

# Efeito de orientação de janela nas condições térmicas do ambiente e na percepção do usuário

*The effect of window orientation on environmental thermal performance and occupant perception*

Eduardo Leite Krüger 


Livia Iwamura Trevisan 

Cintia Tamura 


Clarisse Di Núbila 

Gabriel Celligoi 

Sergio Batista Junior 

Deize Lellys da Silva 

Rodrigo José de Almeida Torres Filho 

Daniele Abe Ribeiro 

<sup>1</sup>Eduardo Leite Krüger

<sup>1</sup>Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Curitiba - PR - Brasil

<sup>2</sup>Livia Iwamura Trevisan

<sup>2</sup>Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Curitiba - PR - Brasil

<sup>3</sup>Cintia Tamura

<sup>3</sup>Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Curitiba - PR - Brasil

<sup>4</sup>Clarisse Di Núbila

<sup>4</sup>Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Curitiba - PR - Brasil

<sup>5</sup>Gabriel Celligoi

<sup>5</sup>Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Curitiba - PR - Brasil

<sup>6</sup>Sergio Batista Junior

<sup>6</sup>Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Curitiba - PR - Brasil

<sup>7</sup>Deize Lellys da Silva

<sup>7</sup>Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Curitiba - PR - Brasil

<sup>8</sup>Rodrigo José de Almeida Torres Filho

<sup>8</sup>Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Curitiba - PR - Brasil

<sup>9</sup>Daniele Abe Ribeiro

<sup>9</sup>Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Curitiba - PR - Brasil

Recebido em 14/10/19

Aceito em 29/01/20

## Resumo

o presente artigo, analisa-se o efeito da orientação solar no comportamento térmico e de percepção do usuário em dois ambientes de uma câmara bioclimática de baixo custo (CBBC), testados com orientações solares opostas da fachada com janela. Foram utilizadas técnicas de avaliação pós-ocupação (APO) e medições *in loco*, Zona Bioclimática 1, Curitiba/PR, Brasil. As sessões de avaliação do ambiente pelo usuário ocorreram no inverno de 2018, levantando-se variáveis subjetivas de 136 participantes voluntários. Do ponto de vista térmico, os resultados das medições objetivas foram corroborados pela percepção dos usuários, comprovando-se a contribuição térmica de fachadas com janela voltada para norte durante o inverno. A orientação da janela (norte/sul) levou a alterações na temperatura do ar e das superfícies internas, com efeitos no perfil vertical de temperatura e nos níveis de desempenho, mesmo para condições de uso de persiana, ou seja, sem ganhos de calor solar diretos no ambiente. A discrepância da temperatura do ar nos ambientes aumentou com aporte solar direto, chegando a uma diferença de 5,9 °C.

**Palavras-chave:** Desempenho térmico. Monitoramento térmico. Avaliação pós-ocupação. Câmaras climáticas.

## Abstract

*This paper presents an analysis of the effect of solar orientation in terms of thermal performance and occupant perception in two indoor environments of a Cost-Effective Building Bioclimatic Chamber (CBBC), with window facades in two opposite solar orientations. This study employed Post-Occupancy Evaluation (POE) techniques and temperature measurements at CBBC in Bioclimatic Zone 1, Curitiba/PR, Brazil. The users' evaluation sessions took place in the winter of 2018, with subjective evaluations by 136 voluntary participants. The results of the objective measurements were corroborated by the perceptions of users, proving the thermal contribution of north-facing window facades in winter. Window orientation (north/south) led to changes in air- and internal surface temperatures, with effects on the vertical profile of the temperature and on thermal performance levels, even for window configurations with closed shutters, i.e., without direct solar heat gains in the environment. The internal air temperature discrepancy increased with direct solar heat, reaching a difference of 5.9 °C.*

**Keywords:** Thermal performance. Post-Occupancy Evaluation. Climate chambers.

## Introdução

No Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos (RTQ-C), no âmbito do Programa Brasileiro de Etiquetagem (INSTITUTO..., 2013), o fator orientação é em parte reconhecido e, em seu Manual de Aplicação (versão 4.1), o assunto “fachadas” inicia com um método a ser utilizado pelo projetista na definição das fachadas predominantes da edificação. No regulamento a fachada oeste merece tratamento especial (sendo um dos fatores avaliados o percentual de área de aberturas na fachada oeste “PAF<sub>o</sub>”), devido à carga térmica envolvida no período vespertino, ainda que o tema se apresente no RTQ-C como uma penalização no caso de sua existência. Por sua vez, a versão residencial do mesmo regulamento (RTQ-R) trata da questão da orientação de forma pormenorizada (INSTITUTO..., 2012), definindo quatro orientações solares principais para fachadas da edificação.

No projeto bioclimático, estratégias como o uso de envelope solar, mais aplicáveis a latitudes altas, ressaltam a importância da orientação geográfica e sua respectiva relação com ganhos térmicos, uso de iluminação natural e aproveitamento fotovoltaico pela edificação. A orientação de fachadas com abertura sabidamente afeta as condições de conforto internas de uma edificação (KNOWLES, 2003).

Do ponto de vista térmico, em regiões subtropicais ou em latitudes altas (já a partir de 23,5° de latitude, quando em elevação), o espaçamento entre edificações com vistas a privilegiar fachadas equatoriais (voltadas para a linha do Equador) pode significar economia de energia em sistemas de climatização para aquecimento (ABANDA; BYERS, 2016).

O efeito da orientação da janela é crucial mesmo no caso de edificações com consumo quase nulo (*nearly zero-energy buildings*), as quais apresentam condições adequadas de envoltória e equipamentos de climatização, tendo implicações para o dimensionamento de aberturas (VANHOUTTEGHEM *et al.*, 2015). Em simulações de demanda energética para aquecimento, iluminação e de conforto térmico DAYSIM em estudo desenvolvido para edificações de consumo quase nulo no Hemisfério Norte (Dinamarca), com EnergyPlus e DAYSIM, tais autores mostraram a inter-relação entre geometria interna, projeto da abertura, uso de proteções solares, entrada de luz natural e sobreaquecimento. Quando se almeja atingir limites recomendados de iluminação natural nesse tipo de edificação, a orientação da janela impacta o percentual de área envidraçada por área de piso significativamente, sendo que o controle maior deve ocorrer na orientação equatorial (VANHOUTTEGHEM *et al.*, 2015).

A orientação da janela pode interferir significativamente no percentual de abertura por área de piso. O conceito de “*Ideal Window Area*”, o qual equilibra a necessidade de iluminação com o controle de ganhos solares, é empregado no dimensionamento correto da abertura face aos rigores climáticos da região. Segundo estudo de Ghisi e Tinker (2005) para Florianópolis, em um ambiente quadrangular (largura = comprimento, *room ratio* 1:1), o percentual de abertura na fachada pode variar entre 12% e 49%, ao se optar por fachada leste ou sul, em conjunção com o volume e pé-direito da sala. Estudos similares analisam as implicações de vários fatores, incluindo a orientação solar, para redução do consumo energético em climatização e iluminação artificial (MOTUZIENE; JUODIS, 2010; LEE *et al.*, 2013; SUSOROVA *et al.*, 2013).

No projeto solar passivo, a energia solar deve ser aproveitada no fornecimento de energia gratuita à edificação, sem interferir no conforto e na economia de seus ocupantes (ROAF; FUENTES; THOMAS, 2006). Não obstante, edificações do tipo *Passiv Haus* correm o risco de sobreaquecimento, mesmo em locais como a Suécia: o dimensionamento de janelas passa a ter a função principal de controle desse fator, e não a redução da demanda energética para aquecimento (PERSSON; ROOS; WALL, 2006). Diversos autores comprovam o impacto de um isolamento térmico exacerbado nesse tipo de edificação quanto ao sobreaquecimento interno (PERSSON; WESTERMARK, 2012; SCHMITT; DAL SAVIO; SPARBER, 2007; SCHNEIDERS, 2009), principalmente considerando-se projeções futuras de aquecimento global.

Assim, para o Hemisfério Norte, a orientação sul das aberturas assume grande importância, com implicações na demanda energética em edificações residenciais (HASSOUNEH; ALSHBOUL; AI-SALAYMEH, 2010; GASPARELLA *et al.*, 2011; JABER; AJIB, 2011). Analogamente, na região subtropical do Hemisfério Sul, a orientação norte assume grande relevância. Em Curitiba, por exemplo, alterações na implantação de uma moradia do Programa Minha Casa Minha Vida, com posicionamento solar para diferentes orientações da fachada principal, podem significar variações de até 3% na demanda por aquecimento anual, resultado equivalente ao aumento da espessura da parede ou revestimento interno (DÖRFLER; KRÜGER, 2016).

