XV ENCAC Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído
XI ELACAC Encontro Latino-Americano de Conforto no Ambiente Construído
JOÃO PESSOA | 18 a 21 de setembro de 2019

AVALIAÇÃO DO COMPORTAMENTO TÉRMICO DE UM SISTEMA DE COBERTURA VEGETADA EM GUARITA

Alícia Sousa (1); Giovana Leão (2); Rafaela Ciutti (3); Eduardo Krüger (4); Clarisse Di Núbila (5); Silvana Weber (6)

(1) Acadêmica do curso de Engenharia Civil, alicia.vieira@hotmail.com, UTFPR
(2) Acadêmica do curso de Engenharia Civil, giovanarossim@hotmail.com, UTFPR
(3) Acadêmica do curso de Engenharia Civil, rafaelaciutti@hotmail.com, UTFPR
(4) Doutor em Arquitetura, Professor do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, ekruger@utfpr.edu.br, UTFPR
(5) Mestranda em Engenharia Civil, Engenheira Civil, clarisssedinubila@yahoo.com.br, UTFPR
(6) Doutora em Engenharia Civil, Professora do Departamento Acadêmico de Construção Civil, silweber@uol.com.br, UTFPR – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Rua Deputado Heitor Alencar Furtado, 5000 – Ecoville – Curitiba - PR, (41)3279-6800.

RESUMO

O estudo analisou o comportamento térmico de uma cobertura vegetada, após um ano de seu plantio, aplicada a uma guarita de fibra de vidro, material de baixa massa térmica, para Curitiba, PR. Para tanto, foram utilizados dois módulos experimentais, sendo um deles coberto por uma cobertura vegetada do tipo extensiva e um segundo módulo sem aplicação do sistema. O monitoramento abrangeu um período de duas semanas na primavera com medições de temperatura do ar e temperatura de superfície interna (sob a cobertura) e externamente aos ambientes. A contribuição da cobertura vegetada trouxe resultados mais expressivos quanto à redução da temperatura de superfície sob a cobertura, e não tanto quanto à temperatura do ar interno.
Palavras-chave: cobertura vegetada, telhado verde, guarita de fibra de vidro, comportamento térmico.

ABSTRACT

This study analyzed the thermal behavior of a vegetated roof, one year after planting, applied to a low-mass, fiber-glass security booth in Curitiba, PR. For this, two experimental modules were used, one of which was covered by a vegetated roof of the extensive type and a second module remained as a control module, i.e. without application of the system. Thermal monitoring covered a period of two weeks in spring with measurements of air temperature and surface temperature indoors (underneath the ceiling) and outdoors. The vegetated roof lead to more significant results in terms of the reduction of the surface temperature under the ceiling than regarding indoor air temperature reduction.
Keywords: vegetated roof, green roof, fiber-glass security booth, thermal behavior.

1. INTRODUÇÃO

É evidente que as áreas verdes nos centros urbanos se fazem cada vez menos presentes. Esse fato tem se intensificado devido ao desenvolvimento das cidades impulsionado pelo processo de urbanização. A diminuição de áreas vegetadas, as quais são substituídas por superfícies impermeáveis, causam impactos hidrológicos (JACOBSON, 2011) e também contribuem para o efeito das ilhas de calor (EPA, 2008). Desse modo, faz-se necessária a adaptação das edificações com técnicas sustentáveis a fim de minimizar tais impactos ambientais.

Entre estes artifícios, destaca-se a cobertura vegetada, que além de vantagens ecológicas, oferecem vantagens estéticas e econômicas (WEILER; SCHOLZ-BARTH, 2009) à sociedade. Conhecido também como telhado verde, eco-telhado, telhado vegetado e telhado vivo (KELLER; BURKE, 2009), a cobertura vegetada consiste basicamente de um sistema que compreende uma membrana impermeável, meio de cultura e camada vegetal, podendo incluir também uma camada anti-raízes, camada drenante e sistema de irrigação (CASTLETON et al., 2010).

As coberturas vegetadas podem ser classificados em extensivas e intensivas: a primeira terminologia refere-se a sistemas com substrato pouco espesso e que requerem baixa manutenção, enquanto a segunda, a sistemas com uma camada mais grossa de substrato e que demandam por mais manutenção, permitindo uma variedade de tamanhos e tipos de vegetação (WEILER; SCHOLZ-BARTH, 2009).

Estes sistemas de cobertura são capazes de contribuir para a redução da amplitude térmica e para o aumento na taxa de umidade do microclima local onde estão instalados (CATUZZO, 2013). Além disso, são capazes de reduzir a demanda de energia em uma construção e melhorar o conforto térmico (JAFFAL et al., 2012). É interessante notar que as coberturas vegetadas podem proporcionar benefícios ambientais tanto para construções novas, quanto para projetos de *retrofit* (BERARDI et al., 2014).

