

COBERTURAS VERDES: CONCEITO, APLICAÇÃO E DESEMPENHO

GREEN ROOFS: CONCEPT, APPLICATION AND PERFORMANCE

CUBIERTAS VERDES: CONCEPTO, APLICACIÓN Y DESEMPEÑO

FERNANDO SÉRGIO OKIMOTO, DR. | UNESP - Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Brasil.

LEONARDO FERREIRA DE MELLO | UNESP - Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Brasil.

RESUMO

O presente texto se trata de uma revisão bibliográfica dos conceitos, definições e desempenho das coberturas verdes, as quais são introduzidas com o intuito de promover benefícios econômicos e socioambientais no meio urbano. Tal tipo de cobertura permite um melhor aproveitamento do espaço, permitindo um melhor conforto ambiental e eficiência energética, que gera como consequência uma melhoria na qualidade de vida em sociedade. Juntamente, é apresentado nessa revisão bibliográfica uma análise sobre a origem e a evolução dos telhados verdes, os tipos de vegetação adequados para a sua constituição, a sua aplicação, desempenhos comparativos em diferentes climas, além das dificuldades e barreiras que se encontram para a sua construção. Verifica-se então, que as coberturas verdes são soluções funcionais para se tornar o meio urbano um ambiente mais atrativo, proveitoso e benéfico para os seus cidadãos.

PALAVRAS-CHAVE

Cobertura verde; desempenho ambiental; eficiência energética.

ABSTRACT

This text is a bibliographic review of the concepts, definitions and performance of green roofs, which are presented with the aim of promoting economic and socio-environmental benefits in the urban environment. This type of coverage allows a better use of space, allowing greater environmental comfort and energy efficiency, which consequently generates an improvement in the quality of life of society. Together, this bibliographic review presents an analysis of the origin and evolution of green roofs, the types of vegetation suitable for their constitution, their application, comparative performances in different climates, in addition to the difficulties and barriers that are encountered in their construction. It is then verified that green roofs are functional solutions to make the urban environment a more attractive, profitable and beneficial environment for its citizens.

KEYWORDS

Green roofs; environmental performance; energy efficiency.

RESUMEN

El presente escrito trata de una revisión bibliográfica de los conceptos, definiciones y desempeño de los techos verdes, los cuales son introducidos con el fin de promover beneficios económicos y socioambientales en el espacio urbano. Este tipo de techo permite un mejor aprovechamiento del espacio, permitiendo un mejor comodidad ambiental y eficiencia energética, que genera como consecuencia una mejoría en la calidad de vida en la sociedad. En conjunto, se expone en esa revisión bibliográfica un análisis sobre el origen y evolución de los techos verdes, los tipos de vegetación



adecuados para su constitución, su aplicación, desempeños comparativos en diferentes climas, además de las dificultades y barreras que se encuentran en su construcción. Por lo tanto, es posible establecer que los techos verdes son soluciones funcionales para convertir el entorno urbano en un ambiente más atractivo, práctico y beneficioso para sus ciudadanos.

PALABRAS CLAVE

Cubiertas verdes; desempeño ambiental; eficiencia energética.



1. INTRODUÇÃO

As coberturas verdes têm sido estudadas e aplicadas em projetos de arquitetura e na construção civil, mas a hipótese apresentada aqui é que, se restringe, muitas vezes apenas ao caráter político e/ou comercial. Tais coberturas não têm sido amplamente utilizadas como soluções na busca de melhorias dos desempenhos térmico, acústico, de estanqueidade, de detenção e/ou retenção de águas pluviais. Acabam sendo considerados aspectos paisagísticos e biológicos como sequestros de carbono e, por muitas vezes, apenas qualitativamente.

Este trabalho busca estudar a evolução conceitual e como têm sido abordados esses desempenhos negligenciados para investigar futuros nichos de pesquisa e tendências.

2. OBJETIVOS

O objetivo geral deste trabalho foi de realizar uma revisão bibliográfica acerca das coberturas verdes e dos seus desempenhos a envoltória das edificações

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

O processo metodológico ora aplicado foi uma revisão bibliográfica narrativa com alguns elementos para uma análise mais sistemática e crítica para identificar lacunas, utilizando-se de uma abordagem histórica, conceitual e tecnológica em fontes bibliográficas de qualidade

4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

4.1. Origem e história

O surgimento das coberturas verdes, como parte da estrutura de terra, remete pelo menos ao período Neolítico, com vestígios arqueológicos abrangendo um longo período (KRISTJANSDOTTIR ET AL., 2001; LOVEDAY, 2006 apud JIM, 2017). Os casos antigos principais são edifícios da realeza, aristocracia ou estabelecimentos religiosos. Nos tempos históricos, ruínas e exemplares construídos são do século IX d.C. (HOFFECKER, 2005 apud JIM, 2017). A inovação da 'turf house' foi iniciada e melhorada pelo povo nórdico, como consequência do clima ártico extremamente frio e à privação de recursos (SAWYER, 1997 apud JIM, 2017). No entanto, a referência utilizada usualmente sobre a história do telhado verde tende a ir do Jardim Suspenso da Babilônia em 500 aC (DALLEY, 2013

apud JIM, 2017) a alguns casos europeus medievais. Em seguida, pula para a modernização de materiais e designs na Alemanha na década de 1960 (K&hler; Keely, 2005; THURING; DUNNETT, 2014 apud JIM, 2017).

Assim, segundo Jim (2017), a invenção da agricultura no período Neolítico deixou como legado, a vida sedentária, exigindo abrigos mais permanentes, que evoluíram para a forma de casa com paredes e telhado inclinado. Com isso, o desenvolvimento de coberturas verdes tem sido interpretado a partir da somatória de esforços humanos para criar abrigos eficazes e práticos. Sua origem está na antiguidade, começando como uma tipologia de reboco de terra em uma estrutura de madeira para selar as lacunas, obtendo como resultado a maior capacidade de impermeabilização dos abrigos primitivos. O reboco de terra serviu (de forma involuntária), como um substrato para receber sementes providas da natureza sobre a qual uma cobertura vegetal poderia ser estabelecida, surgindo como consequência o telhado de prado espontâneo.

