

COBERTURA E FACHADA VERDE: ANÁLISE DE EPISÓDIO CLIMÁTICO REPRESENTATIVO DE FRIO EM CÉLULAS DE TESTES

ROOF AND GREEN FACADE: COLD REPRESENTATIVE CLIMATE EPISODE ANALYSIS IN TEST CELLS

THIAGO YOUZI KUSSABA KAYANO

Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.
Av. Trabalhador São-carlense, 400 – São Carlos (SP) Brasil CEP: 13566-590
E-mail: thiago.kayano@usp.br

NURIA PEREZ GALLARDO

Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.
Av. Trabalhador São-carlense, 400 – São Carlos (SP) Brasil. CEP: 13566-590
E-mail: perez_gallardo_n@hotmail.com

BRUNO CÉSAR DOS SANTOS

Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.
Av. Trabalhador São-carlense, 400 – São Carlos (SP) Brasil. CEP: 13566-590
E-mail: bruno-unifal@hotmail.com

MAURICIO SANCHES DUARTE SILVA

Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.
Av. Trabalhador São-carlense, 400 – São Carlos (SP) Brasil. CEP: 13566-590
E-mail: mauriciosanches@usp.br

RAFAEL PERUSSI

Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.
Av. Trabalhador São-carlense, 400 – São Carlos (SP) Brasil. CEP: 13566-590
E-mail: rafaelperussi@gmail.com

GUSTAVO ZEN DE FIGUEIREDO NEVES

Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.
Av. Trabalhador São-carlense, 400 – São Carlos (SP) Brasil CEP: 13566-590
E-mail: gustavozen@usp.br

Informações sobre o Artigo

Data de Recebimento:

Novembro/2018

Data de Aprovação:

Dezembro/2018

Resumo: Com a busca de alternativas para melhorar o conforto ambiental em ambientes construídos, os sistemas de fachadas e tetos verdes aparecem como uma opção para melhoria, em especial, do conforto térmico. Utilizando-se de um episódio climático representativo no mês de junho de 2016, analisou-se comparativamente o comportamento térmico de uma célula de teste com fachada e teto verde e uma célula de controle para avaliação do desempenho térmico em dia crítico experimental de

frio. O experimento foi realizado no Centro de Recursos Hídricos e Estudos Ambientais (CRHEA) da Universidade de São Paulo (USP), em Itirapina-SP. Os resultados indicaram que a célula de teste com fachada e teto verde possui um melhor desempenho térmico em comparação à célula de controle.

Palavras-chave: desempenho térmico, episódio climático representativo, comportamento térmico, fachada verde, cobertura verde.

Abstract: In searching for better thermal behavior alternatives in building environments green facade systems and green roofs emerge as an improvement option, particularly in thermal comfort. Using a representative climate episode to analyze the month of June of 2016 we studied the thermal performance of a green façade and green roof test cell and a control test cell in experimental critical cold day. The experiment was made in Water Resource and Environmental Studies Center (CRHEA) of University of São Paulo (USP), in Itirapina-SP. The results indicated the green wall and green roof test cell have a better thermal performance than control test cell.

Keywords: Thermal performance, climatic representative episode, thermal behavior, green façade, green cover.

1. Introdução¹

Com uma demanda cada vez maior por alternativas que se preocupam com as questões ambientais, tecnologias que venham mitigar ou atenuar os efeitos causados pela interferência humana ganham importância. Antes utilizadas apenas como ornamento e para efeitos estéticos, as coberturas verdes começam a ser utilizadas como um método de controle de temperatura interna em ambiente construído.

As edificações são construídas principalmente para promover segurança e proporcionar condições mais adequadas às atividades humanas, além de poderem ser consideradas as melhores formas de termorregulação, ou seja, a função destas construções é proteger os indivíduos das intempéries as quais estão sujeitos, mantendo em seu interior uma proteção contra os rigores do clima (TIBERIO CARDOSO; VECCHIA, 2014). Nesse sentido, o principal requisito às edificações é promover o menor estresse térmico aos usuários (OKE, 1988).

O uso de vegetação em edificações pode variar desde um simples gramado até sofisticados jardins. É uma alternativa viável devido às numerosas vantagens que oferece, não só para o condicionamento térmico interno, como também para o meio ambiente externo. Esses benefícios são resultados do processo de evapotranspiração e fotossíntese que as plantas realizam. Mediante a evapotranspiração se produz um aumento da umidade do ambiente que tem como consequência a redução da temperatura microescala, e por meio da fotossíntese as plantas são capazes de realizar uma renovação do ar entorno de onde elas se localizam, somados aos fluxos turbulentos na camada inferior do dossel urbano. Tudo isso, traz consigo uma microclima mais ameno em cidades de clima tropical, caracterizado por maiores porcentagens de áreas verdes e redução de contaminação do ar (GALLARDO, 2017).