Diversos fenômenos térmicos são observados nas coberturas vegetadas (BERARDI et al., 2014): o solo age como uma massa térmica com alta capacidade térmica, alto atraso térmico e baixa transmitância térmica, e promove resfriamento por meio da evaporação; enquanto a vegetação promove sombreamento, permitindo trocas de calor por convecção abaixo das folhas, absorve parte da energia térmica para realização da fotossíntese, e promove resfriamento por meio da evapotranspiração.

Diversos estudos vêm sendo realizados para avaliar o desempenho térmico de coberturas vegetadas, e também para investigar a influência de determinados parâmetros nesse desempenho.

Jaffal et al. (2012) verificaram que o isolamento da cobertura é um fator que influencia no desempenho térmico de uma cobertura vegetada. O efeito térmico de coberturas vegetadas na edificação pode ser percebido em coberturas sem isolamento térmico ou pouco isoladas (JAFFAL et al., 2012). Foi verificado também que a contribuição de uma cobertura vegetada para a melhoria do conforto térmico de forma passiva é dependente do clima no qual ela está inserida. A redução da demanda por energia (para resfriamento) é mais proeminente quando o clima é quente, embora possa ser encontrada uma redução significativa da demanda de energia (para aquecimento), em casos de clima frio (JAFFAL et al., 2012).

A variação da camada vegetal e do substrato também é explorada em estudos acerca de coberturas vegetadas. Savi (2015) verificou que o desempenho térmico de protótipos de coberturas vegetadas variou de acordo com as espécies vegetais empregadas. A altura da planta, índice de área foliar (IAF) e o albedo são algumas das características da vegetação que influenciam a transferência de calor em uma cobertura vegetada (BERARDI et al., 2014). Com relação ao substrato, a altura da camada (NARDINI, 2012; HE et al., 2017), sua composição e umidade (SAILOR; HAGOS, 2011) são fatores que influenciam o comportamento térmico das coberturas vegetadas.

Tendo em vista o cenário acima apresentado, o presente estudo foca na investigação do comportamento térmico de um sistema de cobertura vegetada, com consórcio de espécies, um ano após sua implementação, instalado sobre uma guarita submetida à condição de clima subtropical, em período próximo ao solstício de verão. O estudo assume importância no caso dessas guaritas, pois são um sistema construtivo de baixíssima inércia térmica, com alto risco de sobreaquecimento em condições de calor.

2. OBJETIVO

O objetivo deste artigo é avaliar o comportamento térmico de um sistema de cobertura vegetada através de um experimento comparativo entre duas guaritas de fibra de vidro, localizadas na cidade de Curitiba, PR.

3. MÉTODO

Com o propósito de analisar o comportamento térmico de uma cobertura vegetada comparativamente a uma cobertura sem o sistema, para condições de primavera, em Curitiba, PR.

3.1 – Módulos experimentais

Tem-se como objetos de estudo dois módulos experimentais, que consistem em duas guaritas: o módulo verde (MV) com cobertura vegetada (Figura 1) e o módulo controle, com cobertura padrão (envoltória branca em fibra de vidro com 3mm de espessura) (Figura 2). Ambas câmaras foram utilizadas anteriormente no estudo de Kaviski (2018), que concebeu o sistema de cobertura vegetada. As guaritas, localizadas no canteiro experimental da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Sede Ecoville, na cidade de Curitiba, no estado do Paraná, foram implantadas paralelamente, com uma das fachadas com janela voltada para a direção norte, sofrendo interferência de sombras apenas após as 17h. Além disso, as janelas das duas guaritas, presentes em três faces (área envidraçada com aproximadamente 0,6m²) e também na porta de acesso, em uma proporção menor (cerca de 0,25m²), se encontravam cobertas por manta reflexiva durante o experimento para minimizar a interferência da radiação solar direta. A manta foi colocada internamente aos vidros, com a face reflexiva voltada para o interior da guarita. Durante o período de monitoramento, as portas das guaritas foram mantidas fechadas.

