

INFLUÊNCIA TÉRMICA DA FACHADA VERDE NO AMBIENTE INTERNO

THERMAL INFLUENCE OF THE GREEN FACADE ON THE INTERNAL ENVIRONMENT

 **Leonardo Diba Gonçalves Padovan**¹

 **Maria Solange Gurgel de Castro Fontes**²

 **Murilo Cruciol Barbosa**³

¹ Centro Universitário das Faculdades Integradas de Ourinhos, Ourinhos, SP, Brasil, leopadovan@unifio.edu.br

² Universidade Paulista Júlio Mesquita Filho, Bauru, SP, Brasil, solange.fontes@unesp.br

³ Universidade Paulista Júlio Mesquita Filho, Bauru, SP, Brasil, murilo_cruciol@yahoo.com.br

Contribuição dos autores:

SIGLA DO AUTOR1: conceitualização, análise forma, investigação, aquisição de financiamento, investigação, metodologia, administração do projeto, recursos, programas, supervisão, validação, visualização. escrita - rascunho original, escrita - revisão e edição. **SIGLA DO AUTOR2:** conceitualização, análise forma, investigação, aquisição de financiamento, investigação, metodologia, administração do projeto, recursos, programas, supervisão, validação, visualização. escrita - rascunho original, escrita - revisão e edição. ...

Fomento: Não houve fomento

Declaração de conflito: nada foi declarado.

Editor Responsável:

Letícia de Oliveira Neves 

Resumo

Dentre as estratégias bioclimáticas, o uso da vegetação vem assumindo um papel de grande destaque em função da sua efetividade na redução de temperaturas superficiais e de ambientes internos e, conseqüentemente, podendo contribuir para a diminuição do consumo energético da edificação. Neste contexto, este trabalho mostra resultados de um estudo cujo objetivo foi identificar a contribuição do uso de fachadas verdes – tipologia de jardim vertical que utiliza espécies de plantas trepadeiras – no desempenho térmico de ambientes de trabalho, em clima quente. Para isso, um estudo experimental foi desenvolvido em um campus universitário em Ourinhos-SP, cidade de clima subtropical com verão quente, por meio da implantação de uma fachada verde na face Oeste de um escritório universitário, construído de blocos de concreto e cobertura de telhas metálicas. O estudo contemplou a implementação de uma fachada verde com a planta trepadeira *Ipomoea horsfalliae* Hook; medições microclimáticas (temperatura do ar, umidade relativa do ar e velocidade do ar nos ambientes internos e no exterior dos escritórios) no escritório protegido pela fachada verde e em outro similar (em dimensão e orientação), que serviu de controle (sem fachada verde). A análise dos resultados evidencia o potencial amenizador térmico da fachada verde, uma vez que a temperatura média do ar do escritório com a presença desta estratégia apresentou uma redução média de 4,4 °C em relação ao ambiente controle.

Palavras-chave: jardim vertical, fachada verde, estratégia bioclimática, desempenho térmico.

Abstract

*Among bioclimatic strategies, the use of vegetation has taken on a major role due to its effectiveness in reducing surface and indoor environmental temperatures and, consequently, reducing building energy consumption. In this context, this work shows the results of a study whose objective was to identify the contribution of green facades - vertical garden typology that uses climbing plant species - in the thermal performance of working environments in hot weather conditions. To this end, an experimental study was carried out on a university campus in Ourinhos-SP, a city with a subtropical climate and hot summer, by implementing a green facade on the west facade of a university office, built of concrete blocks and metal roofing. The study included the implementation of a green facade with the climbing plant *Ipomoea horsfalliae* Hook; microclimatic measurements (air temperature, relative humidity and air speed inside and outside the offices) in the office protected by the green facade and in a similar one (in size and orientation), which served as a control (without green facade). The analysis of the results shows the potential thermal mitigation of the green facade since the average air temperature of the office with the presence of this strategy showed an average reduction of 4.4 °C to the control environment.*

Keywords: vertical garden, green facade, bioclimatic strategy, thermal performance.

How to cite this article:

PADOVAN, L. D. G.; FONTES, M. S. G. de C.; BARBOSA, M. C.. Influência térmica da fachada verde no ambiente interno.

PARC Pesq. em Arquit. e Constr., Campinas, SP, v. 13, p. e022005, 2021. DOI:

<http://dx.doi.org/10.20396/parc.v13i00.8661203>



Introdução

O uso de estratégias de controle solar no ambiente construído tem a finalidade de minimizar os ganhos térmicos e, conseqüentemente, otimizar o conforto térmico no interior das edificações e no espaço urbano. Assim, os elementos de proteção solar, que podem ser construídos por concreto, madeira, alumínio, entre outros materiais, cumprem essa função juntamente com o uso de elementos vegetais (arborização e os jardins verticais). Papadakis *et al.* (2001) reforçam essa questão ao afirmarem que o plantio de vegetação, por meio da implementação de jardins verticais, pode funcionar como método de controle solar passivo ao reduzir a temperatura nas edificações, em função do bloqueio da radiação solar proporcionado pela folhagem.

De acordo com Manso e Castro-Gomes (2015) e Barbosa e Fontes (2016), os jardins verticais são classificados em duas tipologias: 1. Paredes vivas (sistemas intensivos de jardins aplicados de forma direta ou indiretamente nas paredes por meio de módulos) e 2. Fachadas verdes (sistemas extensivos compostos por uma estrutura simples de apoio da vegetação do tipo planta trepadeira, plantada diretamente no solo, em floreiras ou vasos e conduzidos de forma direta ou indiretamente nas paredes). São estratégias passivas no controle térmico das edificações, em função dos efeitos de sombreamento, isolamento térmico, na evapotranspiração da massa vegetal e mudança da dinâmica dos ventos, que contribuem para melhorar as condições de umidade do ar próximo ao jardim (SOUSA, 2012)