Outro estudo das condições de iluminação natural em cânions urbanos de Curitiba levou à conclusão que diferentes orientações do cânion influem substancialmente nas condições de iluminação em prédios contidos nesses eixos. Suga (2005) analisou as relações de altura de edificação (H) e largura de rua (W) em uma sala

no primeiro pavimento de um prédio de escritórios padrão, situado em uma das fachadas de um cânion infinito. O autor comprovou por simulação computacional que, no solstício de inverno, orientações com azimute de fachada próximo a sul, em cânions rasos ( $H/W=0,33$ ), possuem uma redução de 7 horas de sol por dia e iluminância no fundo da sala, variando de 0-150 lux *versus* 700-900 lux quando em orientação quase norte. Considerando tais diferenças de intensidade de luz, pode-se admitir que haja grandes diferenças quanto à carga térmica que penetra pela janela, devido à orientação solar.

Consubstanciando conclusões obtidas na pesquisa científica, em diversas cidades do sul do Brasil, o mercado imobiliário se utiliza da orientação da fachada norte na diferenciação do valor do imóvel. Em vista disso, o presente artigo analisa o efeito da orientação solar em Curitiba/PR, em termos de comportamento térmico e de percepção do usuário em dois ambientes termicamente equivalentes, com envoltórias idênticas expostas simultaneamente às mesmas condições climáticas, porém com orientações solares opostas. Para isso, faz-se uso de técnicas de avaliação pós-ocupação (APO) e de medições *in loco*.

Define-se a APO como uma análise de efetividade de ambientes ocupados por usuários (ZIMRING; REIZENSTEIN, 1980). O termo APO refere-se a uma série de técnicas aplicadas ao longo do uso do ambiente, para avaliar seu desempenho sob a perspectiva de especialistas e usuários. A partir da APO elabora-se um diagnóstico dos aspectos funcionais do ambiente, bem como dos sistemas de construção e manutenção, conforto ambiental e da relação do comportamento humano com o meio construído (ORNSTEIN, 2005). Diferentemente de avaliações de desempenho físico realizadas em institutos de pesquisa, a APO toma por base o nível de satisfação e/ou o atendimento das necessidades dos usuários. A aplicação de testes psicológicos em conjunto com a APO permite relacionar o desempenho cognitivo do usuário às condições ambientais. Essa técnica é difundida na psicologia ambiental, a exemplo dos estudos sobre a relação entre conforto térmico, desempenho em termos de produtividade (LAN; WARGOVKI; LIAN, 2011) e respostas fisiológicas (LAN *et al.*, 2011).

Identificam-se, no Brasil, diversos estudos que abordam avaliações de desempenho termoenergético relacionadas à orientação solar em edificações, porém em sua maioria tais estudos se utilizam de simulações computacionais, nas quais a orientação solar figura como um dos parâmetros testados (QUADROS; ORDENES, 2017; PACHECO; SCHAEFER; GHISI, 2017; PINTO; WESTPHAL, 2017; SOARES; SILVA; CUNHA, 2017; FONSECA *et al.*, 2017). Considerando as dificuldades de realizar monitoramentos térmicos simultâneos em um mesmo ambiente, sob diferentes condições de exposição solar da fachada com janela, a plataforma experimental adotada no presente estudo facilita tal análise, valendo-se de ambientes-teste em mesma escala e proporção, submetidos a condições climáticas reais e simultâneas de exposição. No que tange à APO, procedeu-se à avaliação dos ambientes-teste pelo usuário em sessões de exposição ao ambiente interno utilizando-se técnicas de APO.

O artigo apresenta relevância no contexto da atual procura por aumento de eficiência energética de edificações, quando alguns autores, conforme apontado acima, afirmam que maior eficiência atrelada a maior isolamento térmico em conjunto com acesso solar direto muitas vezes traz impactos deletérios tanto no desempenho do ambiente interno como no conforto do usuário (DENGEL; SWAISON, 2012; MCLEOD; HOPFE; KWAN, 2013). Um contraponto, também de grande relevância, se dá no caso de crescimento vertical em cidades com invernos frios, com bloqueio eventual de fachadas de outra forma beneficiadas com luz natural direta.

O objetivo do artigo é analisar o efeito da orientação solar da janela em termos de comportamento térmico e de percepção dos usuários em dois ambientes termicamente equivalentes, porém submetidos a orientações solares opostas.

## Método

O estudo foi realizado na “câmara bioclimática de baixo custo” (CBBC), um laboratório destinado a pesquisas comparativas sobre conforto ambiental e desempenho de componentes construtivos, instalado em fevereiro de 2018 em uma área externa de um *campus* universitário. Situa-se na Região Sul do Brasil, em uma cidade classificada como Zona Bioclimática 1 (ZB-1) (ABNT, 2005).

No projeto da CBBC, os pontos de partida foram: atendimento às exigências legais; exposição das câmaras ao meio externo; módulos *walk-in* possibilitando uso como ambiente de escritório; e padronização da construção em *container*. Para este estudo, ressalta-se a premissa de rotação independente dos módulos para estudos de orientação solar, tendo-se optado por um sistema de rotação manual, com eixo central fixado sobre um bloco estrutural de concreto.

Na ausência de uma regulamentação nacional para construção de câmaras climáticas, a concepção da CBBC partiu primeiramente do Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Comerciais, de Serviço e Públicas (RTQ-C) (INSTITUTO..., 2013). Foram avaliados os sistemas de iluminação e de condicionamento de ar pelo método prescritivo (sem condicionamento artificial de ar) e a interface da edificação com o exterior. Já o dimensionamento da envoltória da CBBC foi norteado pelo cálculo da transmitância (U) e da capacidade térmica ( $C_T$ ), o qual foi comparado aos limites recomendados da ZB-1 (ABNT, 2005).

As características da envoltória são apresentadas na Tabela 1 e detalhadas posteriormente, na Figura 2B. Buscou-se atingir uma envoltória equivalente em todas as faces do módulo – sendo a composição das quatro paredes e da cobertura idêntica.

A CBBC é composta por dois módulos independentes de 5,4 m<sup>2</sup> cada qual, providos de um sistema de rotação manual que possibilita orientá-los para pontos cardeais distintos (Figura 1a). A manutenção da configuração original do módulo de controle (MC) e a possibilidade de alteração da envoltória do módulo experimental (ME) é um atributo a ser explorado em pesquisas comparativas, sob a influência das mesmas condições climáticas – a exemplo de estudos de percepção de conforto no ambiente construído.

A janela é em vidro temperado (1,40 m × 0,90 m) e tem uma folha fixa e outra folha de correr (Figura 1a). Descontando o caixilho e a sobreposição de folhas, a área de iluminação natural é de 1,26 m<sup>2</sup> e a de ventilação natural de 0,63 m<sup>2</sup>. A relação entre área de iluminação (sem caixilho) e área de superfície é de cerca de 23% e o WWR (*window-to-wall ratio* ou percentual de área de iluminação por área da fachada com janela) é de cerca de 25%.

A persiana adotada é do tipo *blackout* em tecido plástico opaco, na cor branca (Figura 1b). A área da persiana (1,60 m x 1,60 m) é suficiente para cobrir o vão da janela (0,90 m x 1,40 m). O modelo rolô permite ajustar a abertura em diversas alturas, mas sem regulagem gradativa de transparência – se a persiana fosse de lâminas horizontais, seria possível balancear a entrada de luz à permeabilidade visual.

Tabela 1 - Caracterização da envoltória da CBBC

Vedação	Materiais da envoltória (espessura em mm)								U [W/(m <sup>2</sup> .K)]	C <sub>T</sub> [kJ/(m <sup>2</sup> .K)]
	Aço corten	PU expandido	Painel Wall*	OSB	Câmara de ar	Gesso acartonado	Piso vinílico	Madeira naval		
Paredes	2,00	15,00	55,00	11,10	45,00	12,50	-	-	0,87	122,54
Cobertura	2,00	15,00	55,00	11,10	45,00	12,50	-	-	0,87	122,54
Piso	-	15,00	55,00	-	-	-	3,00	28,00	1,00	121,95

Nota: \*painel Wall: sanduíche de placas cimentícias (4,00 mm), com miolo em aglomerado de madeira.

Figura 1 - Módulo de Controle da CBBC: (a) representação esquemática; e (b) vista interna



Neste estudo adotou-se a seguinte orientação solar: em MC, a fachada com janela foi orientada para norte (Figura 1b), ao passo que em ME, a mesma fachada foi orientada para sul, conforme ilustrado na Figura 2a. Quanto à vista da janela de MC, nota-se que não há obstruções provenientes da via externa, do recuo frontal ou da área de estacionamento. De fato, Tamura (2017) comprovou via simulação com o SketchUp Pro 2017, considerando as coordenadas geográficas, curvas de nível do terreno e elementos de sombreamento (edificação a sudoeste, árvores existentes e os próprios módulos da CBBC), que no solstício de inverno MC sombreadará ME a partir das 13h00, sendo que, no período da tarde, MC e ME serão sombreados pela vegetação do terreno vizinho, o que será amenizado pelo fato de a espécie encontrada ser caducifólia e perder as folhas no inverno.