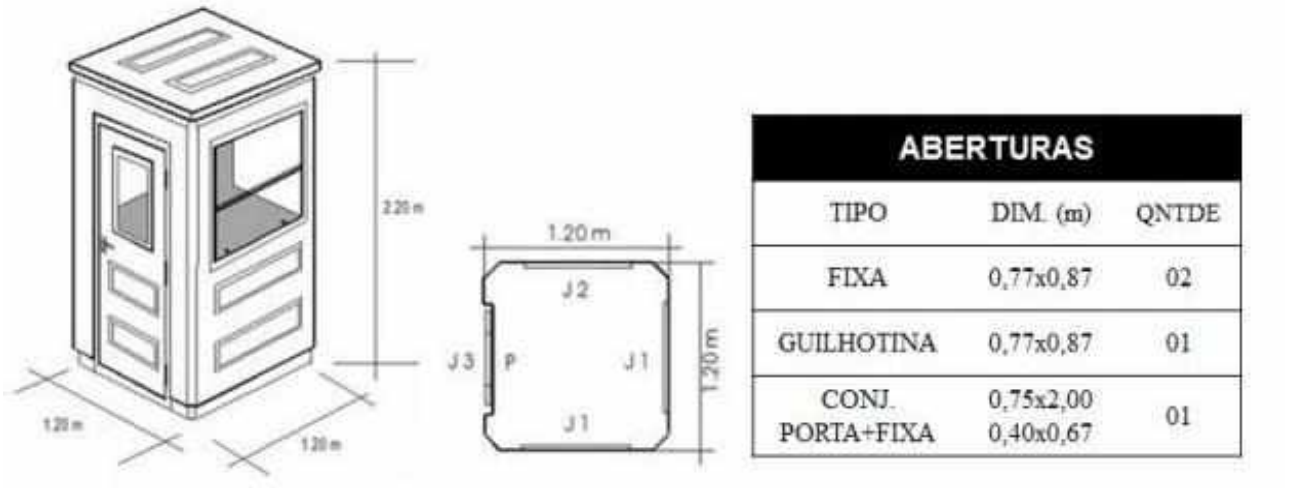


Figura 1: Módulo verde



Figura 2: Módulo controle

As guaritas possuem a seguinte especificação: guarita simples em fibra de vidro com acabamento *gel-coat* (resina pigmentada), espessura de paredes de 3 mm, nas dimensões de 1,20 m x 1,20 m x 2,20 m, com aberturas em vidro temperado 3 mm translúcido, cobertura padrão, cor branca (Figura 3). Para o fechamento das aberturas, recorreu-se ao uso da manta reflexiva tipo *foil* dupla face, com uma face metalizada e outra na cor branca, voltada para o exterior (Figura 4).



ABERTURAS		
TIPO	DIM. (m)	QNTDE
FIXA	0,77x0,87	02
GUILHOTINA	0,77x0,87	01
CONJ. PORTA+FIXA	0,75x2,00 0,40x0,67	01

Figura 3: Dimensionamento da guarita em teste (KAVISKI, 2018).



Figura 4: Fechamento das aberturas das guaritas.

O módulo verde possui um protótipo de cobertura vegetada do tipo extensivo sobre a cobertura padrão da guarita, onde coexistem duas espécies vegetais: *Callisia repens* (dinheiro-em-penca) e *Dianella caerulea* (dianela), esta última ocupando a porção central da cobertura. Na ocasião da medição realizada no presente estudo, a cobertura vegetada já tinha o sistema substrato-vegetação plenamente consolidado, após um ano de sua implementação (Figura 5).



Figura 5: Sistema de cobertura vegetada do MV, um ano após o plantio.

De acordo com Kaviski (2018), sem considerar a vegetação, o sistema apresenta uma sobrecarga estimada de 220 kg sobre a cobertura da guarita (Tabela 1). Sendo a capacidade de sobrecarga de uma guarita equivalente a aproximadamente 200 kg, conforme dados informados pelo fornecedor, por precaução, o módulo experimental recebeu quatro pontos de apoio estrutural em ripas de cedrinho de 0,03x0,05 cm (Figura 6) (KAVISKI, 2018).



Figura 6: Fotomontagem interna do apoio estrutural de madeira (KAVISKI, 2018).

Tabela 1: Cargas do Sistema de cobertura vegetada em teste.

Camadas	Proporção	Peso (kg)
Substrato	35 kg/saco	175
Manta geotêxtil	0,15 kg/m²	0,54
Manta Maxistud®	1 kg/m²	1
Compensado Naval com tratamento e acabamento	46 kg/peça (2,20 x 1,60)	42
Peso total do sistema de cobertura vegetada		**220**

Fonte: (KAVISKI, 2018).

3.2 – Monitoramento

Para este trabalho foram utilizados dois tipos diferentes de sensores térmicos. Um dos sensores utilizados foi o *Thermochron iButton* modelo DS1921H-F5 (Figura 7), para monitoramento da temperatura superficial das coberturas, sendo um sistema robusto e autossuficiente capaz de mensurar e registrar a temperatura em uma seção de memória protegida, e que permite ao usuário definir uma taxa de gravação em intervalos programáveis na forma de armazenamento direto ou de um histograma (Tabela 2). O segundo tipo de sensor utilizado foi o *HOBOware ® HOBO data logger temp* U10-001 (Figura 8), para monitoramento da temperatura do ar. Este último também permite a programação de intervalos, nos quais a temperatura é registrada e armazenada em um sistema de dados (Tabela 2).

Tabela 2: Características técnicas dos sensores de temperatura.

