



Revista Brasileira de Geografia Física

Homepage: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe>



Uso de espécies de gramíneas em telhados verdes: uma revisão sistemática

Victor Gurgel Pessoa¹, Tomás Guilherme Pereira da Silva², Vivian Loges³

¹ Doutorando em Agronomia - Melhoramento Genético de Plantas, Departamento de Agronomia, Universidade Federal Rural de Pernambuco, Rua Dom Manuel de Medeiros, s/n, Dois Irmãos, 52171-900, Recife, PE, Brasil, E-mail: victor.pessoa@ufrpe.br

² Professor Dr. Colaborador do Programa de Pós-Graduação em Zootecnia, Departamento de Zootecnia, Universidade Federal Rural de Pernambuco, Rua Dom Manuel de Medeiros, s/n, Dois Irmãos, 52171-900, Recife, PE, Brasil, E-mail: tomas-g@hotmail.com

³ Professora Dra. Associada III, Departamento de Agronomia, Universidade Federal Rural de Pernambuco, Rua Dom Manuel de Medeiros, s/n, Dois Irmãos, 52171-900, Recife, PE, Brasil, E-mail: vivian.loges2@ufrpe.br

Artigo recebido em 29/09/2024 e aceite em 27/01/2025

RESUMO

O uso de gramíneas em telhados verdes, visando promover a sustentabilidade urbana e melhorar o desempenho ambiental dos edifícios, configura uma prática crescente nos centros urbanos. Neste contexto, o presente estudo objetivou levantar e sumarizar as principais características e resultados de pesquisas sobre o uso de gramíneas em telhados verdes, com ênfase nos aspectos de crescimento e desenvolvimento, ornamental, segurança, conforto térmico e benefícios ambientais. Os documentos científicos foram recuperados da base de dados Web of Science. Foram incluídos artigos publicados até julho de 2024, sem data inicial definida, com o intuito de abranger o máximo de material teórico disponível. Após aplicação dos critérios de seleção, um total de 37 artigos publicados entre 2008 e 2024 foram incluídos nessa revisão. Foram identificados 40 gêneros de gramíneas utilizadas em estudos sobre telhados verdes, com *Festuca*, *Bouteloua* e *Zoysia* sendo os mais representativos (17%, 7% e 7%, respectivamente). *Festuca ovina* destacou-se como a espécie mais citada. Diversos estudos destacam a importância das gramíneas em telhados verdes em função da adaptabilidade e eficiência. Essa eficiência está ligada a uma melhor cobertura do solo, à capacidade de reduzir a temperatura superficial do telhado e a uma estética aprimorada para a estrutura verde, por exemplo. Assim, a seleção adequada de gramíneas contribui significativamente para uma infraestrutura urbana mais sustentável e resiliente.

Palavras-chave: abordagem sistemática; biodiversidade urbana; coberturas vegetadas; Poaceae; soluções sustentáveis.

Use of grass species on green roofs: a systematic review

ABSTRACT

The use of grasses on green roofs, aiming to promote urban sustainability and improve the environmental performance of buildings, is a growing practice in urban centers. In this context, this study aimed to survey and summarize the main characteristics and results of research on the use of grasses on green roofs, with emphasis on the aspects of growth and development, ornamental, safety, thermal comfort, and environmental benefits. The scientific papers were retrieved from the Web of Science database. Articles published until July 2024 were included, with no defined starting date, in order to cover the maximum amount of theoretical material available. After applying the selection criteria, a total of 37 articles published between 2008 and 2024 were included in this review. A total of 40 genera of grasses used in studies on green roofs were identified, with *Festuca*, *Bouteloua*, and *Zoysia* being the most representative (17%, 7%, and 7%, respectively). *Festuca ovina* stood out as the most cited species. Several studies highlight the importance of grasses in green roofs due to their adaptability and efficiency. This efficiency is linked to better soil coverage, the ability to reduce the surface temperature of the roof and an improved aesthetics for the green structure, for example. Thus, the appropriate selection of grasses contributes significantly to a more sustainable and resilient urban infrastructure.

Keywords: Poaceae; sustainable solutions; systematic approach; urban biodiversity; vegetated roofs.

Introdução

A urbanização acelerada nas últimas décadas tem transformado o planeta em uma sociedade predominantemente urbana, com impactos significativos nos sistemas ambientais e sociais. Estima-se que mais de 55% da população mundial já viva em áreas urbanas, uma projeção que deve aumentar para 68% até 2050 (ONU-Habitat, 2021). Esse processo de urbanização tem sido acompanhado por desafios ambientais que incluem a impermeabilização dos solos (Zhang et al., 2024), a redução das áreas verdes (Yu, 2021) e a intensificação do efeito de ilha de calor urbano (Li et al., 2023) fenômeno no qual as áreas urbanizadas apresentam temperaturas mais elevadas do que as zonas rurais circundantes. Essas mudanças não apenas comprometem a sustentabilidade ambiental das cidades, mas também afetam a qualidade de vida dos cidadãos, aumentando a incidência de doenças relacionadas ao calor e à poluição, além de agravar os impactos das mudanças climáticas (Stangierska et al., 2022).

Nesse cenário, a busca por soluções sustentáveis para mitigar os impactos da urbanização tem ganhado relevância global. As Soluções Baseadas na Natureza (SbN) emergem como uma abordagem inovadora que utiliza elementos naturais para resolver desafios urbanos, integrando benefícios ecológicos e sociais. Entre as diversas SbN disponíveis, os telhados verdes destacam-se como uma alternativa eficaz para melhorar o equilíbrio ambiental das cidades, sendo uma das soluções mais implementadas por investidores privados e estatais em cidades (Shafique et al., 2020). Telhados verdes, são caracterizados pela presença de vegetação em coberturas de edificações (Hekrl et al., 2023).

Os benefícios proporcionados pelos telhados verdes são amplamente reconhecidos na literatura científica. Ambientalmente, eles desempenham papel crucial na retenção de águas pluviais, reduzindo o escoamento superficial e o risco de enchentes (Kazemi et al., 2023), além de contribuir para a melhoria da qualidade do ar (Liu et al., 2021) e da biodiversidade urbana (Wang et al., 2022). No âmbito climático, os telhados verdes ajudam a mitigar o efeito de ilha de calor urbano, ao reduzir a temperatura das edificações e do ambiente circundante (Rahman et al., 2022), diminuindo, assim, o consumo de energia para refrigeração. Esses sistemas também prolongam a vida útil das coberturas ao protegê-las de oscilações térmicas e intempéries, resultando em

economia para os proprietários dos edifícios (Cortês et al., 2022).

Socialmente, os telhados verdes proporcionam benefícios que vão além do âmbito ambiental. Ao oferecer espaços verdes adicionais em áreas densamente urbanizadas, eles promovem o bem-estar psicológico dos moradores, reduzem o estresse e criam oportunidades para lazer e interação social. Além disso, projetos de telhados verdes podem incorporar elementos educacionais e recreativos, aumentando a conscientização pública sobre práticas sustentáveis e integrando a natureza ao cotidiano urbano (Abd Rahman et al., 2023).

Os telhados verdes são classificados em três tipos principais: extensivos, semi-intensivos e intensivos, cada um com características e finalidades específicas. Os telhados extensivos, que possuem substrato raso e vegetação de baixa manutenção, são ideais para estruturas leves (Salvalai et al., 2023) e não necessitam de irrigação. Telhados verdes semi-intensivos têm características intermediárias, incluindo um substrato mais espesso do que soluções extensivas, mas requerem menos irrigação e manutenção do que os intensivos (FLL, 2018). Telhados verdes intensivos têm substratos profundos e uma ampla variedade de vegetação que pode incluir arbustos e árvores (Droz et al., 2021), necessitando de irrigação e alta manutenção. Normalmente, telhados intensivos são projetados para novos edifícios, uma vez que o peso deve ser considerado no projeto estrutural do edifício (Gallardo et al., 2021).

De modo geral, as espécies utilizadas em telhados verdes são de crescimento lento e tolerantes à seca, sendo predominantemente representadas pelo gênero *Sedum* (Cáceres et al., 2018). No entanto, numerosos estudos têm explorado as características e o desempenho das plantas utilizadas em telhados verdes, em especial das gramíneas (Silva et al., 2020ab; Santana et al., 2022; Leotta et al., 2023; Suárez-Cáceres et al., 2023).

As gramíneas se destacam por sua capacidade de adaptação a diferentes ambientes hostis (Linder et al., 2018) e por possuírem sistema radicular denso, o que contribui para a retenção de água, ajuda a reduzir o escoamento superficial e promove a gestão hídrica sustentável (Berardi et al., 2014). Além disso, gramíneas apresentam estrutura robusta que permite a resistência ao pisoteio e outras perturbações físicas, tornando-as mais duráveis (Vanderburg et al., 2020). Em

adição, as gramíneas também podem contribuir para a biodiversidade urbana, fornecendo habitat para insetos e outros pequenos organismos (Oberndorfer et al., 2020), além de melhorar a qualidade do ar atmosférico (Speak et al., 2012).

Apesar de seu potencial, a adoção em larga escala de telhados verdes enfrenta desafios significativos. A ausência de dados abrangentes sobre o desempenho de diferentes espécies vegetais em diversos contextos climáticos e arquitetônicos compromete tanto a eficácia quanto a confiabilidade dessa tecnologia sustentável. Em particular, as gramíneas, que possuem características promissoras para uso em telhados verdes, ainda carecem de estudos sistemáticos que abordem seu comportamento em diferentes condições ambientais e tipos de construções. Essa lacuna dificulta não apenas a otimização do uso dessas plantas, mas também a implementação eficiente e economicamente viável de telhados verdes.

Diante desses desafios, é evidente a necessidade de pesquisas que abordem lacunas específicas no conhecimento sobre o uso de gramíneas em telhados verdes. Estudos que investiguem o desempenho dessas plantas em diferentes contextos ambientais, suas interações com substratos e outros grupos de plantas, bem como a eficiência térmica e visual que proporcionam às coberturas verdes, são fundamentais para selecionar as espécies mais indicadas e maximizar seus benefícios. Além disso,

a identificação de espécies nativas com potencial para telhados verdes pode oferecer soluções adaptadas às condições locais, reduzindo custos e promovendo a valorização da flora regional.

Portanto, a sistematização dos dados sobre o uso de gramíneas em telhados verdes é crucial para a criação de diretrizes e recomendações mais precisas para sua implementação. Diante do exposto, o presente estudo objetivou levantar e sumarizar as principais características e resultados de pesquisas sobre o uso de gramíneas em telhados verdes, com ênfase nos aspectos de crescimento e desenvolvimento, ornamental, segurança, conforto térmico e aspectos ambientais.

Metodologia

A literatura foi recuperada da base de dados Web of Science. Determinou-se que todos os artigos publicados até julho de 2024 seriam considerados. Não foi definida uma data de início para a seleção dos estudos, pois o objetivo foi incluir o máximo de referencial teórico disponível, visando traçar um panorama atualizado sobre o tema. Após a definição dos critérios de inclusão, foram estabelecidos os critérios de exclusão. Na quarta etapa da pesquisa, foi definido o processo de seleção dos estudos. O Quadro 1 apresenta o protocolo no qual a presente revisão sistemática da literatura se baseou.

Quadro 1. Estratégias de busca de uma revisão sistemática sobre benefícios e desafios do uso de espécies de gramíneas em telhados verdes.

