

IMPACTO DE TELHADOS VERDES INTENSIVOS NO DESEMPENHO TÉRMICO E HIDROLÓGICO

IMPACT OF INTENSIVE GREEN ROOFS ON THERMAL AND HYDROLOGICAL PERFORMANCE

 **Thamille Casagrande¹**

 **Sérgio Fernando Tavares²**

 **Mariana Grassi Noya³**

¹ Universidade Federal do Paraná, Curitiba, Paraná, Brasil.

thamille.casagrande@gmail.com

² Universidade Federal do Paraná, Curitiba, Paraná, Brasil. sergio.tavares@ufpr.br

³ Pontifícia Universidade Católica do

Paraná, Curitiba, Paraná, Brasil.

mariana.noya@pucpr.br

Contribuição dos autores:

TC: conceituação, curadoria de dados, análise formal, investigação, metodologia, administração de projetos, validação, visualização, escrita - rascunho original, escrita - revisão e edição. SFT: administração de projetos, supervisão, validação, escrita - revisão e edição. MGN: supervisão, validação, escrita - revisão e edição.

Fomento: Coordenação de

Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior

Declaração de conflito: nada foi declarado.

Editor Responsável:

Michele Marta Rossi 

Resumo

Pesquisas indicam que telhados verdes podem melhorar o isolamento térmico de edificações e mitigar enchentes urbanas. Entretanto, de acordo com estudos internacionais, estes efeitos podem ser potencializados com o uso de coberturas intensivas, com maior espessura de substrato. Considerando a ocorrência de enchentes em cidades como Curitiba-PR, mas que também ocorrem em outros contextos climáticos brasileiros, entende-se necessária a geração de dados locais relacionados ao tema, visto que não foram encontrados estudos nacionais sobre o tópico. Esta pesquisa objetiva avaliar o efeito que o aumento da camada de substrato pode surtir no desempenho de telhados verdes em relação ao comportamento térmico, hidrológico e grau de cobertura vegetal na cidade de Curitiba – PR. Foi realizado um experimento com seis modelos de telhados verdes, sendo três intensivos e três extensivos. O monitoramento ocorreu durante oito meses, registrando 21 eventos de precipitação, três eventos de aferição da temperatura e avaliação do grau de cobertura vegetal por meio de fotografias analisadas com o software ImageJ®. Os dados permitiram afirmar que para as condições climáticas do local é possível aumentar a retenção do escoamento em até 13%, reduzir a temperatura superficial inferior em até 4°C, além de aumentar o grau de cobertura vegetal em 17% em telhados verdes intensivos.

Palavras-chave: telhado verde intensivo, retenção de águas pluviais, escoamento de águas pluviais, controle de temperatura, temperatura superficial.

Abstract

Studies indicate that green roofs can improve thermal insulation and mitigate urban flooding. However, according to international studies, it could be enhanced using intensive covers with a thicker substrate cover. Considering the occurrence of floods in cities like Curitiba, Paraná, which also occur in other Brazilian climatic environments, we understand the need to create local data related to the topic since no national studies were found. This research aims to evaluate the effect that the increase of the substrate layer can have on the performance of green roofs concerning the thermal, hydrological behaviour and vegetation cover index in the city of Curitiba, Paraná. An experiment was carried out with six green roof prototypes, three intensive and three extensive. The monitoring took place over eight months, recording 21 precipitation events, three temperature measurement events and evaluation of the vegetation cover index using photographs analyzed with the ImageJ® software. We may conclude through the data gathered that, for the climatic conditions of the place, it is possible to increase runoff retention by up to 13%, to reduce the lower surface temperature by up to 4°C, and increase the vegetation cover index by 17% on intensive green roofs.

Keywords: intensive green roof, rainwater retention, rainwater runoff, temperature control, surface temperature.

How to cite this article:

CASAGRANDE, T.; TAVARES, S. F.; NOYA, M. G. Impacto de telhados verdes intensivos no desempenho térmico e hidrológico. **PARC Pesq. em Arquit. e Constr.**, Campinas, SP, v. 14, p. e023029, 2023. DOI:

<https://doi.org/10.20396/parc.v14i00.8670262>

Introdução

De acordo com a Organização das Nações Unidas (United Nations, 2019), a população mundial deve crescer em cerca de 2 bilhões de pessoas nos próximos 30 anos, o que demanda a construção de novas habitações, com a ampliação da infraestrutura nas

Submitted 26.06.2022 – Approved 29.05.2023 – Published 19.12.2023.

e023029-1 | **PARC Pesq. em Arquit. e Constr.**, Campinas, SP, v. 14, p. e023029, 2023, ISSN 1980-6809



grandes cidades. Juntamente com o crescimento, há a necessidade de impermeabilização do solo, fator associado à ocorrência de inundações. Uma das formas de mitigar a ocorrência de enchentes é por meio da incorporação de telhados verdes às edificações, já que parte da água fica retida no substrato e sistema de drenagem, evitando assim que todo o volume de água seja direcionado para os sistemas de drenagem e rios. Desta forma, o aumento da implementação de sistemas de telhado verde nos centros urbanos pode reduzir o escoamento superficial e evitar que o sistema de drenagem urbano fique sobrecarregado, assim como Speak, Rothwell, Lindley e Smith (2013) afirmam, a retenção anual de chuvas em Manchester poderia ser aumentada em 2,3% se 10% das edificações possuísem telhado verde.

Os benefícios ocasionados pela implantação de telhados verdes às edificações vêm sendo estudados há algum tempo; a mitigação de enchentes é apenas um entre eles. Capazes de também auxiliar no controle de temperatura interna das edificações, redução de ilhas de calor, melhorar a qualidade do ar e da água e, ainda, estimular a biodiversidade criando novos habitats de vida animal em ambientes urbanos ou recriando habitats que foram perdidos durante o desenvolvimento da cidade (GRO, 2014).

No Brasil, existem diversos estudos em relação à retenção de águas pluviais em telhados verdes (Bär, 2019; Lopes, 2018; SAVI, 2015; Tassi; Tassinari; Piccilli; Persch, 2014; Santos; Santos; Montenegro; Coutinho *et al.* 2013; BALDESSAR, 2012), porém, após a realização de uma revisão sistemática da literatura, foi possível constatar a inexistência de estudos no Brasil que tenham como objeto de pesquisa o uso de telhados verdes intensivos (Casagrande; Guaen Neto; Miller; Fonseca *et al.*, 2019). Os telhados verdes intensivos diferem dos extensivos por apresentarem maior profundidade da camada de substrato; são considerados intensivos quando possuem camada de substrato superior ou igual a trinta centímetros.

Fora do Brasil, diversas pesquisas apontam que telhados verdes intensivos possuem melhor desempenho em relação à retenção do escoamento de águas pluviais por conta de sua camada de substrato mais profunda. Mentens, Raes e Hermy *et al.* (2006) afirmam que a redução do escoamento superficial anual é fortemente determinada pela profundidade da camada do substrato, sendo que a capacidade de retenção de águas pluviais anual pode variar de 75% para telhados verdes intensivos a 45% para telhados verdes extensivos. Beecham e Razzaghmanesh (2015) realizaram um estudo experimental em que os dados de retenção pluvial foram comparados entre telhados verdes intensivos (espessura do substrato = 30cm) e extensivos (espessura do substrato = 10cm) e observaram que os telhados verdes intensivos puderam reter até 20% a mais de água da chuva.

Além da demanda por novas habitações implicar na impermeabilização do solo, a necessidade energética para suprir estas habitações irá aumentar. O setor da construção civil é responsável por um terço do consumo energético mundial (IEA, 2013), e, grande parte disso, se deve à necessidade de climatização de ambientes por aparelhos de ar condicionado (Berardi; Ghaffarianhoseini; Ghaffarianhoseini, 2014).

Neste sentido, telhados verdes também podem ser considerados uma forma de controle de temperatura interna, e, portanto, podem ajudar na redução do consumo de energia. Além disso, proporcionam a mitigação de ilhas de calor, redução na emissão de gases do efeito estufa através da fotossíntese e absorção de águas pluviais (Xiao; Lin; Han; Zhang, 2014).

Speak, Rothwell, Lindley e Smith (2013) afirmam que a temperatura superficial de uma laje com cobertura verde pode ser reduzida em até 1,58 °C em relação a que não a possui.

Enquanto que, Silva, Gomes e Silva (2016) comprovam que os telhados verdes extensivos exigem duas vezes mais energia anual do que os intensivos.

Levando em consideração que telhados verdes reagem de forma diferente de acordo com a condição climática (Scharf; Zluwa, 2017), vê-se a necessidade de estudos comparativos entre telhados verdes intensivos e extensivos para o clima brasileiro. Possibilitando, assim, examinar a diferença de desempenho entre um sistema e outro para as condições climáticas da região de Curitiba.

Desta forma, este estudo busca explorar o uso de telhados verdes intensivos. Especificamente, de modo a verificar quanto é possível melhorar o percentual de retenção de águas pluviais e a diferença entre as temperaturas superficiais superior e inferior quando a profundidade da camada de substrato é aumentada, potencializando seu efeito na mitigação de enchentes e redução do consumo energético. Também foi monitorado se houve diferença no grau de cobertura vegetal das espécies consorciadas, tendo como objetivo verificar se a absorção de nutrientes das espécies vegetais é influenciada quando a camada de substrato é aumentada.




Fundamentação

Classificação dos telhados verdes

Telhados verdes são coberturas nas quais é feito o plantio de vegetação, e estes podem ser construídos de diferentes formas. O tipo de substrato e vegetação utilizada deverão ser pensados singularmente para cada tipo de cobertura, pois os telhados verdes podem ser instalados tanto em coberturas planas como em inclinadas (Cantor, 2008).

As coberturas verdes são classificadas em extensivas, semiextensivas e intensivas. E isso, diz respeito a diferença de espessura da camada de substrato, que irá variar conforme o tipo de espécie vegetal que será plantada. As classes são também diferenciadas em relação as variáveis peso, camada do substrato, manutenção, custo, espécies de plantas e irrigação (Quadro 1).

Quadro 1 - Classificação dos telhados verdes

Classificação	Telhado verde extensivo	Telhado verde semi intensivo	Telhado verde intensivo
Imagem descritiva			
Manutenção	Baixa	Periodicamente	Alta
Irrigação	Não	Periodicamente	Regularmente
Tipo de plantas	Musgos; suculentas; herbáceas; gramíneas	Herbáceas; gramíneas; arbustos	Arbustos e árvores
Custo	Baixo	Médio	Alto
Peso	60-150 kg/m ²	120-200 kg/m ²	180-500 kg/m ²
Uso	Camada de proteção ecológica	Telhado verde projetado	Terraço jardim
Espessura substrato	60-150mm	150-300mm	>300mm

Fonte: adaptado de Besir e Cuce (2018).

De acordo com Besir e Cuce (2018), os telhados extensivos são utilizados com maior frequência devido à menor carga aplicada e ao menor custo, porém, substratos de crescimento mais profundos oferecem maiores possibilidades na escolha da vegetação.

Componentes

Um telhado verde é composto por diferentes camadas, que podem variar conforme necessidade ou função. As camadas básicas que o compõe são as seguintes: vegetação, meio de crescimento (substrato), filtro, camada de drenagem, camada antirraiz e impermeabilização (Figura 1).

Figura 1 - Componentes do telhado verde



Fonte: Casagrande (2020).