	Thermochron iButton DS1921H-F5	HOBO data logger temp U10-001
Faixa de temperatura	+15°C a +46°C	–20°C a +70°C
Precisão	1°C	± 0,53 °C de 0° a 50 °C
Resolução	0,125°C	0,14°C a 25°C



Figura 7: *Thermochron iButton.*



Figura 8: *HOBO data logger.*

A fim de realizar um experimento com resultados precisos, procedeu-se à equalização dos equipamentos a serem utilizados para a medição das temperaturas. Para isso, todos os sensores foram colocados previamente em um ambiente fechado, sendo este monitorado durante três dias em intervalos de medição a cada 5 minutos. Após tal procedimento, ajustes foram feitos à média dos sensores adotados, corrigindo-se eventuais diferenças por equação de regressão linear em relação à média dos valores.

Para o monitoramento, os sensores, após serem equalizados, foram programados para a coleta de dados, a cada 10 minutos para os *iButtons* e a cada 5 minutos para os *HOBOs*.

O método experimental consistiu na implantação de seis sensores térmicos, sendo cinco dispostos nas duas guaritas, e um externamente, para medição de temperatura ambiente (Figura 9). Dois sensores internos foram destinados à medição da temperatura de superfície sob as duas coberturas e um sensor externo foi adotado para medição da temperatura de superfície na cobertura da guarita sem a cobertura vegetada. Outros dois sensores foram posicionados internamente a 1,10 metros do piso, conforme recomendação da norma ISO 7726/1998 (pessoa sentada, nível da cabeça; pessoa em pé, nível do abdômen), assim como o sensor adotado para medição da temperatura do ar externamente às guaritas.

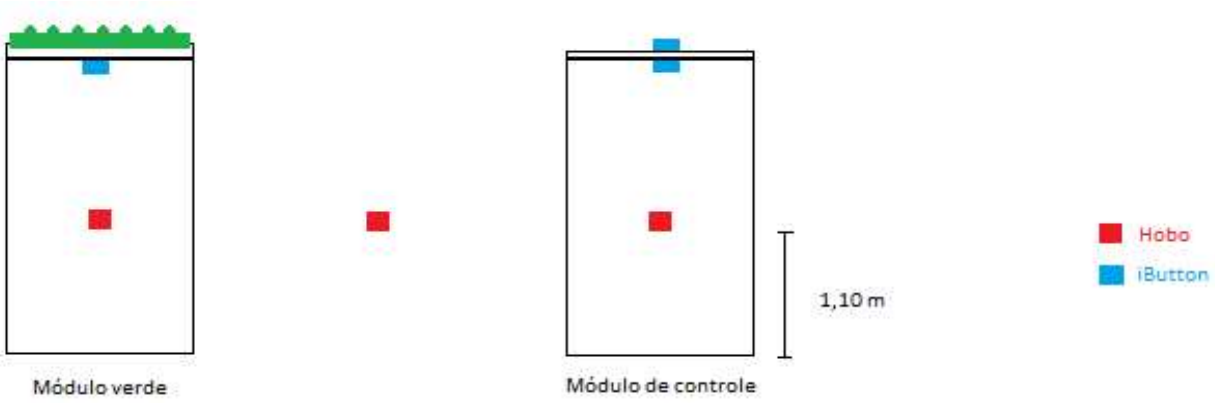


Figura 9: Disposição dos sensores de temperatura do experimento.

Foram aplicadas rodelas de poliestireno expandido para o revestimento parcial dos sensores do tipo *iButton* (Figura 10) de modo a bloquear trocas por convecção no sensor. Foi aplicado silicone para vedar os espaços entre o EPS e a superfície da guarita (Figura 11).



Figura 10: Sensores *iButton* revestidos por EPS.



Figura 11: Sensor revestido por EPS e silicone na superfície externa da segunda guarita.

Posteriormente, com o intuito de fixar os sensores de temperatura de superfície, utilizou-se fita adesiva (Figura 12).



a) Sensor fixado no exterior do MC. b) Sensor fixado no interior do MC. c) Sensor fixado no interior do MV.

Figura 12: Fixação dos sensores de temperatura de superfície.

Anteriormente à instalação dos sensores do tipo *HOBO,* foi utilizada uma vara de bambu com suporte, um pedaço de cano de PVC adaptado, um parafuso e uma abraçadeira para a confecção de uma estrutura (Figura 13) com finalidade de apoiar o equipamento a 1,10 metros do piso dentro das guaritas (Figura 14).

Por fim, para a medição da temperatura do ar exterior às guaritas, utilizou-se um tripé metálico comercial para o posicionamento do sensor *HOBO* na altura desejada. Além disso, foi necessário o emprego de um abrigo comercial de proteção às intempéries (Figura 15).



Figura 13: Adaptação de materiais para a confecção da estrutura de suporte.