Base de dados	Web of Science	
Descritores	“Green roof” and “grass” (fixos)	
	+	
	• “Plant height” • “Growth” • “Sensory analysis” • “Visual quality” • “People’s preferences” • “Visual preference” • “Preference” • “Cover rate” • “Coverage capacity” • “Coverage” • “Flammability” • “Wildfire” • “Fire”	• “Heat transfer” • “Leaf temperature” • “Temperature” • “Surface temperature” • “Thermal comfort” • “Biomass production” • “Fresh matter” • “Green matter” • “Genetic enhancement” • “Plant selection” • “Genetic improvement” • “Plant breeding” • “Carbon sequestration”
Critérios de elegibilidade	Artigos publicados em revistas científicas	
Delimitação temporal	Todos os artigos publicados até julho de 2024	

CrITÉRIOS de inclusão	Artigos que abordassem o uso de gramíneas em telhados verdes
CrITÉRIOS de exclusão	• Não estar relacionado a telhado verde • Não analisar o uso de gramíneas • Estudos duplicados • Resumos científicos, notas técnicas, livros e capítulos de livros
Triagem inicial	1. Análise e seleção por títulos 2. Análise e seleção mediante a leitura dos resumos
Triagem definitiva	Leitura na íntegra

A amostra final consistiu em 37 artigos científicos extraídos da base de dados supracitada. Todas foram lidas na íntegra, avaliadas e descritas

nos resultados. A Figura 1 ilustra a sistematização da busca dos artigos.

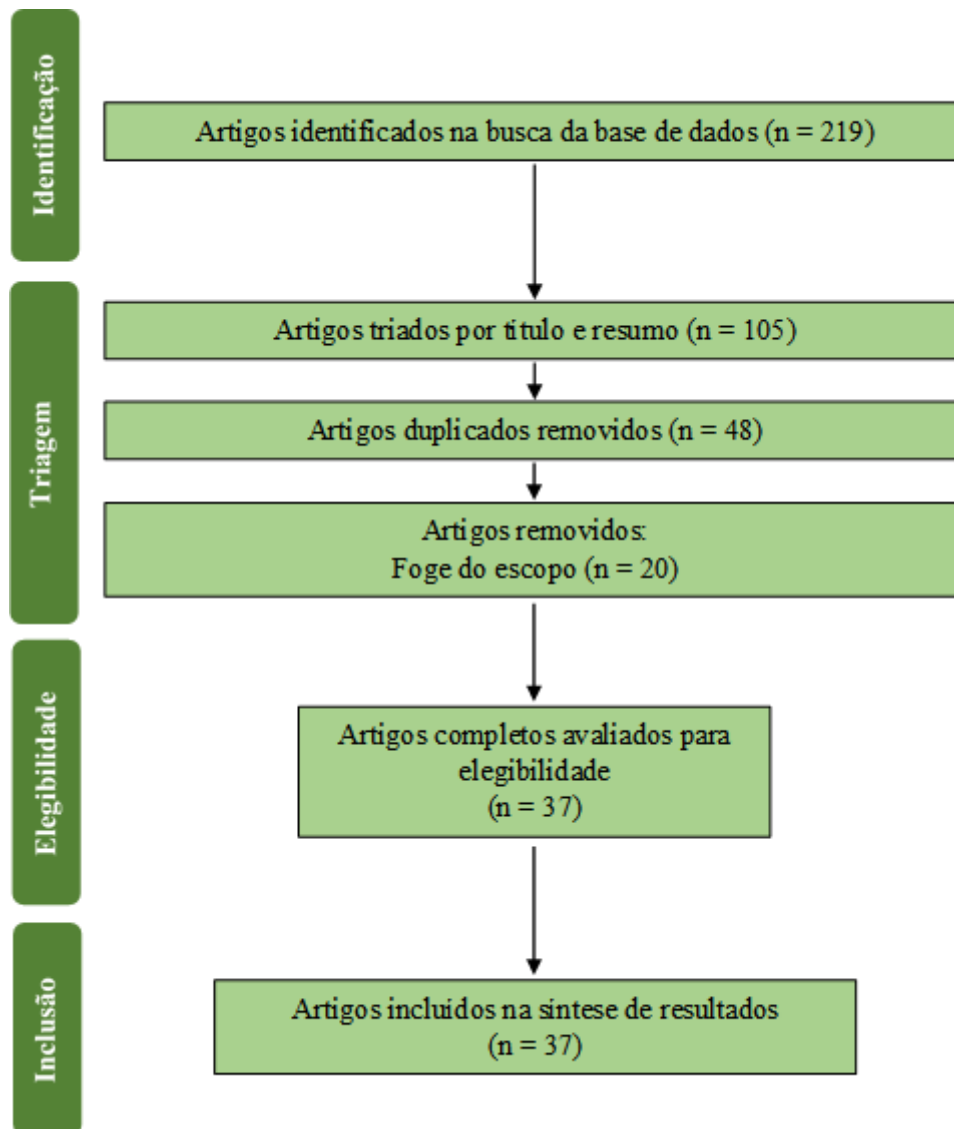


Figura 1. Fluxograma do processo de identificação, triagem, elegibilidade e inclusão de artigos de uma revisão sistemática sobre benefícios e desafios do uso de espécies de gramíneas em telhados verdes.

Resultados e discussão

Espécies de gramíneas estudadas em telhados verdes

Dos estudos desenvolvidos sobre telhados verdes, foram identificados 40 diferentes gêneros de gramíneas (Quadro 2). O gênero *Festuca* destacou-se como o mais representativo, abrangendo sete das espécies analisadas, o que

corresponde a 17% do total. Os gêneros *Bouteloua* e *Zoysia* também mostraram relevância significativa, cada um com três espécies, representando 7% do total de espécies estudadas. Dentre as espécies estudadas, a *Festuca ovina* foi a mais citada, aparecendo em cinco dos 37 trabalhos, o que corresponde a aproximadamente 13% do total.

As pesquisas foram realizadas em 40 países, o que representa aproximadamente 20% do

total de 195 países existentes no mundo. A realização de estudos em diferentes realidades é fundamental para compreender a eficácia e adaptação das gramíneas em variadas condições climáticas e geográficas, permitindo o desenvolvimento de soluções mais abrangentes e eficazes para a implementação de telhados verdes.

Quadro 2. Espécies de gramíneas utilizadas em telhados verdes.

Nº	Espécie	Local do estudo	Referência
1	<i>Acorus gramineus</i>	Espanha	Suárez-Cáceres et al. (2023)
2	<i>Agrostis stolonifera</i>	Inglaterra	Speak et al. (2012)
3	<i>Anthoxanthum odoratum</i>	Inglaterra	Nagase e Dunnett (2012)
4	<i>Avena sterilis</i>	Israel	Agra et al. (2021)
5	<i>Axonopus compressus</i>	Malásia	Chow et al. (2021)
6	<i>Bouteloua/Buchloe dactyloides</i>	EUA, Canadá	MacIvor et al. (2016), Sookhan et al. (2018), Liu et al. (2019)
7	<i>Bouteloua curtipendula</i>	EUA, Canadá	Price et al. (2011), MacIvor et al. (2016), Sookhan et al. (2018), Liu et al. (2019)
8	<i>Bouteloua gracilis</i>	EUA, Canadá	Klein e Coffman (2015), MacIvor et al. (2016), Sookhan et al. (2018), Liu et al. (2019)
9	<i>Brachypodium phoenicoides</i> (L.) Roem. & Schult.	Portugal	Brandão et al. (2017)
10	<i>Briza media</i>	EUA	Erwin e Hensley (2019)
11	<i>Briza minor</i>	Israel	Agra et al. (2021)
12	<i>Carex flagellifera</i> ‘Bronzita’	Espanha	Suárez-Cáceres et al. (2023)
13	<i>Carex oshimensis</i> ‘Evergold’	Espanha	Suárez-Cáceres et al. (2023)
14	<i>Chasmanthium latifolium</i>	EUA	Erwin e Hensley (2019)
15	<i>Calamagrostis acutiflora</i>	EUA	Erwin e Hensley (2019)
16	<i>Cymbopogon refractus</i>	Austrália	Chell et al. (2022)
17	<i>Cynodon dactylon</i> Pers.	China, Japão	Kuronuma et al. (2018), Zhang et al. (2020)
18	<i>Cynodon dactylon</i> (L.) Pers. x <i>C. transvaalensis</i> Burtt-Davy ‘MiniVerde’	Grécia	Ntoulas et al. (2017)
19	<i>Danthonia spicata</i> (L.) P. Beauv. ex Roem. & Schult.	EUA, Canadá	Lundholm et al. (2010), Lundholm (2015), Aloisio et al. (2017)
20	<i>Deschampsia flexuosa</i> (L.) Trin	EUA, Canadá	Lundholm et al. (2010), Lundholm (2015), Aloisio et al. (2017)
21	<i>Dichanthelium clandestinum</i> (L.) Gould	EUA	Aloisio et al. (2017)
22	<i>Elymus hystrix</i>	EUA	Price et al. (2011)
23	<i>Eragrostis spectabilis</i>	EUA	Eksi et al. (2017)
24	<i>Eustachys distichophylla</i> (Lag.) Ness	Argentina	Cáceres et al. (2022)
25	<i>Festuca arundinacea</i>	Canadá, EUA, Irã, Japão	Vahdati et al. (2017), Kuronuma et al. (2018), Sookhan et al. (2018), Erwin e Hensley (2019)
26	<i>Festuca gigantea</i>	Estônia	Teemusk et al. (2019)

27	<i>Festuca glauca</i>	Espanha, México	Gioannini (2018), Suárez-Cáceres et al. (2023)
28	<i>Festuca longifolia</i>	EUA	Erwin e Hensley (2019)
29	<i>Festuca ovina</i>	Estônia, EUA, Inglaterra, Irã, Itália	Nagase e Dunnett (2012), Vahdati et al. (2017), Erwin e Hensley (2019), Teemusk et al. (2019), Lugo-Arroyo et al. (2024)
30	<i>Festuca rubra</i>	Estônia, EUA, Inglaterra, Itália	Speak et al. (2012), Erwin e Hensley (2019), Teemusk et al. (2019), Lugo-Arroyo et al. (2024)
31	<i>Festuca rubra</i> subsp. <i>Fallax</i>	Canadá	Sookhan et al. (2018)
32	<i>Hordeum marinum</i>	Israel	Agra et al. (2021)
33	<i>Imperata cylindrica</i> ‘Red Baron’	Espanha	Suárez-Cáceres et al. (2023)
34	<i>Koeleria glauca</i>	Alemanha	Franzaring et al. (2016)
35	<i>Koeleria macrantha</i>	EUA, Inglaterra	Nagase e Dunnett (2012), Eksi et al. (2017), Erwin e Hensley (2019)
36	<i>Lagurus ovatus</i>	Israel	Agra et al. (2021)
37	<i>Lolium perene</i>	Irã, Itália	Vahdati et al. (2017), Lugo-Arroyo et al. (2024)
38	<i>Miscanthus sinensis</i>	Espanha	Suárez-Cáceres et al. (2023)
39	<i>Nassella tenuissima</i> (Trin.) Barkworth	Argentina, México	Gioannini (2018), Cáceres et al. (2022)
40	<i>Panicum virgatum</i> L.	EUA	Aloisio et al. (2017), Erwin e Hensley (2019)
41	<i>Paspalum vaginatum</i> Swartz ‘Platinum TE’	Grécia	Ntoulas et al. (2017)
42	<i>Pennisetum setaceum</i>	Brasil	Pessoa et al. (2022)
43	<i>Poa compressa</i> L.	Canadá	Lundholm et al. (2010), Lundholm (2015)
44	<i>Poa labillardieri</i>	Austrália	Chell et al. (2022)
45	<i>Poa pratensis</i>	Coreia do Sul, EUA, Estônia, Itália	Whittinghill et al. (2014), Lee et al. (2015), Teemusk et al. (2019), Lugo-Arroyo et al. (2024)
46	<i>Schizachyrium scoparium</i>	EUA	Aloisio et al. (2017), Eksi et al. (2017), Liu et al. (2019)
47	<i>Sorghastrum nutans</i> (L.) Nash	EUA	Aloisio et al. (2017)
48	<i>Sporobolus heterolepis</i>	EUA	Eksi et al. (2017), Erwin e Hensley (2019)
49	<i>Stenotaphrum secundatum</i>	-	Rodríguez e Vilela (2022)
50	<i>Stipa capensis</i>	Israel	Agra et al. (2021)
51	<i>Stipa tenuissima</i> ‘Pony Fails’	Espanha	Suárez-Cáceres et al. (2023)
52	<i>Themeda triandra</i>	Austrália	Chell et al. (2022)
53	<i>Trisetum flavescens</i>	Inglaterra	Nagase e Dunnett (2012)
54	<i>Uncinia rubra</i> ‘Everflame’	Espanha	Suárez-Cáceres et al. (2023)
55	<i>Zoysia japonica</i> Steud. ‘Zenith’	Brasil, Grécia	Carneiro et al. (2015), Ntoulas et al. (2017), Pessoa et al. (2022), Rodríguez e Vilela (2022)
56	<i>Zoysia matrella</i>	Grécia, Japão	Ntoulas et al. (2013), Kuronuma et al. (2018)
57	<i>Zoysia tenuifolia</i>	China, Países Baixos	He e Jim (2010), Jim (2012)