Cumprir destacar que a base das janelas está 1,85 m acima do nível do piso externo, altura correspondente ao somatório da estrutura do sistema de rotação ( $H=0,60$  m), da estrutura do piso ( $H=0,20$  m) e do próprio peitoril da janela ( $H=1,05$  m). Com isso, veículos de passeio que estiverem no estacionamento não chegam a sombrear a janela ou obstruir a visão do ocupante do módulo. Em contrapartida, a orientação sul da janela de ME faz com que a vista seja parcialmente obstruída por uma edificação adjacente, com quatro pavimentos. Tanto MC quanto ME situam-se a cerca de 10 m dessa edificação. No exterior do prédio há uma escada em estrutura metálica, a cerca de 6 m de distância de ambos os módulos. Além disso, considerando a latitude local, entre solstício de inverno e equinócio, a orientação da janela em ME, para sul, não acarreta entrada de luz solar direta.

## Clima local

O local de implantação da CBBC situa-se na Região Sul do Brasil, a qual possui clima temperado marítimo úmido (Cfb) segundo a classificação de Köppen-Geiger e insere-se na Zona Bioclimática 1 (ABNT, 2005). Trata-se de um tipo climático mesotérmico, subtropical, com verões frescos, sem estação seca e com ocorrência frequente de geadas severas no inverno (MENDONÇA; DANNI-OLIVEIRA, 2007). As normais climatológicas constam na Tabela 2.

Segundo as normais climatológicas da cidade em questão, no período de 1981-2010, a precipitação média anual foi de 1.576 mm e a temperatura média anual ( $T_{MA}$ ) é de  $17,4$  °C, sendo fevereiro o mês mais quente ( $T_{MM}=21,0$  °C) e julho o mês mais frio ( $T_{MM}=13,5$  °C) (INSTITUTO..., 2019). Em complemento, a carta solar de Curitiba/PR é apresentada na Figura 3.

Na carta solar, nota-se sobretudo o benefício de uma fachada norte em situação de inverno, com angulação e azimute solares que privilegiam a entrada de sol no ambiente durante a data do solstício, com a vantagem de um ângulo solar ser praticamente paralelo à fachada norte ao meio-dia no período de verão e não haver entrada de sol nos demais horários no solstício de verão. Considerando as condições de frio presentes na estação de inverno, conforme apresentadas na Tabela 2, o aproveitamento solar direto é uma recomendação sugerida para Curitiba/PR, confirmada na análise bioclimática e presente no zoneamento bioclimático brasileiro da ZB-1.

Figura 2 - CBBC: (a) orientação geográfica de MC e ME; e (b) detalhe da envoltória

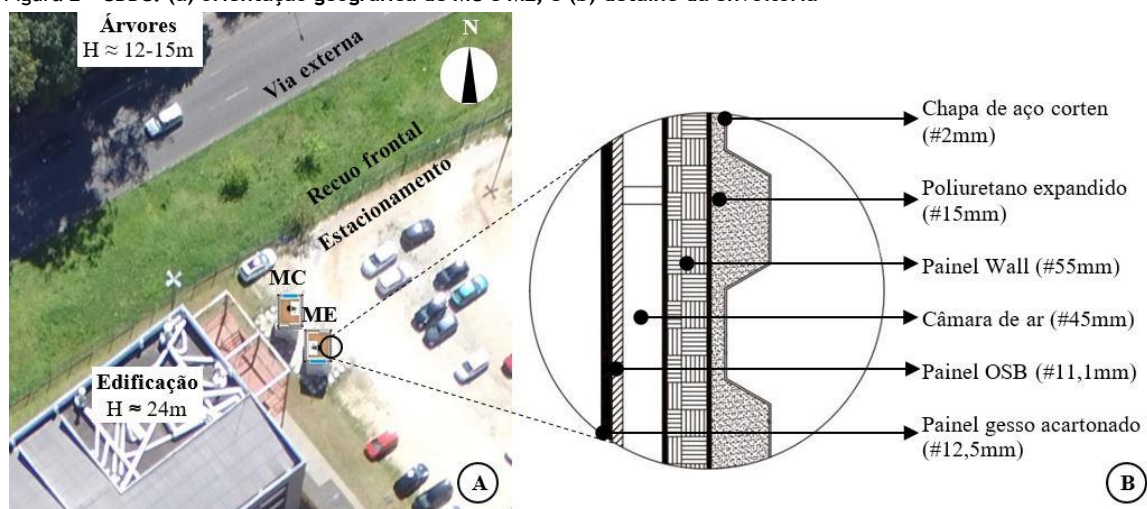


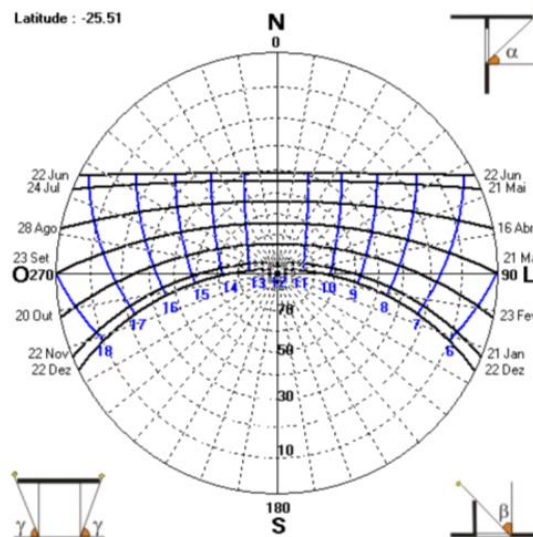


Tabela 2 - Normais climatológicas de Curitiba/PR, 1981-2010

Parâmetro	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Ano
T <sub>MIN</sub> (°C)	17,2	17,4	16,5	14,6	11,2	9,7	9,0	9,6	11,1	13,2	14,9	16,2	13,4
T <sub>MÉD</sub> (°C)	20,9	21,0	20,1	18,3	15,1	13,9	13,5	14,6	15,3	17,1	18,9	20,2	17,4
T <sub>MÁX</sub> (°C)	26,8	26,8	26,0	24,0	20,8	20,1	19,7	21,5	21,4	23,1	25,0	26,2	23,5
Insolação (h)	161	151	163	156	149	141	162	173	124	137	164	165	1845
Nebulosidade	0,6	0,6	0,6	0,6	0,5	0,5	0,5	0,5	0,6	0,7	0,6	0,6	0,6
UR (%)	81,2	81,3	82,2	82,5	83,4	82,3	80,4	77,1	80,8	81,7	79,2	79,6	81,0
Precip. (mm)	218	166	147	96	114	94	108	74	141	139	124	154	1576
V <sub>A</sub> (m/s)	2,3	2,2	2,0	2,0	1,9	2,1	2,1	2,1	2,3	2,4	2,5	2,4	2,2
Direção	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE

Fonte: adaptado de INMET (INSTITUTO..., 2019).

Figura 3 - Carta solar de Curitiba/PR



Fonte: software Analysis Sol-Ar - LabEEEE (LABORATÓRIO..., 2003).

## Avaliação de comportamento térmico

Tendo em vista o cumprimento do objetivo proposto, testou-se a influência da orientação solar no comportamento térmico dos dois módulos da CBBC, estando MC voltado para norte e ME voltado para sul. Complementarmente, no mesmo período de monitoramento, procurou-se avaliar se o comportamento térmico de ambos os módulos era similar para uma mesma orientação solar.

A comparação entre MC e ME com orientações opostas foi realizada entre 22 e 29 de junho de 2018, logo após o solstício de inverno. Na primeira rodada de medições (de 22 a 25 de junho), ambas as janelas de MC e ME estavam com as respectivas persianas fechadas. Após isso, abriram-se as persianas e iniciou-se a segunda rodada de medições (de 26 a 29 de junho).

Na sequência (entre 30 de junho e 13 de julho de 2018), foi realizado um teste de similaridade do comportamento térmico dos módulos da CBBC para uma mesma orientação solar, nesse caso com a fachada com janela em ambos os módulos voltada para norte. Nas duas condições, duas situações foram monitoradas: módulos com persiana interna fechada e aberta, respectivamente, para avaliar a influência do aporte solar direto no incremento de temperatura interna.