Figura 14: Estrutura adaptada dentro da guarita.



Figura 15: Sensor *HOBO* situado no interior do abrigo suspenso pelo tripé.

3.3 – Período de análise

O monitoramento do experimento foi realizado de 27/10 a 08/11/2018, ou seja, na primavera. Para a análise comparativa do comportamento térmico dos sistemas de cobertura, foram selecionados os dados de um dia de céu claro. Para tanto, foram extraídos do INMET os dados de precipitação e radiação solar, de modo a selecionar um dia em que não ocorreu precipitação, e que apresenta radiação solar elevada e sem variações bruscas nas medições.

4. RESULTADOS

A partir dos métodos utilizados, coletou-se uma série de dados de temperatura a fim de realizar a comparação entre as guaritas. A Figura 16 apresenta o gráfico com as temperaturas superficiais das guaritas e temperatura do ar externo, ao longo do período de monitoramento, totalizando 13 dias.

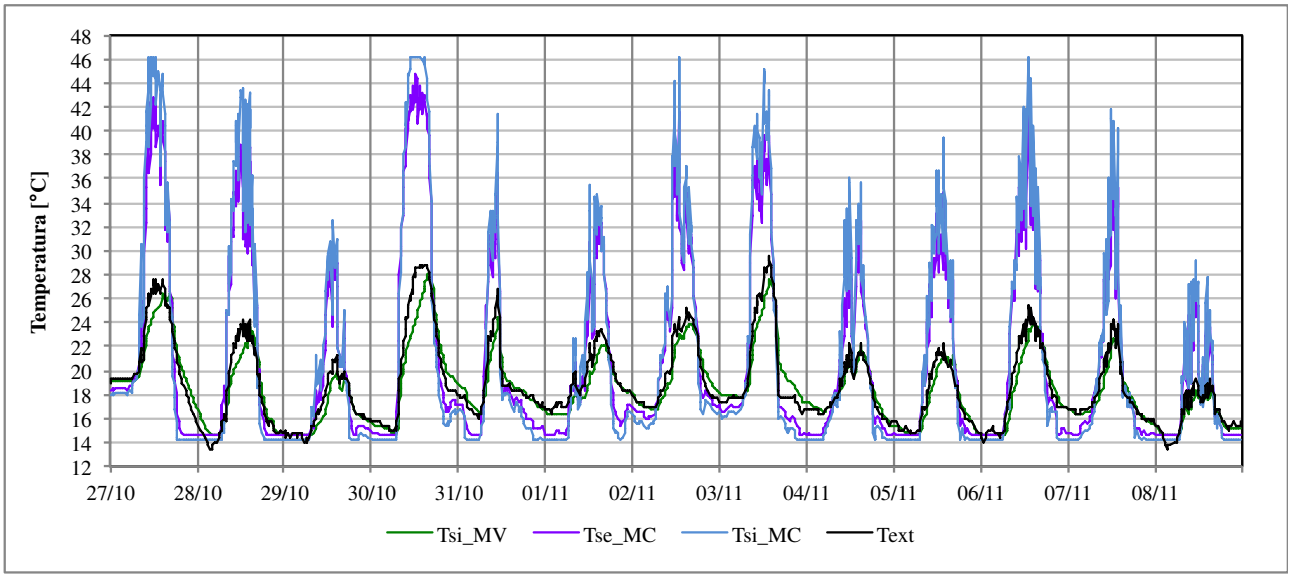


Figura 16 - Temperaturas superficiais das guaritas e temperatura do ar externo ao longo do período de monitoramento (27/10 a 08/11/2018).

Inicialmente, para a escolha do um dia a ser analisado, procedeu-se à identificação dos dias em que não houve precipitação, de acordo com as medições feitas pelo INMET. Assim, esses dias foram datados de 28 a 30/10, 2/11 e 6/11. Posteriormente, também foram levados em consideração dados de radiação solar fornecidos pelo INMET (Figura 17), de modo a selecionar um dia de céu claro.