Aspectos do crescimento e desenvolvimento das gramíneas

Dentre os diversos grupos de plantas empregadas em telhados verdes, a família Poaceae, composta principalmente por gramíneas, destaca-se por sua capacidade de adaptação e eficiência em

termos de crescimento e desenvolvimento. Estudos comparativos demonstram que as gramíneas, devido às suas características morfológicas e fisiológicas, frequentemente superam outras famílias de plantas quando utilizadas em telhados verdes.

Aloisio et al. (2017) observaram que a maior altura de gramíneas como *Schizachyrium scoparium*, *Panicum virgatum* e *Sorghastrum nutans* em telhados verdes contribuiu para a sobrevivência das espécies menores, como *Baptisia tinctoria*, *Asclepias tuberosa*, *Solidago nemoralis* e *Eupatorium hyssopifolium*. Esse efeito é atribuído ao sombreamento proporcionado pelas gramíneas, que reduz a temperatura do solo e cria microclimas mais favoráveis. Por outro lado, a profundidade do substrato interfere diretamente no desenvolvimento das plantas. Liu et al. (2019) verificaram que gramíneas do gênero *Bouteloua* apresentaram maior desenvolvimento em altura em substratos rasos (6-13 cm), quando comparadas a espécies do gênero *Sedum*.

As gramíneas, quando comparadas a outros grupos de plantas, geralmente atingem maiores alturas (Olly et al., 2011). Maior altura do gramado pode aumentar a sobrevivência de plantas de menor porte em telhados verdes, diminuindo a temperatura do substrato e aumentando a riqueza de espécies de plantas (Stewart et al., 2002). Por outro lado, em áreas ornamentais de gramados, plantas muito altas não são desejáveis, uma vez que, associadas a fatores ambientais, podem favorecer o aparecimento de inflorescências, sendo necessário realizar podas. Assim, nessas áreas, busca-se evitar o surgimento de inflorescências (Kissmann, 1997; Bush e Poster, 1998). A realização de poda implica em custos elevados, em virtude da grande frequência requerida por algumas gramíneas (Freitas et al., 2002). Logo, a variável altura da planta irá depender da finalidade do telhado verde.

Cáceres et al. (2022) avaliaram o desempenho de diferentes espécies de plantas para telhados verdes extensivos, destinadas para regiões secas (áridas e semiáridas). Após um ano de estudo, os autores observaram que as espécies da família Poaceae, como *Eustachys distichophylla* e *Nassella tenuissima* apresentaram maior crescimento (30 e 35 cm, respectivamente), quando comparadas as espécies das famílias Asteraceae (25 cm), Verbenaceae (5-16 cm) e Crassulaceae (15-23 cm).

Características relacionadas à morfologia, como altura, têm sido utilizadas como indicadores para a seleção de plantas para telhados verdes, uma

vez que contribuem em diversas funções do ecossistema, como o efeito de resfriamento e retenção de água da edificação (Lundholm et al., 2015; Du et al., 2018; Guo et al., 2021). Além disso, a introdução de espécies mais altas em telhados vegetados pode ajudar a reduzir as altas temperaturas que o substrato pode atingir durante períodos mais quentes, através do sombreamento proporcionado pela vegetação. No entanto, a eficiência de plantas em telhados verdes não depende apenas da altura. Cáceres et al. (2022) observaram que a espécie *N. tenuissima* apresentou maior teor de matéria seca foliar (618,15 g). Essa característica está relacionada à maior produtividade e longevidade foliar da planta, indicando que espécies com alto teor de matéria seca podem ser menos vulneráveis a riscos físicos, como a herbivoria (Pérez-Harguindeguy et al., 2013).

Telhados com vegetação estão diretamente relacionados às melhores práticas de gestão de águas pluviais nos centros urbanos. Vários estudos têm demonstrado que os telhados verdes podem reduzir significativamente a quantidade de escoamento de água em comparação com os telhados convencionais (VanWoert et al., 2005; Getter et al., 2007; Schroll et al., 2011).

Nagase e Dunnett (2012) investigaram a influência das espécies vegetais na redução do escoamento de água em um telhado verde simulado. Gramíneas como *Anthoxanthum odoratum*, *Festuca ovina*, *Koeleria macranta* e *Trisetum flavescens* foram mais eficazes na retenção de água do que as espécies da família Plumbaginaceae, Asteraceae, Lamiaceae, Caryophyllaceae e Crassulaceae. O estudo também mostrou que plantas mais altas, como *A. odoratum*, que teve escoamento inferior a 450 mL ao receber lâminas de 2000 e 1000 mL de água, foram mais eficientes na retenção, enquanto espécies menores, como *Sedum acre*, apresentaram escoamento superior a 600 mL. Além disso, gramíneas, com maior diâmetro e peso seco radicular, mostraram maior capacidade de retenção em comparação com espécies de menor diâmetro e menor peso seco das raízes, como *Sedum spp.*

Em comparação a outros grupos de plantas, gramíneas se destacam em telhados verdes por seu excelente desempenho em termos de crescimento e desenvolvimento. Suas características singulares, como maior capacidade de cobertura do solo, eficiência na retenção de umidade e resistência a condições ambientais adversas, tornam as gramíneas uma escolha ideal para telhados verdes.

A seleção de espécies adequadas da família Poaceae pode, portanto, maximizar os benefícios ambientais e funcionais desses sistemas, promovendo uma infraestrutura urbana mais sustentável e resiliente.

Qualidade visual e preferências humanas

A análise sensorial de gramíneas no contexto de telhados verdes é importante porque esses espaços não apenas têm uma função ecológica e ambiental, mas também um impacto visual e estético significativo nas áreas urbanas. A aparência das gramíneas, sua capacidade de manter uma aparência saudável e atraente ao longo do tempo e a resistência ao pisoteio e outros tipos de desgaste são aspectos cruciais que precisam ser considerados.

O estresse é uma condição crescente que leva a problemas físicos e mentais entre trabalhadores e moradores (Elsadek et al., 2020). À medida que o estresse se intensifica, as pessoas

precisam de restauração, que é o processo de reabastecimento dos recursos físicos, psicológicos e sociais esgotados pelas exigências do cotidiano (Elsadek et al., 2019). Assim, a visualização de elementos naturais, como telhados verdes, contribui significativamente para o alívio do estresse (Kaplan, 2001; Grahn & Stigsdotter, 2010).

Poucos estudos têm investigado a conscientização, as preferências e os valores do público em relação aos telhados verdes. Meyer e Trandafir (2023), ao avaliarem as preferências de entrevistados em relação às tecnologias de telhados verdes, observaram que os elementos mais desejados nessas estruturas eram flores (42%), grama (41%) e árvores (34%) (Figura 2). Além disso, os autores verificaram que o público avaliado prefere telhados verdes que imitam ecossistemas naturais e que incorporam uma variedade diversificada de plantas, incluindo espécies nativas, gramíneas, flores e arbustos.

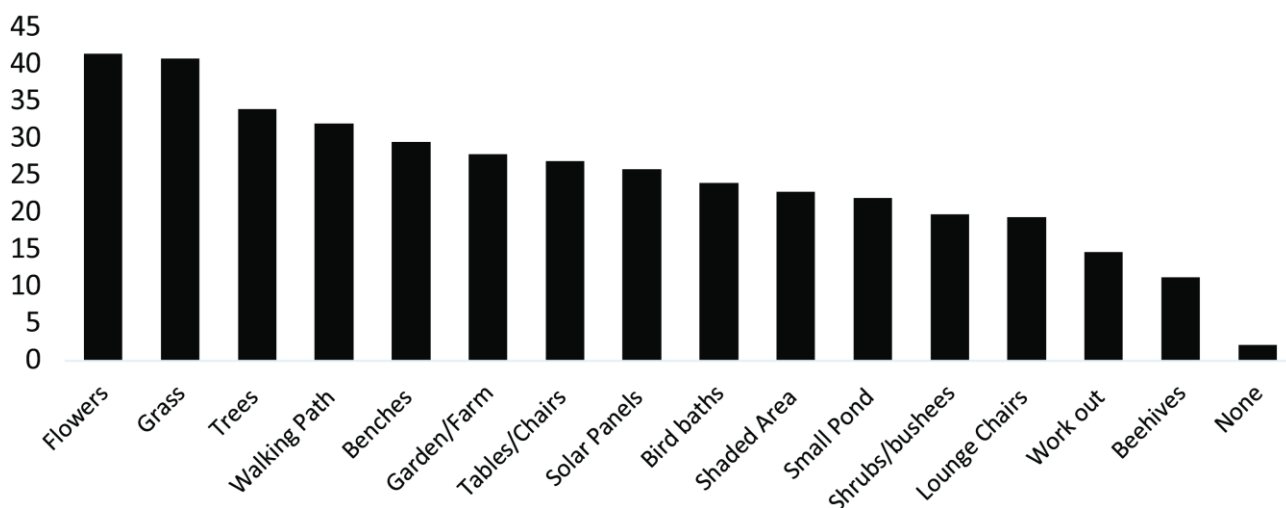


Figura 2. Preferências dos entrevistados em relação a recursos em telhados verdes (%). Fonte: Meyer e Trandafir (2023).

Suárez-Cáceres et al. (2023), ao avaliarem o desempenho de diferentes gramíneas, observaram que existem espécies que apresentam maior potencial para uso em telhados verdes, quanto a qualidade visual. De acordo com os autores, *Carex flagellifera* ‘Bronzita’ e *Carex oshimensis* ‘Evergold’, apresentaram melhores valores de aparência geral, sendo indicadas para uso nessas estruturas.