Normalmente, a primeira escolha a ser feita para a implantação de um telhado verde é a vegetação, pois esta pode determinar o seu sucesso ou fracasso levando em conta a adaptação ao clima. O substrato é o meio de crescimento para o enraizamento das plantas de modo a fornecê-las ar, água e níveis de nutrientes necessários para sobrevivência (GRO, 2014). Sua profundidade dependerá da espécie escolhida para plantio, pois plantas de maior porte exigem um meio de crescimento mais profundo para se desenvolverem. O filtro tem como objetivo evitar que sedimentos sejam infiltrados na camada de drenagem e obstruam o fluxo de escoamento da água (GRO, 2014). Para funcionar corretamente, a camada de drenagem deve permitir o escoamento do excesso de água, evitando assim o acúmulo de água no substrato. As camadas de drenagem também podem incorporar células de armazenamento de água, para reter água adicional que pode ser difundida para a camada de suporte da planta durante períodos prolongados de seca (Guideline [...], 2018). A camada antirraiz é uma membrana que protege permanentemente a cobertura do telhado, impedindo que as raízes das plantas cresçam através dele, auxiliando também na proteção da impermeabilização, que além de protegida, deve ser bem executada para que não ocorram problemas de infiltração no espaço interno da edificação.

Método

Neste estudo, foi seguido o delineamento experimental, pois o objetivo da pesquisa era comparar o desempenho de um telhado verde intensivo com um extensivo, em termos de controle de temperatura superficial, percentual de retenção de água e grau de cobertura vegetal. O experimento consistiu na construção de três modelos em escala reduzida de telhado verde intensivo e três extensivos. Todos constituíram o mesmo tipo de drenagem, substrato e vegetação, variando apenas a espessura da camada de substrato, que é a unidade de análise.

Localização

O experimento foi realizado na cidade de Curitiba – Paraná, Brasil (coordenadas geográficas 25° 25' 42" Sul, 49° 16' 24" Oeste). O clima de Curitiba caracteriza-se como Cfb de acordo com a classificação climática de Köppen Geiger (Nitsche: Caramori; Ricce; Pinto, 2019). Sendo assim, Curitiba possui clima temperado, com temperatura anual média de 17°C; em janeiro 20,5° e em julho 13°C, com precipitação anual de 1550mm, concentrada principalmente nos meses de verão, e tendo como julho e agosto seus meses mais secos (Alvares; Stape; Sentelhas; Gonçalves *et al.*, 2013). Os modelos foram locados nas instalações da estação meteorológica do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), que está localizado no campus Centro Politécnico da Universidade Federal do Paraná (UFPR).

Construção dos modelos em escala reduzida

Para execução do experimento foram reutilizados modelos anteriormente construídos para realização de outro experimento já concluído. Os modelos foram desenvolvidos da seguinte forma:

O projeto arquitetônico foi concebido em 3 módulos duplos, com duas caixas de 50cm x 100cm cada, sendo que 2 módulos contêm quatro caixas mais rasas, com 15cm de altura, para utilização do sistema extensivo, e 1 módulo com duas caixas de 30 cm de altura, para o cultivo semiextensivo, totalizando 6 caixas. Cada módulo tem uma inclinação de 3%, para garantir o escoamento da água precipitada (Lopes, 2018).

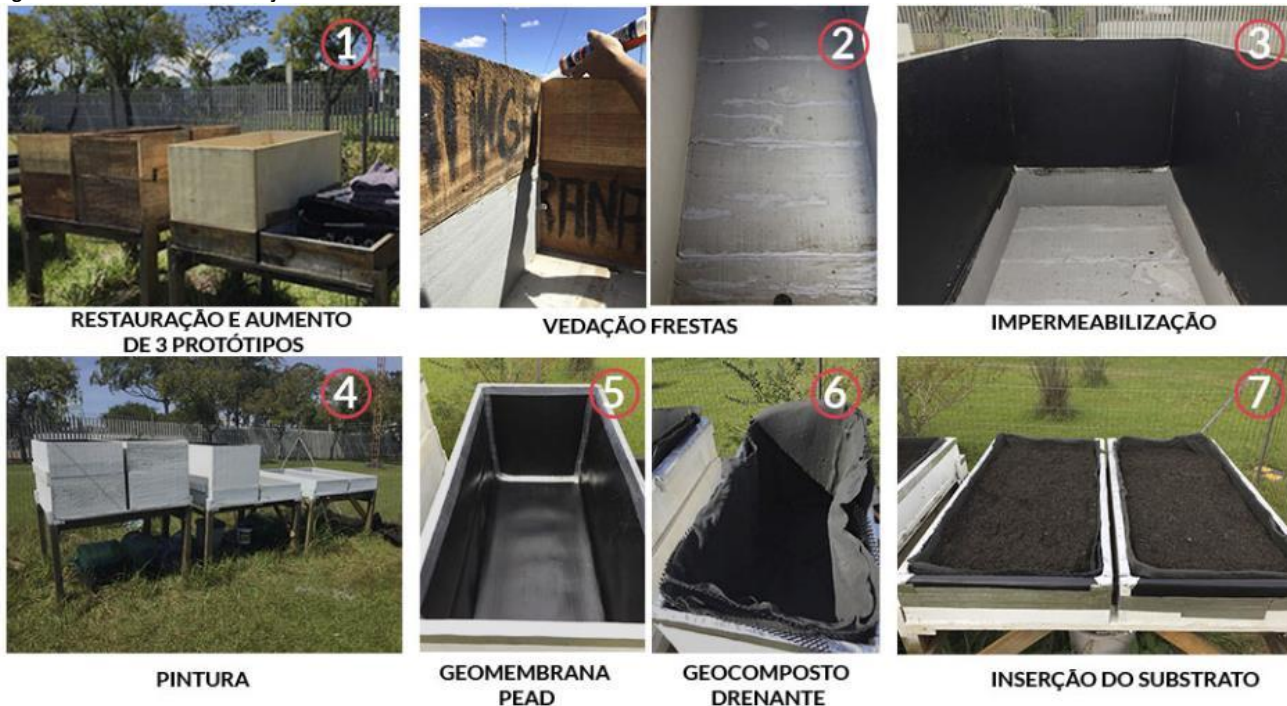
De acordo com Lopes (2018), os modelos foram construídos com madeira reaproveitada de *pallets*, sendo estes feitos de *Pinus ellioti*. Foi feita a desmontagem dos *pallets*, corte das peças e confecção das caixas com junções executadas com pregos e parafusos. Após a construção, foi feita a vedação das frestas com material selante acrílico e a aplicação de borracha líquida da marca *Impertech*® para impermeabilização das caixas. Para o escoamento da água, foi feito um furo em cada caixa para encaixe de um cano de PVC 3/4". Como havia desnível no terreno, foi necessária a execução de sapatas niveladoras de concreto para manter as caixas em nível, garantindo assim a inclinação de 3% para o escoamento da água.

Para a execução desta pesquisa, foi necessário restaurar e aumentar dos caixotes, para que o experimento com telhados verdes intensivos fosse possível. Três modelos tiveram sua profundidade aumentada de 30 para 55 cm; para que assim tivéssemos três modelos de telhado verde intensivo e três de telhado verde extensivo. Após o término do restauro e aumento dos caixotes, foi feita a vedação das frestas com material selante acrílico, impermeabilização com borracha líquida da marca *Impertech*® na parte interna e pintura com tinta *Lukspiso acrílico premium* da marca *Lukscolor*® na parte externa. A escolha da tinta se deve à sua alta durabilidade e resistência às intempéries, além de bom custo-benefício.

Após finalização do restauro dos caixotes, estes foram forrados com geomembrana de polietileno de alta densidade (PEAD) doada pela empresa *Diprotec*®. De acordo com o fabricante, estas geomembranas são mantas laminadas flexíveis, que apresentam excelente performance quando utilizadas como revestimento impermeabilizante (DIPROTEC, 2019). Para as emendas da membrana a fita impermeabilizante tapa tudo da marca *Quartzolit*® foi utilizada. Com a geomembrana instalada, o furo para drenagem foi executado, e então, a manta de geocomposto drenante foi inserida, também da marca *Diprotec*®. O geocomposto drenante possui função de filtrar a água presente na terra e drená-la através de seu núcleo, formado por pequenos canais onde ocorrem os

escoamentos dos fluidos (DIPROTEC, 2019). Após a inserção das mantas, os modelos estavam prontos para receber o substrato e a vegetação. O processo de restauração dos modelos pode ser verificado na Figura 2, em que são indicados os passos conforme foi descrito.

Figura 2 - Processo de restauração dos modelos



Fonte: Casagrande (2020).

Após finalizar o restauro, os modelos ficaram com as dimensões conforme ilustrado na Figura 3.

Figura 3 – Detalhamento dos modelos



Fonte: Casagrande (2020).

O substrato foi inserido no dia 04 de maio de 2019, composto de casca de arroz carbonizada e casca de pinus triturada (1:1). Após a inserção do substrato, verificou-se a altura da camada. Os modelos de telhados verdes intensivos ficaram com 46 centímetros de altura de camada de substrato e os de telhados verdes extensivos com 10 centímetros de altura.

O plantio da vegetação foi realizado em 13 de maio de 2019 e, no mesmo dia, iniciou-se o monitoramento dos modelos, não sendo realizada rega neste primeiro momento. Foram escolhidas duas espécies para plantio em consórcio de metabolismo CAM (metabolismo ácido das crassuláceas). De acordo com Taiz, Zeiger, Moller e Murphy (2017) as plantas com metabolismo CAM abrem os estômatos à noite para permitir a entrada de gás carbônico e fecham durante o dia para evitar a perda de água por transpiração. Neste contexto, espécies com este tipo de metabolismo são indicadas para telhados verdes quando há o intuito de retenção pluvial. As espécies escolhidas foram o *Sedum acre* e a *Lampranthus productus* (Figura 4), plantadas intercaladamente. A quantidade de mudas foi calculada pela área de superfície da camada de substrato, foram utilizadas 1,5 caixas por m².

Figura 4 - *Sedum acre* e *Lampranthus productus*



Fonte: Terral (2015); Braga (2018).

Avaliação do grau de cobertura vegetal

O bom desenvolvimento da vegetação é um indicador de sucesso na implantação do telhado verde. Desta forma, o grau de cobertura vegetal foi analisado a partir de fotografias, feitas com o uso de um suporte que possibilitava o acoplamento do celular com câmera (12mp) e que permitiu que as fotos fossem tiradas sempre da mesma posição. O suporte foi desenvolvido por Noya (2018) e é composto de uma estrutura de canos de policloreto de vinila (PVC) (20 mm) adaptada ao modelo de construção e fixada sobre o quadrante, com altura de 90 cm.