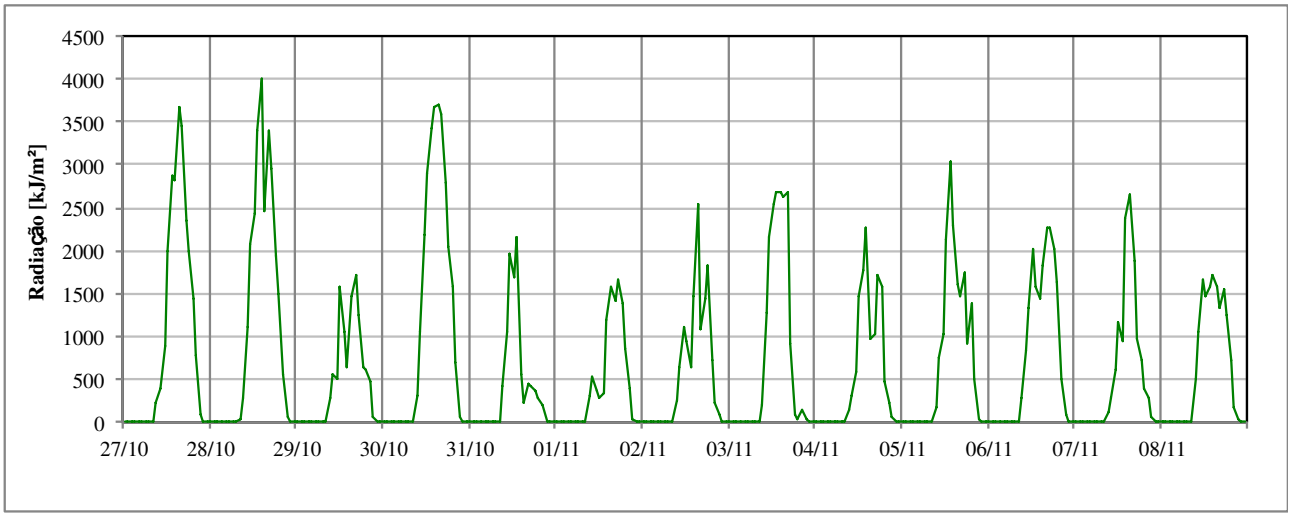


Figura 17 - Radiação solar no período de 27/10 a 08/11/2018 (a partir de dados de radiação solar horária obtidos pelo INMET).

De acordo com os dados dos gráficos, o dia mais propício para análise foi o dia 30/10, pois além de apresentar níveis de radiação solar altos sem variações bruscas, também não ocorreu precipitação.

A Figura 18 apresenta os resultados, graficamente, com as temperaturas superficiais das guaritas ('Ts_MV' para 'Módulo Verde', 'Ts_MC' para 'Módulo Controle') versus temperaturas do ar externo, do dia 30/10, enquanto a Tabela 3 aponta os valores de temperatura média, máxima, mínima e amplitude térmica nesta data.

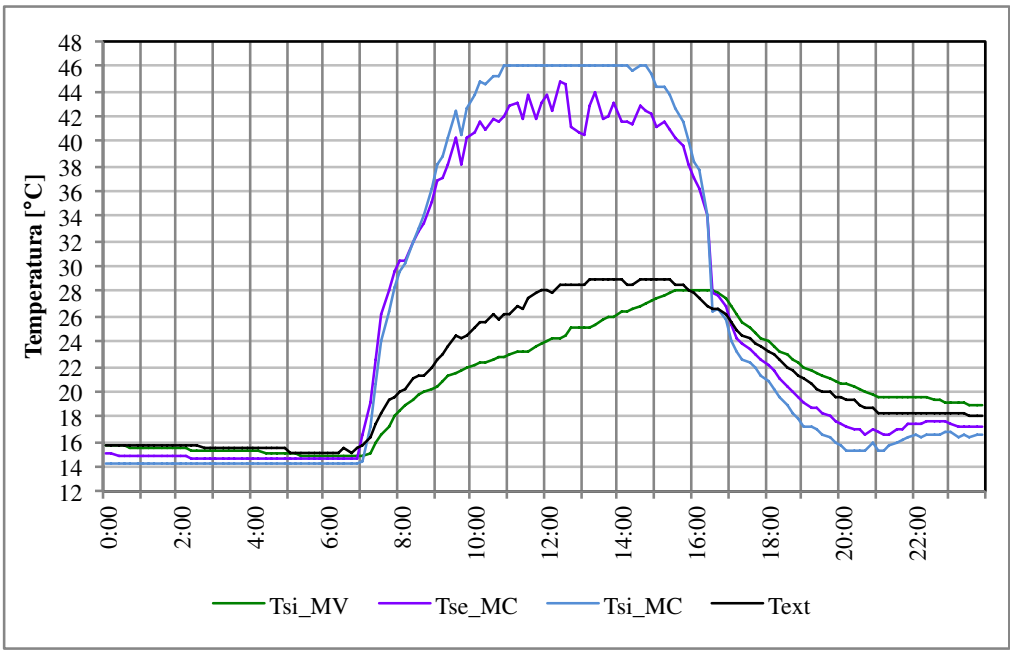


Figura 18 - Temperaturas superficiais das guaritas e temperatura do ar externo em um dia de céu claro (30/10/2018).