O uso de fachadas verdes pode ajudar no desempenho térmico de edificações localizadas tanto em regiões de clima quente quanto em climas frios. Em regiões de clima quente amenizam as temperaturas da superfície das paredes por meio do efeito de sombra, além de gerar uma carga de

¹ Os dados da presente pesquisa são parte do trabalho de mestrado do primeiro autor.

resfriamento pelo microclima das plantas quando adultas. Já em regiões de clima frio atuam como retardadoras de perda de calor pela parede do edifício (DUNNETT; KINGSBURY, 2008).

O clima tem grande influência sobre o comportamento térmico de tetos e paredes verdes e, portanto, faz-se necessário a utilização de conceitos climatológicos como ferramenta para estudos na área de conforto. Cunha e Vecchia (2007) enfatizam a importância das condições climáticas para estes estudos, tanto nas atividades realizadas no ambiente externo quanto no ambiente construído, pois pode inferir em padrões de planejamento de atividades ao ar livre, de ocupação territorial, na concepção de projetos arquitetônicos, e até mesmo auxiliar em processos de tomada de decisão em diversos aspectos ambientais.

2. Materiais e métodos

Para um melhor entendimento, é necessário compreender a diferença entre comportamento e desempenho térmico. De acordo com Seixas (2015), os conceitos de comportamento e desempenho térmico são pautados nas características físicas dos materiais que constituem a edificação, como por exemplo, espessura e condutividade térmica.

O comportamento térmico de acordo com Santos et al. (2004) analisa a resposta do material ou de um sistema construtivo à solicitação térmica. É uma análise feita de modo a classificar o objeto de investigação em relação à sua condutividade e capacidade térmica.

O desempenho térmico, além de considerar as características térmicas definidas pelo comportamento, é instrumento de comparação de sistemas construtivos em relação à eficiência energética de edificações (SEIXAS, 2015).

Estes dois conceitos, comportamento e desempenho térmico, somados aos aspectos sensoriais da percepção térmica pelo corpo humano – de caráter psicológico e subjetivo – uma vez que as sensações termofisiológicas procuram indicar um estado mental diretamente ligado às condições térmicas do ambiente, permitirão a avaliação do conforto térmico considerando-se também as condições de uso e circulação no ambiente, assim como as atividades e vestimenta dos ocupantes (SEIXAS, 2015).

Fachadas verdes são baseadas em sua aplicação das plantas penduradas ao longo da parede. As plantas podem crescer para cima a partir da superfície vertical, ou crescem para baixo da superfície vertical, no caso são penduradas a partir de certa altura (DUNNETT; KINGSBURY, 2008). Fachadas verdes são classificadas como direta ou indireta. Na primeira, as plantas são diretamente ligadas à parede, enquanto que na última uma estrutura de suporte para a vegetação é incluída (LAURENZ et al., 2005). Esses suportes são na maioria das vezes gradeadas, podendo ser de PVC (*policloreto de vinila*), metal e madeira (KÖHLER, 2008).

São denominadas coberturas verdes toda superfície exterior de uma cobertura preparada para receber vegetação. Em geral, as coberturas verdes são formadas por cinco componentes principais: uma membrana anti-raiz, uma membrana impermeável, uma camada drenante, manta geotêxtil, o solo e suas plantas (TEEMUSK; MANDER, 2009). Estas coberturas verdes podem ser classificadas em extensivas e intensivas em função da profundidade da camada de substrato, do tipo de vegetação e dos materiais utilizados para a construção (SUN et al., 2013).

Para se estudar os efeitos do uso de fachada e teto verde em edificações, é necessário definir os episódios climáticos representativos analisando os dados coletados, em particular aqueles que apresentam alguma peculiaridade.

A adoção de episódios representativos do fato climático pode ser aplicada com segurança na representação das condições climáticas, primeiro, porque é dinâmico, apresenta início e final bem caracterizado do fato climático e, segundo, porque não se desvincula da gênese do clima, dos fenômenos de circulação atmosférica e do acompanhamento de suas repercussões através da aquisição dos dados climáticos de superfície, da observação visual dos fenômenos atmosféricos, entre outras atitudes e verificações que não nos submetem a uma ruptura no convívio e interpretação da natureza (VECCHIA, 1997).

Os períodos de observação tomados dessa forma representam o tipo de tempo por meio de uma única sequência a cada massa polar que penetra, com características próprias, além de particular rigor e duração, na medida em que avança e predomina sobre o local. Dessa forma, pode-se justificar a utilização dos episódios representativos como instrumento de avaliação do desempenho térmico e das condições do Conforto Humano afeitos ao estudo e análise do ambiente construído (VECCHIA, 1997).

2.1. Caracterização da área de estudo

O projeto foi realizado no Centro de Recursos Hídricos e Estudos Ambientais (CRHEA), localizado na cidade de Itirapina, próximo a represa do Lobo numa altitude de 773m acima do nível do mar, com coordenadas geográficas 22°10'13.5447"S e 47°53'55.7286"W, na região central do Estado de São Paulo, próximo às cidades de São Carlos e Rio Claro.