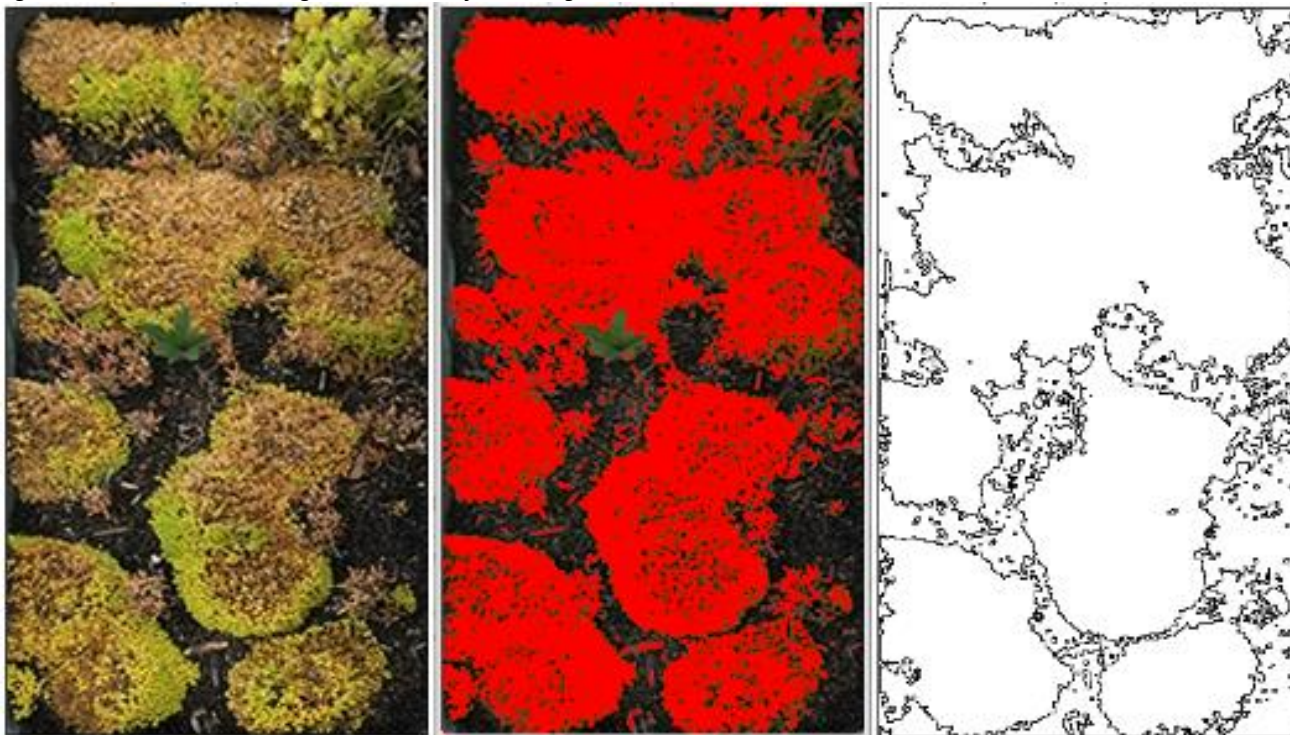
As visitas para a avaliação do grau de cobertura das espécies foram efetuadas a cada 15 dias no primeiro mês, fase em que há maior desenvolvimento da vegetação, e, posteriormente, a cada 20 dias. O desenvolvimento da cobertura vegetal foi analisado visualmente para estudo do comportamento vegetal frente às condições climáticas às quais foram submetidas e por meio do software *ImageJ*®, um software de análise de imagens que permite verificar o percentual de cobertura vegetal em cada modelo (Figura 5).

Controle de escoamento

Para monitoramento e controle do escoamento das águas pluviais foram instalados galões graduados para medição da quantidade de água escoada, assim revelando o percentual de escoamento. As visitas aos modelos eram realizadas logo que os eventos de precipitação cessavam, e, então, a leitura de cada galão era feita e os dados coletados inseridos em uma planilha. Em casos em que o volume de chuva era muito grande, e

houve transbordamento, o evento era descartado. Para cálculo do percentual de retenção, os dados do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) foram utilizados como parâmetro para comparação da quantidade total de precipitação ocorrida, visto que os modelos estão localizados dentro da estação meteorológica. O método de tratamento dos dados foi por meio de tabulação. Cada modelo foi denominado conforme indicação na Figura 6, sendo diferenciados entre TVI (telhado verde intensivo) e TVE (telhado verde extensivo).

Figura 5 – Análise de cobertura vegetal através do software ImageJ®



Fonte: Casagrande (2020).

Figura 6 - Modelos montados e galão graduado



Fonte: Casagrande (2020).

Os dados do INMET são apresentados em milímetros, onde 1 mm equivale a 1 litro de precipitação por m² de área. Como cada modelo possui 0,5 m², a precipitação ocorrida é a metade do valor fornecido pelo INMET. A leitura nos galões foi feita em centímetros, e, então, estes valores foram convertidos para litros. Sabe-se que o galão possui capacidade de 20 litros e possui 37 cm de altura, então, calcula-se que 1,8 cm correspondem a 1 litro de água, sendo possível assim, calcular quantos litros estavam

no galão no momento da leitura. Desta forma, calculou-se o percentual de escoamento, e ao fazer a subtração tínhamos o valor de percentual de retenção. Os dados foram tabulados conforme Tabela 1.

Tabela 1 – Simulação de inserção de dados para controle de escoamento

Evento	Data	Precipitação		Mod.	Medição			
		INMET (em 1 m ²) (L)	Modelo (em 0,5m ²) (L)		Galão (cm)	Galão (L)	Perc. Esc. (%)	Perc. Ret. (%)
1	19/08/19	20,8	10,4	TVI 1	0,5	0,3	2,7%	97,3%
				TVI 2	1	0,6	5,3%	94,7%
				TVI 3	0	0,0	0,0%	100%
				TVE 1	8	4,4	42,7%	57,3%
				TVE 2	8,5	4,7	45,4%	54,6%
				TVE 3	4	2,2	21,4%	78,6%

Nota: Obs.: Perc.: Percentual; Esc.: Escoamento; Ret.: Retenção. Fonte: adaptado de Casagrande (2020).

Controle de temperatura

Os dados de temperaturas superficiais foram coletados por meio de termopares do tipo K, sendo medida a temperatura superficial do substrato e temperatura superficial na parte inferior dos caixotes. Estes termopares foram conectados a registradores de dados (*dataloggers*) do tipo TD890. Na parte superior, foram utilizados termopares específicos para o uso e posicionados sobre o substrato e plantas, já na parte inferior, o termopar foi fixado com pasta térmica para que não houvesse interferência de radiação ou outro efeito que possa alterar a temperatura captada (Figura 7).

Figura 7 – Termopares posicionados para medição da temperatura superficial superior e inferior



Fonte: Casagrande (2020).

Os dados foram coletados simultaneamente nos três modelos, em três eventos distintos, nos meses de setembro, novembro e dezembro. O primeiro evento teve duração menor que os demais, devido a um problema ocasionado no registrador de dados, durando apenas 48 horas. Já nos dois eventos seguintes foi possível realizar a medição durante 72 horas. O registrador de dados foi programado para registrar as temperaturas com um intervalo de uma hora. As informações coletadas pelos *dataloggers* foram transferidas para um computador e, após a primeira análise dos resultados, optou-se por utilizar a média das temperaturas superficiais entre os modelos com camada de substrato de mesma espessura, pois os dados estavam próximos, havendo variação máxima de apenas 1,5°C entre os modelos de TVI, o mesmo ocorria entre os modelos de TVE. Os dados brutos foram documentados por meio de planilhas

que continham a temperatura superior e inferior de cada modelo, captada a cada uma hora.

Após a inserção dos dados brutos, foi realizada a média entre as temperaturas de cada tipo de modelo, restando apenas uma temperatura superior e inferior correspondente a cada tipo de modelo (intensivo e extensivo).

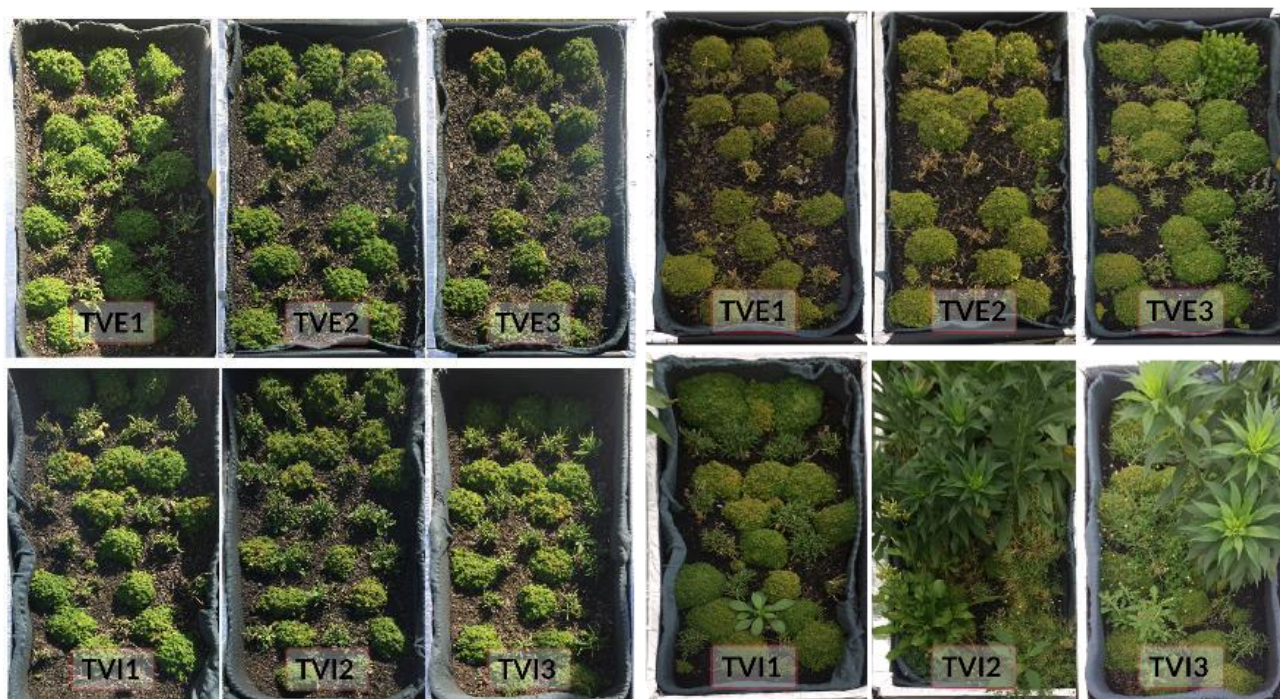
Com as médias das temperaturas, foram gerados gráficos com as temperaturas superficiais superiores e inferiores ao longo do dia, assim como das diferenças horárias entre essas temperaturas.

Resultados e discussões

Avaliação de cobertura vegetal

O monitoramento das espécies iniciou um mês após o plantio, no dia 13 de junho de 2019. As três primeiras colunas da Figura 8 ilustram a cobertura vegetal de cada modelo neste dia, e as três seguintes demonstram o grau de cobertura no dia 20 de agosto de 2019, em que é possível observar a incidência de espécies espontâneas nos telhados verdes intensivos 2 e 3, provavelmente trazidas por pássaros, ou, até mesmo, por estarem próximas a outras espécies no viveiro de onde foram adquiridas.