Há um crescente número de pesquisas sobre fachadas verdes em diferentes contextos climáticos e culturais, em função da sua importância como estratégia bioclimática. Esses trabalhos possuem, entre outros, o objetivo de entender o potencial da fachada verde na amenização térmica de ambientes internos (MORELLI; LABAKI, 2013; EUMORFOPOULOU; KONTOLEON, 2009; CHENG; CHEUNG; CHU, 2010; SUNAKORN; YIMPRAYOON, 2011; SAFIKHANI *et al.*, 2015; SUSOROVA; AZIMI; STEPHENS, 2014; PÉREZ *et al.*, 2017; YANG *et al.*, 2018;) e, conseqüentemente, na melhoria da eficiência energética na edificação (OTTELÉ *et al.*, 2011; ALEXANDRI; JONES, 2008; CAMERON; TAYLOR; EMMETT, 2015). Um panorama geral sobre desempenho térmico das fachadas verdes no Brasil e no exterior é abordado por Muñoz *et al.* (2019), em trabalho de revisão bibliográfica. Além da influência na amenização térmica, Scherer e Fedrizzi (2014) evidenciam os benefícios sociais, estéticos e psicológicos na utilização da técnica agregada às edificações e ao meio urbano, pois o bem-estar do homem é diretamente ligado ao seu contato com o meio ambiente.

A busca pela compreensão do potencial amenizador térmico dos jardins verticais de tipologia fachada verde no ambiente interno motivou esta pesquisa, cujo objetivo foi identificar a influência térmica de um jardim vertical, constituído pela trepadeira *Ipomoea horsfalliae* Hook., nas alterações térmicas de um escritório universitário naturalmente ventilado localizado em cidade de clima Cfa (subtropical com verão quente), conforme a classificação de Köppen e Geiger (ALVARES *et al.*, 2013).

Ressaltam-se duas contribuições da pesquisa: 1. O desenvolvimento de estudo experimental em uma situação real, pois grande parte de estudos similares são realizados em protótipos de pequena escala ou estudos de caso com fachada verde já existente; 2. O local da pesquisa: uma cidade com clima subtropical de verão quente, uma vez que a maioria dos estudos similares foi desenvolvido em países com características climáticas diferentes (continente europeu e asiático). Em relação a essa segunda contribuição, Köhler (2008), ao citar que a maioria de estudos sobre fachadas verdes foram realizados na Alemanha, ressalta a importância de estudos similares em outros tipos climáticos.

Materiais e Métodos

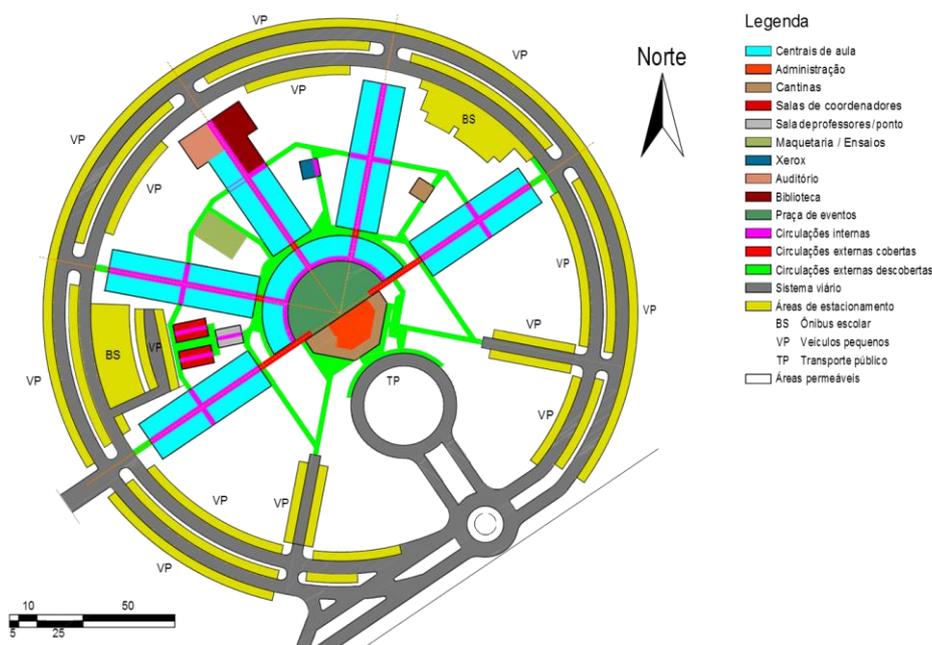
Para identificar a influência térmica da fachada verde em um ambiente interno foi construído um experimento por meio da implantação de uma fachada verde na face oeste de um escritório universitário.

Caracterização do objeto de estudo.

O experimento foi construído no Campus do Centro Universitário das Faculdades Integradas e Ourinhos-UNIFIO (Figura 1) localizado em Ourinhos, cidade do sudeste do estado de São Paulo (latitude 22° 58' 44" Sul e longitude 49° 52' 14" Oeste). Ourinhos pertence ao zoneamento bioclimático Z3 da NBR 15220-3 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2005) e possui clima do tipo Cfa, de acordo com a classificação de Köppen e Geiger (ALVARES *et al.*, 2013). Os ambientes estudados possuem funções administrativas e pedagógicas do Centro Universitário.

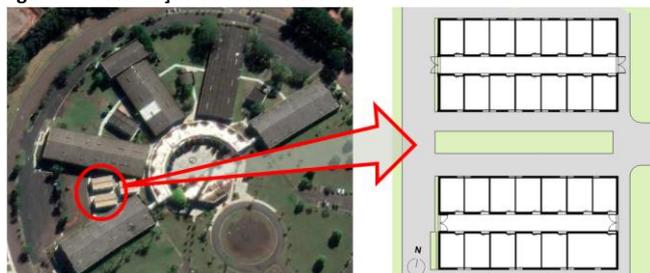
As edificações do campus têm como sistema construtivo estruturas pré-fabricadas de concreto armado com sistema de fechamento em blocos de concreto e cobertura metálica, implantadas espacialmente em forma radial, conforme mostra a Figura 1. Os edifícios possuem formas simétricas, orientadas longitudinalmente no eixo Leste-Oeste e com o mesmo *layout* de paredes (distribuição dos ambientes e circulação). Cada edifício possui 14 salas com as seguintes dimensões: 2,15 m de largura, 3,20 m de profundidade e área útil de 6,88 m² (Figura 2).