O Clima é considerado Tropical de Altitude correspondente a Cwa da classificação climática de Köppen-Geiger e, portanto, possui características de calor intenso e inverno seco. A temperatura média ao longo do ano gira em torno 18°C a 22°C.



Figura 1: Localização da área de estudo. Fonte: Perussi (2017) adaptado.

2.2. Descrição das células de testes

Neste ensaio foram utilizadas duas células experimentais, constituídas de célula de controle (CC) e teto + fachada verde (CTF). A planta utilizada foi a *Thumbergia grandiflora*, conhecida popularmente como Tumbergia Azul, e foram plantadas nas faces norte e oeste da célula de teste. Para o teto a planta utilizada foi *Paspalum notatum* conhecida como grama batatais, grama-forquilha, grama-mato-grosso, grama-comum e grama-de-pasto. As temperaturas da superfície das paredes e da área interna foram coletadas por meio de termopares, conectados a um medidor automático, que mede a temperatura a cada 30 segundos e agregados numa média a cada hora. As informações de temperatura externa do ar, radiação solar, pressão atmosférica e precipitação foram obtidas na estação climatológica automática do CHREA, cujos dados são coletados a cada 30 segundos e armazenados em uma média a cada 30 minutos.



Figura 2: Vista área das células de testes. Fonte: Fracarolli (2015)

As células de teste possuem dimensões de 2,0 m x 2,5 m x 2,71 m, com o piso feito de cimento e areia, as paredes são feitas de tijolos maciço com dimensões de 10 cm x 20 cm x 5 cm cada e um rejunte de 1,5 cm de espessura entre cada tijolo. Todas as células possuem portas de madeiras localizada na parede leste com dimensões de 2,10 m x 0,60 m e uma janela colocada na parede norte com dimensões de 1,00 x 0,70 m.

Todas as células foram construídas sob as mesmas orientações, ou seja, recebem a mesma intensidade de radiação solar, vento e outros eventos atmosféricos. Isso permite que as células possuam as mesmas condições climáticas, bem como não permite a criação de sombras entre elas.



Figura 3: Imagens da células de teste. Fonte: o autor (2018)

2.3. Análise do episódio climático representativo

A análise do comportamento térmico das células de testes foi realizada utilizando-se de um episódio climático representativo do tipo de tempo definido a partir de dia crítico experimental. Este, foi escolhido após análise do gráfico das temperaturas médias registradas no período estudado, de acordo com a adaptação de Vecchia (1997) da definição dos *Tipos de Tempo* (MONTEIRO, 1969), nos quais são considerados os dados meteorológicos em superfície junto às propriedades das massas de ar em determinado local. Com isso foi possível escolher um dia crítico experimental para

um dia de calor. O episódio climático representativo foi analisado utilizando-se das variáveis climáticas de temperatura, umidade relativa do ar, pressão atmosférica, precipitação e radiação solar, além das imagens de satélite do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE.

3. Resultados e discussões

O período de estudo deste trabalho foi o mês de Junho de 2016, sendo elaborado o gráfico das temperaturas médias a partir dos dados coletados pela estação climatológica do CRHEA (figura 4). Após a análise do gráfico, foi escolhido o episódio climático representativo entre 9 a 16 de junho, neste período foi registrada a temperatura de 2,2°C no dia 13 às 7:30, sendo este o dia crítico experimental estudado para avaliação do desempenho térmico das células de testes.

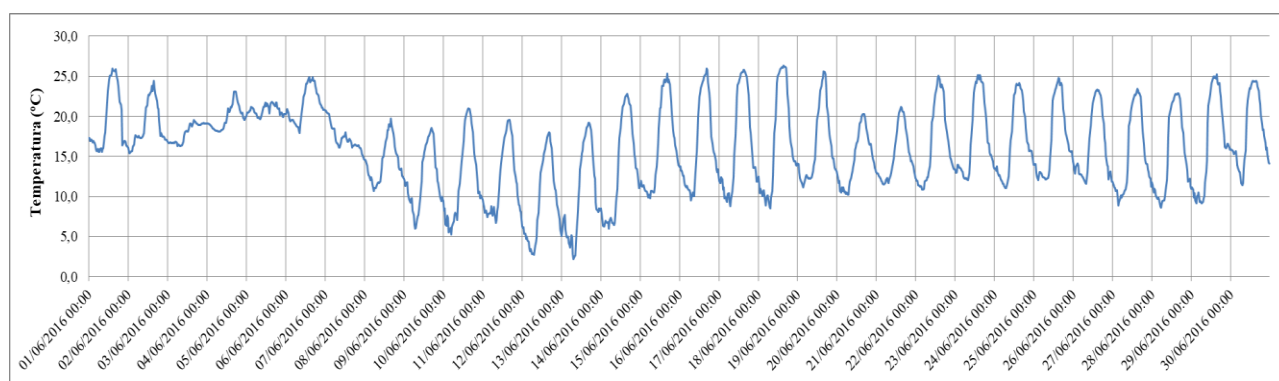


Figura 4: Gráfico das temperaturas médias de Junho de 2016

Definido o dia crítico experimental, por meio de imagens de satélite do INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais) e dos dados climatológicos da estação climatológica, foi possível analisar o episódio climático. Devido a grande quantidade de imagens de satélites, somente as imagens correspondentes às 15:00 do período estudado foram inseridas neste trabalho (figura 5).