Com o decorrer do tempo, outras melhorias na estrutura do abrigo, trouxeram a casa com paredes e telhado, permitindo a transferência da habilidade aprendida de rebocar para o topo da habitação. Porém, rebocar o telhado inclinado com muitos pequenos pedaços de terra exigia um enorme esforço e um tempo considerável. Visando isso, cortar grama em tiras ou pedaços pode reduzir notavelmente os esforços pela instalação eficiente de solo e vegetação em uma ação. Com o esverdeamento 'instantâneo', o período de terra nua suscetível à erosão e perda do solo poderia ser evitado. Assim, o telhado de grama intencional é criado para substituir o telhado de prado espontâneo.





Figura 1 e 2: Imagens tiradas em 1899 da tradicional casa de grama chamada bababara construída por indígenas das Ilhas Aleutas, respectivamente na Ilha de Saint Paul e na Ilha de Wood.
Fonte: Jim (2017).

Para a construção do telhado de grama, é necessário a instalação de camadas de diferentes tipos de materiais, como indicado na figura 3. A primeira tem início com a construção da estrutura do telhado inclinado. Camadas sobrepostas de casca colhida de bétulas (espécie de Betula) seriam colocadas primeiro para fornecer a impermeabilização e proteger a madeira estrutural da umidade. A segunda camada é colocada na casca de bétula usando tiras de grama, com a grama voltada para baixo para diminuir seu crescimento. As folhas entre a casca e grama facilitaria a drenagem e protegeria a casca do húmus ácido do solo. A terra é colocada como a terceira camada. Com isso, a última camada é colocada com a grama voltada para cima (JIM, 2017).

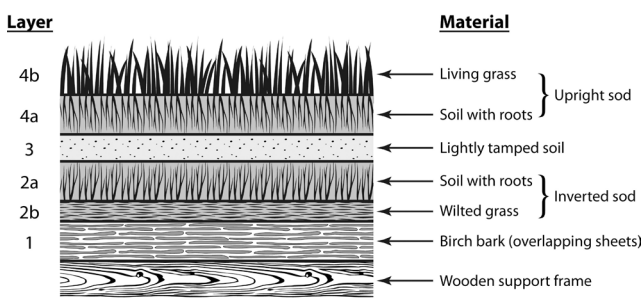


Figura 3: As múltiplas camadas utilizadas na construção do telhado de grama tradicional.
Fonte: Jim (2017).

4.2. Origem e história

O conceito de cobertura verde foi introduzido com o intuito de promover benefícios econômicos, sociais, ambientais e estéticos, para ter como resultado uma melhor qualidade de vida, principalmente no meio urbano. Esse tipo de cobertura vegetal é implantado com diversas plantas

e portes, que são inseridas em um substrato para se obter um meio de crescimento propício para o desenvolvimento. Como pode ser visto na figura 5, a estrutura básica é formada principalmente por essa vegetação e o substrato presente, camada filtrante, isolamento, material de drenagem, barreira radicular e membranas impermeabilizantes (JAMEI; CHAU; SEYEDMAHMOUDIAN; STOJCEVSKI, 2021).

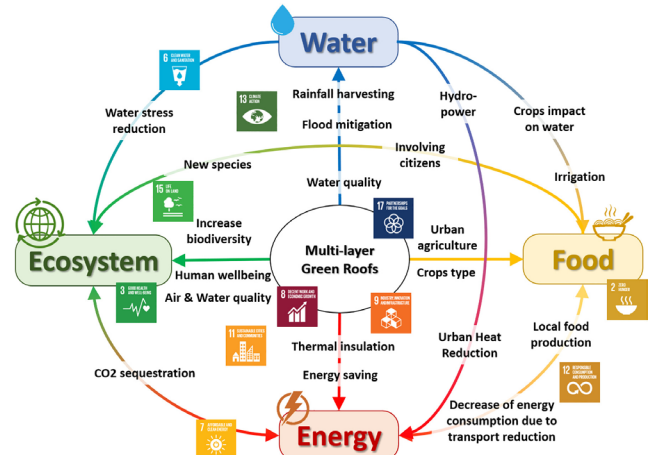


Figura 4: Esquema gráfico das coberturas verdes em relação os benefícios e contribuições para a sociedade.
Fonte: (CRISTIANO ET AL., 2021)



Figura 5: Principais componentes de uma cobertura verde.
Fonte: (JAMEI ET AL., 2021)

Esse tipo de cobertura é dividido em 4 categorias, as quais levam em consideração o peso, o custo de manutenção, a camada de substrato, os tipos de planta e a irrigação (GSA U.S., 2011 apud JAMEI ET AL., 2021). Com isso, são classificadas em intensivas, semi-intensivas, extensivas de uma camada e extensivas de várias camadas.

As coberturas verdes intensivas são aquelas que possuem a capacidade de suportar grande variedade de plantas devido a sua camada de crescimento mais profunda (com mais de 200mm), permitindo assim o cultivo de arbustos e até mesmo árvores. Porém, esse tipo de cobertura possui uma carga mais elevada, tendo assim a necessidade de uma adequada estrutura para suportar a sobrecarga gerada pelo carregamento sobre a edificação.

Com isso, não são todos os tipos de edificações que conseguem suportar esse tipo de cobertura vegetal. (GSA U.S., 2011 apud JAMEI ET AL., 2021).

Esse tipo de cobertura verde, como consequência de sua espessa camada de meio de crescimento, retém uma maior quantidade de água, permitindo assim um ambiente propício para diferentes tipos de plantas. Além desses fatos, as coberturas verdes intensivas necessitam de uma maior taxa de manutenção, principalmente para a irrigação, fertilização e capina, tendo com isso um maior custo de implantação. (GSA U.S., 2011 apud JAMEI ET AL., 2021).