Tabela 3: Temperaturas superficiais das guaritas e temperatura do ar externo em um dia de céu claro (30/10/2018)

	Tsi_MV	Tse_MC	Tsi_MC	Text
Média(°C)	20,4	25,5	25,9	21,1
Máxima(°C)	28,2	44,7	46,1	28,9
Mínima(°C)	14,7	14,6	14,2	15,1
Amplitude(°C)	13,4	30,1	31,9	13,8

Dessa maneira, de acordo com os gráficos e tabelas gerados a partir da realização do experimento nas guaritas, tornou-se possível a comparação entre os resultados dos dois módulos. A guarita que possui cobertura vegetada apresentou temperaturas inferiores à que possui cobertura convencional entre as 7:00h e as 16h30h, aproximadamente, correspondendo ao período de maior ganho solar do dia. O MV evidenciou o

pico de temperatura da superfície interna aproximadamente quatro horas depois do MC. Ademais, para a guarita sem cobertura vegetada, a taxa de aumento de temperatura, bem como a amplitude térmica, são visivelmente mais altas.

Por conseguinte, percebe-se que a cobertura vegetada proporciona um resfriamento na superfície interna da guarita, reduzindo em cerca de 18°C a temperatura superficial interna máxima. No estudo de Kaviski (2018), para a mesma configuração dos módulos MV e MC (bloqueio solar nas aberturas), analisando os resultados para o dia 08/12/2017, com temperatura do ambiente externo máxima de aproximadamente 30°C, a redução da temperatura superficial interna máxima foi de 10,2°C. Acredita-se que o desenvolvimento da vegetação, e consolidação do sistema de cobertura vegetada, ocorrido no período entre os dois estudos contribuiu para uma maior redução na temperatura superficial interna.

A Figura 19 apresenta uma relação entre as temperaturas do ar interno e externo das guaritas durante o período de monitoramento (27/10 a 08/11), enquanto a Figura 20 corresponde a um recorte mostrando os dados apenas para o dia de céu claro (30/10).

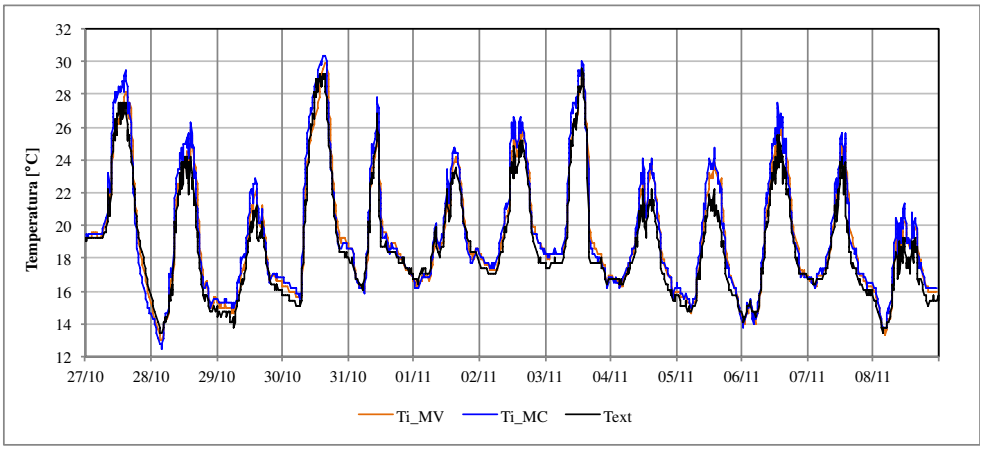


Figura 19 - Temperaturas do ar interno das guaritas e temperatura do ar externo ao longo do período de monitoramento (27/10 a 08/11/2018).

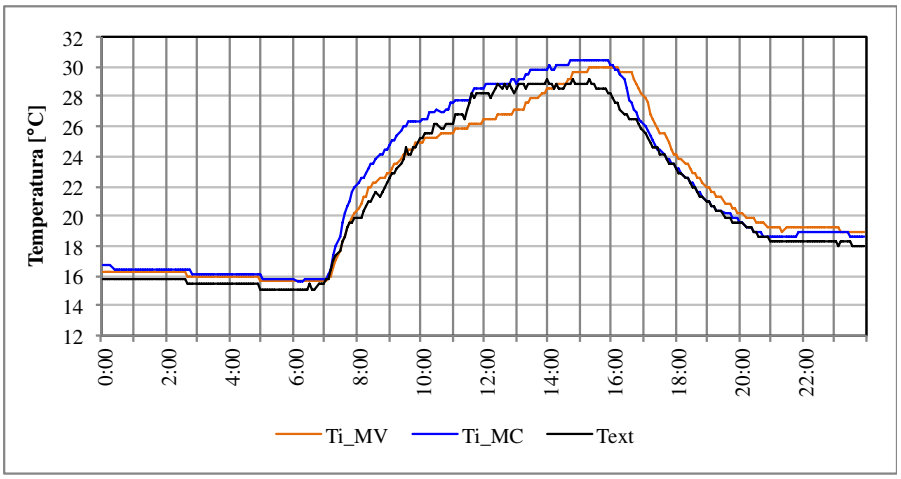


Figura 20 - Temperaturas do ar interno das guaritas e temperatura do ar externo em um dia de céu claro (30/10/2018).