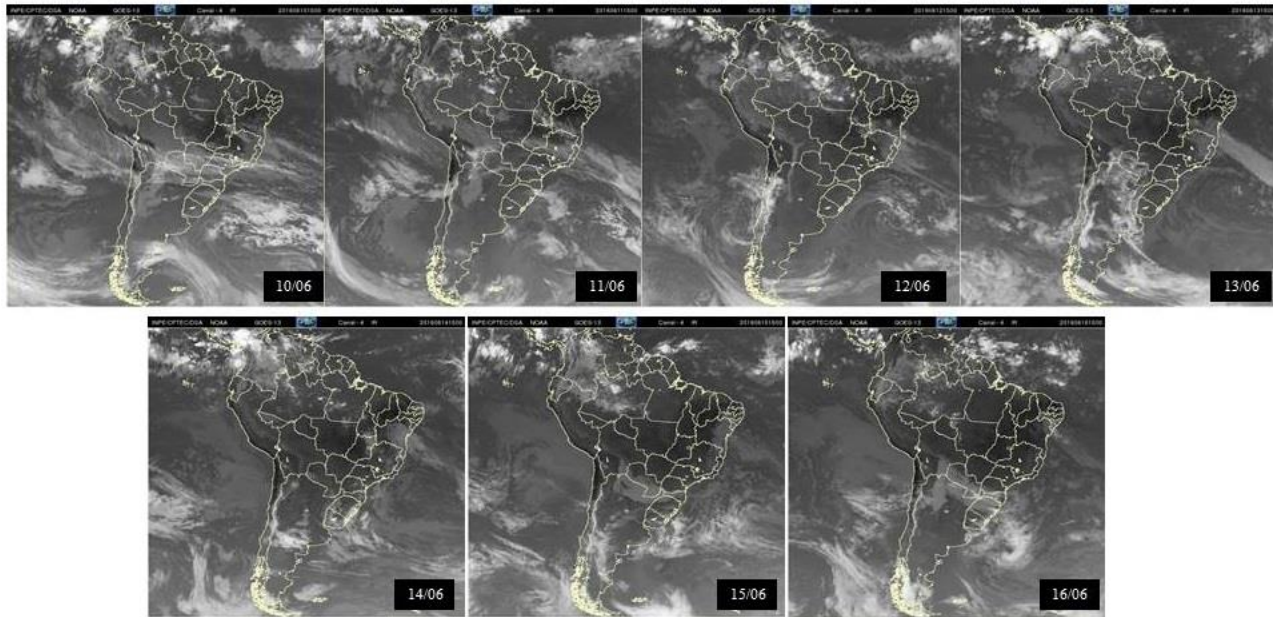


Figura 5: Imagens de satélite GOES-13 CPTEC-INPE. Fonte INPE (2019)

Também foi elaborado o gráfico dos dados climatológicos do episódio climático representativo (figura 6), analisando-o junto com as imagens de satélite.