As coberturas verdes extensivas, ou extensivas de uma camada, são coberturas vegetais compostas por uma camada de substrato menos espessa (70 a 100mm). Portanto, possuem um menor peso, suportando uma vegetação de pequeno porte. O "sedum L." é muito utilizado como camada de vegetação nessas coberturas, necessitando de uma quantidade mínima de irrigação e manutenção. Fazendo assim, que as coberturas verdes extensivas de uma única camada terem o menor custo manutenção dentre todos os tipos de coberturas verdes. (VIJAYARAGHAVAN, 2016; SUSCA, 2019).

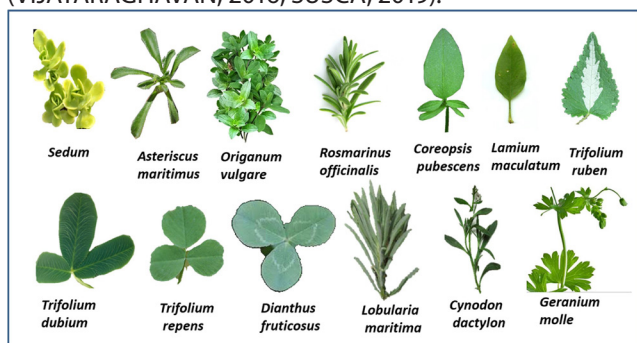


Figura 6: Exemplos de tipos de vegetação para uso em coberturas verdes.
Fonte: (SHAFIQUE; LOU; ZUO, 2021)

Uma das principais vantagens das coberturas verdes extensivas de uma camada é que esse tipo de cobertura permite a sua implantação na maioria das edificações e residências, não necessitando uma estrutura adicional para a sustentação na maior parte dos casos. Contudo esse tipo de cobertura não permite uma grande retenção de água e espaço para o desenvolvimento da vegetação, além de ter uma maior taxa de exposição ao sol e aos ventos (VIJAYARAGHAVAN, 2016; SUSCA, 2019).

Entretanto, as coberturas verdes de múltiplas camadas possuem um substrato também menos espesso e continuam com isso sendo mais leves. Esse tipo de cobertura verde é o mais utilizado ao redor de todo o mundo, devido ao seu peso mais leve, baixo custo de manutenção e baixa taxa de irrigação. (BEVILACQUA et al., 2016).



Figura 7: Exemplos de coberturas verdes sendo construídas atualmente. (a) Burnley Demonstration Green Roof, University of Melbourne (Julia Schiller), (b) Victorian Comprehensive Cancer Centre, Melbourne (Julia Schiller), (c) The Venny, Melbourne (John Rayner), (d) Victorian Desalination Plant, Wonthaggi (Leanne Hanrahan), (e) Yerrabingin Indigenous Rooftop Farm, Sydney (Junglify), (f) Anadara and Alexander Residences, Sydney, (g) 38 Westbury Street (Julia Schiller), (h) residência particular, Melbourne (Julia Schiller), (i) residência particular, Melbourne (Julia Schiller)

Fonte: (WILLIAMS et al., 2020)

Já as coberturas verdes semi-intensivas, possuem uma estrutura de substrato moderada (150 mm), composto de uma vegetação de menor porte, grama e arbustos. Esse tipo de cobertura é uma combinação de coberturas intensivas e extensivas, tendo assim uma menor demanda de manutenção comparado às coberturas intensivas. Contudo, precisam de um maior capital para se ter a melhora no desempenho térmico da edificação. (VIJAYARAGHAVAN, 2016; SUSCA, 2019).

4.3. Coberturas verdes fotovoltaicas:

Buscando-se obter os benefícios que as coberturas verdes proporcionam, junto com a produção de energia limpa, existe a cobertura verde fotovoltaico, em que se tem a integração das coberturas verdes junto com os sistemas fotovoltaicos. Um estudo desenvolvido por Köehler et al. (2007), em Berlim, mostrou-se com os resultados que a cobertura verde fotovoltaica tem a capacidade de resfriar a temperatura da superfície fotovoltaica e produzir 6 % mais de eletricidade comparado com a cobertura normal de betume.

Segundo Hui e Chan (2011) apud Shafique et al. (2020), a integração de um sistema fotovoltaico com uma cobertura verde, produz até 8,3% do consumo total de energia do edifício, dependendo de determinados fatores, como as condições climáticas.

A poeira é um fator importante para se considerar nos estudos do sistema fotovoltaico (MANI; PILLAI, 2010), já que o acúmulo de poeira nas placas do sistema

fotovoltaico corrói a transmitância do vidro, reduzindo assim a capacidade de desempenho do sistema fotovoltaico (SAID; WALWIL, 2014). As plantas que compõem as coberturas verdes, podem capturar essas partículas finas de poeira, e com isso filtrar e limpar o ar que circunda o sistema (YANG ET AL., 2008), permitindo o melhor funcionamento do sistema fotovoltaico.

O sistema fotovoltaico integrado com a cobertura verde sombreia a superfície da cobertura, e com isso diminui a temperatura do solo e a temperatura interna da edificação (OSMA-PINTO; ORDÓÑEZ-PLATA, 2019). Outro fator importante que se deve considerar é que a altura de separação entre a cobertura verde e o sistema fotovoltaico, segundo Ogaili e Sailor (2016), é um fator muito importante que aumenta o aprimoramento da energia fotovoltaica. Além disso, é muito importante a escolha de plantas que não sejam afetadas pelo efeito de sombreamento gerado pelo sistema fotovoltaico.