Figura 1 – Implantação dos blocos do Campus da UniFIO



Fonte: os autores.

Figura 2 – Localização da área de estudo



Fonte: Google Earth editado pelos autores.

As paredes internas que dividem as salas são de gesso acartonado, sem tratamento termoacústico na delimitação entre elas e possuem pintura em látex PVA com uso de cores claras (bege) nas paredes e branco no teto. O forro possui duas variações, na circulação entre as salas possui 12 cm de espessura e é de laje de concreto pré-fabricado pintado, enquanto nas salas é composto por réguas de PVC branco. A cobertura é constituída por telhas de aço galvanizado sustentadas por estrutura metálica e o piso interno é de porcelanato.

As paredes externas são compostas por uma camada de 0,5 cm de argamassa sobre blocos de concreto de 14x19x39 cm. Conforme calculado através da plataforma Projeteer (2020), a parede apresenta uma transmitância térmica de 3,00 W/m²K, uma resistência térmica total de 0,34 (m².K) /W, uma capacidade térmica de 168,3 KJ/m²K e um atraso térmico de 3,4 horas.

As salas possuem janela basculante de 60x160 cm com um peitoril de 65 cm que permite ventilar e iluminar naturalmente o ambiente e o acesso ocorre por uma porta de correr em vidro temperado de 80x210 cm (Figura 3). Cada sala possui como auxílio a opção de climatização artificial e a maior frequência de ocupação acontece nos períodos vespertino e noturno, mas geralmente por apenas uma pessoa.

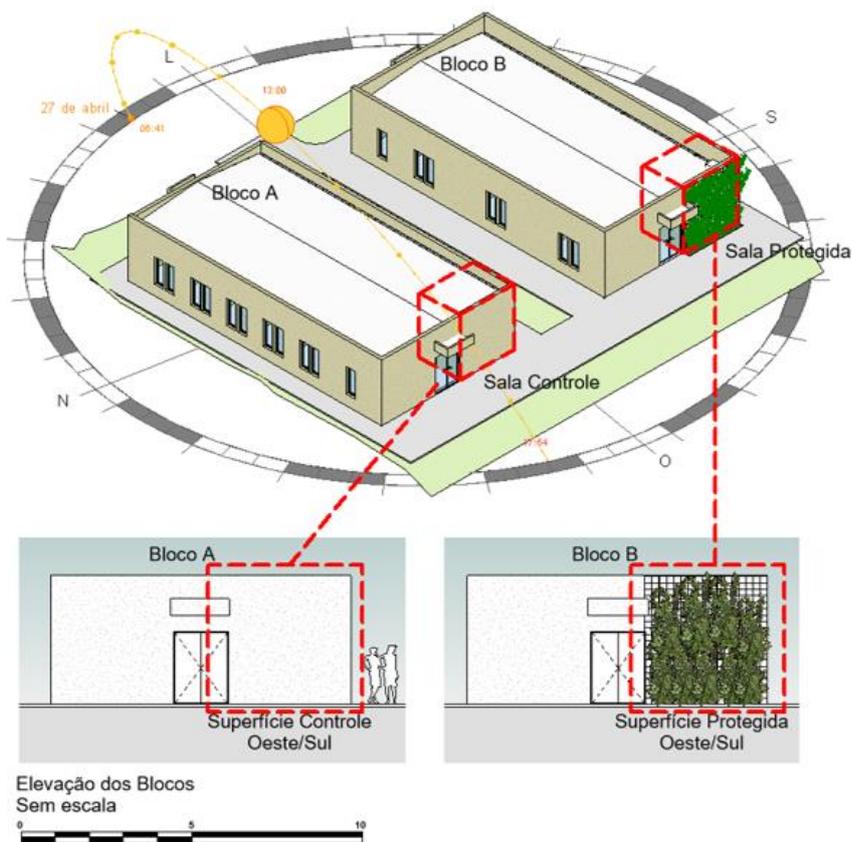
Figura 3 - Layout das salas



Fonte: os autores.

Para que ambas as salas – protegida pela fachada verde e sala controle – tivessem as mesmas orientações geográficas foi definido uma sala de cada bloco, denominado Bloco A para a sala controle e Bloco B para a sala protegida, conforme Figura 4. A superfície da montagem da fachada verde (experimento) foi na superfície Oeste da sala, que é uma das mais críticas, especialmente em condições de tempo quente, por receber radiação solar durante todo o período da tarde. Ressalta-se que os blocos adjacentes às salas estudadas não ocasionam sombreamento e não existem vegetações de grande porte no entorno que poderiam influenciar nos dados monitorados.

Figura 4 - Blocos A e B



Fonte: os autores.

Caracterização do experimento

A fachada verde foi construída com a planta trepadeira *Ipomoea horsfalliae* Hook., popularmente conhecida como Ipomeia-rubra (Figura 5), muito utilizada para recobrimento de grades, treliças, cercas ou pérgolas. A escolha da espécie teve como referência o estudo de Muñoz (2019), que ressalta algumas qualidades em relação ao rápido desenvolvimento, ótimo percentual de sombreamento e grande potencial paisagístico. Ramalho (2004) também ressalta o potencial paisagístico dessa trepadeira, da família das *Bignoniaceae*, em função das flores coloridas e abundantes (que ocorre da primavera ao outono), que atraem abelhas e, portanto, é muito desejada para polinização.

Figura 5 – *Ipomoea horsfalliae* – Nome popular Ipoméia-rubra



Fonte: os autores.