Além das diferenças entre temperaturas internas nos módulos e relativamente às condições externas, compararam-se níveis de desempenho térmico obtidos conforme a NBR 15575-1 (ABNT, 2013), para a situação de inverno.

Os equipamentos usados foram previamente equalizados a partir da média dos registros em ambiente termicamente estável. Na Figura 4 e na Tabela 3 são apresentados o tipo e o posicionamento dos sensores, bem como a variável medida em cada módulo da CBBC. O intervalo de medição foi de 5 minutos, sendo os

dados posteriormente tratados em base horária. Externamente, os dados referenciais de temperatura foram provenientes da estação de Curitiba/PR-A807 (Código OMM: 86933) do INMET.

### Avaliação pós-ocupação

O projeto de pesquisa “Avaliação Pós-Ocupação em Câmara Bioclimática de Baixo Custo” foi aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisa da Universidade em que a CBBC está instalada em 9 de agosto de 2018, sob o Certificado de Apresentação para Apreciação Ética n. 92497018.5.0000.5547. A APO da CBBC considerou a participação de um número mínimo de 120 voluntários conforme definição da amostra mínima, distribuídos em dois grupos de 60 pessoas (um para cada módulo da CBBC). A amostra consiste de alunos dos cursos de Arquitetura e Urbanismo e de Engenharia Civil da referida universidade, considerando que são cursos cujo foco é o ambiente construído. A APO foi realizada de 21 a 31 de agosto de 2018, conciliando o calendário acadêmico com um período com potencial predomínio de frio, levando-se em conta as normais climatológicas de Curitiba/PR, de 1981-2010 (INSTITUTO..., 2019 (cf. Tabela 2)). Durante a APO, adotou-se o protocolo de operação descrito no Quadro 1.

Figura 4 - T<sub>A</sub>: (a, b e c) sensor; (d) geral; (e) T<sub>G</sub>; (f) data logger; e (g) estação meteorológica

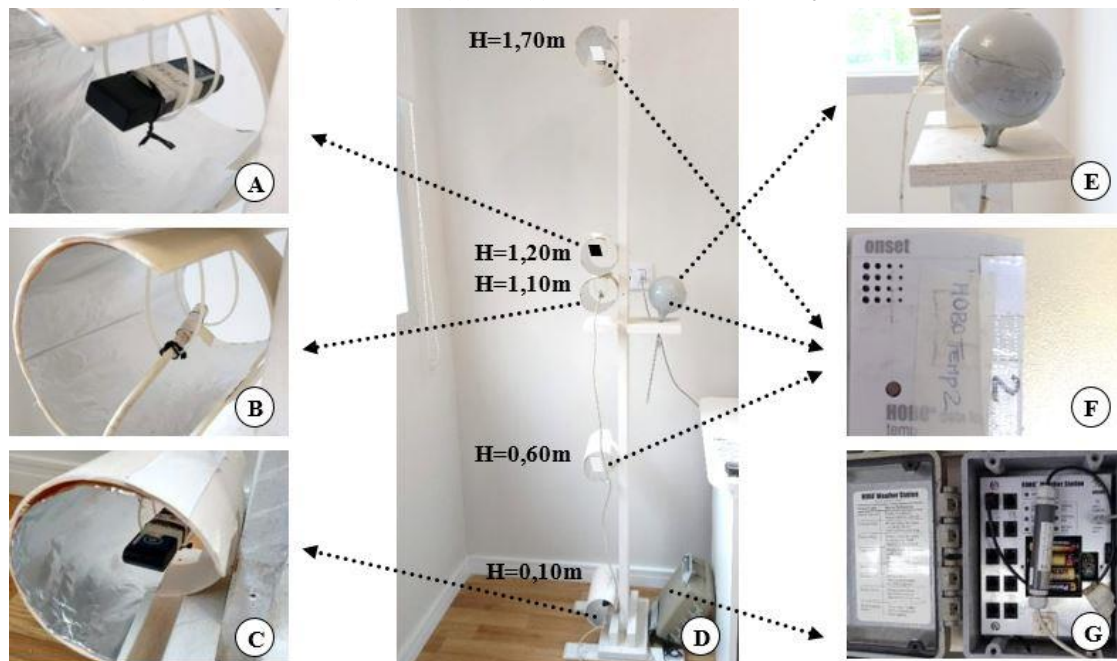


Tabela 3 - Instalação de sensores nos módulos da CBBC

Posição	Variável	Módulo de controle (MC)	Módulo experimental (ME)
1,70 m	T <sub>A</sub> , UR	HoboTemp / RH H08-003-02	HoboTemp / RH H08-003-02
1,20 m	T <sub>A</sub>	TagTemp Stick Novus	TagTemp Stick Novus
1,10 m	T <sub>G</sub>	Globo com HoboTempU10-001	Globo com HoboTempU10-001
1,10 m	T <sub>A</sub>	HoboTempU10-001	HoboTempU10-001
0,60 m	T <sub>A</sub> , UR	HoboTemp/RH H08-003-02	TagTemp Stick Novus
0,10 m	T <sub>A</sub>	TagTemp Stick Novus	TagTemp Stick Novus
Teto	T <sub>S</sub>	TagTemp-NFCNovus	TagTemp-NFCNovus
Parede 1		TagTemp-NFCNovus	TagTemp-NFCNovus
Parede 2		Sensor Hobo Pro V2	Sensor Hobo Pro V2
Piso		TagTemp-NFCNovus	Sensor Hobo12-Bit S-THB-M002

Nota: Alturas dadas conforme a ISO 7726 (INTERNATIONAL..., 1998) e a ANSI/ASHRAE Standard 55 (AMERICAN..., 2017).

Legenda:

T<sub>A</sub> é a temperatura do ar (°C);  
 UR é a umidade relativa (%);  
 T<sub>G</sub> é a temperatura de globo (°C); e  
 T<sub>S</sub> é a temperatura de superfície (°C).

Quadro 1 - Protocolo de operação da CBBC, durante a APO

Elemento	Configuração inicial	Ação do participante
Módulo de controle (MC)	Janela orientada para norte	Ajuste não permitido
Módulo experimental (ME)	Janela orientada para sul	Ajuste não permitido
Portas de madeira e metálica	Fechadas	Abrir se necessário
Janela	Fechada	Ajuste permitido
Persiana	Aberta até metade da altura da janela	Ajuste permitido
Sistema de climatização	Ativado apenas no modo ventilação, velocidade alta, função swing, visando maximizar o fluxo interno do ar e assim homogeneizar $T_A$	Ajuste não permitido
Sistema de iluminação	Configuração de $T_{COR}$ de forma a neutralizar a alteração natural de $T_{COR}$ da iluminação solar; $E \geq 500$ lux	Ajuste não permitido
Instrumentos de medição	Monitoramento $T_A$ , $T_{RM}$ , UR, $T_{COR}$ , E	Ajuste não permitido
Cadeira	Assento, encosto, apoio de braços	Ajustes permitidos
Alimentação	Garrafa d'água e barra de cereal	Alimentação permitida

Conforme indicado no Quadro 1, a iluminação natural foi complementada com iluminação artificial, cuja temperatura de cor ( $T_{COR}$ ) era alterada gradativamente, de forma a acompanhar a alteração de  $T_{COR}$  da luz natural penetrando no ambiente. Essa configuração partiu da correlação entre fonte luminosa e  $T_{COR}$  equivalente (ROCHA, 2010). Para tal, foi utilizado o aplicativo Hue Pro (PRISMATIC, 2018), com a alteração dos padrões de iluminação de hora em hora, das 8h00 às 18h00. Adotou-se a mesma configuração em ambos os módulos.

De modo a assegurar aclimatação no curto prazo, conforme critérios da NBR 16401 (ABNT, 2008) e da ANSI/ASHRAE Standard 55/2017, segundo os quais seria recomendável estar em ambiente naturalmente ventilado há pelo menos 15 minutos, os participantes completaram o Teste Psicológico G-38, um teste não verbal de inteligência com 38 questões em ordem crescente de dificuldade, sobre compreensão de relação de identidade e raciocínio por analogia (BOCCALANDRO, 2003). Os resultados do Teste G-38 estão sendo utilizados em estudo paralelo, no qual condições ambientais são relacionadas à capacidade de raciocínio. O tempo total de permanência de cada participante nos módulos foi de aproximadamente meia hora, sendo 20 minutos dedicados ao Teste G-38 e 5-10 minutos ao questionário de APO.