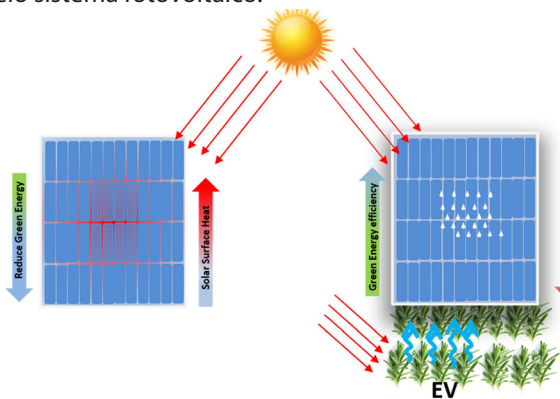


Figura 8: Esquema ilustrado do mecanismo de uma cobertura verde fotovoltaica.
Fonte: (SHAFIQUE; LOU; ZUO, 2020)

Com isso, percebe-se que a junção das coberturas verdes com os sistemas fotovoltaicos produz uma série de benefícios, porém ainda se tem lacunas de conhecimento sobre seus benefícios em países em desenvolvimento, dificultando a sua aplicação em larga escala, além de ter um elevado custo total de aplicação do sistema (SHAFIQUE ET AL., 2020).



Figura 9: Exemplo de uma cobertura verde fotovoltaica.
Fonte: (SHAFIQUE; LOU; ZUO, 2020)

4.4. Benefícios das coberturas verdes

O modo de vida sustentável e a reciclagem de determinados materiais também estão ligados ao conceito de coberturas verdes. Segundo Astee e Kishnani (2010), a agricultura urbana em coberturas verdes pode contribuir para suprir a demanda de alimentos, em que além de todos os benefícios que as coberturas verdes fornecem para a edificação, ela também pode gerar alimentos para a população. Levando em consideração o substrato utilizado, materiais de construção reciclados e subprodutos gerados pela indústria como tijolos triturados e cinzas de carvão, podem ser utilizados no substrato, reduzindo os impactos negativos para o ambiente, já que os impactos de sua fabricação são contabilizados no uso primário, mas a quantidade de energia necessária para triturar esses materiais deve ser considerada no processo (SCOLARO ET AL., 2022).

Dentre os benefícios das coberturas verdes, o escoamento de águas pluviais é um deles. Diferente das coberturas tradicionais, em que a água proveniente das chuvas escoava, nas coberturas verdes a água da chuva entra em um sistema hidrológico complexo (LAMBRINOS, 2015 apud ZHENG ET AL., 2021), em que o sistema retém água por meio da vegetação, substrato e materiais estratificados, aumentando a capacidade de retenção de escoamento para um melhor gerenciamento das águas pluviais, fazendo assim que a cobertura desacelere o escoamento da água, aliviando com isso, como consequência a pressão sobre a gestão das águas pluviais urbanas, reduzindo os fluxos de pico. A purificação da água de escoamento é outro benefício proporcionado pelas coberturas verdes: de acordo com Liu et al. (2021), as coberturas verdes atuam como agentes purificadores, em que seu substrato possui uma capacidade de absorção considerável de Al, Fe, Cr, Cu, Ni, Zn, Cd, Pb e outros íons metálicos, além de também neutralizar a acidez da água das chuvas, já que o pH da água proveniente das chuvas, na maioria das vezes, é menor que o do substrato.

Um estudo de caso comparativo realizado em dois telhados adjacentes no topo de edifícios recentemente construídos no centro de Sydney, mostrou que as coberturas verdes também promovem a biodiversidade metropolitana (WOOSTER ET AL., 2022). Por meio de armadilhas fotográficas e levantamentos, verificou-se um maior número de espécies encontradas nas coberturas verdes em comparação com a cobertura convencional. Foram encontrados quatro aves, dois gastrópodes e 26 espécies de artrópodes no telhado verde em comparação com um,

zero e três na cobertura convencional, respectivamente. Durante o período de estudo, não se observou nenhuma espécie de gastrópodes na cobertura convencional, mas números consideráveis na cobertura verde, sendo elas a lesma-leopardo e o caramujo-comum (*Cantareus asperus*). Com isso, verifica-se que as coberturas verdes podem atrair e sustentar uma biodiversidade maior do que as coberturas convencionais, mostrando que esses tipos de coberturas são importantes refúgios ecológicos em áreas urbanas (WOOSTER ET AL., 2022).

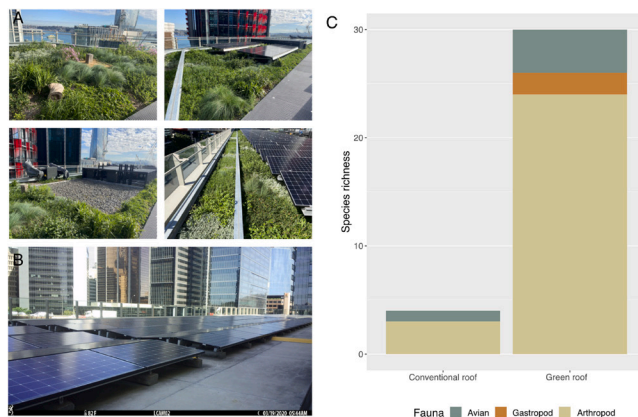


Figura 10: EA- imagens das principais áreas da cobertura verde. B- Imagens do telhado convencional. C- Gráfico da Diversidade de comunidades de aves, artrópodes e gastrópodes em telhados Verde e Convencionais.
Fonte: (WOOSTER ET AL., 2022)

As coberturas verdes também auxiliam na redução do consumo de energia da edificação em que estão situadas. Elas reduzem a radiação solar direta, refletindo aproximadamente de 20% a 30% dela, além de absorver 60% dessa energia. A vegetação dessas coberturas reduz a temperatura do ambiente por meio de processos de evapotranspiração, absorvem a energia térmica por meio da fotossíntese e criam uma área de sombreamento, protegendo o solo da radiação solar. O solo também é uma importante ferramenta para reduzir o consumo de energia, já que cria um bom isolamento térmico para a construção, por possuir uma baixa transmitância térmica (BERNARDI ET AL., 2014).