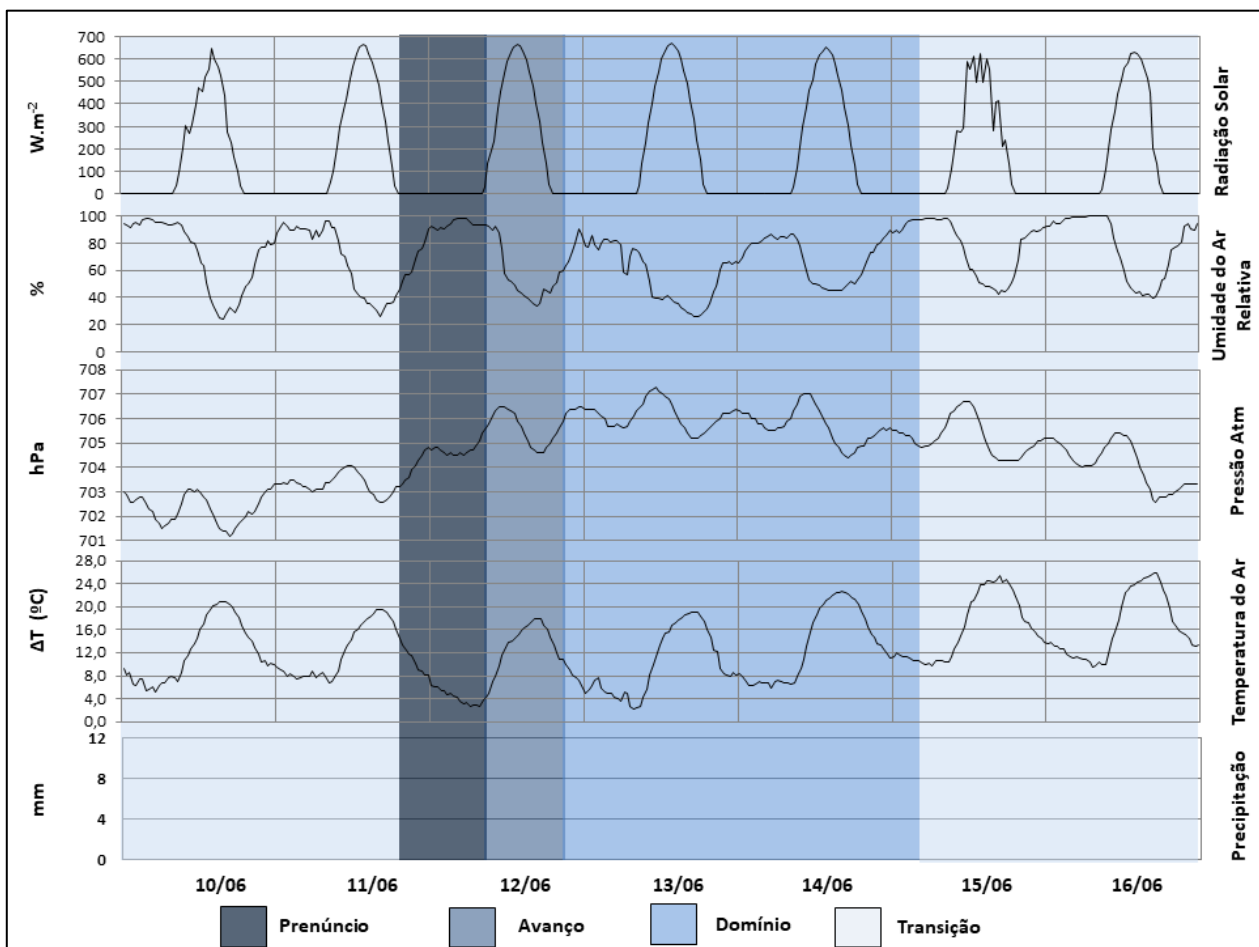


Figura 6: Gráficos com as variáveis climatológicas do episódio estudado.

Nos dias 10 e 11 de junho, a Massa Polar Atlântica encontrava-se em fase de transição na região do experimento. Porém no dia 11, esta massa sofre o reforço de outra massa polar atlântica, diminuindo a temperatura nos dias 12 e 13. Durante esses dias, ocorreu uma elevação da pressão atmosférica, caracterizando a presença de uma massa de ar fria. No dia 14, a massa de ar começa a perder força, aumentando levemente a temperatura nos dias seguintes. No dia 15, apesar da nebulosidade ao longo do dia, ela não foi suficiente para a ocorrência de precipitação. No dia 16, tem-se uma estabilidade atmosférica. Não ocorreu precipitação em nenhum dos dias do episódio estudado.

Foram elaborados quatro gráficos com as temperaturas das células de testes, sendo um gráfico para as temperaturas superficiais internas das fachadas norte, para as temperaturas superficiais internas das fachadas oeste, para as temperaturas superficiais internas do teto e para a temperatura interna do ar das células de teste (figura 7).