Figura 8 – Cobertura vegetal – 13/06/2019 versus 20/08/2019

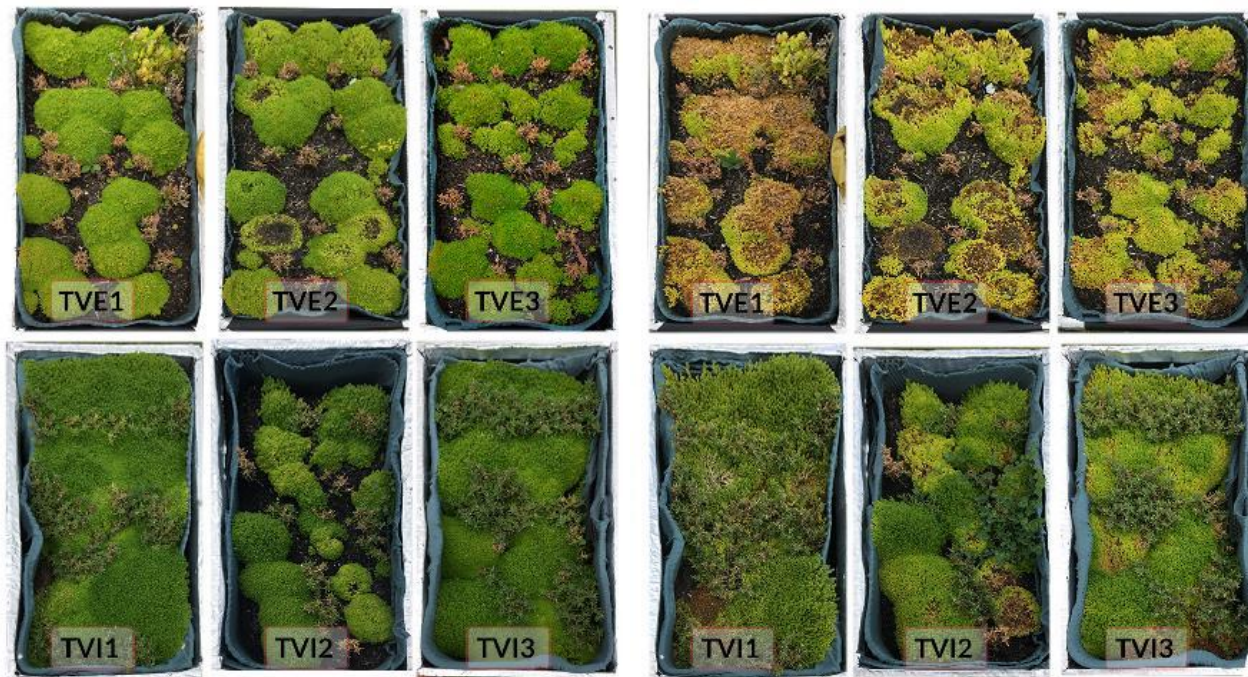


Fonte: Casagrande (2020).

As espécies espontâneas foram mantidas até o dia 10 de setembro de 2019, porém, notou-se diferença no percentual de retenção entre os modelos de telhado verde intensivo que apresentaram estas espécies, o que indicou a influência no desempenho do sistema em relação ao controle de escoamento. Desta forma, optou-se por removê-las, mantendo todos os modelos com as mesmas espécies plantadas inicialmente.

Até o dia 20 de dezembro de 2019 houve ótimo desempenho da espécie *Sedum acre* nos modelos de telhado verde intensivo 1 e 3, porém, observou-se piora no aspecto da cobertura vegetal em todos os modelos no dia 07 de janeiro (Figura 9). Isto pode ser explicado pelas altas temperaturas e estiagem no período decorrido.

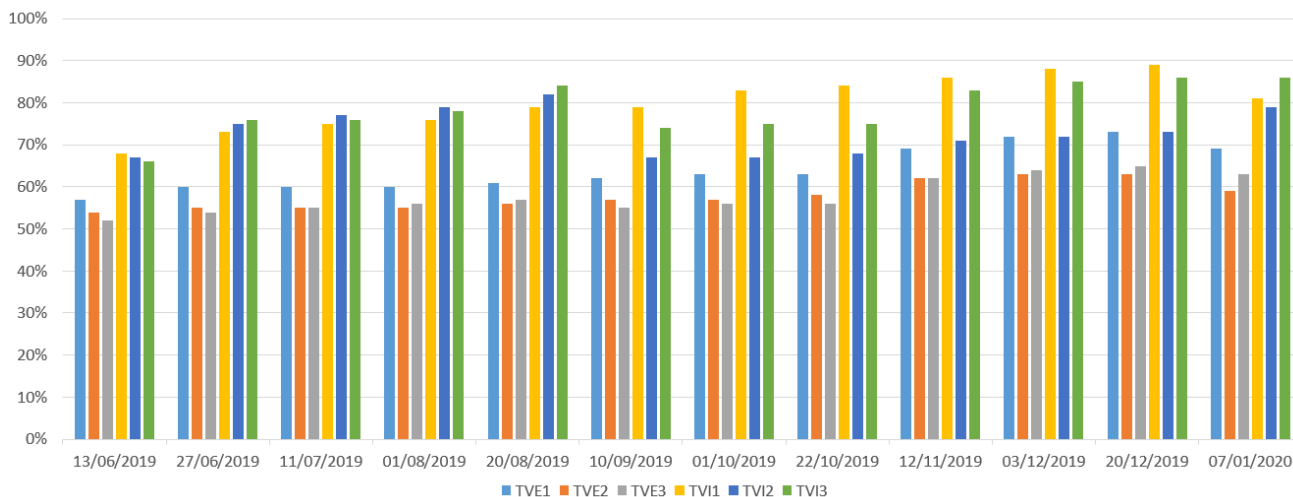
Figura 9 - Cobertura vegetal – 20/12/2019 versus 07/01/2020



Fonte: Casagrande (2020).

Então, foi extraído o percentual de cobertura vegetal para cada modelo em cada evento de monitoramento (Figura 10).

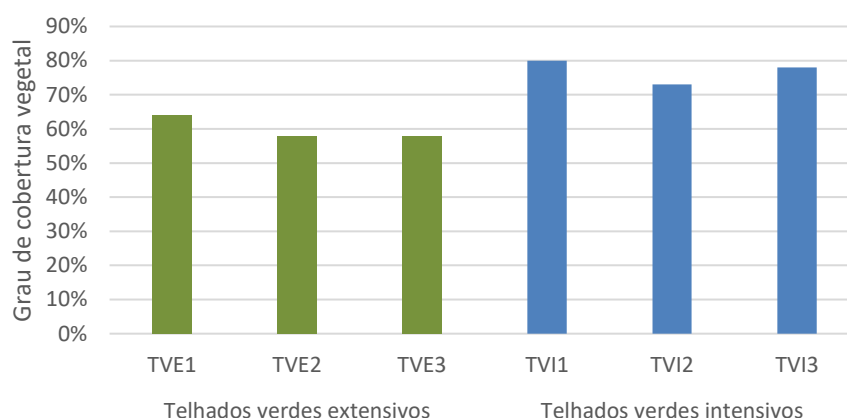
Figura 10 – Percentual de cobertura vegetal por meio de análise com o software ImageJ®



Fonte: os autores.

Analisando a Figura 10, é possível observar que houve aumento da cobertura vegetal em todos os modelos, porém, nos modelos de telhado verde intensivo o desenvolvimento das espécies foi superior, tendo um aumento de cobertura vegetal de até 20%. Enquanto nos telhados verdes extensivos, este valor foi de no máximo 12%. Realizando a média entre os eventos registrados (Figura 11), para cada modelo é evidenciado um índice de cobertura vegetal maior nos modelos de telhado verde intensivos.

Figura 11 – Média do percentual de cobertura vegetal por análise com o software ImageJ®



Fonte: os autores.

A partir da visualização das fotos e da análise do percentual de cobertura vegetal, podemos afirmar que as espécies vegetais se desenvolvem melhor em telhados verdes intensivos; constatamos que o índice de cobertura vegetal médio é 17% maior do que nos extensivos. A média de percentual de cobertura vegetal dos modelos de telhado verde intensivo é de 77%, enquanto a dos extensivos é de 60%.

O fato de a camada de substrato ser mais profunda, proporciona material fértil para as plantas, diminuindo a competição por absorção de nutrientes e possibilitando maior crescimento, o que explica maior grau de cobertura vegetal em telhados verdes intensivos.

O consórcio de *Sedum acre* e *Lampranthus productus* não foi bem-sucedido, visto que a segunda não se desenvolveu tão bem quanto a primeira. Apesar desta não ter apresentado aumento no grau de cobertura, a *Sedum acre* manteve-se em crescimento durante o monitoramento, sofrendo estresse hídrico apenas no final do experimento, quando foi exposta a altas temperaturas e falta de chuva no mês de dezembro. O fato de não ter sido realizada a rega em nenhum momento demonstra que o *Sedum acre* é uma espécie adequada para o uso em telhados verdes, havendo necessidade de irrigação apenas em períodos de mais de 30 dias com deficiência hídrica.

Controle de escoamento

O controle de escoamento foi monitorado de 13 de maio de 2019 a 02 de janeiro de 2020, fechando um total de 21 eventos ocorridos. Destes 21 eventos, três foram descartados pela ocorrência de transbordamento do galão coletor, totalizando 18 eventos válidos para análise. A Tabela 2 demonstra a precipitação ocorrida (dados INMET) e o percentual de retenção verificado nos modelos, em cada um dos eventos.

Para análise dos dados, foi feita a média do percentual de retenção total em cada modelo, verificando o desvio padrão da amostra de cada modelo (Figura 12).

Considerando o desvio padrão em cada amostra, é possível verificar um distanciamento muito grande da média no modelo de telhado verde extensivo 1 (TVE1). O fato de que este modelo estava muito próximo do TVI3, associado à orientação solar em que estão posicionados, ocasionou em sombra, o que fez com que não estivesse exposto às mesmas condições climáticas que os modelos TVE2 e TVE3. Sendo assim, optou-se por descartar os dados do modelo TVE1, considerando apenas os dois últimos modelos para gerar a média do percentual de retenção entre os modelos de telhado verde extensivo,

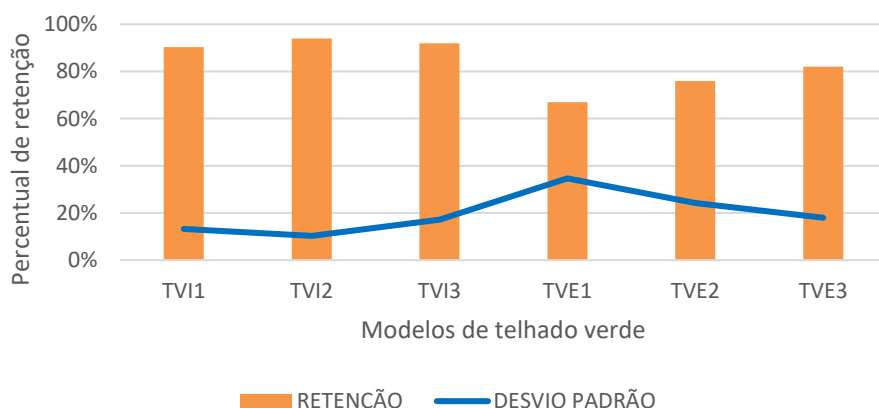
que pode ser verificada na Tabela 3, juntamente com a média entre os três modelos de telhado verde intensivo.