Efeito albedo, é uma propriedade que descreve a quantidade de radiação solar que uma determinada superfície reflete de volta para a atmosfera. Assim, quanto maior o albedo de uma superfície, mais radiação solar é refletida e menos é absorvida. Uma pesquisa comparando a refletividade da radiação de superfície (albedo) de coberturas brancas e coberturas verdes mostrou que a tinta branca registrou um albedo de 0,8 em média, porém é difícil se manter albedos altos em superfícies brancas sem lavagem regular, registrando assim uma diminuição de albedo de 0,15 em um ano (GAFFIN ET AL., 2006 apud

LI; YEUNG, 2014). Já pelo contrário as coberturas verdes registraram um albedo equivalente de 0,7–0,85 (GAFFIN ET AL., 2006 apud LI; YEUNG, 2014), melhorando, como consequência, o desempenho térmico da edificação.

A melhor eficiência energética permite uma diminuição de gastos, mas também beneficia um desenvolvimento sustentável. Pesquisas realizadas sobre coberturas verdes (JIM; 2017, RAN; TANG, 2018, YANG ET AL.; 2015) demonstram diversos benefícios sociais, econômicos e ambientais, como o aumento das atividades de recreação, a melhoria estética, além dos benefícios já citados anteriormente. Resultados de um estudo do Hospital Infantil Lady Cilento, em Brisbane/Austrália, mostraram que espaços que contenham coberturas verdes, paredes e fachadas verdes proporcionam para os pacientes, funcionários e visitantes do hospital um alívio emocional (REEVE ET AL., 2006).

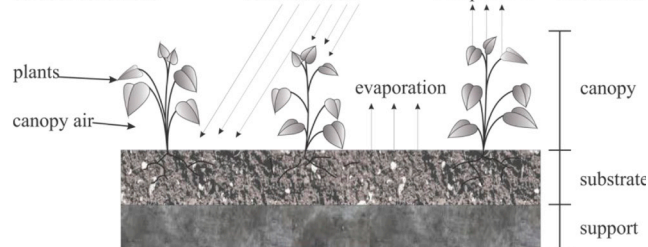


Figura 11: Corte esquemático transversal de uma cobertura verde.
Fonte: (QUEZADA GARCÍA ET AL., 2020)

2017).

Analisando-se a estrutura de uma cobertura verde, notasse que, segundo Zhang et al. (2022), a espessura da camada de solo é a qual possui um maior impacto no desempenho térmico da cobertura verde. A espessura da camada do solo pode, além de interceptar a água da chuva e fornecer umidade necessária para o crescimento da vegetação, desempenhar um papel na preservação do calor e no isolamento do telhado como se observa nas tabelas 1 e 2. Com base em simulações utilizando o EnergyPlus (ferramenta de software de análise de energia de edifícios), verifica-se que as coberturas verdes podem reduzir de maneira significativa o consumo anual de energia dos edifícios, com maior ênfase nos andares superiores. Uma análise realizada em um clima subtropical de monção, o consumo de energia da edificação com cobertura verde possuindo uma espessura de camada de solo de 200 mm, possui uma economia de 30,2% a 56,4% do consumo de energia ao longo do ano.

Com os fatos citados acima, verifica-se que as coberturas verdes possuem um caráter significativo no alívio do efeito de ilha de calor, mais especificamente na época do verão. Com a temperatura do ar de 30°C no verão,

Functional area	Thickness/mm	Spring	Summer	Autumn	Winter	Annual energy consumption
Hospital	100	3.73	20.77	3.99	0.00	28.50
	150	3.57	19.87	4.08	0.00	27.52
	200	3.55	19.24	4.10	0.00	26.89
	0	6.71	51.35	6.94	0.00	65.00
Business area	100	2.50	14.64	2.89	0.00	20.03
	150	2.55	14.80	3.12	0.00	20.47
	200	2.56	14.86	3.32	0.00	20.75
	0	2.86	31.29	3.23	0.00	27.38
Residential area	100	2.82	15.84	2.95	0.00	21.61
	150	2.79	15.55	3.13	0.00	21.46
	200	2.79	15.39	3.27	0.00	21.45
	0	2.10	20.58	2.07	0.00	24.75

Tabela 1: Consumo de energia de refrigeração/KWh-m⁻²
Fonte: (Zhang et al. (2022))

Functional area	Thickness/mm	Spring	Summer	Autumn	Winter	Annual energy consumption
Hospital	100	0.37	0.00	0.22	10.26	10.85
	150	0.22	0.00	0.06	8.55	8.83
	200	0.10	0.00	0.00	7.37	7.47
	0	2.79	0.00	2.02	9.08	13.89
Business area	100	0.26	0.00	0.06	6.56	6.88
	150	0.17	0.00	0.02	5.72	5.91
	200	0.06	0.00	0.01	5.12	5.19
	0	1.39	0.00	1.00	8.64	11.03
Residential area	100	0.21	0.00	0.18	7.71	8.10
	150	0.13	0.00	0.05	6.72	6.90
	200	0.06	0.00	0.00	5.98	6.04
	0	1.86	0.00	1.22	11.59	14.67

Tabela 2: Consumo de energia de aquecimento/KWh-m⁻²
Fonte: (Zhang et al. (2022))

a temperatura de um telhado tradicional chega a 65°C, enquanto a temperatura de um telhado verde é de 37°C, notando-se uma diferença de 28°C (ZHANG ET AL., 2022). Já no inverno, analisa-se um efeito de menor intensidade sobre o desempenho térmico das coberturas verdes. Nas épocas mais frias, a diferença média de temperatura entre a cobertura tradicional e a cobertura verde é de apenas 1,2°C (ZHANG ET AL., 2022).