Resultados de White e Gatersleben (2011) sugeriram que casas com determinados tipos de vegetação integrada à construção poderiam ser mais apreciadas, esteticamente agradáveis e restauradoras. Fernandez-Cañero et al. (2013), ao

analisarem as percepções e preferências públicas em relação aos sistemas de telhados verdes, reportaram que o telhado verde intensivo plantado com gramado foi mais valorizado pelos adolescentes (15-17 anos de idade) em comparação aos adultos (18 anos de idade ou mais). De acordo com os autores, compreender as preferências do público em relação a tecnologia de telhados verdes pode auxiliar planejadores e engenheiros a tomar decisões informadas no desenvolvimento de estratégias de ecologização urbana.

Para alguns participantes de uma pesquisa com visitantes em telhados verdes no Nordeste dos EUA, o uso de gramíneas de prado nessas

estruturas foi associado a uma sensação de desordem (Jungels et al., 2013). Dunnett e Kingsbury (2008) sugeriram que as gramíneas dos prados podem não ser apropriadas para locais nos quais uma aparência organizada é desejável. Todavia, é importante ressaltar que as gramíneas constituem um grupo diversificado de plantas e não devem ser vistas como um único grupo estético, ou seja, existem espécies de gramíneas que podem exibir uma aparência mais organizada e estruturada. Dessa forma, é mais relevante considerar a forma de organização das plantas do que classificá-las simplesmente pelo grupo ao qual pertencem.

A análise sensorial revela uma clara preferência do público pelo uso de gramíneas em telhados verdes, destacando-se pelo apelo estético que proporcionam. A qualidade visual e as preferências humanas são elementos que demonstram grande potencial para melhorar a qualidade de vida e promover práticas sustentáveis em áreas urbanas.

Cobertura e desempenho da vegetação

A capacidade de cobertura do solo é considerada como um dos principais aspectos na seleção de genótipos para uso em gramados (Martello et al., 2014), sendo essa característica influenciada pelo crescimento lateral da planta (Volterrani et al., 2008). O hábito de crescimento das gramíneas pode ser do tipo cespitoso-ereto, cespitoso-decumbente, estolonífero ou rizomatoso. No cespitoso-ereto, as plantas apresentam entrenós basais muito curtos, que produzem ramificações eretas em cada nó, formando touceiras. Em plantas de crescimento cespitoso-decumbente, os colmos crescem encostados ao solo, sem enraizamento nos nós, ficando erguido somente o colmo florífero. O crescimento estolonífero ocorre quando os colmos aéreos são rasteiros e enraízam-se nos nós em contato com o solo, gerando novas partes aéreas em cada nó. Por sua vez, plantas rizomatosas são aquelas que, geralmente, apresentam colmo subterrâneo aclorofilado e coberto por folhas modificadas do tipo catáfilos (Marchi & Barbieri, 2015).

A capacidade de crescer lateralmente e cobrir o solo varia entre as espécies. Plantas pertencentes ao grupo das gramíneas são capazes de se expandir e ocupar superfícies disponíveis do solo devido à presença dos rizomas ou estolões, que emitem perfilhos e formam a parte aérea (Youngman et al., 2017). Assim, genótipos que

apresentem maior capacidade de cobertura do solo são passíveis de serem selecionados para uso em telhados verdes, uma vez que esta é uma das principais características funcionais da planta para esse fim. Isso é fundamental, pois contribui para minimizar a temperatura interna da edificação (Koyama et al., 2013), reduz possíveis problemas de erosão e inibe ervas daninhas (Durhman et al., 2007).

Gioannini et al. (2018), ao compararem o crescimento de diferentes espécies de plantas cultivadas em monocultura e comunitárias em um ambiente simulado de telhado verde, observaram que a gramínea *Nassella tenuissima* apresentou maior capacidade de cobertura do solo, variando entre 963 e 3453 cm². Em comparação, espécies de outros gêneros, como *Chrysactinia* (156 a 482 cm²), *Delosperma* (402 a 721 cm²), *Stachys* (254 a 490 cm²), *Euphorbia* (350 a 792 cm²), *Sedum* (126 a 704 cm²) e *Festuca* (304 a 612 cm²), demonstraram menor capacidade de cobertura. Esses resultados indicam que a gramínea *N. tenuissima* é a espécie mais indicada para telhados verdes, devido a sua superior habilidade de cobrir o solo eficientemente.

Ao avaliarem o desempenho de sete espécies de gramíneas (*Imperata cylindrica* 'Red Baron', *Acorus gramineus*, *Stipa tenuissima* 'Pony Fails', *Carex flagellifera* 'Bronzita', *Carex oshimensis* 'Evergold', *Uncinia rubra* 'Everflame' e *Miscanthus sinensis*) para uso em telhados verdes e paredes vivas, Suárez-Cáceres et al. (2023) observaram que, sete meses após o plantio, a taxa de cobertura das plantas variou entre 43,1% e 79,4%. Além disso, constataram que as espécies *C. flagellifera* e *C. oshimensis* apresentaram as melhores coberturas, com 68,9% e 79,4%, respectivamente. Esses resultados indicam que *C. flagellifera* e *C. oshimensis* são altamente eficazes para uso em telhados verdes, devido a maior capacidade de cobertura.

A profundidade e o material que compõe o substrato podem influenciar na capacidade de cobertura das plantas. Em estudo de Liu et al. (2019), ao avaliarem o desempenho de espécies de gramíneas (*Bouteloua curtipendula*, *Bouteloua/Buchloe dactyloides*, *Bouteloua gracilis* e *Schizachyrium scoparium*) e *Sedum* (*Sedum reflexum* e *Sedum rupestre*) em um telhado verde, verificou-se que a espécie *B. dactyloides* apresentou melhor cobertura do solo em diferentes profundidades (substrato raso: 6,0-13,0 cm; substrato profundo: 16,5-25,5 cm) e composições (substrato comercial e substrato feito à base de agregados, compostos orgânicos e areia).

Ntoulas et al. (2013), ao trabalharem com *Zoysia matrella*, constataram que perfis mais profundos (15 cm) combinados com substratos modificados com composto (palha, serragem, aparas de madeira e esterco animal) proporcionaram maiores valores de cobertura do solo se comparados aos perfis rasos (7,5 cm) com substratos de turfa, sendo essa cobertura de até 100%. Essa maior cobertura pode estar relacionada a maior capacidade de retenção de umidade, ao aumento do volume do substrato para o crescimento das raízes e a melhoria dos extremos sazonais de temperatura (Boivin et al., 2001). Por outro lado, Ntoulas et al (2017), observaram que em telhados rasos (7,5 cm), a grama *Zoysia japonica* apresentou maior capacidade de cobertura se comparada as espécies *Paspalum vaginatum* e *Cynodon dactylon*.

As gramíneas são capazes de fornecer maior cobertura verde inicial devido ao seu rápido estabelecimento (Sutton et al., 2012). Chell et al. (2022) observaram que as espécies de grama *Themeda triandra*, *Cymbopogon refractus* e *Poa labillardieri*, dez meses após o plantio, apresentaram maior cobertura (47%) se comparadas a plantas suculentas e forbs (17% e 33%, respectivamente). Após quatro anos, atingiram 65%, acima do mínimo exigido para coberturas verdes extensivas (60%, FLL, 2018). No entanto, passado esses quatro anos, a cobertura de grama foi inferior a 5%. Isso pode ser atribuído à variabilidade sazonal, bem como aos estágios de dormência que as gramíneas podem apresentar, quando, por exemplo, são observadas folhas de coloração marrom, o que é potencialmente atribuído às diferenças na via fotossintética da grama (C3 ou C4) (Pearcy et al., 1981).

É comum que espécies de gramíneas passem por um período de dormência. Nessas situações, uma das alternativas consiste na realização de podas para estimular o novo crescimento (Hobbs & Huenneke, 1992). Outra

estratégia é o plantio misto de espécies, pois, enquanto uma espécie estiver no estágio de dormência, as demais continuarão em atividade. Adicionalmente, o monocultivo em telhados verdes pode apresentar maior risco de falhas (Tran et al., 2019) ou ser suscetível à herbivoria (Risch, 1981). Assim, o uso de sistemas diversificados é uma alternativa promissora para aumentar a funcionalidade de telhados verdes.

Dessa forma, a cobertura do solo proporcionada por gramíneas em telhados verdes é superior a de outras espécies, devido ao seu eficiente crescimento lateral e a capacidade de expansão. A seleção de plantas, focada em genótipos com alta capacidade de cobertura, é fundamental para otimizar essa característica. Assim, a escolha criteriosa de gramíneas específicas para telhados verdes maximiza a cobertura do solo, contribuindo significativamente para a redução da temperatura interna das edificações e a melhoria do desempenho ambiental.

Segurança e resiliência

O risco de incêndio em coberturas verdes, embora geralmente considerado baixo, não pode ser completamente ignorado. A presença de vegetação pode potencialmente aumentar o risco de propagação de chamas, especialmente em condições climáticas favoráveis. Um exemplo alarmante ocorreu em 2016, quando um incêndio eclodiu no Castelo Ebenzweier, na Áustria, iniciando por razões desconhecidas na vegetação de sua fachada verde (Figura 3). Esse incidente ressalta a importância de adotar medidas preventivas, como a escolha de espécies vegetais com baixa inflamabilidade, para garantir que os telhados verdes continuem a oferecer benefícios ambientais e estéticos sem comprometer a segurança.



Figura 3. Incêndio em fachada verde do Castelo Ebenzweier em Altmünster, Áustria. Fonte: Sommer (2016).

Na maioria dos países, os projetos de telhado verde incluem medidas para controlar a propagação do fogo e proteger as paredes adjacentes contra danos causados por queima e contato direto com chamas. Dentre essas medidas estão o uso de materiais não combustíveis nas paredes (RBQ, 2015), sistemas de irrigação e manutenção regular, paredes corta-fogo, divisórias entre grandes áreas de vegetação, zonas de separação em torno das aberturas do telhado, além do uso de equipamentos e cuidados com as paredes adjacentes (FM Global, 2011; ANSI, 2017; FLL, 2018). Essas precauções contribuem significativamente para reduzir o risco de incêndio.

Gerzhova et al. (2022) analisaram o risco de incêndio de telhados verdes para estruturas adjacentes quando expostos ao calor radiante. Os autores reportaram que a elevada quantidade de material morto nas plantas, como as folhas, aumenta o risco de incêndio. Entretanto, isso pode ser gerenciado com a criação de um ambiente mais úmido por meio da irrigação e, quando possível, reduzindo a exposição à radiação solar com algum tipo de sombreamento, além de minimizar a exposição ao vento. Essas medidas são particularmente importantes em climas secos, com baixa precipitação e períodos prolongados de seca.

Embora os telhados verdes ofereçam diversos benefícios, os estudos sobre o risco de incêndio nessas estruturas ainda são incipientes, o que destaca a necessidade de pesquisas mais aprofundadas para compreender plenamente os fatores que influenciam os riscos que essas estruturas podem apresentar e desenvolver diretrizes eficazes de prevenção. Investir em

estudos adicionais é crucial para garantir que as coberturas verdes sejam implementadas de maneira segura, maximizando seus benefícios enquanto minimizam os riscos associados ao fogo.