Tabela 2 – Precipitação ocorrida e percentual de retenção de águas pluviais em cada modelo por evento

Evento	Data	PRECIP. INMET (mm)	Percentual de retenção					
			TVI1	TVI2	TVI3	TVE1	TVE2	TVE3
1	17/05/19 a 19/05/19	20	78%	86%	31%	3%	58%	72%
2	23/05/19 a 24/05/19	21,1	68%	66%	87%	53%	47%	34%
3	15/07/2019	2,1	100%	100%	100%	100%	100%	100%
4	02/08/2019	2,6	100%	100%	100%	79%	100%	100%
5	19/08/2019	10,4	97%	95%	100%	57%	55%	79%
6	23/08/2019	3	100%	100%	100%	100%	100%	100%
7	31/08/19 a 01/09/19	26,5	77%	100%	83%	41%	60%	69%
8	18/09/19 a 19/09/19	27,9	81%	92%	90%	32%	38%	46%
9	14/10/2019	12,4	100%	100%	100%	100%	100%	100%
10	21/10/2019	3	100%	100%	100%	100%	100%	100%
11	28/10/2019	13	79%	91%	91%	44%	49%	79%
12	03/11/19 a 05/11/19	6,7	100%	100%	100%	92%	92%	100%
13	10/11/2019	14,8	85%	92%	96%	40%	62%	70%
14	14/11/2019	5	100%	100%	100%	100%	100%	100%
15	05/12/2019	21	60%	71%	79%	7%	42%	50%
16	16/12/2019	5,9	100%	100%	100%	100%	100%	100%
17	21/12/2019	2,4	100%	100%	100%	100%	100%	100%
18	02/01/2020	9,3	100%	100%	100%	64%	70%	82%

Fonte: adaptado de Casagrande (2020).

Figura 12 – Média do percentual de retenção e desvio padrão considerando a amostra total de cada modelo



Fonte: os autores.

Tabela 3 – Média do percentual de retenção entre modelos de mesma classificação

Média do percentual de retenção tvi x tve	
Telhado verde intensivo	Telhado verde extensivo
92%	79%

Fonte: Casagrande (2020).

A comparação entre os valores de média de percentual de retenção entre os modelos com diferentes camadas de substrato permite estimar que telhados verdes intensivos podem reter até 13% a mais de água da chuva comparado aos extensivos, para o clima de Curitiba.

Para uma análise comparativa, buscou-se resultados levantados por outras pesquisas. Beecham e Razzaghmanesh (2015) afirmam que um telhado verde intensivo com camada de substrato igual a 30 centímetros pode chegar a um percentual de retenção de até 89,6%. Embora este estudo tenha sido conduzido em Adelaide, Austrália, que possui clima Csa de acordo com a classificação de Köppen Geiger, existe proximidade de resultados.

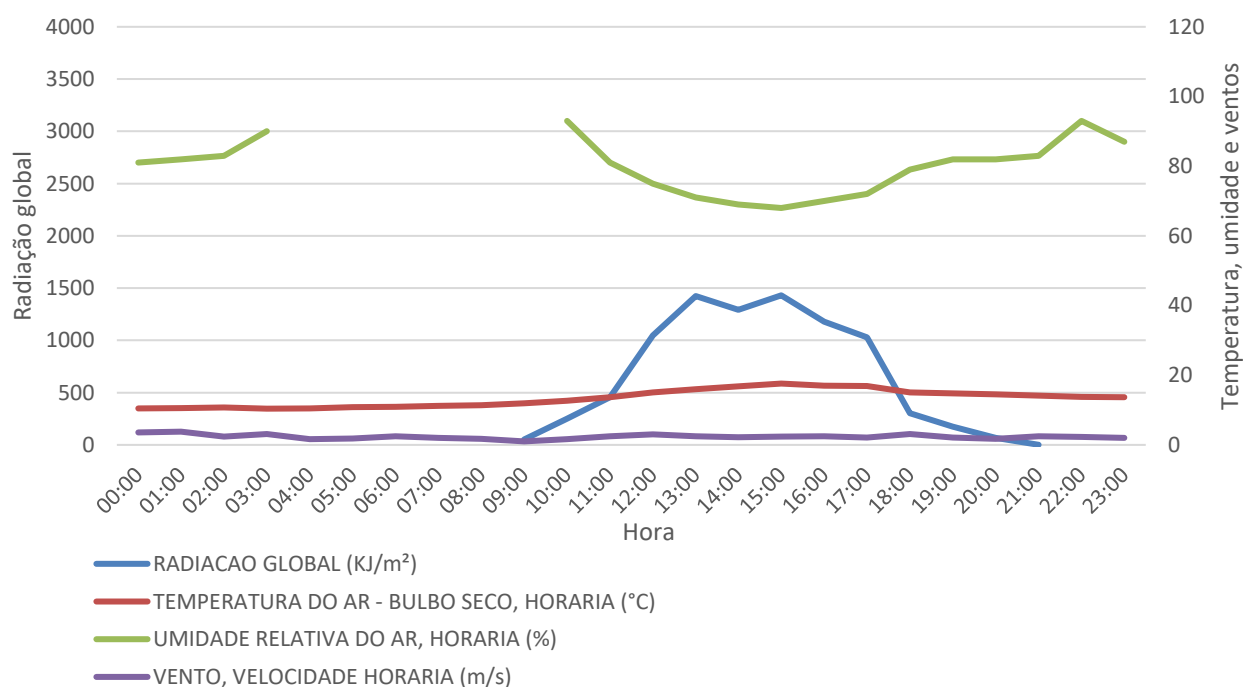
Outro estudo pode ser mais bem comparado, pois considera uma localidade com a mesma classificação climática de Curitiba (Bruxelas – Bélgica). Neste artigo, os autores avaliaram um telhado verde intensivo com espessura de camada de substrato igual a 35 centímetros, constatando que este pode reter até 85% de água da chuva (Mentens; Raes; Hermy, 2006). Considerando que a camada de substrato avaliada neste estudo possui 46 centímetros, era esperado que o percentual de retenção fosse maior, como foi o caso.

Controle de temperatura

O monitoramento da temperatura superficial iniciou no dia 23 de setembro de 2019 e foi realizado em três eventos, o primeiro ocorreu de 23 a 25 de setembro de 2019, o segundo de 18 a 21 de novembro de 2019 e o terceiro de 20 a 23 de dezembro de 2019.

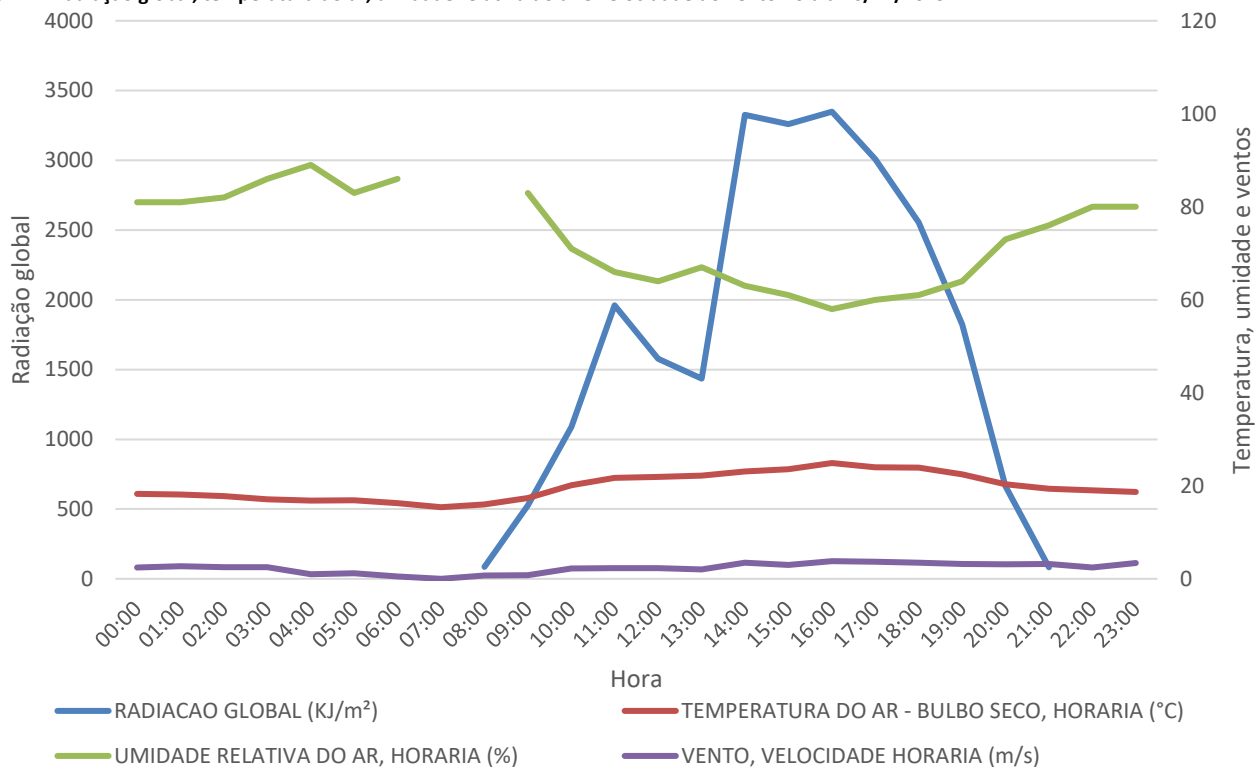
Conforme já mencionado no método, foi definido que a análise seria feita por meio da média dos dados de temperatura superficial superior e inferior entre os modelos de telhado verde intensivo e extensivo, além de verificar a diferença entre a temperatura superior e inferior em cada modelo. A partir disso, optou-se por criar gráficos com dados gerados durante 24h, visto que os termopares apresentaram problemas em alguns pontos dos eventos, não gravando as temperaturas de forma constante, por todo o período de monitoramento. Foi selecionada uma amostra de um dia por evento para geração de gráficos e visualização dos resultados, sendo estes os dias 24/09/2019, 20/11/2019 e 23/12/2019. Para efeito comparativo, os dados de radiação global, temperatura do ar, umidade do ar e velocidade dos ventos nos dias de monitoramento podem ser verificados nas Figuras 13, 14 e 15.