Verificando um estudo de desempenho térmico e consumo de energia de oito tipos de telhados verdes extensivos em um clima subtropical de monção (ZHANG ET AL., 2022), as temperaturas anuais do telhado tradicional (Tr) e do telhado verde (T0, Tb) foram expressas na figura 12 a seguir. Na época do verão, verifica-se que o intervalo de distribuição e temperatura média do diagrama de caixa de telhados tradicionais são significativamente maiores do que os de T0 e Tb. Com isso, a diferença de

temperatura média entre Tr e a cobertura verde (T0 e Tb) é de 6,8°C e 6,9°C, respectivamente. Conclui-se com isso, que no verão, uma cobertura verde pode reduzir a temperatura de maneira significativa da superfície do edifício e do último andar da edificação, melhorando o conforto de vida das pessoas. Já na época do outono e da primavera, a diferença média de temperatura entre Tr e o telhado verde (T0 e Tb) está entre 2,1°C e 2,3°C. No inverno, os valores aproximados de T0 e Tb foram de 15,9 °C e 16,4°C, respectivamente. As diferenças médias de temperatura deles com o telhado tradicional foi de 1,8°C e 1,3°C, respectivamente. Portanto, o telhado verde possui um efeito mínimo de desempenho térmico na época do inverno (ZHANG ET AL., 2022).

As coberturas verdes também contribuem para o isolamento acústico e a redução de ruídos na edificação. Um estudo mediu a perda de transmissão sonora de um

telhado de referência (tipo convencional) e dois telhados verdes (CONNELLY; HODGSON, 2008). Estes eram idênticos, tendo apenas como diferença o tamanho da profundidade do substrato (75mm para a cobertura verde 1 e 150mm para cobertura verde 2). Verificou-se então que o aumento da perda de transmissão por meio da cobertura verde 1 em diferentes frequências foi menos consistente, enquanto o mesmo aumento da perda de transmissão por meio da cobertura verde 2 teve melhor eficácia. Os resultados também demonstram que a cobertura verde mais profunda aumentou a perda de transmissão de 5dB para 13dB nas bandas de frequência baixa e média (50Hz – 2000Hz) e de menos de 6dB nas frequências mais altas

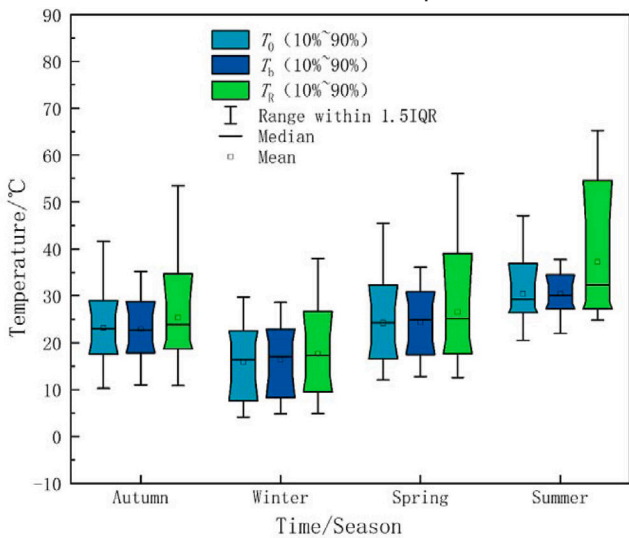


Figura 12: Gráfico da variação de temperatura entre o telhado tradicional (T_r) e a cobertura verde (T_0 e T_b) com o decorrer do tempo.
Fonte: Zhang et al. (2022)

(CONNELLY; HODGSON, 2008).

Com isso serão benéficas as medidas que incentivem a construção de coberturas verdes nas edificações. Para isso, ferramentas políticas são essenciais para a ação desse tipo de cobertura.

Descontos, subsídios e incentivos públicos podem acelerar a instalação desse sistema e impulsionar um maior desenvolvimento sustentável. Cidades que adotaram essas medidas possuem taxas maiores de instalação de coberturas verdes (como se se observa no gráfico da figura 13 a seguir), segundo Stern et al. (2019) e Wilkinson et al. (2017) apud Williams et al. (2021).

Para se obter um eficiente resultado na construção de coberturas verdes, é de extrema importância realizar a análise das condições climáticas e naturais da região para chegar a um resultado de qual é o tipo de vegetação mais adequado para ser empregada. Porém, deve-se também analisar as especificações da cobertura verde para a adaptações das plantas: a espessura da cobertura para o

desenvolvimento das raízes, verificando se ele é adequado para plantas de pequeno, médio ou grande porte; se a cobertura possui ou não um sistema de irrigação; entre

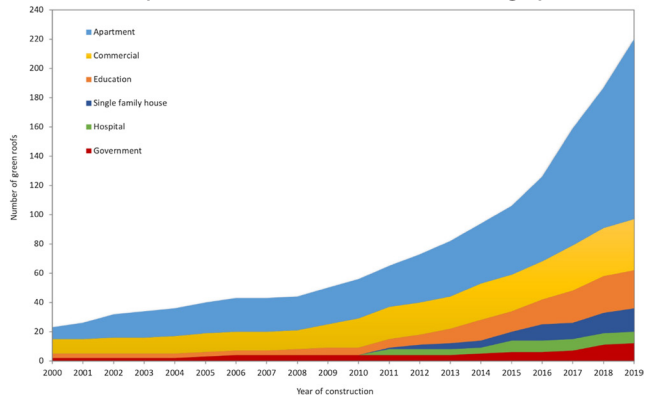


Figura 13: Número de coberturas verdes (intensivos e extensivos) construídos em diferentes tipos de edifícios na região metropolitana de Melbourne desde 2000.
Fonte: (WILLIAMS et al., 2021)

outras características (SHAFIQUE ET AL., 2020).