A partir dos gráficos supracitados, a Tabela 4 apresenta os valores de temperatura média, máxima, mínima e amplitude térmica, no dia de céu claro, com relação às medições do ar interno das guaritas e do ar externo.

Tabela 4: Temperaturas do ar interno das guaritas e temperatura do ar externo num dia de céu claro (30/10/2018).

	Ti_MV	Ti_MC	Text
Média (°C)	21,5	21,9	21,1
Máxima (°C)	29,9	30,4	29,2
Mínima (°C)	15,7	15,6	15,1
Amplitude (°C)	14,2	14,8	14,1

Nota-se que as diferenças em termos de temperatura do ar são bem menos expressivas que as reduções nas temperaturas sob a cobertura, corroborando com os resultados de Kaviski (2018), sendo este fato atribuído à baixa massa térmica e parco isolamento térmico da envoltória em fibra de vidro. A máxima redução da temperatura em MV relativamente a MC foi de 2,3°C próximo ao meio dia, enquanto a diferença entre as temperaturas máximas diárias foi de 0,5°C.

5. CONCLUSÕES

O presente estudo apresentou resultados de avaliação de comportamento térmico de um sistema de cobertura vegetada realizada no período de outubro a novembro, em Curitiba, PR. Como apontam os resultados, ocorreu maior redução da carga térmica da cobertura na guarita que possui vegetação comparativamente à guarita tradicional, porém com resultados mais expressivos na temperatura de superfície sob a cobertura, e não tanto na temperatura do ar interno. Duas razões explicam em parte esses resultados: baixa resistência térmica da fibra de vidro e a relação de volume/área de cobertura das guaritas utilizadas. Em uma edificação convencional a área de cobertura teria maior representatividade na envoltória, impactando em maior grau as condições de temperatura do ar interno.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BERARDI, U.; GHAFFARIAN HOSEINI, A.; GHAFFARIAN HOSEINI, A. State-of-the-art analysis of the environmental benefits of green roofs. **Applied Energy**, Vol. 115, pp. 411-428, 2014.

CATUZZO, H. **Telhado verde:** impacto positivo na temperatura e umidade do ar. O caso da cidade de São Paulo. Tese de doutorado em Geografia Física, Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2013.

CASTLETON, H. F.; STOVIN, V.; BECK, S. B. M.; DAVISON, J. B. Green roofs: building energy savings and the potential for retrofit. **Energy and Buildings**, Vol. 42, pp. 1582-1591, 2010.

EPA – U.S. Environmental Protection Agency. **Reducing Urban Heat Islands: Compendium of Strategies**, 2008. Disponível em: <http://www.epa.gov/heatisland/>. Acesso em: 28 abr. 2019.

HE, Y.; YU, H.; OZAKI, A.; DONG, N.; ZHENG, S. Influence of plant and soil layer on energy balance and thermal performance of green roof system. **Energy**, Vol. 141, pp. 1285-1299, 2017.

JACOBSON, C. R. Identification and quantification of the hydrological impacts of imperviousness in urban catchments: A review, **Journal of Environmental Management**, Vol. 92, no. 6, pp. 1438-1448, 2011.

JAFFAL, I.; OULDBOUKHITINE, S.; BELARBI, R. A comprehensive study of the impact of green roofs on building energy performance. **Renewable Energy**. Vol. 43, pp. 157-164, 2012.

KAVISKI, Francine. **Desempenho térmico de cobertura vegetada sobre guarita de fibra de vidro exposta a diferentes condições climáticas em Curitiba**. Dissertação (Mestrado), Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2018.

KEELER; M.; BURKE, B. **Fundamentals of integrated design for sustainable building**. Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons, 2009.

NARDINI, A.; ANDRI, S.; CRASSO, M. Influence of substrate depth and vegetation type on temperature and water runoff mitigation by extensive green roofs: shrubs versus herbaceous plants. **Urban Ecosystems**, Vol. 15, pp. 697–708, 2012.

SAILOR, D. J.; HAGOS, M. An updated and expanded set of termal property data for green roof growing media. **Energy and Buildings**, Vol. 43, pp. 2298-2303, 2011.

SAVI, A. C. **Telhados Verdes:** uma análise da influência das espécies vegetais no seu desempenho na cidade de Curitiba. 2015. Dissertação (Mestrado), Programa de Pós-graduação em Engenharia de Construção Civil, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2015.

WEILER, S. K.; SCHOLZ-BARTH, K. **Green Roof Systems:** A Guide to the Planning, Design, and Construction of Landscapes Over Structure. Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons, 2009.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil da UTFPR, e à Capes.