Figura 13 – Radiação global, temperatura do ar, umidade relativa do ar e velocidade do vento no dia 24/09/2019



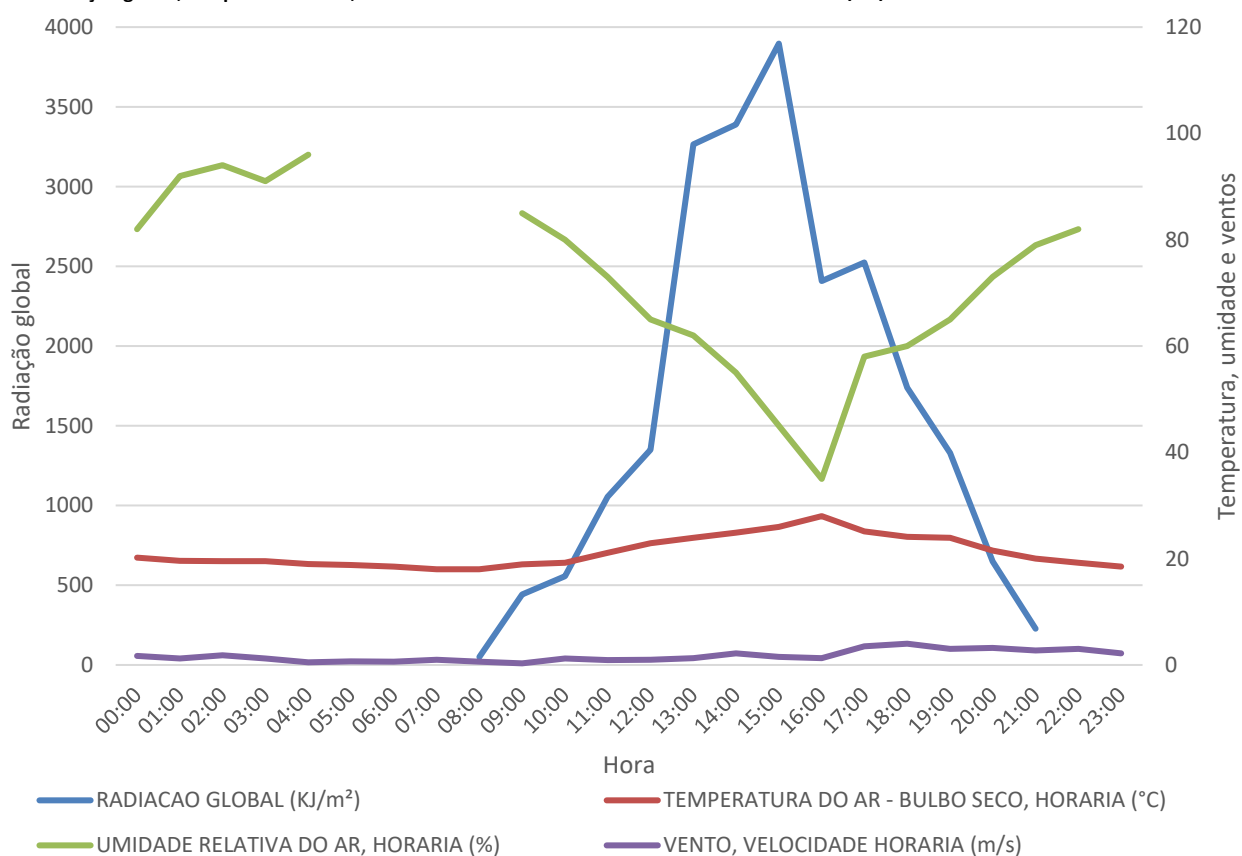
Fonte: os autores, com base de dados de INMET (2022a).

Figura 14 – Radiação global, temperatura do ar, umidade relativa do ar e velocidade do vento no dia 20/11/2019



Fonte: os autores, com base de dados de INMET (2022a).

Figura 15 – Radiação global, temperatura do ar, umidade relativa do ar e velocidade do vento no dia 23/12/2019

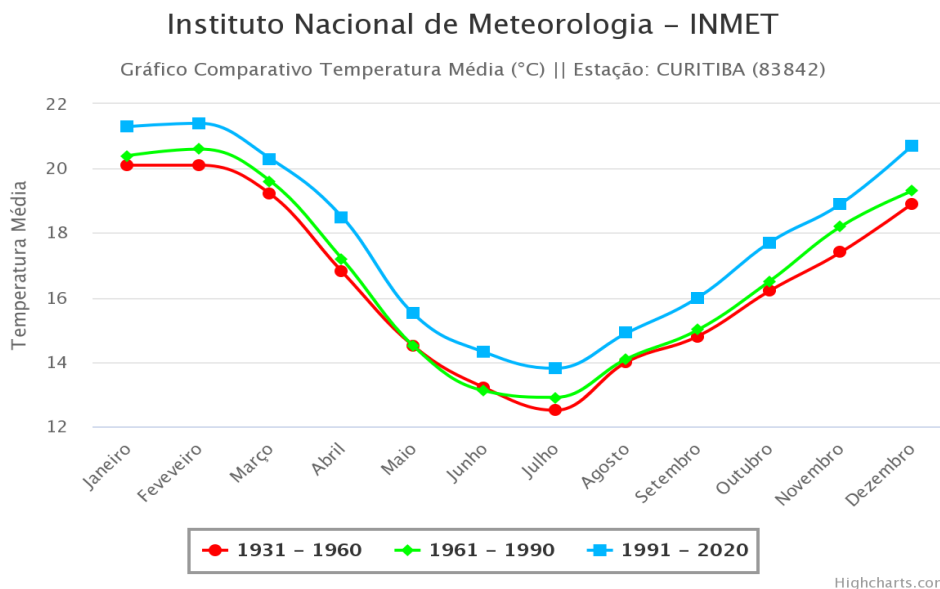


Fonte: os autores, com base de dados de INMET (2022a).

Além dos dados de radiação global, temperatura do ar, umidade do ar e velocidade dos ventos nos dias de monitoramento, também é importante avaliar as normais climatológicas do local, assim é possível verificar se os dias monitorados são típicos ou atípicos.

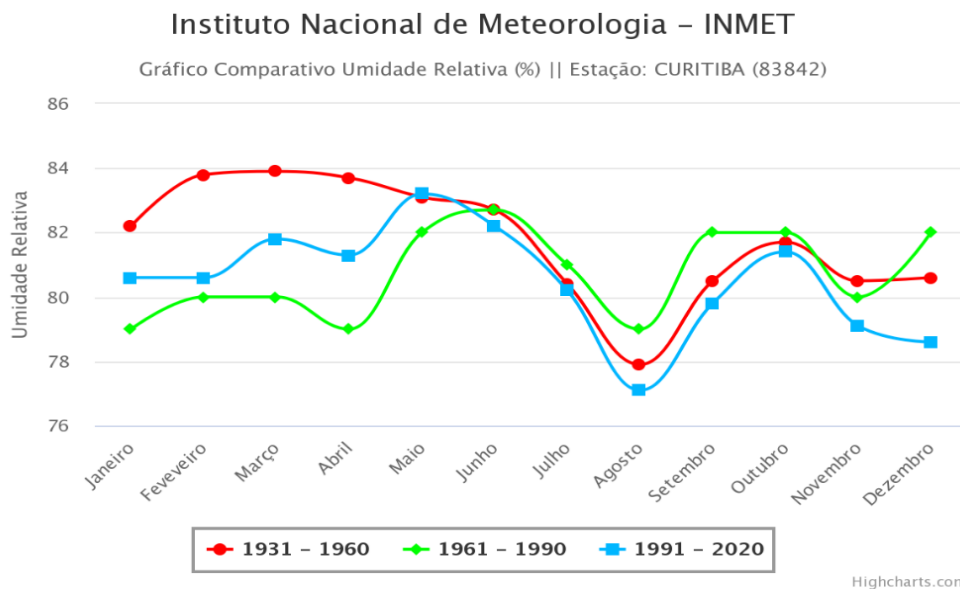
Os dados das normais climatológicas disponibilizados pelo INMET que podem ser avaliados para o nosso cenário, são os de temperatura média e umidade relativa do ar (Figuras 16 e 17).

Figura 16 – Normais climatológicas de temperatura média para a cidade de Curitiba-PR



Fonte: INMET (2022b).

Figura 17 – Normais climatológicas de umidade relativa do ar para a cidade de Curitiba-PR



Fonte: INMET (2022b).

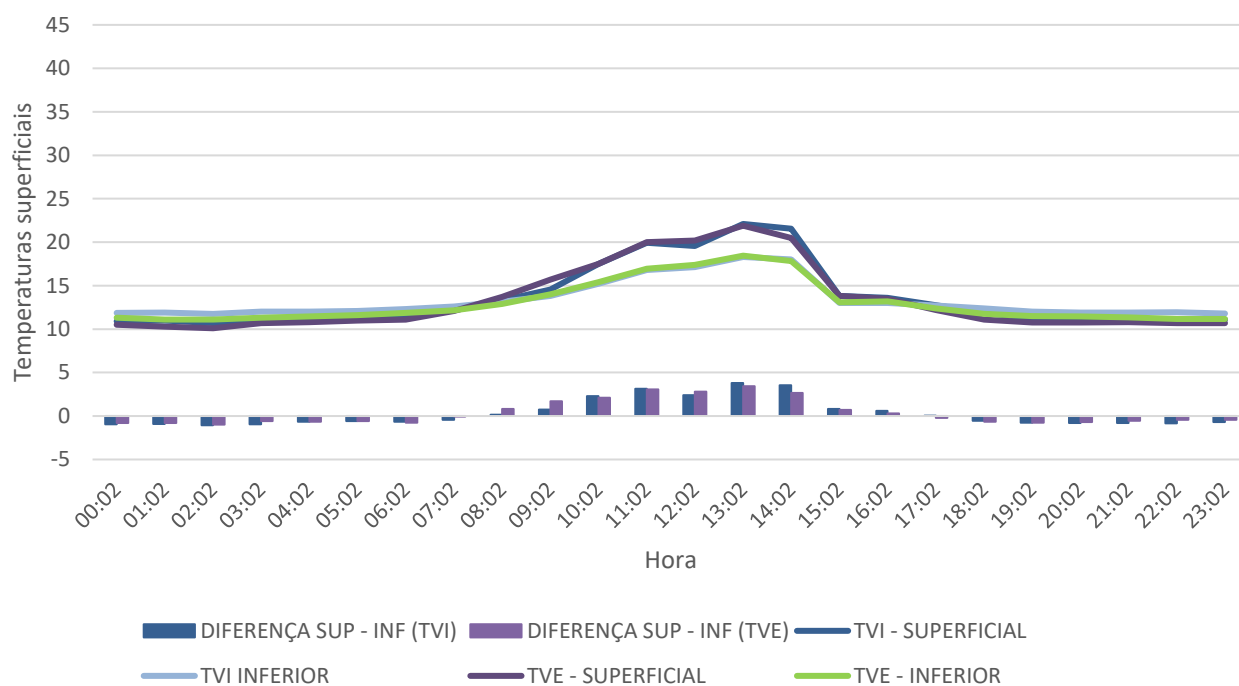
Analisando as normais climatológicas para os meses de setembro, novembro e dezembro, e comparando-as com os dados das Figuras 13, 14 e 15, foi possível perceber que as variáveis em questão estavam dentro da normalidade, exceto a umidade relativa do ar para o dia 23/12/2019, que se mostrou bem abaixo da média no período da tarde.

Os eventos 1, 2 e 3 podem ser observados nas Figuras 18, 19 e 20, respectivamente. As linhas representam as temperaturas médias registradas em um intervalo de uma hora e as colunas indicam a variação entre a temperatura superior e a inferior para cada modelo.

Ao analisar os dados registrados pelo INMET, constatamos que os três eventos apresentam comportamentos climáticos distintos, permitindo assim verificar o desempenho dos modelos de telhado verde em cada condição climática.

O evento 1 demonstra menor radiação global em relação aos demais, sugerindo a predominância de céu encoberto, o que resulta em temperaturas superficiais mais próximas dos dados de temperatura do ar do INMET. Por outro lado, os eventos 1 e 2 apresentaram médias de temperatura superficial maiores do que a temperatura do ar, o que pode ser explicado pela radiação global que varia entre 3000 e 4000KJ/m², uma vez que as temperaturas inferiores estavam mais próximas da temperatura do ar.

