cooling effects of green roofs on different urban spatial forms in high-density urban areas. **Building and Environment**, v. 222, p. 109367, 2022. Disponível em: https://doi.org10.1016/j.buildenv.2022.109367. Acesso em: 17 jul. 2024.