Para o questionário de APO, elaborou-se um questionário personalizado, abordando questões de percepção do ocupante quanto ao conforto térmico, lumínico, acústico e funcional tomando-se por base as seguintes referências: ISO (INTERNATIONAL..., 1995), LiTG (DEUTSCHE..., 2014), Riccardi e Buratti (2018), Gomes (2007) e Resende (2011). O questionário proposto foi validado e testado antes de sua aplicação com turmas da pós-graduação da referida universidade, sendo este aperfeiçoado e sua consistência interna avaliada pelo Coeficiente Alfa de Cronbach. Durante a APO, o questionário foi aplicado de forma *online* a partir de uma rotina computacional dedicada, com a qual se definiu o tempo exato para preenchimento do questionário a partir do horário de início cada nova sessão, com alarme sonoro para tal.

Paralelamente à APO, realizou-se o monitoramento das condições térmicas internas. Cumpre ressaltar que o interior da CBBC não foi condicionado artificialmente, com o equipamento de ar condicionado apenas em modo ventilação. Complementarmente, as variáveis climáticas externas ( $T_A$ , UR) foram monitoradas por um *datalogger* HOBO, modelo Temp U10-001, posicionado a 2 m do solo. O monitoramento interno foi efetuado por sensores registradores de temperatura instalados a 0,10 m, 1,10 m e 1,70 m, respectivamente, de modo análogo à avaliação do comportamento térmico (vide Tabela 3).

Os dados subjetivos quanto à percepção do ambiente das condições térmicas internas foram coletados por meio de três questões constantes do questionário de APO. A pontuação dessas questões segue uma escala numérica de três (Questão 9) ou cinco pontos (Questões 8 e 10), que avaliam a percepção do ocupante quanto ao ambiente térmico (Quadro 2).

Dessa forma, seguindo o mesmo posicionamento das fachadas com janela em MC e ME, para norte e para sul, respectivamente, foram coletados dados de percepção do usuário em 136 sessões (sendo 69 em MC e 67 em ME), das quais 44 foram realizadas simultaneamente nos dois ambientes.



**Quadro 2 - Questões sobre condições térmicas e de iluminação e conforto visual aplicadas aos participantes e valores extremos das escalas semânticas**

Questão	Valor mínimo	Valor máximo
8. Qual a sua sensação térmica neste exato momento?	-2 = "muito frio"	+2 = "muito calor"
9. Como está a temperatura na CBBC?	-1 = "desconfortável"	+1 = "confortável"
10. Como você gostaria que estivesse a temperatura?	-2 = "com muito mais frio"	+2 = "com muito mais calor"

## Resultados e discussões

Os resultados referem-se às avaliações físicas e subjetivas dos dois ambientes, para as diferentes etapas de balizamento, avaliação térmica e APO.

### Avaliação de desempenho térmico

Inicialmente, são apresentados os resultados do teste de similaridade do comportamento térmico dos módulos da CBBC para uma mesma orientação solar, com as janelas de MC e ME voltadas para norte. Esse teste foi realizado no período de 30 de junho a 13 de julho de 2018. Conforme esperado, a similaridade do comportamento térmico nos dois módulos para uma mesma orientação solar mostrou resultados satisfatórios (Figuras 5 e 6), expressos na Tabela 4 como coeficientes de correlação (R), raiz do erro quadrático médio (RMSE) e erro médio ( $\bar{E}$ ) entre MC e ME. Nos gráficos apresentados são representados os valores de temperatura do ar em diferentes alturas, de temperatura de globo a uma altura de 1,10 m assim como temperaturas de superfície registradas em uma posição central no piso, teto, superfícies internas das paredes contíguas à fachada com janela (leste e oeste, sendo que os dados obtidos com persiana fechada – Figura 6 – foram descartados por falhas de programação). Sendo assim, é apresentada a variação dos dados de temperatura do ar, de globo e de superfície para dois conjuntos (MC e ME) de dados de nove sensores para persiana aberta, e de oito sensores para persiana fechada. Nos dois casos, acrescentou-se como referência a variação encontrada nas condições térmicas externas durante o período de monitoramento.

No balizamento, tanto com a persiana aberta como com a persiana fechada, os coeficientes de correlação entre temperaturas registradas nos módulos situaram-se acima de 0,98, indicando o comportamento térmico similar entre os módulos. O erro médio ( $\bar{E}$ ), na maioria das situações, esteve abaixo ou próximo à precisão dos equipamentos utilizados. Enquanto no caso da persiana aberta eventuais sombreamentos do entorno (árvores distantes a oeste) podem ter acarretado pequenas diferenças de temperatura entre os módulos; com a persiana fechada, é possível observar menos variações térmicas entre eles, tanto quanto à RMSE e ao  $\bar{E}$ .

Após o balizamento, analisou-se o efeito da orientação solar da janela no comportamento e desempenho térmico dos módulos. Para tanto, a janela de MC permaneceu voltada para norte e a janela de ME, após ter rotacionado o módulo para orientação cardinal oposta, foi orientada para sul. Novamente, foram adotadas duas configurações das persianas: fechadas (de 22 a 25 de junho) e abertas (de 26 a 29 de junho). Na Figura 7 são apresentados os resultados em termos de  $T_A$  a 1,10 m do piso para os módulos em orientações opostas, com persianas fechadas.

Em relação aos módulos com persiana fechada, com orientações solares distintas e considerando as temperaturas mínimas internas a 1,10 m, a diferença encontrada frente às condições externas foi superior a 4 °C, o que classifica o desempenho dos módulos entre “M” (mínimo) e “I” (intermediário), com diferença imperceptível entre os módulos. No entanto, quanto às diferenças térmicas no período diurno, mesmo estando a persiana fechada, notam-se variações de cerca de 2 °C entre os módulos, com o módulo voltado para norte com temperaturas mais altas. O fato se deve à transmissão da radiação solar pelo vidro e, mesmo esta tendo sido interceptada pela cortina interna, em razão do efeito estufa há modificação do campo térmico interno.

Para a situação de persiana aberta (Figura 8), ou seja, com ganho solar direto através da janela incidindo principalmente no piso e na parede de fundo, a temperatura do ar mínima registrada a 1,10 m do piso nos módulos esteve aproximadamente entre 3 °C e 4 °C acima da temperatura mínima registrada internamente, atingindo o desempenho mínimo “M” (mínimo) pela NBR 15575-1 (ABNT, 2013). As diferenças mais

evidentes, no entanto, surgem durante o dia, atingindo-se cerca de 6 °C no dia mais quente, para MC em relação a ME.