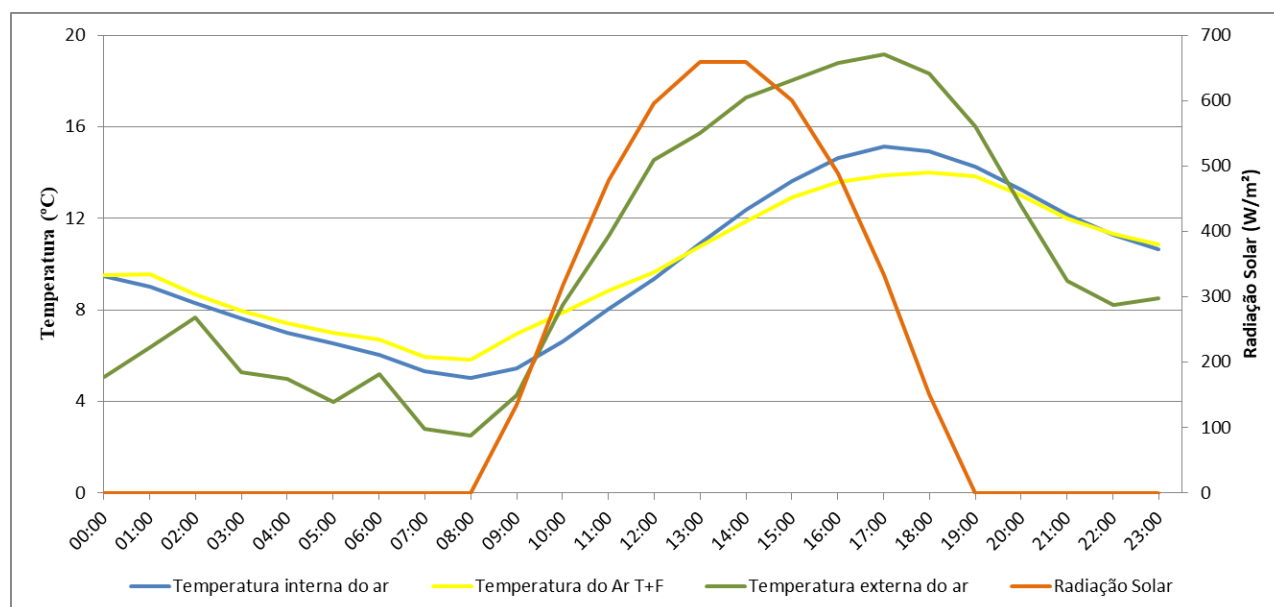


Figura 7: Gráfico de temperatura interna do ar das células de testes, externa do ar e radiação solar.

A partir da análise dos gráficos verificou-se que a menor temperatura interna do ar registrada na Célula teto + fachada (CTF) foi de 5,8°C às 8:00, enquanto na célula de controle (CC) foi de 5,0° também às 8:00. Com relação às temperaturas máximas registradas, a CTF foi de 14,0°C as 18:00 e da CC foi de 15,1°C as 17:00, sendo a amplitude térmica de 8,1°C da CTF e 10,1°C.

Além da temperatura interna do ar, também foram coletadas as temperaturas superficiais internas das paredes norte (figura 9) e oeste (figura 8) e do teto das células de teste (figura 10). Estes dados também mostraram que a célula teto + fachada tem um melhor desempenho térmico.

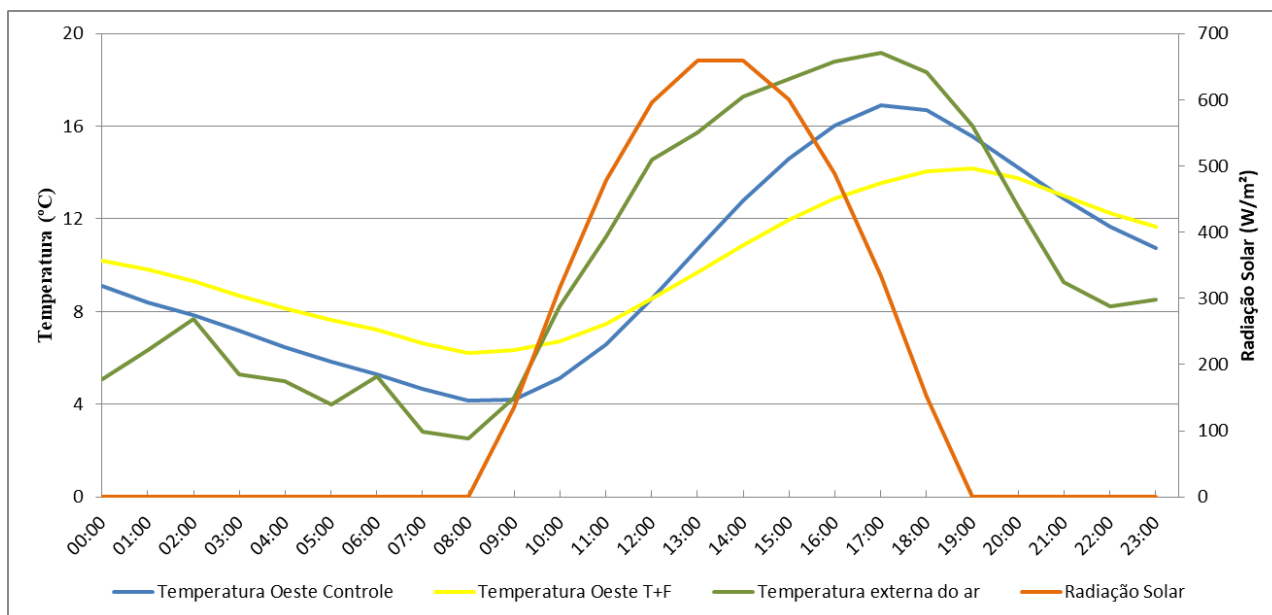


Figura 8: Gráfico das temperaturas superficiais internas da parede oeste e externa do ar e da radiação solar.

A temperatura superficial interna da parede oeste mínima registrada no dia foi de 6,2°C na CTF e 4,1°C na CC, ambos as 8:00 e máxima registrada foi de 14,2°C na CTF e 16,9°C na CC. As amplitudes térmicas foram de 8,0°C na CTF e 12,7°C na CC.