Temperatura e conforto térmico

O uso de gramíneas em telhados verdes tem se mostrado uma solução eficaz para melhorar o conforto térmico das edificações. As gramíneas são capazes de reduzir a temperatura do telhado, minimizando a absorção de calor. Este efeito térmico pode resultar em uma diminuição significativa na temperatura interna das construções, proporcionando um ambiente mais fresco e confortável (Zhu et al., 2024). Além disso, a utilização de gramíneas contribui para a mitigação do efeito de ilha de calor urbana, beneficiando não apenas os edifícios, mas também o clima urbano no geral (Lee et al., 2024).

Ao comparar os valores de temperatura superficial das espécies de plantas estudadas nesta revisão, verifica-se que o uso da espécie *Sedum* sp. em um telhado verde pode apresentar um acréscimo de 14% na temperatura acima do telhado, quando comparada a um telhado cultivado com a gramínea *Cynodon dactylon* (Tabela 1). Além disso, observa-se que o uso de gramíneas favorece a redução da temperatura abaixo do telhado verde, proporcionando o resfriamento do interior da edificação. Isso é constatado ao observar que a temperatura abaixo do telhado verde cultivado com a espécie *Stenotaphrum secundatum* é capaz de reduzir a temperatura interna da

edificação em 41%, quando comparada a um telhado de fibrocimento.

Tabela 1. Temperaturas superficiais reportadas em estudos com telhados verdes.

Cobertura do telhado	Temperatura acima do telhado (°C)	Temperatura abaixo do telhado (°C)	Referência
Com vegetação - gramíneas			
<i>Cynodon dactylon</i>	43,10	-	Zhang et al. (2020)
<i>Poa pratensis</i>	28,40	-	Lee et al. (2015)
<i>Stenotaphrum secundatum</i>	23,93	20,20	Rodríguez e Vilela (2022)
<i>Zoysia tenuifolia</i>	25,30		Jim (2012)
<i>Zoysia japonica</i>	24,32 e 26,20	20,41 e 30,33	Carneiro et al. (2015), Rodríguez e Vilela (2022)
Com vegetação - outras espécies			
<i>Arachis pintoii</i>	26,50	-	Jim (2012)
<i>Arachis repens</i>	26,28	29,47	Carneiro et al. (2015)
<i>Duranta repens</i> L.	26,20	-	Jim (2012)
<i>Punica granatum</i>	36,10	-	Zhang et al. (2020)
<i>Sedum</i> sp.	30,00 e 50,40	-	Zhang et al. (2020), Goßner et al (2021)
<i>Sedum sarmentosum</i>	28,60	-	Lee et al. (2015)
Com vegetação - sem identificação de espécies			
Telhado com grama	26,00 e 32,00	-	He e Jim (2010), Goßner et al. (2021)
Telhado com vegetação mista (suculentas e ervas)	28,00	-	Goßner et al. (2021)
Sem vegetação			
Telhado com solo descoberto	41,00	-	He e Jim (2010)
Telhado de concreto	27,00; 27,30; 42,20	-	Jim (2012), Lee et al. (2015), Zhang et al. (2020)
Telhado de fibrocimento	27,00	34,73	Carneiro et al. (2015)
Telhado de material cerâmico	30,73	25,93	Rodríguez e Vilela (2022)

As gramíneas ajudam a manter a temperatura do telhado mais baixa. Isso ocorre porque a vegetação absorve menos calor em comparação com materiais de telhado convencionais. He e Jim (2010) observaram que um telhado vegetado com a espécie *Zoysia tenuifolia* apresentou temperatura máxima de 32 °C, enquanto um telhado construído à base de concreto, apresentou temperatura superior (41 °C). Os autores destacaram que a vegetação do telhado verde absorve e armazena grandes quantidades de calor para formar um efeito térmico, criando uma manta de proteção contra a flutuação diária da temperatura. A folhagem da planta absorve a

energia radiante para utilizá-la no processo fotossintético.

Liang e Huang (2011) reportaram que a temperatura máxima da superfície de telhas de concreto atingiu 61,3°C, enquanto que a temperatura máxima da superfície de um gramado (*Cynodon dactylon*) de um telhado verde ficou em torno de 32,4 °C. Os autores também notaram que a camada plantada com gramado pode ser usada como uma barreira térmica eficiente no projeto de edifícios, uma vez que a temperatura máxima da superfície abaixo da laje foi de 41,1°C, enquanto para área plantada com gramado foi de 32,3 °C.

Infraestruturas verdes são altamente eficazes na redução das temperaturas e seu efeito de resfriamento decorre da transpiração realizada pela vegetação (Manso et al., 2021). Esse fenômeno contribui para reduzir a temperatura do ar em torno da edificação, mitigando o efeito de ilha de calor, diminuindo a temperatura média da cidade e melhorando o conforto térmico (Cascone et al., 2019).

Gößner et al. (2021) realizaram um estudo em diferentes tipos de telhados verdes extensivos compostos por espécies de gramas, *Sedum* e vegetação mista (suculentas e ervas). Os autores observaram que o telhado composto por gramas apresentou maior evapotranspiração média diária ($2,62 \pm 1,36 \text{ mm d}^{-1}$) em comparação aos telhados plantados com vegetação mista ($2,19 \pm 0,90 \text{ mm d}^{-1}$) e *Sedum* ($1,83 \pm 0,82 \text{ mm d}^{-1}$). Os dois primeiros tipos de telhados foram considerados os mais adequados para cidades que visam mitigar o efeito de ilha de calor urbana. Muitas espécies de *Sedum* apresentam o metabolismo ácido das crassuláceas (CAM), que, em situações de dias quentes e secos, podem fechar seus estômatos (Wai et al., 2019), contribuindo para uma baixa evapotranspiração.

O conforto térmico em instalações agrícolas beneficia a saúde e o bem-estar de animais e trabalhadores (Moura et al., 2010). Carneiro et al. (2015), avaliaram diferentes coberturas (telha de fibrocimento - Tfib; telha reciclada - Trec; telhado verde com a espécie *Zoysia japonica* - Tgram; e telhado verde com *Arachis repens* - Tame), observaram que a presença da vegetação de *Z. japonica* e *A. repens*, quando comparadas a telha de fibrocimento, reduziu a temperatura do ar entre 0,65 e 0,67 °C, respectivamente. Além disso, os telhados verdes apresentaram menores valores nos índices de temperatura de globo e umidade (78,63–78,74 °C) e de conforto humano (24,12–24,18 °C) em relação aos telhados convencionais, indicando maior conforto térmico para os animais de produção.

A implementação de gramíneas em telhados verdes está diretamente associada ao aumento do conforto térmico das edificações, uma vez que essas plantas reduzem a absorção de calor e, a depender do mecanismo fotossintético, podem promover maior evapotranspiração, o que ajuda a manter temperaturas internas mais amenas. Assim, além de melhorar o conforto dos ocupantes, essa prática sustentável contribui para a eficiência energética dos edifícios. Portanto, a escolha de gramíneas adequadas pode ser uma estratégia

eficaz para enfrentar desafios climáticos urbanos e promover a sustentabilidade nas construções.

Benefícios ambientais

A vegetação de telhado verde desempenha um papel significativo no sequestro de carbono, contribuindo para a mitigação das mudanças climáticas. Esses sistemas de cobertura vegetal ajudam a capturar e armazenar dióxido de carbono da atmosfera, reduzindo assim a concentração de gases de efeito estufa.

Existem variações significativas na capacidade das paisagens de sequestrar carbono, que dependem de diversos fatores como a diversidade de espécies (Tilman et al., 2006), a densidade das plantas (Fang et al., 2007; Matamala et al., 2008), a composição das espécies (Whittinghill et al., 2014), o clima (Matamala et al., 2008) e a morfologia das plantas (Rhoades et al., 2000). Dentro da paisagem urbana, os telhados verdes funcionam como sumidouros do carbono atmosférico (Getter et al., 2009; Pessoa et al., 2022).

Whittinghill et al. (2014), ao compararem o conteúdo de carbono de nove sistemas de paisagens de solo e três de telhado verde, verificaram maior conteúdo total de carbono em telhados verdes com plantas herbáceas e gramíneas ($67,70 \text{ kg m}^{-2}$) do que em telhados com plantas de pradaria nativa ($8,09 \text{ kg m}^{-2}$) e suculentas ($7,12 \text{ kg m}^{-2}$). Semelhantemente, maior conteúdo de carbono na biomassa acima do solo foi reportado para telhados com plantas perenes ($64,42 \text{ kg m}^{-2}$) e menor conteúdo para suculentas ($3,49 \text{ kg m}^{-2}$). Provavelmente, de acordo com autores, a maior biomassa vegetal observada nos telhados com herbáceas e gramíneas pode ter sido responsável pelos altos conteúdos de carbono.

Kuronuma et al. (2018) observaram que o sequestro anual de CO_2 por três espécies de gramíneas (*Cynodon dactylon* Pers., *Festuca arundinacea* Schreb. e *Zoysia matrella* L.) foi cerca de $2,5 \text{ kg-CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{ano}^{-1}$, enquanto a espécie *Sedum aizoon* L. apresentou sequestro de $1,6 \text{ kg-CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{ano}^{-1}$. Além disso, considerando que a quantidade de sequestro anual de CO_2 pelas plantas do telhado verde pode diminuir com sua idade (Matamala et al., 2008), no mesmo estudo de Kuronuma et al. (2018), levantou a hipótese de que o sequestro de CO_2 ocorre apenas durante o primeiro ano após a construção (cenário 1) e todos os anos (cenário 2). Por meio dos resultados, observou-se que as espécies de gramíneas

apresentaram um tempo médio de retorno de CO₂ para a atmosfera de 15 e 6 anos para os cenários 1 e 2, respectivamente.

A composição vegetal do telhado verde também afeta a dinâmica de gases de efeito estufa (GEE). Teemusk et al. (2019) observaram que o fluxo de CO₂ foi maior para telhados verdes que tinham gramíneas em sua composição (62 mg CO₂ -C m⁻² h⁻¹) do que telhados que não apresentavam gramíneas (21 mg CO₂ -C m⁻² h⁻¹). Pessoa et al. (2022) verificaram que diferentes espécies de gramíneas utilizadas em telhado divergiram na concentração de carbono orgânico no solo, de modo que a espécie *Zoysia japonica* apresentou maior teor de carbono orgânico (123,66 g kg⁻¹) em relação a gramínea *Pennisetum setaceum* (95,05 g kg⁻¹). Maior concentração de carbono orgânico pode aumentar a presença de microrganismos no solo e, por sua vez, a atividade desses pode reduzir o conteúdo de CO₂ na atmosfera.

A inclusão de gramíneas em telhados verdes tem um papel crucial no sequestro de carbono atmosférico. No entanto, para maximizar o potencial de sequestro de carbono e garantir a eficácia dessas soluções, é necessário aprofundar as pesquisas sobre as espécies de gramíneas mais adequadas e as melhores práticas de manejo.

Melhoramento genético e seleção de plantas

O pré-melhoramento é fundamental para o desenvolvimento de pesquisas sobre reprodução, caracterização morfológica e agrônômica, viabilidade, germinação e dormência de sementes, por exemplo. Com base nessas caracterizações, a seleção de genitores para hibridação torna-se mais precisa e adequada, permitindo futuras avaliações de desempenho e seleção das progênes de maneira mais eficiente (Mazzocato et al., 2014). Assim, para que o desenvolvimento de um programa de melhoramento genético seja bem-sucedido, torna-se essencial basear-se em coleções representativas da variabilidade natural presente em cada espécie a ser aprimorada (Valls et al., 2004).