Na construção da fachada verde foi montado um painel metálico composto de uma tela quadriculada de 20x20 cm, com 3,60 m de largura por 3,80 m de altura, em aço galvanizado (tela POP) afastada 20 cm da parede. As mudas foram acomodadas em valetas com 30 cm de largura e 40 cm de profundidade na extensão (3,60 m) da face Oeste da sala e devidamente adubadas (Figura 6).

Figura 6 - Foto do experimento com fachada verde: (esquerda) apresenta a situação da Fachada verde no momento da montagem e (direita) a situação da fachada verde na fase das medições das variáveis microclimáticas



Fonte: os autores.

A irrigação foi feita de forma automática com o uso de temporizador de programação digital AMANCO® ramificado em um tubo de PCV de 20 mm com um gotejador na base de cada muda. Para isso, foi necessária uma atenção especial durante o crescimento das espécies para identificar maior ou menor necessidade hídrica.

Monitoramento microclimático interno e externo

O monitoramento foi realizado com o objetivo de identificar as oscilações das variáveis microclimáticas em ambientes internos e externos com e sem a aplicação da fachada verde. As variáveis monitoradas foram a temperatura do ar (TA), a umidade relativa (UR) e a velocidade do ar e os equipamentos utilizados e respectivas precisões estão especificados na Tabela 1.

Tabela 1 - Variáveis microclimáticas e os respectivos equipamentos de medição

Ambiente	Variáveis climáticas	Equipamento	Alcance/sensibilidade
Interno	TA, e UR	Datalogger HOBO® U12/013 com sensores externos HOBO® TM6C-HD	Temperatura: -20° a 70 °C (-4° to 158 °F) UR: 5% to 95% RH Canal Externo 0 a 2.5 VDC; 0 a 5 VDC e 0 a10 VDC (com cabo-ADAP10).
		Datalogger Testo® 175	Precisão: canal interno +2% HR (0...+100%HR), + 0,5°C (-20...+70 °C); canal externo +0,2 °C (-25...+70 °C).
Externo	Velocidade do Vento	Anemômetro digital AM-4220	Alcance:0.9 – 35,0 m/s Resolução: 0,1 m/s Precisão: +/- (2%+0,2 m/s)

Fonte: os autores.

Para o monitoramento interno da temperatura do ar e da umidade relativa foram utilizados termohigrômetros digitais (*dataloggers*) da marca HOBO fixados no centro das salas, em tripés de alumínio e regulados a 1,10 m de altura – recomendação para sensores de acordo com a ISO 7726 (1998), altura média do nível da cabeça das pessoas em pé no local (Figura 7).

Figura 7 - Termohigrômetro do monitoramento microclimático interno



Fonte: os autores.

A campanha de medições foi realizada entre os dias 27 de abril a 01 maio de 2020, em condições de tempo quente, com as janelas e portas das salas fechadas, sem a presença de pessoas no seu interior e sem uso de equipamento de refrigeração. As medições de temperatura interna e externa e umidade relativa foram realizadas por 24 h e as medições de velocidade do ar foram realizadas com periodicidade de hora em hora, das 08 h às 20 h.

Para o monitoramento externo da temperatura do ar e da umidade relativa, foi usado o termohigrômetro TESTO® 175, instalado em um ponto mediano entre a parede controle e fachada verde, em um tripé a uma altura de 1,10 m do piso, protegido da incidência solar direta (Figura 08). Para a medição da velocidade do vento foi utilizado o anemômetro digital AM-4220 e foram realizados nos mesmos dias. Os equipamentos foram devidamente calibrados.

Figura 8 - Termohigrômetro do monitoramento microclimático externo e medição da velocidade do vento

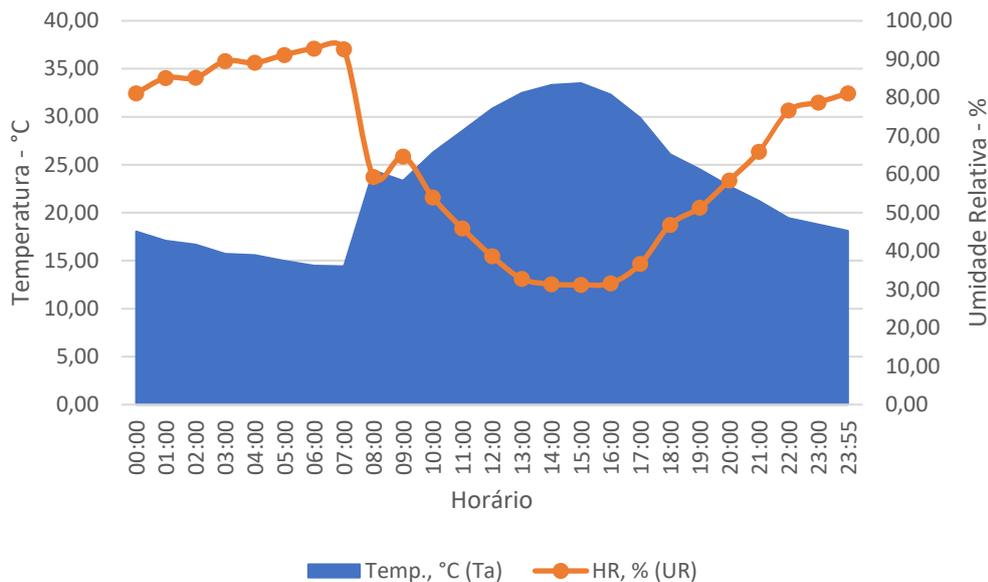


Fonte: os autores.

Resultados e Discussões

O monitoramento dos microclimas externos permitiu identificar as condições do tempo nos dias de campanha (27 de abril a 01 maio de 2020), no período de 24 h. Foram dias com baixa nebulosidade, velocidade do vento em torno de 1,42 m/s, temperatura média do ar de 22,9 °C, com a média mínima de 14,4 °C, às 07 h e a média máxima de 33,5 °C, às 15 h. A umidade relativa do ar obteve valor médio de 63,8%, média mínima de 31,2%, às 15 h, e média máxima de 92,8%, às 06 h (Figura 9).