Figura 18 – Evento 1: Média de temperaturas e diferença entre as temperaturas superficiais e inferiores durante 24h



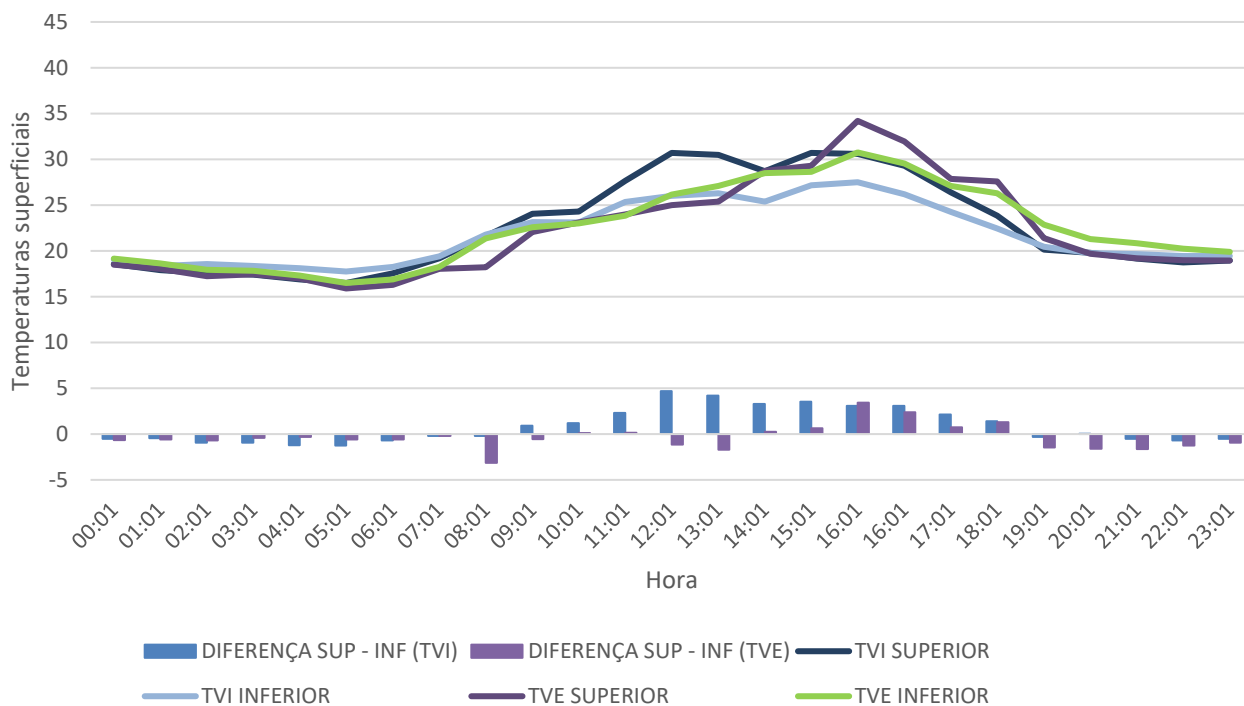
Fonte: com base em Casagrande (2023).

Percebeu-se que quando as temperaturas estão mais altas e sobem em um intervalo de tempo menor, a diferença entre a temperatura superficial superior e inferior é maior, indicando que a temperatura embaixo do telhado verde se mantém mais estável e não sofre tanto com o aumento da temperatura externa. Já quando as temperaturas são mais baixas e estáveis, os valores de diferença entre a temperatura superior e inferior ficam mais próximos, não demonstrando variação significativa.

A tendência mostrada por um maior período de tempo é que, quando as temperaturas superiores estão mais altas, as inferiores se mantêm mais estáveis, e quando as temperaturas superiores ficam mais baixas, as inferiores se mantêm com valores mais próximos das superiores ou abaixam em uma escala menor. Contudo, no evento 2 (Figura 19) foram verificadas temperaturas inferiores mais altas que as superiores nos modelos de telhado verde extensivo, mesmo em períodos mais quentes, enquanto que, nos intensivos, as temperaturas inferiores mostram-se mais altas apenas quando há queda na temperatura superior. No maior pico de temperatura superior registrada no

telhado verde intensivo (ao meio dia), a diferença de temperatura superior-inferior foi de 4°C, enquanto que, no extensivo, a temperatura inferior mostrou-se maior que a superior, registrando uma diferença de temperatura superior-inferior negativa.

Figura 19 – Evento 2: Média de temperaturas e diferença entre as temperaturas superficiais e inferiores durante 24h



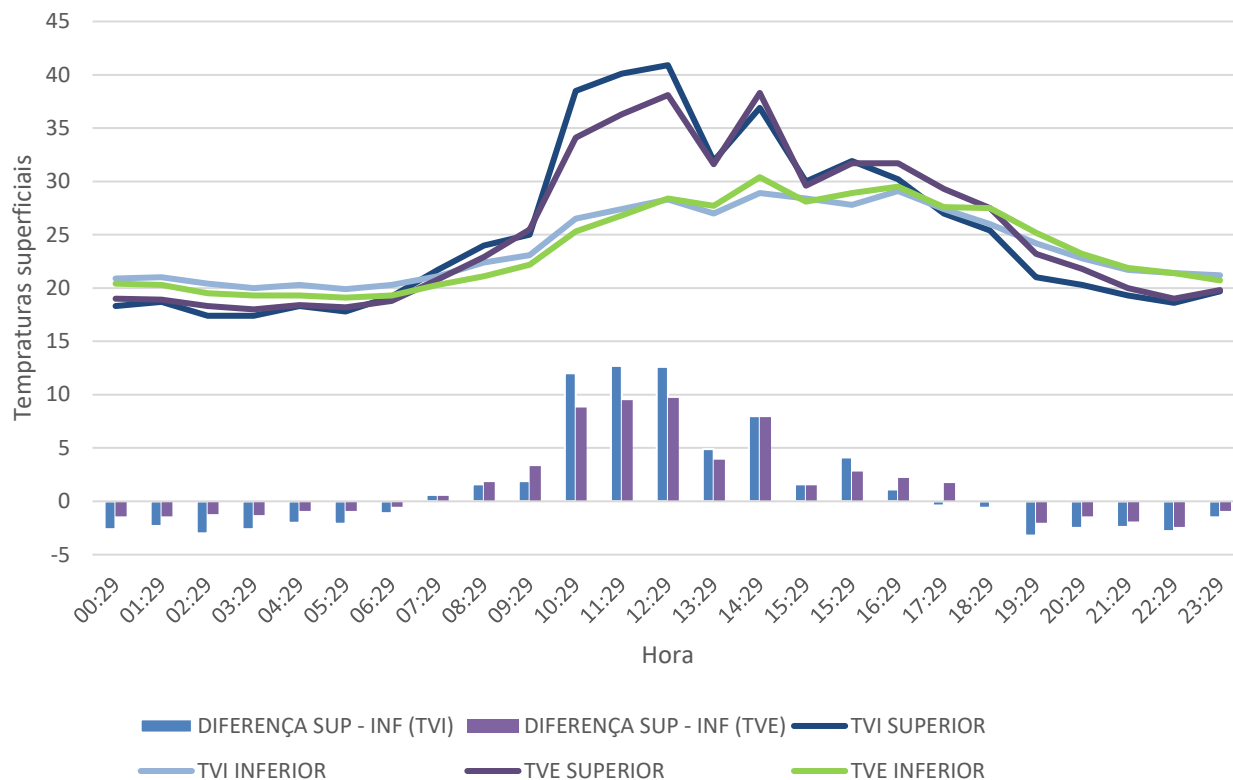
Fonte: com base em Casagrande (2023).

É possível comparar os resultados do evento 2 com um estudo de caso conduzido em Hong Kong, pois este apresentava a mesma temperatura média superficial no período de monitoramento, sendo esta 22°C (Xiao; Lin; Han; Zhang, 2014). Neste estudo, foram medidas as diferenças de temperatura entre a superfície de um edifício com telhado verde e a superfície do teto das salas localizadas logo abaixo da cobertura. Foi verificada uma diferença média entre as temperaturas superiores e inferiores de 4°C no telhado verde intensivo, enquanto no extensivo esta diferença foi de 2°C, valores que podem ser observados no evento 2.

Nos dias mais quentes, o telhado verde intensivo apresentou desempenho superior (Figura 20), a variação medida foi de até 12°C entre a temperatura superior e inferior, enquanto no telhado verde extensivo esta diferença foi de 8°C.

Outro estudo que demonstra valor de diferença de temperatura superior-inferior, dentro da faixa visualizada para o evento 3, foi conduzido em uma simulação utilizando ENVI-met e EnergyPlus, considerando como parâmetro a cidade de Paris, que possui a mesma classificação climática de Curitiba, de acordo com a classificação de Köppen Geiger. Morakinyo, Kalan, Dahanayake, Ng et al. (2017) verificaram que um telhado verde intensivo com espessura de substrato igual a 70 cm pode apresentar até 7°C de diferença de temperatura superior-inferior.

Figura 20 – Evento 3: Média de temperaturas e diferença entre as temperaturas superficiais e inferiores durante 24h



Fonte: com base em Casagrande (2023).

Os dados do INMET para o evento 3 demonstram as maiores temperaturas em comparação com os outros eventos, além de registrar uma umidade relativa do ar abaixo de 40% durante a tarde. Esses dados podem ser relacionados com as informações coletadas neste dia, como mostrado na Figura 20, que indica um aumento na temperatura superficial superior durante esse período. Esse aumento pode ser explicado pela alta radiação e baixa umidade no dia em questão.

Analisando os gráficos de modo geral, é possível observar que na maior parte do tempo os telhados verdes intensivos se mostram mais efetivos do que os extensivos. Porém, não há diferença de temperatura significativa entre os intensivos e extensivos em períodos frios, em que ambas se mantêm mais constantes e na mesma faixa de variação. Nestes períodos, a diferença entre as temperaturas superiores e inferiores foi muito baixa em ambos os modelos, variando no máximo 1°C. Além disso, a comparação entre extensivo e intensivo na diferença de temperatura superior-inferior se mostrou ainda mais baixa, variando no máximo 0,5°C.

Nos picos mais altos das temperaturas superficiais foi possível verificar uma diferença de até 4°C na temperatura inferior entre o telhado verde intensivo e extensivo, sendo o extensivo o que apresenta a menor variação de temperatura superior-inferior.

Embora não tenham sido encontrados estudos experimentais em locais com o mesmo clima de Curitiba, os resultados de temperatura encontrados na literatura parecem se assemelhar aos dados coletados nesta pesquisa, mostrando uma diferença média de 2°C nas diferenças de temperatura superior-inferior entre telhados verdes intensivos e extensivos.

Conclusão

O desenvolvimento do trabalho mostrou-se satisfatório em relação à contribuição para a comunidade científica, trazendo dados de comparação entre telhados verdes intensivos e extensivos a nível nacional. Assim, foi possível constatar que camadas de substrato mais profundas podem exercer efeitos positivos no desempenho de telhados verdes.

Em relação ao desenvolvimento das espécies, percebeu-se que camadas de substrato mais profundas influenciam no grau de cobertura vegetal, pois os modelos de telhado verde intensivo apresentaram um índice de cobertura 17% maior comparado aos extensivos. Embora o consórcio de *Sedum acre* e *Lampranthus productus* não tenha sido bem-sucedido, a espécie *Sedum acre* apresentou melhor desenvolvimento durante maior parte do monitoramento. O fato de não ter sido realizada a rega em nenhum momento demonstra que o *Sedum acre* é uma espécie adequada para o uso de telhados verdes, havendo necessidade de irrigação apenas em períodos de estiagem.