Figura 5 - Boxplot de temperatura interna em MC (N) e ME (N), persiana aberta

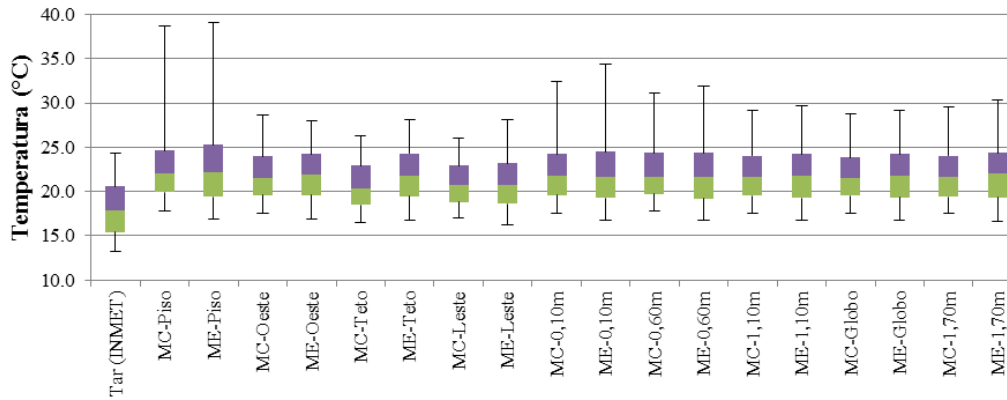


Figura 6 - Boxplot de temperatura interna em MC (N) e ME (N), persiana fechada

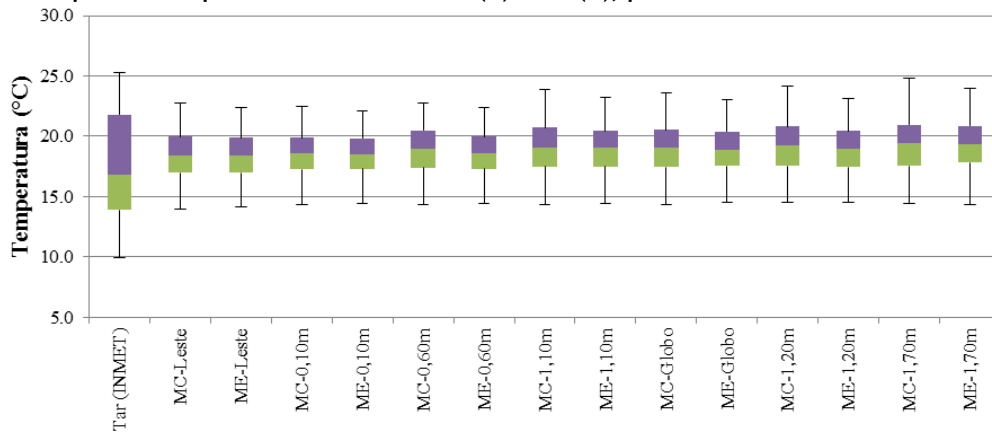
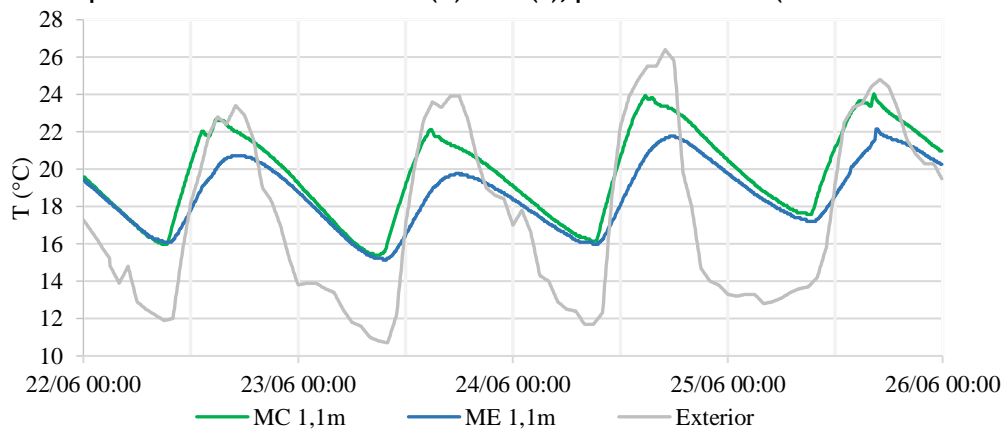


Tabela 4 - Comparativo de temperatura interna do ar entre MC e ME

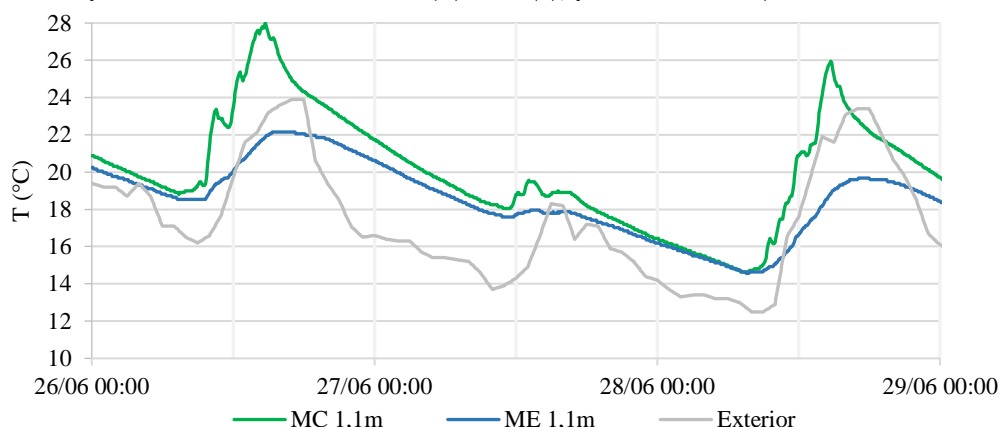
Variável	Posição	Persiana aberta				Persiana fechada			
		0,10 m	0,60 m	1,10 m	1,70 m	0,10 m	0,60 m	1,10 m	1,70 m
R		0,99	0,99	0,99	0,99	1,00	0,99	0,99	0,97
RMSE		0,75	0,56	0,55	0,62	0,19	0,36	0,30	0,43
E		-0,13	0,11	-0,07	-0,23	0,09	0,23	0,13	0,11

Figura 7 - Temperatura interna do ar em MC (N) e ME (S), persiana fechada (22/06/2018 a 25/06/2018)



Nota: dados de temperatura externa - INMET (INSTITUTO..., 2019).

Figura 8 - Temperatura interna do ar em MC (N) e ME (S), persiana aberta (26/06/2018 a 29/06/2018)



Nota: dados de temperatura externa - INMET (INSTITUTO..., 2019).

Complementarmente, observou-se que a estratificação vertical de temperatura do ar foi mais acentuada em MC: a máxima variação entre os sensores a 0,10 m e 1,70 m ( $\Delta T_A$ ) foi de 4,40 °C, para a situação de persiana fechada. Esse valor é o dobro da variação registrada no período em ME, que foi de 2,01 °C. Essa proporção 2:1 se repete na média de  $\Delta T_A$  em MC (1,48 °C) e em ME (0,80 °C) para o mesmo período. Assim, mesmo sem aporte solar direto em MC devido à persiana fechada, houve ganhos térmicos significativos durante o período de insolação, com efeito de estratificação vertical da temperatura ambiente. No período noturno, contudo, as condições térmicas praticamente se igualaram nos dois módulos, mostrando que os ganhos solares e a baixa massa térmica da envoltória não foram suficientes para que houvesse armazenamento térmico interno de longo prazo.

As temperaturas de superfície ( $T_S$ ) em MC e ME, com medições em quatro pontos: piso, teto, parede oposta à fachada com janela (parede 1) e parede leste (parede 2), constam na Figura 9.

Nota-se que a amplitude térmica diária de todos os dados de  $T_S$  é maior em MC (Figura 9a) que em ME (Figura 9b). Esses registros indicam outra influência da orientação da janela de MC para norte: o ganho solar que levou ao incremento da temperatura interna do ar também serviu para o aumento das temperaturas superficiais internas em MC, mesmo estando a persiana fechada. Uma amplitude térmica diária maior de  $T_S$  é observada em MC, sobretudo no teto, com uma taxa de aquecimento maior que em ME na parte da manhã.

Para a configuração com MC recebendo aporte solar direto no ambiente, são apresentados os dados de  $T_S$  do piso, teto e paredes em MC e ME na Figura 10. Devido à incidência solar direta, foram registrados os seguintes picos de  $T_S$  no sensor instalado no piso de MC: 33,5 °C (26/06, 12h25), 29,7 °C (28/06, 11h50) e 41,3 °C (29/06, 12h40). Para dar mais legibilidade aos dados relevantes ao presente estudo, optou-se por adotar uma escala de  $T_S$  até 28 °C, levando à supressão desses *outliers* na representação dos gráficos.

Constata-se novamente que a amplitude térmica de  $T_S$  é maior em MC (Figura 10A) que em ME (Figura 10B), e nos quatro sensores. Além disso, a abertura da persiana levou à incidência de radiação solar direta no interior de MC, atingindo especialmente os sensores do piso e da parede 1, oposta à janela, pela inclinação da altura solar durante as medições, inferior a 45° nas proximidades do solstício. A relação com a incidência solar é evidente, pois no segundo dia, com queda brusca de temperatura devido à ausência de sol, as diferenças entre MC e ME não foram tão evidentes. Nota-se novamente o efeito de maior dispersão de temperaturas das superfícies internas em MC, principalmente quanto aos valores de  $T_S$  para o piso, enquanto que, em ME, há um comportamento mais homogêneo das temperaturas superficiais internas, ou seja, os ganhos solares que adentram a janela alteram todo o campo térmico do ambiente interno.

## Avaliação pelo usuário

A avaliação do ambiente pelo usuário foi realizada de 21 a 31 de agosto de 2018 e mostrou diferenças de percepção dos usuários durante a permanência nos módulos. A participação foi de 136 voluntários, distribuídos conforme consta na Tabela 5.