Segundo Liu e Huang (2005), em coberturas verdes situados em um clima seco e sem um sistema de irrigação, além da seca, as plantas devem ser adaptadas a irradiação solar e a elevadas temperaturas do substrato e do ar, porém ainda é baixo o número de estudos realizados sobre a tolerância térmica das plantas e o efeito do calor nas plantas da cobertura verde. No verão, para se obter um melhor resultado de resfriamento da edificação por meio da cobertura verde, é indicado se utilizar plantas de um maior desenvolvimento foliar, já que assim tem com resultado uma baixa transmissão de radiação solar. No entanto, no inverno essas escolhas sobre o tipo de vegetação podem limitar o isolamento térmico da edificação

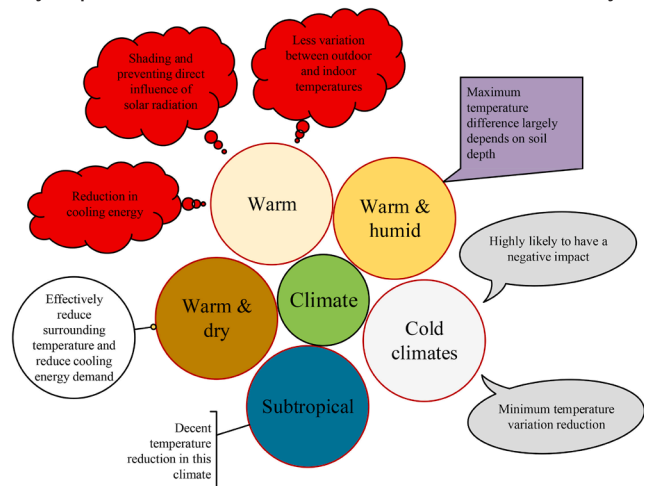


Figura 14: Relação entre o tipo de clima e o desempenho da cobertura verde em cada um deles.
Fonte: (ALIM ET AL., 2022)

(CRISTIANO ET AL., 2021).

4.5. Dificuldades

Contudo, existem barreiras e impedimentos para a construção desse tipo de cobertura. A falta de políticas públicas (vale ressaltar que, segundo Xiao et al., 2014, as políticas públicas são as ferramentas mais eficazes para a implementação de iniciativas de sustentabilidade urbana), recursos econômicos inadequados, nível tecnológico impróprio, tipo de construção, declividade do terreno, tipo de vegetação, falta de acessibilidade, além de edificações mais antigas que não possuem estruturas adequadas para suportar a carga da cobertura verde. As plantas também selecionadas para a composição da cobertura verde podem gerar bactérias e mosquitos que podem causar transtornos para os moradores locais. Além disso, os materiais de cobertura, se não forem devidamente usados podem se tornar uma fonte de poluição para o meio ambiente (SPEAK ET AL.; 2014).

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com isso, conclui-se que as coberturas verdes, utilizadas desde a antiguidade e aperfeiçoadas até os dias atuais, geram diversos benefícios. Tais benefícios nas mais diversas áreas, como sustentabilidade; eficiência energética; melhoria na qualidade de vida; econômicos; isolamento acústico; lazer; conforto; sociais; desempenho ambiental; estéticos dentre vários outros. Entretanto, ainda falta a implementação de políticas governamentais que incentivem a implementação desse tipo de cobertura no meio urbano e estudos mais avançados sobre os efeitos das coberturas verdes no cotidiano da população, para que seja feita uma análise de maneira mais completa para que o investimento na construção de coberturas verdes seja viável.

Por fim, salienta-se que este trabalho objetivou reunir os conceitos, aplicações e desempenhos estudados atualmente para identificar lacunas que indiquem caminhos para novas pesquisas e temas relevantes para a indústria da construção civil sustentável. O trabalho cumpriu seu objetivo ao indicar que devem ser buscados projetos monitoramentos e avaliações de desempenhos para além das tradicionais justificativas das coberturas verdes, como, por exemplo, um simples paisagismo ou pelo sequestro de carbono.

REFERÊNCIAS

- AALIM, Mohammad A. et al. 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**, [S.L.], v. 362, p. 132561, ago. 2022. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.132561>.
- ASTEEL, Lim Yinghui; KISHNANI, Nirmal T. Building Integrated Agriculture: utilizing rooftops for sustainable food crop cultivation in singapore. **Journal Of Green Building**, [S.L.], v. 5, n. 2, p. 105-113, 1 maio 2010. College Publishing. <http://dx.doi.org/10.3992/jgb.5.2.105>.
- BERARDI, Umberto; GHAFARIANHOSEINI, Amirhosein; GHAFARIANHOSEINI, Ali. State-of-the-art analysis of the environmental benefits of green roofs. **Applied Energy**, [S.L.], v. 115, p. 411-428, fev. 2014. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.apenergy.2013.10.047>.
- BEVILACQUA, Piero; MAZZEO, Domenico; BRUNO, Roberto; ARCURI, Natale. Experimental investigation of the thermal performances of an extensive green roof in the Mediterranean area. **Energy and Buildings**, [S.L.], v. 122, p. 63-79, jun. 2016. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2016.03.062>
- CONNELLY, M.; HODGSON, M. Perda de transmissão sonora de telhados verdes extensivos - resultados de testes de campo. **Acústica canadense**, [S.L.], v. 36, n.3, pág. 74-75, 2008. Disponível em: <https://jcaa.caa-aca.ca/index.php/jcaa/article/view/2044>. Acesso em: 30 mar. 2023.
- CRISTIANO, Elena et al. The role of green roofs in urban Water-Energy-Food-Ecosystem nexus: a review. **Science of the Total Environment**, [S.L.], v. 756, p. 143876, fev. 2021. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.143876>.
- JAMEI, Elmira et al. Review on the cooling potential of green roofs in different climates. **Science of the Total Environment**, [S.L.], v. 791, p. 148407, out. 2021. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.148407>.
- JIM, C.y.. An archaeological and historical exploration of the origins of green roofs. **Urban Forestry & Urban Greening**, [S.L.], v. 27, p. 32-42, out. 2017. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ufug.2017.06.014>.

JIM, C.V.. Green roof evolution through exemplars: germinal prototypes to modern variants. **Sustainable Cities and Society**, [S.L.], v. 35, p. 69-82, nov. 2017. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scs.2017.08.001>.

LI, W.C.; YEUNG, K.K.A.. A comprehensive study of green roof performance from environmental perspective. **International Journal Of Sustainable Built Environment**, [S.L.], v. 3, n. 1, p. 127-134, jun. 2014. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijbsbe.2014.05.001>.

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**, [S.L.], v. 196, p. 107794, jun. 2021. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.buildenv.2021.107794>.