Para seleção de gramíneas para uso como gramados, é necessário escolher cultivares adaptadas as condições ambientais locais, bem como entender a função que o gramado desempenhará, uma vez que esses fatores determinarão o tipo de manutenção a ser aplicada e o nível de qualidade esperado do gramado para seu uso específico (Polomski & McCarty, 2003). Por outro lado, tratando-se de telhados verdes, a seleção de plantas deve ser baseada em fatores

como o tipo de telhado verde (intensivo, extensivo ou semi-intensivo), a condição climática local e a origem da planta ou adaptabilidade. Nesse sentido, o ideal é optar, sempre que possível, por plantas nativas, pois elas contribuem para a preservação da flora local e são mais adaptadas as condições locais (Prestes et al., 2020).

A seleção de plantas para telhados verdes é um processo altamente complexo. Essa seleção depende de características fisiológicas, habitat, clima e adaptações morfológicas das plantas (Szota et al., 2017). Chell et al. (2022), ao avaliarem o desempenho de suculentas, ervas daninhas e gramíneas nativas em um telhado verde ao longo de quatro anos na Austrália, relataram que a ausência de critérios rigorosos na seleção de plantas para telhados verdes pode resultar na escolha inadequada de espécies. Adicionalmente, os autores observaram que plantas nativas são potenciais candidatas para uso em telhados verdes.

A seleção de plantas para uso em telhados verdes é de suma importância devido aos desafios únicos que esses ambientes apresentam. Dessa forma, o processo de pré-melhoramento é crucial para identificar e promover o uso de espécies com características desejáveis, assegurando o sucesso e a sustentabilidade dos telhados verdes em diversas condições climáticas e urbanas.

Considerações finais

Os estudos sobre telhados verdes destacam a importância das gramíneas, em função da capacidade de adaptação e eficiência em termos de crescimento e desenvolvimento dessas plantas. Dentre os 40 gêneros de gramíneas identificados, *Festuca*, *Bouteloua* e *Zoysia* mostraram-se particularmente relevantes, com a espécie *Festuca ovina* sendo a mais citada. As pesquisas realizadas em 40 países fornecem uma base ampla para compreender a eficácia e adaptação das gramíneas em diversas condições climáticas e geográficas, permitindo o desenvolvimento de soluções eficazes para telhados verdes.

A altura das gramíneas contribui para a redução da temperatura do solo e aumento da riqueza de espécies, embora em áreas ornamentais seja necessária a poda para manter uma aparência desejável. Além disso, a profundidade e o material do substrato influenciam significativamente a capacidade de cobertura das plantas, com substratos mais profundos proporcionando maior cobertura. A análise sensorial revela uma clara preferência do público pelo uso de gramíneas em

telhados verdes devido ao seu apelo estético. De maneira geral, as gramíneas são indicadas para telhados verdes devido à sua aparência visual agradável e capacidade de manter a qualidade da aparência. Por outro lado, em termos de segurança, é crucial adotar medidas preventivas para controlar a propagação do fogo em telhados verdes, como o uso de espécies vegetais com baixa inflamabilidade. A presença de matéria morta aumenta o risco de incêndio, mas pode ser gerenciada com a criação de um ambiente mais úmido.

Gramíneas em telhados verdes melhoram significativamente o conforto térmico das edificações, reduzindo a temperatura do telhado e a absorção de calor. Este efeito contribui para a mitigação do efeito de ilha de calor urbana, beneficiando o clima urbano em geral. A seleção de gramíneas adequadas para telhados verdes pode maximizar os benefícios ambientais e funcionais desses sistemas, promovendo uma infraestrutura urbana mais sustentável e resiliente. No geral, mais estudos sobre gramíneas em telhados verdes são essenciais para entender melhor como diferentes espécies respondem as variáveis ambientais, o que pode otimizar o desempenho dos telhados verdes. Além disso, pesquisas adicionais podem ajudar a desenvolver melhores práticas de manejo, para melhorar a durabilidade e a funcionalidade dos telhados verdes. Esses avanços são cruciais para aprimorar a eficácia dos telhados verdes e promover soluções inovadoras e adaptáveis para ambientes urbanos sustentáveis.

Agradecimentos

Esta pesquisa foi apoiada pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq). Este estudo foi financiado em parte pela Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código Financeiro 001.

Referências

- Abd Rahman, H., Yusoff, N. S. M., & Omar, M. (2023). Perception of Green Roof Users with Their Mental Well-Being. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1274(1), 012036. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1274/1/012036>
- Agra, H., Shalom, H., Bawab, O., Kadas, G. J., & Blaustein, L. (2021). The effect of drainage height on plant-species composition on a semi-

- arid green roof system. *Israel Journal of Ecology and Evolution*, 67(3-4), 149-155. <https://doi.org/10.1163/22244662-bja10025>
- Aloisio, J. M., Palmer, M. I., Giampieri, M. A., Tuininga, A. R., & Lewis, J. D. (2017). Spatially dependent biotic and abiotic factors drive survivorship and physical structure of green roof vegetation. *Ecological Applications*, 27(1), 297-308. <https://doi.org/10.1002/eap.1444>
- ANSI. *American National Standards Institute*, 2017. Waltham.
- Berardi, U., GhaffarianHoseini, A., & GhaffarianHoseini, A. (2014). State-of-the-art analysis of the environmental benefits of green roofs. *Applied Energy*, 115, 411-428. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2013.10.047>
- Boivin, M. A., Lamy, M. P., Gosselin, A., & Dansereau, B. (2001). Effect of artificial substrate depth on freezing injury of six herbaceous perennials grown in a green roof system. *HortTechnology*, 11(3), 409-412. <https://doi.org/10.21273/HORTTECH.11.3.409>
- Brandão, C., Rosário Cameira, M., Valente, F., Carvalho, R. C., & Paço, T. A. (2017). Wet season hydrological performance of green roofs using native species under Mediterranean climate. *Ecological Engineering*, 102, 596-611. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2017.02.025>
- Bush, E. W., Porter, W. C., Shepard D. P., & McCrimmon, J. N. (1998). Controlling growth of common carpetgrass using selected plant growth regulators. *HortScience*, 33(4), 704-706. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.33.4.704>
- Cáceres, N., Robbiati, F. O., Hick, E. C., Suárez, M., Matoff, E., Galetto, L., & Imhof, L. (2022). Analysis of biodiversity attributes for extensive vegetated roofs in a semiarid region of central Argentina. *Ecological Engineering*, 178, 106602. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2022.106602>
- Cáceres, N., Imhof, L., Suárez, M., Hick, E. C., & Galetto, L. (2018). Assessing native germplasm for extensive green roof systems of semiarid regions. *Ornamental Horticulture*, 24(4), 466-476. <http://dx.doi.org/10.14295/oh.v24i4.1225>
- Carneiro, T. A., Guiselini, C., Pandorfi, H., Lopes Neto, J. P., Loges, V., & Souza, R. F. (2015). Condicionamento térmico primário de instalações rurais por meio de diferentes tipos de cobertura. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 19(11), 1086-1092.

- <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v19n11p1086-1092>
- Cascone, S., Coma, J., Gagliano, A., & Pérez, G. (2019). The evapotranspiration process in green roofs: A review. *Building and Environment*, 147, 337-355. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2018.10.024>
- Chell, S., Tomson, N., Kim, T.D.H., & Michael, R. N. (2022). Performance of native succulents, forbs, and grasses on an extensive green roof over four years in subtropical Australia. *Urban Forestry & Urban Greening*, 74, 127631. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2022.127631>
- Chow, M. F., Bakar, M. F. A., Wong, J. K., & Ling, L. (2021). Evapotranspiration measurement and estimation of crop coefficient for native plant species of green roof in the tropics. *Water*, 13(12), 1669. <https://doi.org/10.3390/w13121669>
- Cortês, A., Almeida, J., Tadeu, A., Ramezani, B., Fino, M. R., de Brito, J., & Silva, C. M. (2022). The effect of cork-based living walls on the energy performance of buildings and local microclimate. *Building and Environment*, 216, 109048. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2022.109048>
- Droz, A. G., Coffman, R. R., Fulton, T. G., Blackwood, C. B. (2021). Moving beyond habitat analogs: Optimizing green roofs for a balance of ecosystem services. *Ecological Engineering*, 173, 106422. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2021.106422>
- Du, P., Arndt, S. K., & Farrell, C. (2018). Relationships between plant drought response, traits, and climate of origin for green roof plant selection. *Ecological applications*, 28(7), 1752-1761. <https://doi.org/10.1002/eap.1782>
- Dunnett, N., & Kingsbury, N. (2008). *Planting green roofs and living walls*. Portland, Timber press.
- Durhman, A. K., Rowe, D. B., & Rugh, C. L. (2007). Effect of substrate depth on initial growth, coverage, and survival of 25 succulent green roof plant taxa. *HortScience*, 42(3), 588-595. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.42.3.588>
- Eksi, M., Rowe, D. B., Wichman, I. S., & Andresen, J. A. (2017). Effect of substrate depth, vegetation type, and season on green roof thermal properties. *Energy and Buildings*, 145, 174-187. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2017.04.017>
- Elsadek, M., Liu, B., & Lian, Z. (2019). Green façades: Their contribution to stress recovery and well-being in high-density cities. *Urban Forestry & Urban Greening*, 46, 126446. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2019.126446>
- Elsadek, M., Liu, B., & Xie, J. (2020). Window view and relaxation: Viewing green space from a high-rise estate improves urban dwellers' wellbeing. *Urban Forestry & Urban Greening*, 55, 126846. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2020.126846>
- Erwin, J., & Hensley, J. (2019). Plants with horticultural and ecological attributes for green roofs in a cool, dry climate. *HortScience*, 54(10), 1703-1711. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI13893-19>
- Fang, S., Xue, J., & Tang, L. (2007). Biomass production and carbon sequestration potential in poplar plantations with different management patterns. *Journal of environmental management*, 85, 672-679. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2006.09.014>
- Fernandez-Cañero, R., Emilsson, T., Fernandez-Barba, C., & Machuca, M. Á. H. (2013). Green roof systems: A study of public attitudes and preferences in southern Spain. *Journal of environmental management*, 128, 106-115. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2013.04.052>
- FLL. Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau, (2018). *Green Roof Guidelines - Guidelines for the Planning, Construction and Maintenance of Green Roofs*. In Landscape Development and Landscape Research Society. Bonn.
- FM Global (2011). *Property Loss Prevention Data Sheet (1-35) Green Roof Systems*. Johnston.
- Franzaring, J., Steffan, L., Ansel, W., Walker, R., & Fangmeier, A. (2016). Water retention, wash-out, substrate and surface temperatures of extensive green roof mesocosms—Results from a two year study in SW-Germany. *Ecological engineering*, 94, 503-515. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2016.06.021>
- Freitas, F. C. L., Ferreira, L. R., Silva, A. A., Barbosa, J. G., & Miranda, G. V. (2002). Efeitos do trinexapac-ethyl sobre o crescimento e florescimento da grama-batatais. *Planta Daninha*, 20(3), 477-486. <https://doi.org/10.1590/S0100-83582002000300020>
- Gallardo, N. P., Alves, E. D. L., Silva, M. S. D., Sousa, F. L. N., & Santos, B. C. (2021). Evaluation of comfort and thermal efficiency in buildings with plant surroundings: An experimental study report. *Revista Brasileira de Gestão e Desenvolvimento Regional*, 17(2),