Figura 9 - Médias de temperatura e umidade relativa referentes ao microclima externo no período de 27 de abril a 01 de maio 2020



Fonte: os autores.

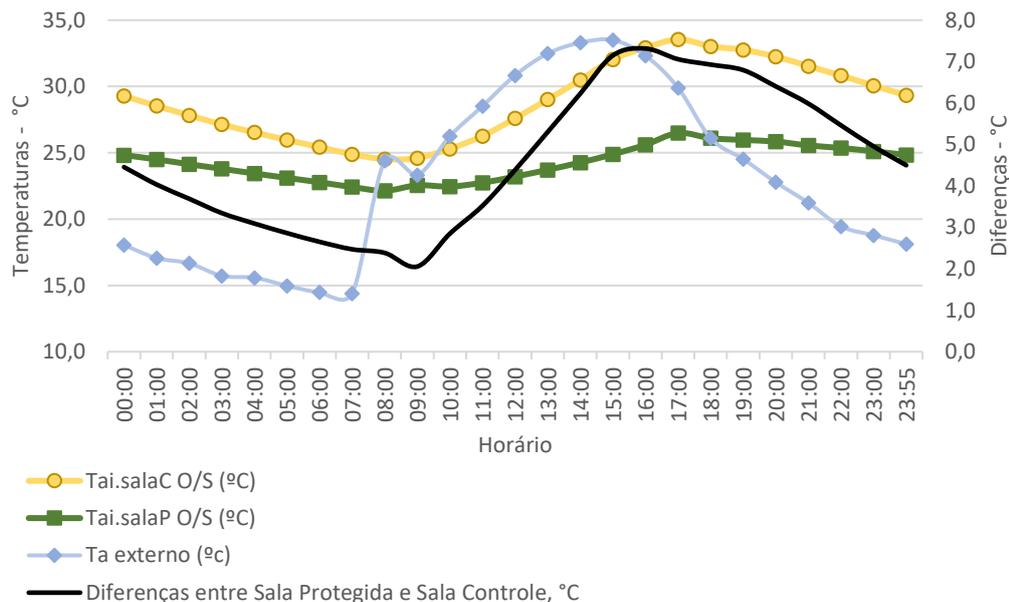
No período de medição, as condições de tempo externas foram mais quentes e secas em relação aos últimos anos, de acordo com arquivos climáticos do INMET 2016, disponibilizados na plataforma Projeteer (2020), que mostra o mês de abril com temperatura média de 21,2 °C, média máxima de 27,3 °C e média mínima de 16,9 °C; umidade relativa média de 81,2 %, com média máxima de 95,2 % e média mínima de 56,4 %. Com base nestes dados, as temperaturas médias nos dias monitorados foram 1,7 °C mais alta, amplitude térmica 8,7 °C maior e umidade relativa média 17,4 % mais baixa e com variação de 22,7 %.

Condições microclimáticas internas

Para a identificação das variáveis medidas, no interior e exterior das salas, foram definidas as seguintes nomenclaturas: Tai. salaP – Temperatura do ar interno na sala protegida; Tai. salaC - Temperatura do ar interno na sala controle; Uri. salaP – Umidade relativa interna na sala protegida; Uri. salaC – Umidade relativa interna na sala controle; Ta. Externo – temperatura do ar externa; Ur externo – Umidade relativa externa. Cada nomenclatura é complementada com as orientações das superfícies externas das salas: O/S – Oeste/Sul.

A Figura 10 mostra os valores horários médios dos dias monitorados. Verifica-se que a dinâmica de ganho e perda de calor foi semelhante nas salas protegida e controle. As menores temperaturas foram registradas até às 8 h, horário que inicia o aquecimento interno, e as maiores foram em torno das 17 h. A sala protegida sempre apresentou temperaturas do ar mais baixas em relação à sala controle e as diferenças de temperatura foram mais expressivas entre 10 h e 17 h. No entanto, as maiores diferenças foram registradas à tarde, período de maior exposição direta à radiação solar na face Oeste da sala. A menor diferença de temperatura foi de 2,1 °C, às 09 h, e a maior foi de 7,3 °C às 16 h.

Figura 10 - Temperatura média do ar interno nas salas O/S e do ambiente externo



Fonte: os autores.

A Tabela 2 apresenta uma síntese dos resultados, onde é possível verificar que a sala protegida apresentou uma temperatura do ar média 4,4 °C mais baixa em relação à sala controle. As médias mínimas em ambas as salas ocorreram no mesmo horário (08 h) e a sala protegida apresentou temperatura de 2,4 °C menor em relação à sala controle. As médias máximas ocorreram às 17 h em ambas as salas, e a protegida registrou temperatura de 7,1 °C menor em relação à sala controle. A sala protegida apresentou amplitude térmica de 4,4 °C, enquanto a sala controle de 9 °C, ou seja, uma diferença de 4,6 °C entre ambas.

Tabela 2 - Valores de temperaturas médias, média das mínimas e máximas nas salas protegida e controle O/S

Médias	Sala Protegida	Sala Controle	Ambiente externo
	Tai.salaP O/S (°C)	Tai.salaC O/S (°C)	Ta externo (°C)
Média	24,2	28,6	22,9
Média Mínima	22,1	24,5	14,4
Média Máxima	26,5	33,6	33,5

Fonte: os autores.

Esses resultados evidenciam que a fachada verde conseguiu interferir positivamente no microclima interno ao reduzir a temperatura da sala protegida em relação à sala controle, mostrando o potencial de atenuação térmica da fachada verde. Esta influência é resultado dos efeitos de isolamento, evapotranspiração e sombreamento do jardim na superfície externa da fachada Oeste.

Ressalta-se que, durante a campanha de medição, o jardim apresentava uma boa cobertura superficial (com 1 ano de plantio) e espessura vegetativa média de 46 cm (Figura 6). Esses parâmetros são fatores importantes que contribuem para a maior eficiência da fachada verde na redução das variações térmicas internas, como ressaltado por alguns autores, como Safikhani *et al.* (2015) e Muñoz (2019).