LIU, X; HUANG, B. Root physiological factors involved in cool-season grass response to high soil temperature. **Environmental and Experimental Botany**, [S.L.], v. 53, n. 3, p. 233-245, jun. 2005. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.envexpbot.2004.03.016>.

MANI, Monto; PILLAI, Rohit. Impact of dust on solar photovoltaic (PV) performance: research status, challenges and recommendations. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, [S.L.], v. 14, n. 9, p. 3124-3131, dez. 2010. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2010.07.065>.

OSMA-PINTO, German; ORDÓÑEZ-PLATA, Gabriel. Measuring factors influencing performance of rooftop PV panels in warm tropical climates. **Solar Energy**, [S.L.], v. 185, p. 112-123, jun. 2019. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.solener.2019.04.053>

QUEZADA-GARCÍA, S.; ESPINOSA-PAREDES, G.; POLO-LABARRIOS, M.A.; ESPINOSA-MARTÍNEZ, E.G.; ESCOBEDO-IZQUIERDO, M.A. Green roof heat and mass transfer mathematical models: a review. **Building and Environment**, [S.L.], v. 170, p. 106634, mar. 2020. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.buildenv.2019.106634>.

RAN, Jiandong; TANG, Mingfang. Passive cooling of the green roofs combined with night-time ventilation and walls insulation in hot and humid regions. **Sustainable Cities and Society**, [S.L.], v. 38, p. 466-475, abr. 2018. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scs.2018.01.027>.

REEVE, Angela et al. Healing gardens in children's hospitals: reflections on benefits, preferences and design from visitors books. **Urban Forestry & Urban Greening**, [S.L.], v. 26, p. 48-56, ago. 2017. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ufug.2017.05.013>.

SAID, Syed A.M.; WALWIL, Husam M.. Fundamental studies on dust fouling effects on PV module performance. **Solar Energy**, [S.L.], v. 107, p. 328-337, set. 2014. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.solener.2014.05.048>

SCOLARO, Taylana Piccinini et al. Life cycle assessment of green roofs: a literature review of layers materials and purposes. **Science of the Total Environment**, [S.L.], v. 829, p. 154650, jul. 2022. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.154650>.

SHAFIQUE, Muhammad; LUO, Xiaowei; ZUO, Jian. Photovoltaic-green roofs: a review of benefits, limitations, and trends. **Solar Energy**, [S.L.], v. 202, p. 485-497, maio 2020. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.solener.2020.02.101>

SPEAK, A.F. et al. Metal and nutrient dynamics on an aged intensive green roof. **Environmental Pollution**, [S.L.], v. 184, p. 33-43, jan. 2014. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.envpol.2013.08.017>.

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**, [S.L.], v. 162, p. 106273, set. 2019. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.buildenv.2019.106273>.

VIJAYARAGHAVAN, K.. Green roofs: a critical review on the role of components, benefits, limitations and trends. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, [S.L.], v. 57, p. 740-752, maio 2016. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2015.12.119>.

WILLIAMS, Nicholas S.G. et al. Ten years of greening a wide brown land: a synthesis of Australian green roof research and roadmap forward. **Urban Forestry & Urban Greening**, [S.L.], v. 62, p. 127179, jul. 2021. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ufug.2021.127179>

WOOSTER, E.I.F. et al. Urban green roofs promote metropolitan biodiversity: a comparative case study. **Building and Environment**, [S.L.], v. 207, p. 108458, jan. 2022. Elsevier

BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.buildenv.2021.108458>.

XIAO, Min et al. A review of green roof research and development in China. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, [S.L.], v. 40, p. 633-648, dez. 2014. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2014.07.147>.

YANG, Jun; YU, Qian; GONG, Peng. Quantifying air pollution removal by green roofs in Chicago. **Atmospheric Environment**, [S.L.], v. 42, n. 31, p. 7266-7273, out. 2008. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.atmosenv.2008.07.003>.

YANG, Wansheng; WANG, Zhangyuan; CUI, Junjie; ZHU, Zishang; ZHAO, Xudong. Comparative study of the thermal performance of the novel green (planting) roofs against other existing roofs. **Sustainable Cities and Society**, [S.L.], v. 16, p. 1-12, ago. 2015. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scs.2015.01.002>.

ZHANG, Kexin et al. Thermal performance and energy consumption analysis of eight types of extensive green roofs in subtropical monsoon climate. **Building and Environment**, [S.L.], v. 216, p. 108982, maio 2022. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.buildenv.2022.108982>.

ZHANG, Gaochuan; HE, Bao-Jie. Towards green roof implementation: drivers, motivations, barriers and recommendations. **Urban Forestry & Urban Greening**, [S.L.], v. 58, p. 126992, mar. 2021. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ufug.2021.126992>.

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 And Recycling**, [S.L.], v. 170, p. 105577, jul. 2021. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.resconrec.2021.105577>

COMO CITAR ESTE ARTIGO

OKIMOTO, Fernando Sérgio; MELLO, Leonardo Ferreira. Coberturas verdes: conceito, aplicação e desempenho. **MIX Sustentável**, v. 9, n. 3, p. 159-170, 2023. ISSN 244-73073. Disponível em: <<http://www.nexos.ufsc.br/index.php/mixsustentavel>>. Acesso em: dia/mês/ano doi: <<https://doi.org/10.29183/2447-3073.MIX2023.v9.n3.159-170>>.

SUBMETIDO EM: 30/01/2023

ACEITO EM: 07/05/2023

PUBLICADO EM: 30/07/2023

EDITORES RESPONSÁVEIS: Aguinaldo dos Santos e Lisiane Ilha Librelotto

Registro da contribuição de autoria:

FSO: Conceituação, Investigação, Metodologia, Administração de projetos, Validação, Visualização, Escrita - revisão e edição.

LFM: Conceituação, Investigação, Metodologia, Administração de projetos, Validação, Visualização, Escrita - rascunho original.

Declaração de conflito: nada foi declarado.