Figura 9 - Variação em termos de temperaturas de superfície (TS) na CBBC, persiana fechada (22/06/2018 a 25/06/2018): (a) MC; e (b) ME

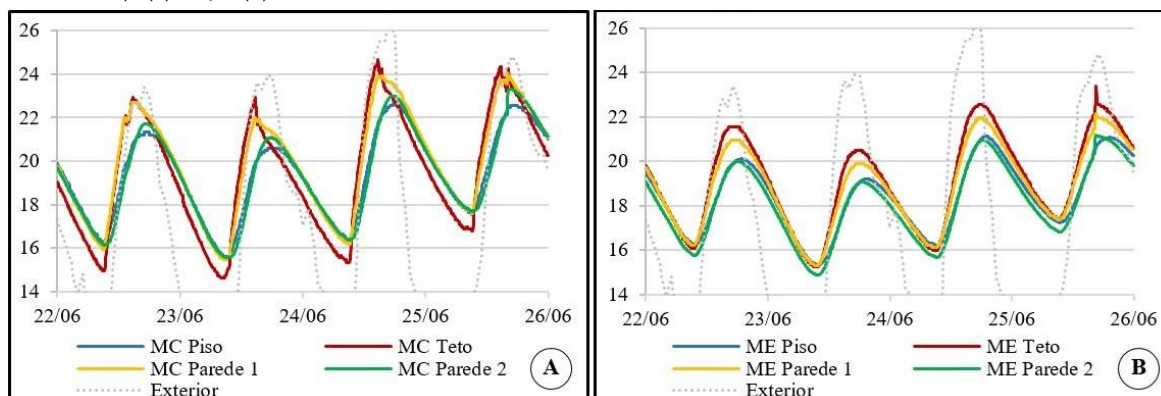


Figura 10 - Variação em termos de temperaturas de superfície (TS) na CBBC, persiana aberta (26/06/2018-29/06/2018): (a) MC; e (b) ME

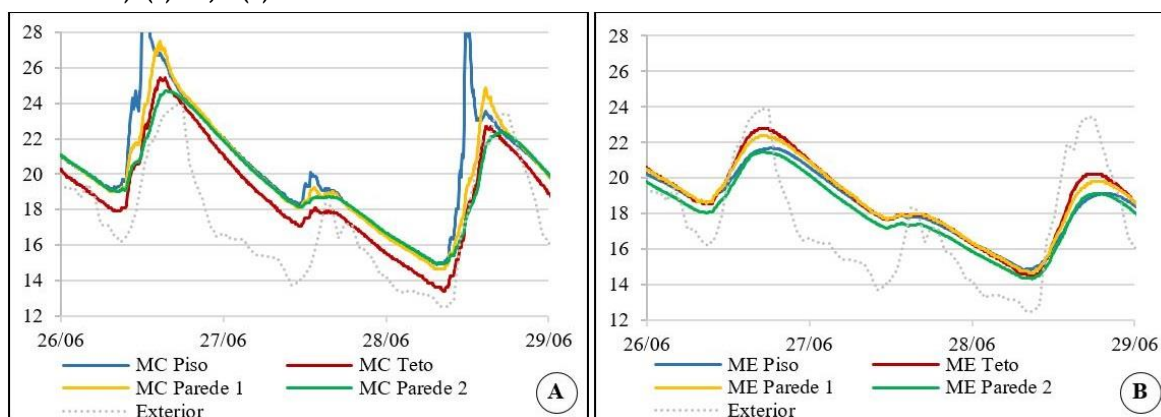


Tabela 5 - Distribuição dos participantes nos módulos da CBBC

Módulo CBBC	Orientação da janela	Sexo biológico		Curso de graduação		Amostra total
		Feminino	Masculino	Arq. Urb.	Eng. Civil	
MC	Face norte	34	35	36	33	69
ME	Face sul	36	31	36	34	67
Total		70	66	69	67	136

No que concerne à percepção térmica no interior da CBBC durante as diversas sessões (Questão 9), constatou-se um equilíbrio entre voluntários dos sexos feminino e masculino:

- (a) confortável: 115 pessoas (84,6%), sendo 60 do sexo feminino e 55 do sexo masculino;
- (b) desconfortável: 16 pessoas (11,8%), sendo 8 do sexo feminino e 8 do sexo masculino; e
- (c) não soube dizer: 5 pessoas (3,7%), sendo 2 do sexo feminino e 3 do sexo masculino.

Essas respostas são classificadas na Figura 11, com a divisão dos participantes entre MC e ME.

A quantidade de pessoas que considerou a temperatura confortável foi similar em MC e ME; contudo, a quantidade de pessoas que declarou que a temperatura estava desconfortável em MC foi duas vezes maior do que em ME. Das 11 pessoas que alegaram desconforto em MC, 8 gostariam que a temperatura estivesse um pouco mais baixa. Supõe-se que, pelo fato de MC estar com a janela voltada para norte e ME, para sul, os participantes estiveram mais propensos a sentir calor em MC que em ME.

De fato, ao se observarem os dados medidos simultaneamente à aplicação dos questionários, nota-se que os participantes que avaliaram o ambiente interno em MC estiveram expostos em média a condições um pouco mais quentes/um pouco menos frias que em ME, porém as diferenças se notam sobretudo quanto aos valores

de temperatura de globo. Isso se deve ao fato de que foi permitido ao participante abrir a janela quando desejasse, renovando o ar dos ambientes, conforme o protocolo adotado para cada sessão. Além disso, como medida de renovação do ar entre as sessões, e na entrada e saída de novos participantes, os ambientes permaneceram abertos por curto espaço de tempo entre sessões, alterando dessa forma a temperatura do ar, porém não significativamente a temperatura de globo.

Na Tabela 6 constam os dados medidos interna e externamente aos módulos, para todas as sessões e apenas para as sessões que apresentaram sensação térmica de desconforto (em resposta à Questão 8 – vide Quadro 2). Nos dados externos, apresentados apenas em termos de temperatura do ar, há grande variação térmica durante as duas semanas nas quais se deu a avaliação do ambiente pelo usuário – destaca-se que os dados se referem apenas ao período diurno.

O cálculo do valor médio do índice de conforto *Predicted Mean Vote* (PMV), normatizado pela ISO 7730 (INTERNATIONAL..., 2005) foi realizado pelo aplicativo *Thermal Comfort Tool*, do *Center for the Built Environment* (CBE) (UC-BERKELEY, 2019). Nas variáveis de entrada, foram empregados os dados de  $T_A$ ,  $T_G$  (convertidos para temperatura radiante média  $T_{RM}$  segundo procedimento descrito na ISO 7726 (INTERNATIONAL..., 1998), velocidade do ar ( $V_A$ , assumida como valor constante de aproximadamente 0,1 m/s) e umidade relativa (RH), medidos nos dois ambientes. Adotou-se um valor de vestimenta padrão de inverno para ambientes internos (1 clo) e uma taxa metabólica de tarefa leve de escritório (1 met).

Os gráficos comparativos representam as diferenças encontradas para a série completa (Figura 12a) e apenas para as sessões em que houve desconforto reportado (Figura 12 b). Os dois conjuntos de valores analisados #1 e #2 correspondem à média dos dados de entrada de MC e ME, respectivamente.

Figura 11 - Percepção da temperatura nos módulos da CBBC

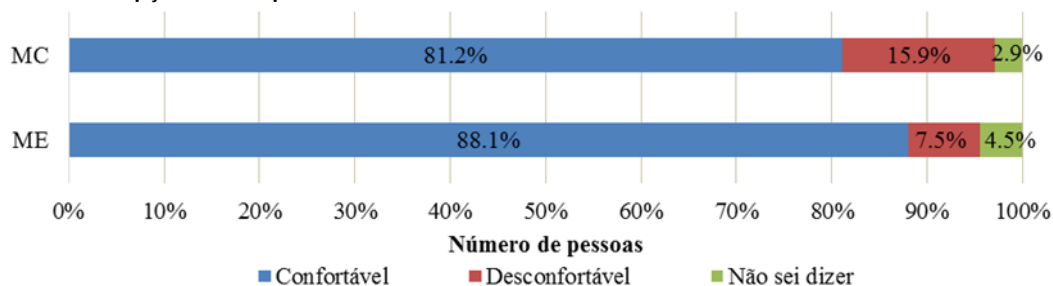
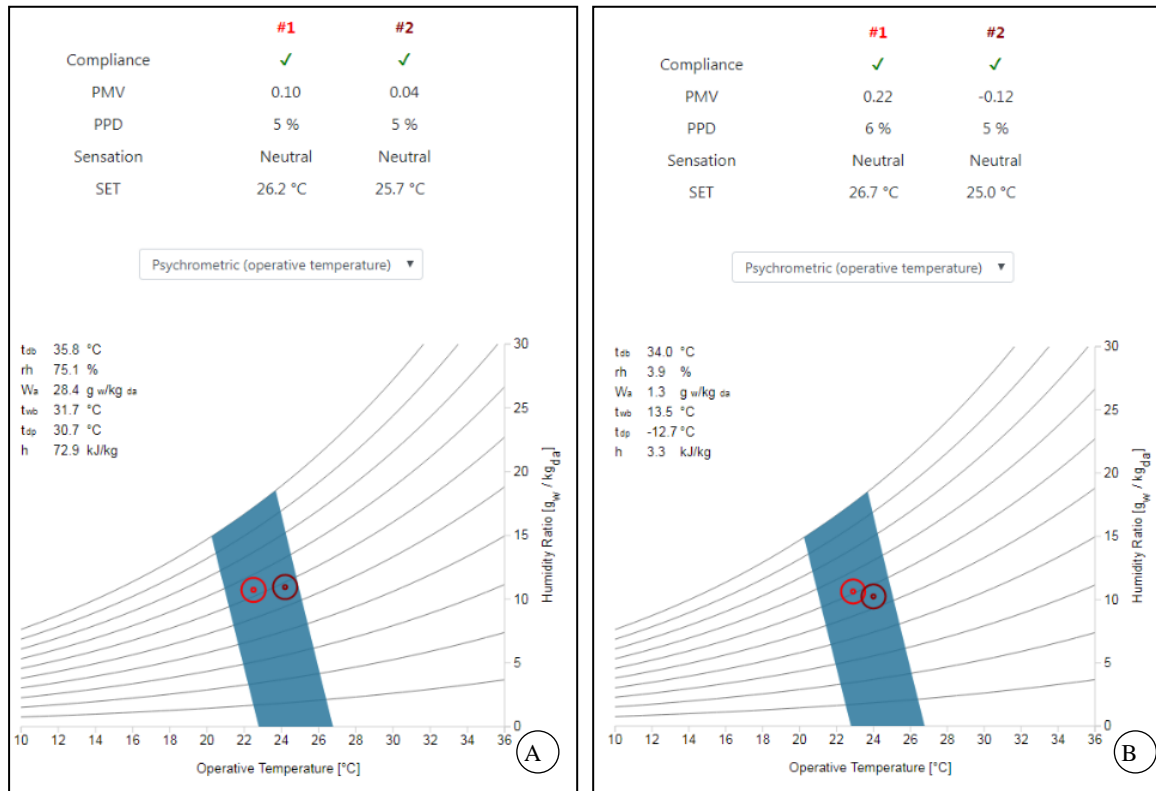