- 365-380.
<https://doi.org/10.54399/rbgdr.v17i2.6348>
- Gerzhova, N., Dagenais, C., Ménard, S., Blanchet, P., & Côté, J. (2022). A parametric study of fire risks of green roofs to adjacent buildings. *Fire*, 5(4) 1-22. <https://doi.org/10.3390/fire5040093>
- Getter, K. L., Rowe, D. B., & Andresen, J. A. (2007). Quantifying the effect of slope on extensive green roof stormwater retention. *Ecological Engineering*, 31(4), 225-231. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2007.06.004>
- Getter, K. L., Rowe, D. B., Robertson, G. P., Cregg, B. M., & Andresen, J. A. (2009). Carbon sequestration potential of extensive green roofs. *Environmental science & technology*, 43(19), 7564-7570. <https://doi.org/10.1021/es901539x>
- Gioannini, R., Al-Ajlouni, M., Kile, R., Vanleeuwen, D., & St. Hilaire, R. (2018). Plant communities suitable for green roofs in arid regions. *Sustainability*, 10(6), 2-21. <https://doi.org/10.3390/su10061755>
- Gößner, D., Mohri, M., & Krespach, J. J. (2021). Evapotranspiration measurements and assessment of driving factors: A comparison of different green roof systems during summer in Germany. *Land*, 10(12), 1-22. <https://doi.org/10.3390/land10121334>
- Grahn, P., & Stigsdotter, U. K. (2010). The relation between perceived sensory dimensions of urban green space and stress restoration. *Landscape and urban planning*, 94(3-4), 264-275. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2009.10.012>
- Guo, B., Arndt, S., Miller, R., Lu, N., & Farrell, C. (2021). Are succulence or trait combinations related to plant survival on hot and dry green roofs?. *Urban Forestry & Urban Greening*, 64, 127248. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2021.127248>
- He, H., & Jim, C. Y. (2010). Simulation of thermodynamic transmission in green roof ecosystem. *Ecological Modelling*, 221, 2949-2958. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2010.09.002>
- Hekrlé, M., Liberalesso, T., Macháč, J., & Silva, C. M. (2023). The economic value of green roofs: A case study using different cost-benefit analysis approaches. *Journal of Cleaner Production*, 413, 137531. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.137531>
- Hobbs, R. J., & Huenneke, L. F. (1992). Disturbance, diversity, and invasion: implications for conservation. *Conservation biology*, 6(3), 324-337. <https://doi.org/10.1046/j.1523-1739.1992.06030324.x>
- Jim, C. Y. (2012). Effect of vegetation biomass structure on thermal performance of tropical green roof. *Landscape and ecological engineering*, 8, 173-187. <https://doi.org/10.1007/s11355-011-0161-4>
- Jungels, J., Rakow, D. A., Allred, S. B., & Skelly, S. M. (2013). Attitudes and aesthetic reactions toward green roofs in the Northeastern United States. *Landscape and Urban Planning*, 117, 13-21. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2013.04.013>
- Kazemi, M., Courard, L., & Attia, S. (2023). Water permeability, water retention capacity, and thermal resistance of green roof layers made with recycled and artificial aggregates. *Building and Environment*, 227, 109776. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2022.109776>
- Kaplan, R. (2001). The nature of the view from home: Psychological benefits. *Environment and behavior*, 33(4), 507-542. <https://doi.org/10.1177/00139160121973115>
- Kissmann, K. G. (1997). *Plantas infestantes e nocivas*. BASF.
- Klein, P. M., & Coffman, R. (2015). Establishment and performance of an experimental green roof under extreme climatic conditions. *Science of the total environment*, 512-513, 82-93. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.01.020>
- Koyama, T., Yoshinaga, M., Hayashi, H., Maeda, K.I. & Yamauchi, A. (2013). Identification of key plant traits contributing to the cooling effects of green façades using freestanding walls. *Building and Environment*, 66, 96-103. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2013.04.020>
- Kurunuma, T., Watanabe, H., Ishihara, T., Kou, D., Toudou, K., Ando, M., & Shindo, S. (2018). CO₂ payoff of extensive green roofs with different vegetation species. *Sustainability* 10(7), 1-12. <https://doi.org/10.3390/su10072256>
- Lee, E., Seo, Y., & Woo, D. K., (2024). Enhanced environmental and economic benefits of green roofs in a humid subtropical region under future climate. *Ecological Engineering*, 201, 107221. Disponível: <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2024.107221>
- Lee, S., Ryu, Y., & Jiang, C. (2015). Urban heat mitigation by roof surface materials during the East Asian summer monsoon. *Environmental Research Letters*, 10, 107221.

- <https://doi.org/10.1088/1748-9326/10/12/124012>
- Leotta, L., Toscano, S., & Romano, D. (2023). Which Plant Species for Green Roofs in the Mediterranean Environment? *Plants*, 12(23), 1-25. <https://doi.org/10.3390/plants12233985>
- Liang, H. H., & Huang, K. T. (2011). Study on rooftop outdoor thermal environment and slab insulation performance of grass planted roof. *International Journal of the Physical Sciences*, 6(1), 65-73. <https://doi.org/10.5897/IJPS10.664>
- Li, L., Zhan, W., Hu, L., Chakraborty, T. C., Wang, Z., Fu, P., Wang, D., Liao, W., Huang, F., Fu, H., Li, J., Liu, Z., Du, H., & Wang, S. (2023). Divergent urbanization-induced impacts on global surface urban heat island trends since 1980s. *Remote Sensing of Environment*, 295, 113650. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2023.113650>
- Linder, H. P., Lehmann, C. E. R., Archibald, S., Osborne, C. P., & Richardson, D. M. (2017). Global grass (Poaceae) success underpinned by traits facilitating colonization, persistence and habitat transformation. *Biological Reviews*, 93(2), 1-20. <https://doi.org/10.1111/brv.12388>
- Liu, H., Kong, F., Yin, H., Middel, A., Zheng, X., Huang, J., Su, H., Wang, D., & Wen, Z. (2021). Impacts of green roofs on water, temperature, and air quality: A bibliometric review. *Building and Environment*, 196, 107794. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2021.107794>
- Liu, J., Shrestha, P., Skabelund, L. R., Todd, T., Decker, A., & Kirkham, M. B. (2019). Growth of prairie plants and sedums in different substrates on an experimental green roof in Mid-Continental USA. *Science of the Total Environment*, 697, 134089. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.134089>
- Lugo-Arroyo, A., Zanin, G., Thompson, A., Borin, M., & Maucieri, C. (2024). Diurnal greenhouse gas emissions and substrate temperatures from blue-green roofs in north-eastern Italy during a dry-hot summer season. *Scientia Horticulturae*, 324, 112560. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2023.112560>
- Lundholm, J. T. (2015). Green roof plant species diversity improves ecosystem multifunctionality. *Journal of Applied Ecology*, 52(3), 726-734. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.12425>
- Lundholm, J., MacIvor, J. S., MacDougall, Z., & Ranalli, M. (2010). Plant species and functional group combinations affect green roof ecosystem functions. *PloS one*, 5(3), 1-11. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0009677>
- Lundholm, J., Tran, S., & Gebert, L. (2015). Plant functional traits predict green roof ecosystem services. *Environmental Science & Technology*, 49(4), A-I. <https://doi.org/10.1021/es505426z>
- MacIvor, J. S., Margolis, L., Perotto, M., & Drake, J. A. (2016). Air temperature cooling by extensive green roofs in Toronto Canada. *Ecological Engineering*, 95, 36-42. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2016.06.050>
- Manso, M., Teotônio, I., Silva, C. M., & Cruz, C. O. (2021). Green roof and green wall benefits and costs: A review of the quantitative evidence. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 135, 110111. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.110111>
- Marchi, M.M., Barbieri, R.L., 2015. *Cores e formas no Bioma Pampa: gramíneas ornamentais nativas*. Embrapa.
- Martello, J. M., Castilho, R. M. M., & Pagliarini, M. K. (2014). Pós-colheita de tapetes de grama Esmeralda em relação aos níveis de empilhamento e ambiente de armazenamento. *Tecnologia & Ciência Agropecuária*, 8(1), 61-66.
- Matamala, R., Jastrow, J. D., Miller, R. M., & Garten, C. T. (2008). Temporal changes in C and N stocks of restored prairie: implications for C sequestration strategies. *Ecological Applications*, 18(6), 1470-1488. <https://doi.org/10.1890/07-1609.1>
- Mazzocato, A. C., Ferreira, J. L., Köpp, M. M., & Montardo, D. P. (2014). *Conservação e uso no BAG (Banco Ativo de Germoplasma) de forrageiras do Sul*. In: XV Encontro de Botânica do Rio Grande do Sul, VII Encontro Estadual de Herbários. Anais... Rio Grande, 1 CD - ROM.
- Meyer, N., & Trandafir, S. (2023). Public attitudes and preferences for green rooftop technologies in the US: a choice experiment. *Agricultural and Resource Economics Review*, 52, 320-346. <https://doi.org/10.1017/age.2023.17>
- Moura, D. J., Bueno, L. G. F., Lima, K. A. O., Carvalho, T. M. R., & Maia, A. P. A. (2010). Strategies and facilities in order to improve animal welfare. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 39, 311-316. <https://doi.org/10.1590/S1516-35982010001300034>
- Nagase, A., & Dunnett, N. (2012). Amount of water runoff from different vegetation types on extensive green roofs: Effects of plant species,