Ao comparar os dados de temperatura do ar das salas com os obtidos externamente, verifica-se que ambas (protegida e controle) apresentam temperatura média mais alta em relação à temperatura externa (1,3 °C a mais na sala protegida e 5,7 °C na sala

controle). Em relação à temperatura média mínima, a sala protegida e controle apresentaram valores 7,7 °C e 10,1 °C mais altos, respectivamente; enquanto que para a temperatura média máxima, na sala protegida foi 7,0 °C menor, enquanto na sala controle foi praticamente igual à da temperatura externa.

As maiores diferenças de temperatura do ar entre as salas foram registradas nos períodos vespertino e noturno, com valores máximos de 6,3 °C e 5,9 °C, respectivamente (Tabela 3). Ao considerar o local de estudo, este resultado é muito benéfico, pois a maior utilização das salas ocorre à tarde e à noite. Portanto, a redução nos valores internos de temperatura do ar, ocasionada pelo uso da fachada verde, pode contribuir para redução do consumo energético ao proporcionar condições térmicas mais favoráveis ao conforto humano. No período vespertino, a temperatura da sala protegida permaneceu mais baixa que a temperatura externa até às 18 h, enquanto a sala controle ficou mais baixa apenas até às 16 h, ou seja, a sala protegida com a fachada verde contribuiu para um atraso térmico de 2 h em relação à sala controle.

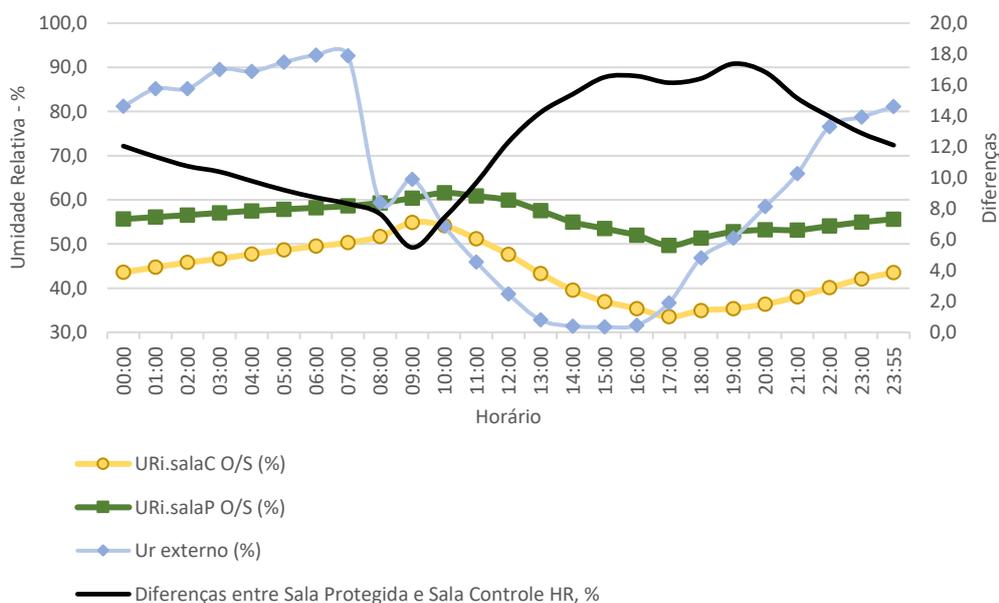
Tabela 3 – Valores de temperatura média do ar por períodos do dia nas salas O/S

Período do dia	Tai.salaP O/S (°C)	Tai.salaC O/S (°C)
Madrugada (00 h às 05h59)	23,8	27,2
Matutino (06 h às 11h59)	22,6	25,5
Vespertino (12 h às 17h59)	24,9	31,2
Noturno (18 h às 23h59)	25,5	31,4

Fonte: os autores.

Em relação aos valores de umidade relativa do ar, verifica-se que a dinâmica dos ganhos e perdas observada nas salas foi semelhante e a sala protegida apresentou valores maiores durante todo o período de medição (em torno de 10%), com maior expressividade no período vespertino (Figura 11). A comparação dos valores de umidade das salas com o ambiente externo evidencia que a sala protegida e controle apresentaram maiores valores de umidade relativa do ar durante 9h30min e 6h30min, respectivamente. Este fato evidencia que a fachada verde da sala protegida também contribuiu para manter a umidade relativa do ar mais alta no ambiente interno por um tempo maior (3h) (Tabela 4).

Figura 11 - Umidade relativa interna nas salas O/S e do ambiente externo



Fonte: os autores.

Tabela 4 - Valores de umidade média, média mínima e média máxima nas salas O/S protegida e controle

Médias	Sala Protegida	Sala Controle	Ambiente externo
	URi.salaP O/S (%)	URi.salaC O/S (%)	Ur externo
Média	56,1	43,8	63,7
Média Mínima	49,6 (17h)	33,5 (17h)	31,2
Média Máxima	61,6 (09h)	54,9 (10h)	92,8

Fonte: os autores.

Em valores absolutos, a média mínima da umidade relativa do ar ocorreu em torno das 17 h em ambas as salas e foi 16% maior na sala protegida. Quanto à média máxima, a sala protegida apresentou umidade relativa de 6,7% maior e uma amplitude de 9,5% menor. As maiores diferenças ocorreram no período vespertino (15,4%) e noturno (15%) (Tabela 5).

Tabela 5 - Valores médios de umidade relativa por período do dia nas salas O/S

Período do dia	URi.salaP O/S (%)	URi.salaC O/S (%)
Madrugada (00h às 05h59)	57,0	46,7
Matutino (06 às 11h59)	59,8	51,3
Vespertino (12h às 17h59)	54,1	38,7
Noturno (18h às 23h59)	53,6	38,6

Fonte: os autores.

Verifica-se que os resultados obtidos nesta pesquisa seguem as tendências dos estudos desenvolvidos por Eumorfopoulou e Kontoleon (2009), Sunakorn e Yimprayoon (2011), Morelli e Labaki (2013), Safikhani *et al.* (2015) e Yang *et al.*, (2018), conforme apresenta o Quadro 1.