A retenção do escoamento superficial apresentou resultado esperado em relação ao objetivo da pesquisa, demonstrando que telhados verdes intensivos possuem desempenho superior aos extensivos em relação à retenção de águas pluviais para o clima de Curitiba. A média do percentual de retenção foi de 92% para os modelos de telhado verde intensivo, enquanto os extensivos apresentaram uma média de 79%.

Embora ainda existam poucos dados referentes ao desempenho hidrológico de telhados verdes intensivos, notou-se semelhança entre os dados de pesquisas estrangeiras que foram conduzidas em cidades com o clima semelhante ao de Curitiba. Tendo sido observado uma faixa de diferença no percentual de retenção entre intensivos e extensivos de aproximadamente 20%, a partir de análise de bibliografia levantada em revisão sistemática de literatura (Casagrande; Guaen Neto; Miller; Fonseca, *et al.*, 2019).

Isso demonstra que o uso de telhados verdes pode ser um grande aliado no combate a enchentes, problema recorrente na cidade de Curitiba, sendo que o retardo do escoamento pode ainda ser potencializado com o uso de telhados verdes intensivos.

No que diz respeito ao controle de temperatura, verificamos uma tendência de que o uso de telhados verdes possa ser mais efetivo em climas mais quentes, pois as trocas de calor foram menores quando as temperaturas alcançavam o pico mais alto do dia. Neste caso, nos períodos que marcavam temperaturas mais altas foi possível notar menor variação na temperatura superficial inferior nos modelos de telhado verde intensivo. Já nos períodos mais frios, a diferença entre um modelo e outro não foi significativa, o que demonstra que o uso de telhados verdes intensivos para fins de isolamento térmico pode não ser tão efetivo em climas como o de Curitiba, onde as temperaturas podem chegar abaixo de 0°C no inverno.

Agradecimentos

Os autores agradecem a concessão de bolsa para a primeira autora, promovida pela Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), e ao apoio da Universidade Federal do Paraná (UFPR).

Referências

ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*, v. 22, n. 6, p. 711–728, Jan. 2013. Disponível em <http://>

https://www.schweizerbart.de/papers/metz/detail/22/82078/Koppens_climate_classification_map_for_Brazil. Acesso em 04 de março de 2023.

BALDESSAR, S. M. N. **Telhado verde e sua contribuição na redução da vazão da água pluvial escoada**. 2012. 125 f. Dissertação (Mestrado em Construção Civil) - Programa de Pós-graduação em Engenharia da Construção Civil, Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2012. Disponível em: <http://hdl.handle.net/1884/52621>. Acesso em 14 jul. 2018.

BÄR, V. B. **Influência de diferentes camadas de drenagem no desempenho hidrológico de telhados verdes extensivos na cidade de Curitiba - PR**. 2019, 172 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia da Construção Civil) - Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2019. Disponível em: <https://hdl.handle.net/1884/62159>. Acesso em: 15 ago. 2019.

BEECHAM, S.; RAZZAGHMANESH, M. Water quality and quantity investigation of green roofs in a dry climate. **Water Research**, Adelaide (Austrália), v. 70, p. 370–384, Mar. 2015. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.watres.2014.12.015>.

BERARDI, U.; GHAFARIANHOSEINI, A.; GHAFARIANHOSEINI, A. State-of-the-art analysis of the environmental benefits of green roofs. **Applied Energy**, v. 115, p. 411–428, Feb. 2014. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2013.10.047>.

BESIR, A. B.; CUCE, E. Green roofs and facades: A comprehensive review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 82, pt. 1, p. 915–939, Feb. 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.09.106>.

BRAGA, Cristina. **Cacto margarida: Lampranthus productus**. 2018. Disponível em: <https://www.floresefolhagens.com.br/cacto-margarida-lampranthus-productus/>. Acesso em: 05 mar. 2023.

CANTOR, S. L. **Green roofs in sustainable landscape design**. New York: W. W. Norton, 2008. 320 p.

CASAGRANDE, T. **O desempenho de telhados verdes intensivos em termos de controle de temperaturas superficiais e retenção de águas pluviais na cidade de Curitiba - PR**. 2020. 144 f. Dissertação (Mestrado em Construção Civil) - Programa de Pós-graduação em Engenharia da Construção Civil, Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2020. Disponível em: <https://hdl.handle.net/1884/76605>. Acesso em 26 jun. 2022.

CASAGRANDE, T.; GUAEN NETO, L. H.; MILLER, R.; FONSECA, A. C. C.; NOYA, M. G.; TAVARES, S. F. Temperatura e escoamento em telhados verdes intensivos: uma revisão. In: ENCONTRO LATINOAMERICANO E EUROPEU SOBRE EDIFICAÇÕES E COMUNIDADES SUSTENTÁVEIS, 3., 2019, Santa Fe. **Anais [...]**, p. 1373–1384, 2019, Porto Alegre: Antac, 2019. Disponível em: <https://eventos.antac.org.br/index.php/euroelecs/article/view/2882>. Acesso em: 05 mar. 2023.

DIPROTEC. **Geomembranas PEAD**. Curitiba, 2019. Disponível em: <https://www.diprotec.com.br/produto/geomembranas-pead/>. Acesso em 25 jul. 2020.

GREEN Roof Guidelines: Guideline for the planning, execution and upkeep of green-roofs. 6th. ed. Bonn: Landscape Development and Landscaping Research Society, 2018. 158 p.

GRO. GREEN ROOF ORGANISATION. **The GRO Green Roof Code**. Sheffield, 2014. Disponível em: <https://livingroofs.org/wp-content/uploads/2016/03/grocode2014.pdf>. Acesso em: 10 jun. 2019.

IEA. INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. **Transition to sustainable buildings**. Paris: IEA, 2013. 290 p. Disponível em: <https://www.iea.org/reports/transition-to-sustainable-buildings>. Acesso em: 05 jan. 2020.

INMET. **Dados históricos anuais**. Brasília, 2022a. Disponível em: <https://portal.inmet.gov.br/dadoshistoricos>. Acesso em 22 jun. 2022.

INMET. **Gráficos Climatológicos**. Brasília, 2022b. Disponível em: <https://clima.inmet.gov.br/GraficosClimatologicos/DF/83377>. Acesso em 22 jun. 2022.

LOPES, T. V. **Influência de espécies herbáceas no escoamento pluvial e temperaturas superficiais em protótipos de telhados verdes na cidade de Curitiba**. 2018. 142 f. Dissertação (Mestrado) - Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná, Curitiba (PR), 2018. Disponível em: <https://acervodigital.ufpr.br/handle/1884/56871>. Acesso em: 14 ago. 2018.

MENTENS, J.; RAES, D.; HERMY, M. Green roofs as a tool for solving the rainwater runoff problem in the urbanized 21st century? **Landscape and Urban Planning**, Leuven, v. 77, n. 3, p. 217–226, Aug. 2006. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2005.02.010>.

MORAKINYO, T. E.; KALANI, K. W. D.; DAHANAYAKE, C.; NG, E.; CHOW, C. L. Temperature and cooling demand reduction by green-roof types in different climates and urban densities: A co-simulation parametric study. **Energy and Buildings**, v. 145, p. 226–237, June 2017. Disponível em: DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2017.03.066>.

NITSCHÉ, Pablo Ricardo; CARAMORI, Paulo Henrique; RICCE, Wilian da Silva; PINTO, Larissa Fernandes Dias. **Atlas Climático do Estado do Paraná**. Londrina: IAPAR, 2019. Disponível em: <https://www.idrparana.pr.gov.br/system/files/publico/agrometeorologia/atlas-climatico/atlas-climatico-do-parana-2019.pdf>. Acesso em: 05 jun. 2019

NOYA, M. G. **Subsídios à implantação de telhados verdes extensivos**. 2018. 116 f. Tese (Doutorado em Ciências Agrárias) - Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Área de Concentração em Produção Vegetal, Departamento de Fitotecnia e Fitossanitarismo, Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2018. Disponível em: <https://hdl.handle.net/1884/58478>. Acesso em: 15 mar. 2019.

UNITED NATIONS. **World population prospects 2019: Highlights**. New York, 2019. Disponível em: https://population.un.org/wpp/publications/files/wpp2019_highlights.pdf. Acesso em: 05 jan. 2020.

SANTOS, P. T. S.; SANTOS, S. M.; MONTENEGRO, S. M. G. L.; COUTINHO, A. P.; MOURA, G. S. S.; ANTONINO, A. C. D. Telhado verde: desempenho do sistema construtivo na redução do escoamento superficial. **Ambiente Construído**, v. 13, n. 1, p. 161–174, jan./mar. 2013. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/ac/v13n1/v13n1a11.pdf>. Acesso em: 14 jul. 2018.

SAVI, A. C. **Telhados verdes: uma análise da influência das espécies vegetais no seu desempenho na cidade de Curitiba**. 2015. 200 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia da Construção Civil) - Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2015. Disponível em: <https://acervodigital.ufpr.br/handle/1884/42102>. Acesso em: 14 ago. 2018.

SCHARF, B.; ZLUWA, I. Case study investigation of the building physical properties of seven different green roof systems. **Energy and Buildings**, v. 151, p. 564–573, Sept. 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2017.06.050>

SILVA, C. M.; GOMES, M. G.; SILVA, M. Green roofs energy performance in Mediterranean climate. **Energy and Buildings**, v. 116, p. 318–325, Mar. 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2016.01.012>.

SPEAK, A. F.; ROTHWELL, J. J.; LINDLEY, S. J.; SMITH, C. L. Rainwater runoff retention on an aged intensive green roof. **Science of The Total Environment**, v. 461–462, p. 28–38, Sept. 2013. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2013.04.085>.

TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MOLLER, I. M.; MURPHY, A. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. 6. ed. Porto Alegre: Artmed, 2017. 858 p.

TASSI, R.; TASSINARI, L. C. S.; PICCILLI, D. G. A.; PERSCH, C. G. Telhado verde: uma alternativa sustentável para a gestão das águas pluviais. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 14, n. 1, p. 139-154, jan./mar. 2014. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/ac/v14n1/v14n1a12.pdf>. Acesso em: 14 jun. 2018.

TERRAL. Identifique conosco suas suculentas - Gênero Sedum. 2015. Disponível em: <http://terral.agr.br/plus/modulos/noticias/ler.php?cdnoticia=34>. Acesso em: 05 mar. 2023.

XIAO, M.; LIN, Y.; HAN, J.; ZHANG, G. A review of green roof research and development in China. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 40, p. 633–648, Dec. 2014. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.07.147>.

1 Thamille Casagrande

Arquiteta e Urbanista. Mestre em Engenharia de Construção Civil pela Universidade Federal do Paraná. Endereço postal: Rua Evaristo F. Ferreira da Costa, 369-377, Curitiba, PR – Brasil. CEP 82590-300.

2 Sérgio Fernando Tavares

Arquiteto e Urbanista. PhD em Engenharia Civil pela Universidade do Minho, Braga, Portugal. Professor no Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Paraná. Endereço postal: Rua Evaristo F. Ferreira da Costa, 369-377, Curitiba, PR – Brasil. CEP 82590-300.

3 Mariana Grassi Noya

Engenheira Florestal. Doutora em Agronomia pela Universidade Federal do Paraná. Professora e Coordenadora de Pós-graduação Lato Sensu na Pontifícia Universidade Católica do Paraná. Endereço postal: R. Imac. Conceição, 1155, Curitiba – PR. CEP 80215-901.