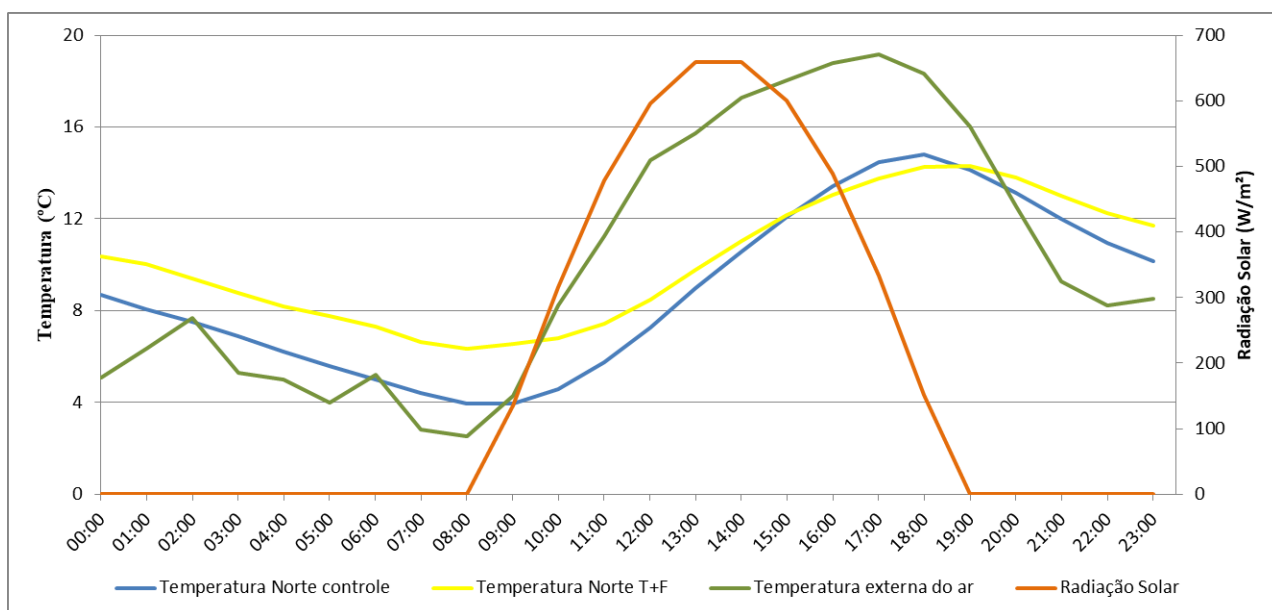


Figura 9: Gráfico das temperaturas superficiais internas da parede norte e externa do ar e radiação solar.

A temperatura superficial interna da parede norte mínima registrada no dia foi de 6,3°C na CTF e 3,9°C na CC, ambos as 8:00 e máxima registrada foi de 14,3°C na CTF e 14,8°C na CC. As amplitudes térmicas foram de 8,0°C na CTF e 12,7°C na CC.