Verifica-se, portanto, que os valores de redução de temperatura do ar encontrados por este estudo são maiores em relação aos demais trabalhos da literatura, para as condições climáticas e orientações de fachada aqui estudadas. A fachada verde contribuiu para uma redução máxima de 6,3 °C da sala protegida em relação à controle, ou seja, 1,6 °C a menos que o encontrado por Sunakorn e Yimprayoon (2011) e 6 °C a menos que o encontrado por Morelli e Labaki (2013), sendo que essas reduções foram registradas nos horários mais quentes do dia e de maior uso do espaço interno pelos funcionários do centro universitário. No caso estudado, a fachada verde também amorteceu os ganhos térmicos do ambiente interno e estabilizou a temperatura do ar entre 24,8 - 26,5 °C, dentro da faixa de conforto térmico (20,3°C à 27,9 °C), conforme o modelo adaptativo de conforto térmico da ASHRAE 55, obtidos com o uso do software Climate Consultant (SBSE, 2020), o que poderia levar a uma redução no uso do ar-condicionado e maior economia energética do edifício.

Quadro 1- Comparativo dos resultados dos estudos que investigam a influência térmica de fachadas verdes

Autores	Método	Objeto de estudo	Orientação	Clima	Principais Resultados (redução de TAi)
Eumorfopoulou e Kontoleon (2009)	Estudo experimental	Fachada verde direta	Leste	Temperado	Redução média de 0,5°C
Sunakorn e Yimprayoon (2011)	Estudo experimental	Fachada verde indireta	Oeste	Tropical	Redução máxima de 4,7 °C e média de 0,9 °C
Morelli e Labaki (2013)	Estudo experimental	Fachada verde indireta	Norte	Tropical temperado	Redução média de 0,3 °C
Safikhani <i>et al.</i> (2015)	Estudo experimental	Fachada verde indireta	Oeste	Úmido	Redução máxima de 3 °C
Yang <i>et al.</i> (2018)	Estudo experimental	Fachada verde indireta	Sul	Verão	Redução máxima de 2,5 °C
Presente estudo	Estudo experimental	Fachada verde indireta	Oeste	Cfa	Redução máxima de 6,3 °C

Fonte: os autores.

Ressalta-se que, no estudo apresentado, o sistema construtivo possui alta transmitância térmica (3,0 W/m²k), sendo que a eficiência térmica da fachada verde poderia ser ainda melhor. Alia-se a esse resultado o fato de que as esquadrias se mantiveram fechadas e,

portanto, sem uso de outra estratégia, além do ar-condicionado, para auxiliar as perdas de calor da edificação. Com isso, demonstra-se a influência térmica positiva da fachada verde no microclima interno do caso estudado e a sua efetividade e importância como estratégia bioclimática passiva na redução dos ganhos de calor no ambiente construído, para o clima analisado.

Conclusão

Esta pesquisa evidenciou a influência de uma fachada verde indireta na amenização da temperatura interna do ar de um escritório universitário localizado em clima subtropical. Foram registradas redução média na temperatura do ar interno de 4,4 °C, redução máxima de 7,3 °C (16 h) e mínima de 2,1 °C (08 h), entre sala protegida e sala controle. O maior destaque foi em relação à redução da temperatura média máxima, que ocorreu à tarde, período de maior incidência da radiação solar na face Oeste, onde encontra-se construído o experimento.

A fachada verde indireta também manteve os valores de umidade relativa do ar da sala protegida maiores do que a sala controle, com uma diferença máxima absoluta de 17,4%. Além disso, a umidade relativa do ar da sala protegida manteve-se mais alta por mais tempo (09h30min até às 19 h) que a sala controle, em relação ao ambiente externo.

Esses resultados demonstram a eficiência da fachada verde indireta na mitigação dos ganhos de calor pela sua atuação no sombreamento, evapotranspiração e isolamento das superfícies onde foi aplicada, o que contribui para amenização da temperatura dos microclimas internos. Essa eficiência foi registrada sem o uso de outras estratégias como ventilação natural.

Assim, reforça-se que essa tipologia de jardim vertical constitui uma técnica passiva de controle térmico de grande potencial e que pode contribuir para melhorar o desempenho térmico de edificações. A partir disso, recomenda-se estudos similares em outros sistemas construtivos e também com uso conjunto de outras estratégias para resfriamento da edificação.

Referências

ALEXANDRI, E.; JONES, P. Temperature decreases in an urban canyon due to green walls and green roofs in diverse climates. **Building and Environment**, v. 43, n. 4, p. 480–493, abr. 2008. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2006.10.055>

ALVARES, C. A. et al. Köppen's Climate Classification Map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711–728, 1 dez. 2013. DOI: <https://doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507>

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220-3**: Desempenho térmico das edificações: Parte 3- Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para edificações unifamiliares de interesse social. Rio de Janeiro. 2005.

BARBOSA, M. C.; FONTES, M. S. G. de C. Jardins verticais: modelos e técnicas. **PARC Pesquisa em Arquitetura e Construção**, Campinas, SP, v. 7, n. 2, p. 114–124, 2016. DOI: <https://doi.org/10.20396/parc.v7i2.8646304>.

CAMERON, R. W. F.; TAYLOR, J.; EMMETT, M. A *Hedera* Green Façade – Energy Performance and Saving under Different Maritime-Temperate, Winter Weather Conditions. **Building and Environment**, v. 92, p. 111–121, out. 2015. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2015.04.011>

CHENG, C. Y.; CHEUNG, K. K. S.; CHU, L. M. Thermal Performance of a Vegetated Cladding System on Facade Walls. **Building and Environment**, v. 45, n. 8, p. 1779–1787, ago. 2010. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2010.02.005>

EUMORFOPOULOU, E. A.; KONTOLEON, K. J. Experimental Approach to the Contribution of Plant-Covered Walls to the Thermal Behaviour of Building Envelopes. **Building and Environment**, v. 44, n. 5, p. 1024–1038, maio 2009.