- diversity and plant structure. *Landscape and Urban Planning*, 104(3-4), 356-363. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2011.11.001>
- Ntoulas, N., Nektarios, P. A., Kotopoulis, G., Ilia, P., & Ttooulou, T. (2017). Quality assessment of three warm-season turfgrasses growing in different substrate depths on shallow green roof systems. *Urban Forestry & Urban Greening*, 26, 163-168. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2017.03.005>
- Ntoulas, N., Nektarios, P. A., Charalambous, E., & Psaroulis, A. (2013). *Zoysia matrella* cover rate and drought tolerance in adaptive extensive green roof systems. *Urban Forestry & Urban Greening*, 12(4). <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2013.07.006>
- Oberndorfer, E., Lundholm, J. T., Bass, B., Coffman, R. R., Doshi, H., Dunnett, N., Gaffin, S., Köhler, M., Liu, K. K. Y., & Rowe, B. (2020). Green roofs as urban ecosystems: Ecological structures, functions, and services. *BioScience*, 57(10), 823-833. <https://doi.org/10.1641/B571005>
- Olly, L. M., Bates, J. A., Sadler, J. P., & Mackay, R. (2011). An initial experimental assessment of the influence of substrate depth on floral assemblage for extensive green roofs. *Urban Forestry and Urban Gardening*, 10(4). <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2011.07.005>
- Organização das Nações Unidas (ONU). (2021). *World Urbanization Prospects: The 2021 Revision*. <https://population.un.org/wup/>
- Pearcy, R. W., Tumosa, N., & Williams, K. (1981). Relationships between growth, photosynthesis and competitive interactions for a C₃ and C₄ plant. *Oecologia*, 48, 371-376. Disponível: <https://doi.org/10.1007/bf00346497>
- Pérez-Harguindeguy, N., Díaz, S., Garnier, E., Lavorel, S., Poorter, H., Jaureguiberry, P., Bret-Harte, M. S., Cornwell, W.K., Craine, J. M., Gurvich, D.E., Urcelay, C., Veneklaas, E. J., Reich, P. B., Poorter, L., Wright, I. J., Ray, P., Enrico, L., Pausas, J. G., de Vos, A. C., Buchmann, N., Funes, G., Quétier, F., Hodgson, J. G., Thompson, K., Morgan, H. D., ter Steege, H., van der Heijden, M. G. A., Sack, L., Blonder, B., Poschlod, P., Vaieretti, M. V., Conti, G., Staver, A.C., Aquino, S., & Cornelissen, J. H. C. (2013). New handbook for standardised measurement of plant functional traits worldwide. *Australian Journal of Botany*, 64, 167-234. <https://doi.org/10.1071/BT12225>
- Pessoa, V. G., Guiselini, C., Montenegro, A. A. D. A., Pandorfi, H., Barbosa Filho, J. A., & Vicente, T. F. D. S. (2022). Carbon sequestration by plant species used in green roofs across different periods. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 26(6), 407-411. <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v26n6p407-411>
- Polomski, B., McCarty, L. B. (2003). *Southern lawns: best management practices for the selection, establishment and maintenance of Southern lawngrasses*. In: MCCARTY, B. (ed). Turfgrass establishment and management. Clemson University Public Service Publishing. Liverpool.
- Prestes, R. D., Diel, V. B. N., & Ghellar, N. T. (2020). Potencial paisagístico de plantas nativas de Santo Ângelo-RS. *Revista Interdisciplinar em Ciências da Saúde e Biológicas*, 4(2), 27-39. <https://doi.org/10.31512/ricsb.v4i2.280>
- Price, J. G., Watts, S. A., Wright, A. N., Peters, R. W., & Kirby, J. T. (2011). Irrigation lowers substrate temperature and enhances survival of plants on green roofs in the southeastern United States. *HortTechnology*, 21(5), 586-592. <https://doi.org/10.21273/HORTTECH.21.5.586>
- Rahman, A. A., Zaid, S. M., & Shuhaimi, N. D. A. M. (2022). Effects of green roof in reducing surface temperature and addressing urban heat island in tropical climate of Malaysia. *Journal of Design and Built Environment*, 22(2), 1-20. <https://doi.org/10.22452/jdbe.vol22no2.1>
- RBQ. Régie du bâtiment du Québec, (2015). Critères Techniques Visant la Construction de Toits Végétalisés Quebec. Québec.
- Rhoades, C. C., Eckert, G. E., & Coleman, D. C. (2000). Soil carbon differences among forest, agriculture, and secondary vegetation in lower montane Ecuador. *Ecological Applications*, 10(2), 497-505. <https://doi.org/10.2307/2641109>
- Risch, S. J. (1981). Insect herbivore abundance in tropical monocultures and polycultures: an experimental test of two hypotheses. *Ecology*, 62(5), 1325-1340. <https://doi.org/10.2307/1937296>
- Rodríguez, J., & Vilela, K. (2022). Influence of the types of grass of green roofs for the design of thermal comfort in buildings. *Journal of Ecological Engineering*, 23(3), 223-229. <https://doi.org/10.12911/22998993/146191>
- Salvalai, G., Marrone, G., Sesana, M. M., & Imperadori, M. (2023). Lightweight extensive

- green roof for building renovation: Summer performance analysis and application in a living laboratory. *Energy and Buildings*, 298, 113589. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2023.113589>
- Santana, T. C., Guiselini, C., Cavalcanti, S. D. L., Silva, M. V., Vigoderis, R. B., Santos Júnior, J. A., Morais, A. S., Jardim, A. M. D. R. F. (2022). Quality of rainwater drained by a green roof in the metropolitan region of Recife, Brazil. *Journal of Water Process Engineering*, 49, 102953. <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2022.102953>
- Schroll, E., Lambrinos, J., Righetti, T., & Sandrock, D. (2011). The role of vegetation in regulating stormwater runoff from green roofs in a winter rainfall climate. *Ecological Engineering*, 37(4), 595-600. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2010.12.020>
- Shafique, M., Azam, A., Rafiq, M., Ateeq, M., & Luo, X. (2020). An overview of life cycle assessment of green roofs. *Journal of Cleaner Production*, 250, 119471. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.119471>
- Silva, S. Á. C. G. D., Albuquerque Filho, J. C. C. D., Silva, S. S. L., Castro, A. C. R., Loges, V. (2020a). Development of Paspalum accession plugs for turfgrass establishment. *Ornamental Horticulture*, 26(3), 356-366. <https://doi.org/10.1590/2447-536X.v26i3.2163>
- Silva, S. Á. C. G. D., Santos, A. G. D., Loges, V., Castro, A. C. R., Rosa, R. C. T. D. (2020b). Sanitary quality of seed of Paspalum species. *Ornamental Horticulture*, 26(3), 328-332. <https://doi.org/10.1590/2447-536X.v26i3.2065>
- Sommer, P. (2016, 01 de junho) Nach Großbrand: Schloss Ebenzweier wird saniert. Salzi.at. Disponível: <<https://www.salzi.at/2016/06/nach-grossbrand-schloss-ebenzweier-wird-saniert/>>.
- Sookhan, N., Margolis, L., & MacIvor, J. S. (2018). Inter-annual thermoregulation of extensive green roofs in warm and cool seasons: Plant selection matters. *Ecological engineering*, 123, 10-18. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2018.08.016>
- Speak, A. F., Rothwell, J. J., Lindley, S. J., & Smith, C. L. (2012). Urban particulate pollution reduction by four species of green roof vegetation in a UK city. *Atmospheric Environment*, 61, 283-293. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2012.07.043>
- Stangierska, D., Kowalczyk, I., Juszczak-Szelągowska, K., Widera, K., & Ferenc, W. (2022). Urban environment, green urban areas, and life quality of citizens—the case of warsaw. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(17), 10943. <https://doi.org/10.3390/ijerph191710943>
- Stewart, K. E. J., Bourn, N. A. D., & Thomas, J. A. (2002). An evaluation of three quick methods commonly used to assess sward height in ecology. *Journal of Applied Ecology*, 38(5), 1148–1154. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2664.2001.00658.x>
- Suárez-Cáceres, G. P., Mejía-Sampedro, D. K., Fernández-Cañero, R., Loges, V., Pérez-& Urrestarazu, L. (2023). Establishment and development of ornamental grasses on green roofs and living walls. *Landscape and Ecological Engineering*, 19, 123–136. <https://doi.org/10.1007/s11355-022-00527-5>
- Sutton, R. K., Harrington, J. A., Skabelund, L., Macdonagh, P., Coffman, R. R., Koch, G., 2012. Prairie-based green roofs: literature, templates, and analogs. *Journal of Green Building*, 7(1), 143–172. <https://doi.org/10.3992/jgb.7.1.143>
- Szota, C., Farrell, C., Williams, N. S., Arndt, S. K., & Fletcher, T. D. (2017). Drought-avoiding plants with low water use can achieve high rainfall retention without jeopardising survival on green roofs. *Science of the Total Environment*, 603-604, 340-351. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.06.061>
- Teemusk, A., Kull, A., Kanal, A., & Mander, Ü. (2019). Environmental factors affecting greenhouse gas fluxes of green roofs in temperate zone. *Science of the Total Environment*, 694, 133699. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.133699>
- Tilman, D., Hill, J., & Lehman, C. (2006). Carbon-negative biofuels from low-input high-diversity grassland biomass. *Science*, 314(5805), 1598-1600. <https://doi.org/10.1126/science.1133306>
- Tran, S., Lundholm, J. T., Staniec, M., Robinson, C. E., Smart, C. C., Voogt, J. A., & O'carroll, D. M. (2019). Plant survival and growth on extensive green roofs: a distributed experiment in three climate regions. *Ecological Engineering*, 127, 494-503. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2018.09.027>
- Vahdati, N., Tehranifar, A., & Kazemi, F. (2017). Assessing chilling and drought tolerance of different plant genera on extensive green roofs in an arid climate region in Iran. *Journal of*

- environmental management, 192, 215-223. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2017.01.027>
- Valls, J. F. M., Pilar, A. D., & Peñaloza, S. (2004). *Recursos genéticos de gramíneas forrageiras para a pecuária*. In: Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Zootecnia. Anais... Campo Grande, 1 CD-ROM.
- Vanderburg, K. L., Steffens, T. J., Lust, D. G., Rhoades, M. B., Blaser, B. C., Peters, K., & Ham, M. J. (2020). Trampling and cover effects on soil compaction and seedling establishment in reseeded pasturelands over time. *Rangeland Ecology & Management*, 73, 452-461. Disponível: <https://doi.org/10.1016/j.rama.2020.01.001>
- Vanwoert, N. D., Rowe, D. B., Anderesen, J. A., Rough, C. L., Fernandez, R. T., & Xiao, L. (2005). Green roof storm water retention; effects of roof surface, slope, and media depth. *Journal of environmental quality*, 34(3), 1036-1044. <https://doi.org/10.2134/jeq2004.0364>
- Volterrani, M., Grossi, N., Lulli, F., & Gaetani, M., (2008). Establishment of Warm Season Turfgrass Species by Transplant of Single Potted Plants. *Acta Horticulturae*, 783, 77-84. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2008.783.7>
- Wai, C. M., Weise, S. E., Ozersky, P., Mockler, T. C., Michael, T. P., & Vanburen, R. (2019). Time of day and network reprogramming during drought induced cam photosynthesis in sedum album. *PLoS Genetics*, 15, 1-31. <https://doi.org/10.1371/journal.pgen.1008209>
- Wang, L., Wang, H., Wang, Y., Che, Y., Ge, Z., & Mao, L. (2022). The relationship between green roofs and urban biodiversity: A systematic review. *Biodiversity and Conservation*, 31(7), 1771-1796. <https://doi.org/10.1007/s10531-022-02436-3>
- White, E. V., & Gatersleben, B. (2011). Greenery on residential buildings: Does it affect preferences and perceptions of beauty?. *Journal of environmental psychology*, 31, 89-98. <https://doi.org/10.1016/j.jenvp.2010.11.002>
- Whittinghill, L. J., Rowe, D. B., Schutzki, R., & Cregg, B. M. (2014). Quantifying carbon sequestration of various green roof and ornamental landscape systems. *Landscape and Urban Planning*, 123, 41-48. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2013.11.015>
- Youngman, R. R., Kuhar, T., Gyawaly, S., Laub, C., & Wu, S. (2017). *Turfgrass insect management*. Virginia Turfgrass Certification Manual.
- Yu, B. (2021). Ecological effects of new-type urbanization in China. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 135, 110239. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.110239>
- Zhang, F., Zhong, J., Zhao, Y., Cai, C., Liu, W., Wang, Q., Wang, W., Wang, H., Jiang, X., & Yuan, R. (2024). Urbanization-induced soil organic carbon loss and microbial-enzymatic drivers: insights from aggregate size classes in Nanchang city, China. *Frontiers in Microbiology*, 15, 1367725, 01-14. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2024.1367725>
- Zhang, G., He, B. J., & Dewancker, B. J. (2020). The maintenance of prefabricated green roofs for preserving cooling performance: A field measurement in the subtropical city of Hangzhou, China. *Sustainable Cities and Society*, 61, 102314. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2020.102314>
- Zhu, Z., Wang, W., Chen, B., Cai, Z., Chang, M., & Wang, X. (2024). The canopy cooling effect of roof mitigation strategies in a subtropical urban agglomeration. *Urban Climate*, 55, 101977. <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2024.101977>