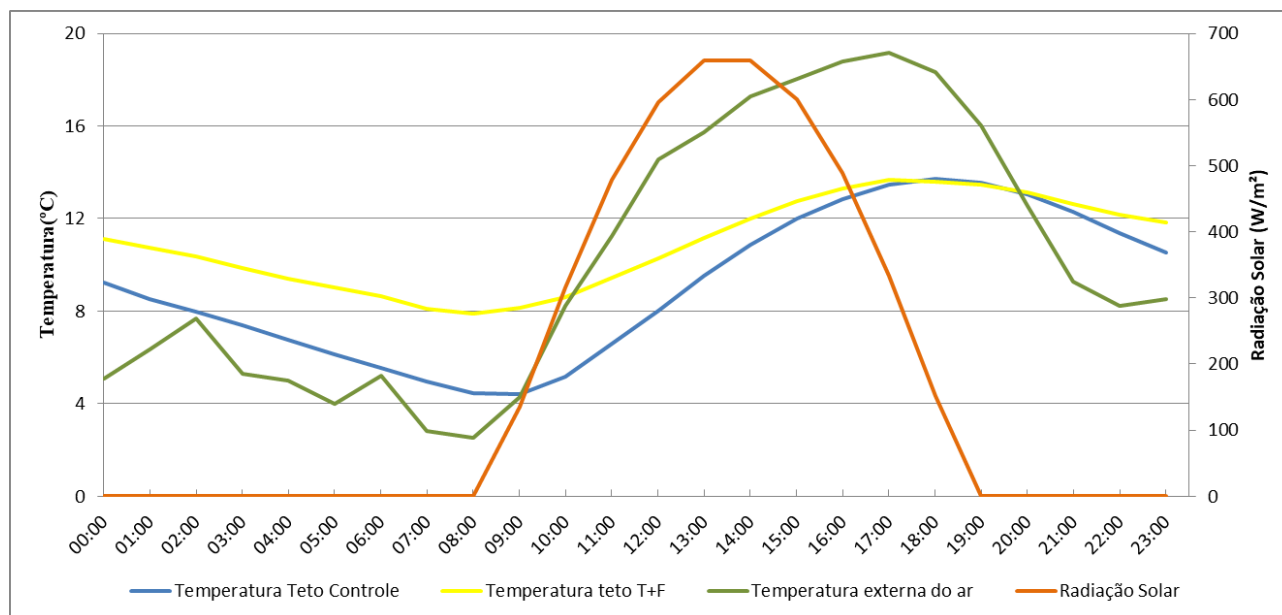


Figura 10: Gráfico das temperaturas superficiais internas do teto e externa do ar e da radiação solar.

A temperatura superficial interna do teto mínima registrada no dia foi de 7,9°C na CTF e 4,4°C na CC, ambos as 8:00 e máxima registrada foi de 13,7°C na CTF e 13,7°C na CC. As amplitudes térmicas foram de 5,8°C na CTF e 19,3°C na CC.

Na observação dos gráficos, nota-se que o comportamento térmico da CTF é melhor do que da CC, mantendo a temperatura mínima superior da CC e mesmo com temperaturas máximas menores do que da CC, a CTF possui um desempenho térmico maior. Durante os dias frios, em especial, no período de outono e inverno, cuja incidência de radiação solar é menor, ocorre uma diminuição dos processos de troca de calor entre as paredes e teto com o ar de dentro da célula.

4. Conclusão e considerações finais

A célula com cobertura verde, mesmo com uma temperatura máxima menor em relação à célula de controle, obteve um melhor desempenho térmico. Como nos períodos de outono e inverno a incidência de radiação solar é menor, a disponibilidade de energia também se reduz, ocorrendo uma diminuição das trocas de calor, por isso as duas células estudadas tiveram a temperatura dos ares semelhantes, logo que as trocas de calor por condução e convecção diminuíram.

5. Agradecimentos

Agradecimentos a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001 para realização do presente trabalho.

6. Bibliografia

CUNHA, D. G. F.; VECCHIA, F. As abordagens clássica e dinâmica de clima: uma revisão bibliográfica aplicada ao tema da compreensão da realidade climática. **Ciência e Natura**, v. 29, n. 1, p. 137–149, 2007.

DUNNETT, N.; KINGSBURY, N. **Planting green roofs and living walls**. Rev. and u ed. Portland, Or: Timber Press, 2008.

FRACCAROLI, E. **Vista panorâmica realizada com VANT das células experimentais. Foto realizada com VANT no CRHEA (USP)**, 2015.

GALLARDO, N. P. **Respuesta térmica de edificaciones con envolventes vegetales: cubiertas verdes y fachadas verdes**. São Carlos: Universidade de São Paulo, 9 ago. 2017.

INPE – INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. **Divisão de satélites e sistemas ambientais**. Disponível em: <<http://satelite.cptec.inpe.br>> acesso em 23/02/2019.

KÖHLER, M. Green facades—a view back and some visions. **Urban Ecosystems**, v. 11, n. 4, p. 423, 2008.

LAURENZ, J. et al. **Natural envelope. The green element as a boundary limit**. Tokyo, Japan: 2005

OKE, T. R. Street design and urban canopy layer climate. **Energy and Buildings**, v. 11, n. 1–3, p. 103–113, 1988.

PERUSSI, R. **Comportamento térmico de um sistema de cobertura verde: um experimento utilizando plataformas de teste**. São Carlos: Universidade de São Paulo, 31 jan. 2017.

SANTOS, W. N. DOS et al. Método de fio quente na determinação das propriedades térmicas de polímeros. **Polímeros**, v. 14, n. 5, p. 354–359, 2004.

SEIXAS, G. T. C. DE. **Climatologia aplicada à arquitetura: investigação experimental sobre a distribuição de temperaturas internas em duas células de teste**. São Carlos: Universidade de São Paulo, 20 mar. 2015.

SUN, T. et al. Hydrometeorological determinants of green roof performance via a vertically-resolved model for heat and water transport. **Building and Environment**, v. 60, p. 211–224, 2013.

TEEMUSK, A.; MANDER, Ü. Greenroof potential to reduce temperature fluctuations of a roof membrane: A case study from Estonia. **Building and Environment**, v. 44, n. 3, p. 643–650, mar. 2009.

TIBERIO CARDOSO, G.; VECCHIA, F. Comparison of thermal performance between test cells with different coverage systems for experimental typical day of heat in Brazilian Southeastern. **Frontiers of Architectural Research**, v. 3, n. 3, p. 271–282, set. 2014.

VECCHIA, F. A. S. **Clima e ambiente construído: a abordagem dinâmica aplicada ao conforto humano**. Universidade de São Paulo, São Paulo, 1997.