ISO – INTERNACIONAL ORGANIZATION OF STANDARDIZATION. **ISO 77726. Ergonomics of the Thermal Environment-Instruments for measuring physical Quantities**. International Organization for Standardization, Geneva. 1998

KÖHLER, M. **Green Facades**—a View Back and Some Visions. *Urban Ecosystems*, v. 11, n. 4, p. 423–436, dez. 2008.

MANSO, M.; CASTRO-GOMES, J. Green Wall Systems: A Review of Their Characteristics. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 41, p. 863–871, jan. 2015. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.07.203>

MORELLI, D.; LABAKI, L. C. Paredes verdes: estudo experimental sobre seus efeitos no espaço construído. In: ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRuíDO, 12.; ENCONTRO LATINO-AMERICANO DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRuíDO, 8., 2013, Brasília. **Anais [...]**. Brasília: ENCAC-ELACAC, 2013.

MUÑOZ, L. S. **Potencial amenizador térmico de jardim vertical do tipo fachada verde indireta**: estudos com diferentes espécies de trepadeiras. 2019. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) - Universidade Estadual Paulista, Bauru, 2019. Disponível em: <http://hdl.handle.net/11449/190836>. Acesso em: 19 dez. 2021.

MUÑOZ, L. S.; CRUCIOL BARBOSA, M.; FONTES, M. S. G. de C.; FARIA, J. R. G. de. Desempenho térmico de jardins verticais de tipologia fachada verde. **PARC Pesquisa em Arquitetura e Construção**, Campinas, SP, v. 10, p. e019013, 2019. DOI: <https://doi.org/10.20396/parc.v10i0.8652775>.

OTTELÉ, M. et al. Comparative Life Cycle Analysis for Green Façades and Living Wall Systems. **Energy and Buildings**, v. 43, n. 12, p. 3419–3429, dez. 2011. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2011.09.010>

PAPADAKIS, et al. An experimental investigation of the effect of shading with plants for solar control of buildings. **Energy and Buildings**. v. 33 p. 831.836. out. 2001. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0378-7788\(01\)00066-4](https://doi.org/10.1016/S0378-7788(01)00066-4)

PÉREZ, G. et al. Green Facade for Energy Savings in Buildings: The Influence of Leaf Area Index and Facade Orientation on the Shadow Effect. **Applied Energy**, v. 187, p. 424–437, fev. 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2016.11.055>

PROJETEEE – Projetando Edificações Energeticamente Eficientes. **Componentes construtivos**. Disponível em: <http://projeteee.mma.gov.br/componente/bloco-concreto-14x19x39-cm-argamassa-externa-2-5-cm/>. Acesso em: 25 jun. 2020.

PROJETEE - Projetando Edificações Energeticamente Eficientes. **Dados climáticos de Ourinhos-SP**, INMET 2016. Disponível em: http://projeteee.mma.gov.br/dadosclimaticos/?cidade=SP++Ourinhos&id_cidade=bra_sp_ourinhos.868660_inmet. Acesso em: 20 jun. 2020.

RAMALHO, C. L. Trepadeiras Ornamentais do Cerrado. 1ª ed. Brasília-DF: Embrapa Cerrados, 2004. v. 1º

SAFIKHANI, T. et al. Thermal Impacts of Vertical Greenery Systems. **Environmental and Climate Technologies**, v. 14, n. 1, p. 5-11, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1515/rtuect-2014-0007>

SCHERER, M. J.; FEDRIZZI, B. M. Jardins verticais: potencialidades para o ambiente urbano. **Revista Latino-Americana de Inovação e Engenharia de Produção**, v. 2, n. 2, p. 49-61, 2014.

SOUSA, R. B. de. **Jardins Verticais**: um contributo para os espaços verdes urbanos e oportunidade na reabilitação do edificado. 2012. Dissertação (Mestrado em Arquitetura) – Faculdade de Arquitetura, Universidade Lusófona do Porto, Porto, 2012.

SUNAKORN, P.; YIMPRAYOON, C. Thermal Performance of Biofacade with Natural Ventilation in the Tropical Climate. **Procedia Engineering**, v. 21, p. 34–41, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2011.11.1984>

SUSOROVA, I.; AZIMI, P.; STEPHENS, B. The Effects of Climbing Vegetation on the Local Microclimate, Thermal Performance, and Air Infiltration of Four Building Facade Orientations. **Building and Environment**, v. 76, p. 113–124, jun. 2014. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016%2Fj.buildenv.2014.03.011>

YANG, F. et al. Summertime Thermal and Energy Performance of a Double-Skin Green Facade: A Case Study in Shanghai. **Sustainable Cities and Society**, v. 39, p. 43–51, mai. 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scs.2018.01.049>

1 Leonardo Diba Gonçalves Padovan

Arquiteto e Urbanista. pela Universidade Paulista Júlio de Mesquita Filho. Professor no Centro Universitário das Faculdades Integradas de Ourinhos. Endereço postal: Rodovia BR 153, Km 338+420m, Bairro Água do Cateto, Ourinhos, SP, Brasil, CEP 19909-100

2 Maria Solange Gurgel de Castro Fontes

Arquiteta e Urbanista. Doutorado em Ciências da Engenharia Ambiental pela Universidade de São Paulo. Professora assistente na Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Faculdade de Arquitetura Artes e Comunicação de Bauru. Endereço postal: Av. Eng. Luiz Edmundo Carrijo Coube, nº 14-01, Vargem Limpa, Bauru, SP, Brasil, CEP 17033-360

3 Murilo Cruciol Barbosa

Biólogo. Mestrado em Arquitetura e Urbanismo pela Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho. Especialização em Paisagismo pelas Faculdades Integradas de Bauru- FIB. Endereço postal: Av. Eng. Luiz Edmundo Carrijo Coube, nº 14-01, Vargem Limpa, Bauru, SP, Brasil, CEP 17033-360.