Tabela 6 - Dados de  $T_A$ ,  $T_G$ , TEXT e UR monitorados em MC e ME durante as sessões

Variável	$T_{EXT}$ [°C]	Todas as sessões		Sessões em que houve desconforto	
		MC	ME	MC	ME
$T_A$ máxima [°C]	29,0	29,2	32,0	29,2	32,0
$T_A$ média [°C]	21,4	22,5	24,2	22,9	24,0
$T_A$ mínima [°C]	13,5	15,7	16,7	15,7	16,7
UR média [%]	-	63	58	61	55
$T_G$ máxima [°C]	-	31,6	29,0	31,6	29,0
$T_G$ média [°C]	-	24,0	22,0	24,6	21,6
$T_G$ mínima [°C]	-	15,8	13,9	15,8	13,9
Votos de desconforto por frio	-	9	22	9	22
Votos de conforto	-	37	45	-	-
Votos de desconforto por calor	-	23	32	23	32



Figura 12 - Condições de contorno nos módulos da CBBC durante as diversas sessões: (a) todas as sessões; e (b) sessões em que houve desconforto do usuário



As condições de PMV foram pouco discerníveis no cômputo geral, uma vez que a maior parte das situações ofereceu conforto aos usuários, com valores de PMV na faixa de conforto nas duas situações, porém com maior dispersão do valor médio nas sessões que suscitaram desconforto do usuário (Figura 12b).

Outra análise diz respeito aos participantes que declararam desconforto térmico (Questão 9 – vide Quadro 2). Na Tabela 7 é explicitada a sensação térmica dos 16 participantes que declararam desconforto térmico, bem como as ações tomadas em relação à persiana e à janela.

De acordo com a Tabela 7, dos 16 participantes que declararam desconforto térmico, um fechou a persiana em ME, um abriu a janela em ME e um abriu a janela em MC. A ação dessas participantes (as três eram do sexo biológico feminino) pode ser interpretada da seguinte forma:

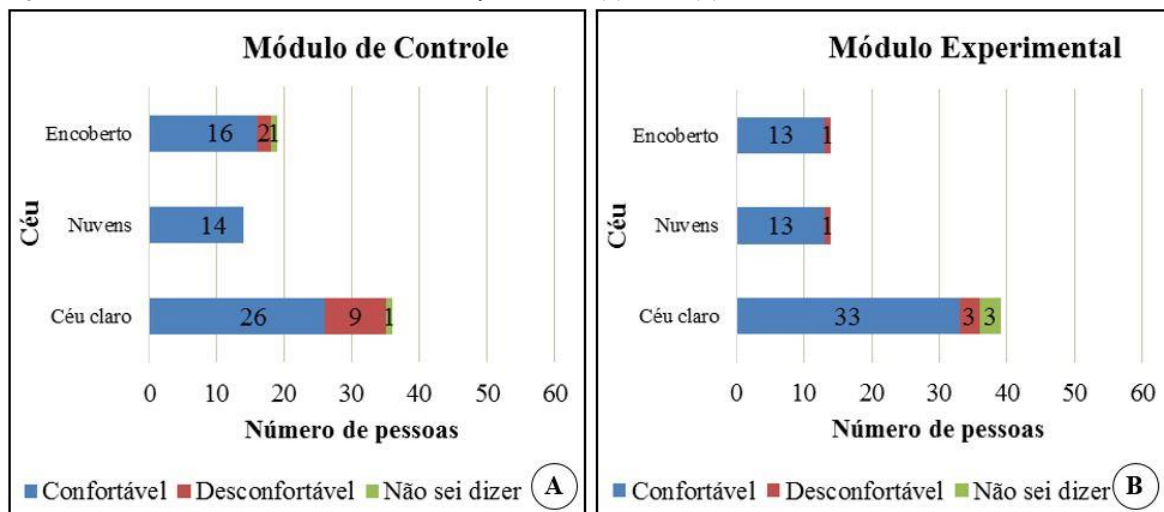
- (a) no primeiro caso, a participante estava em ME (janela voltada para sul), portanto não havia incidência solar direta a partir da janela. A participante declarou sentir um pouco de frio, então pode ter fechado a persiana no intuito de aumentar o isolamento térmico da envoltória e manter a energia térmica produzida por seu próprio corpo e pelos equipamentos no interior do módulo. Não obstante, a abertura da janela seria uma medida mais efetiva ( $T_A = 16,4 \text{ °C}$ ,  $T_{EXT} = 21,3 \text{ °C}$ );
- (b) no segundo caso, uma hipótese é que a abertura da janela tenha sido motivada pelo desconforto advindo da ventilação do ar-condicionado (incômodo também relatado pela participante), e não pela sensação térmica de muito frio ( $T_A = 19,7 \text{ °C}$ ,  $T_{EXT} = 20,6 \text{ °C}$ ); e
- (c) no terceiro caso, considerando a sensação térmica de pouco calor declarada pela participante, pode-se depreender que a abertura da janela foi uma estratégia adotada para ventilar o módulo e assim diminuir a diferença entre  $T_A$  e  $T_{EXT}$  ( $T_A = 30,6 \text{ °C}$ ,  $T_{EXT} = 27,9 \text{ °C}$ ).

Também foram analisadas possíveis correlações entre a percepção da temperatura na CBBC e a condição climática externa. Durante a realização da avaliação dos módulos pelos usuários, foram utilizadas três classificações para identificar a condição do céu: claro, com nuvens ou encoberto. O cruzamento da condição do céu com a percepção da temperatura em MC e em ME é apresentado na Figura 13.

Tabela 7 - Participantes, desconforto térmico e ação em relação à persiana e à janela

Data	Módulo CBBC	T <sub>A</sub> (1,1m) [°C]	T <sub>EXT</sub> [°C]	Sensação térmica	Ação em relação à persiana	Ação em relação à janela
24/08/2018	MC	24,3	19,7	Pouco calor	-	-
27/08/2018	ME	16,6	22,4	Pouco frio	-	-
27/08/2018	MC	19,8	15,2	Pouco frio	-	-
28/08/2018	ME	16,4	21,3	Pouco frio	Fechou a persiana	-
28/08/2018	MC	15,5	21,3	Pouco frio	-	-
28/08/2018	ME	16,8	19,1	Pouco frio	-	-
28/08/2018	ME	19,7	20,6	Muito frio	-	Abriu a janela
29/08/2018	MC	28,1	25,6	Pouco calor	-	-
30/08/2018	ME	27,7	26,2	Pouco calor	-	-
30/08/2018	ME	29,2	27,0	Pouco calor	-	-
30/08/2018	MC	27,8	23,9	Nem frio nem calor	-	-
31/08/2018	ME	29,5	28,9	Pouco calor	-	-
31/08/2018	ME	28,7	28,7	Pouco calor	-	-
31/08/2018	MC	31,5	28,6	Muito calor	-	-
31/08/2018	ME	29,0	29,3	Muito calor	-	-
31/08/2018	MC	30,6	27,9	Pouco calor	-	Abriu a janela

Figura 13 - Conforto térmico CBBC versus condição do céu: (a) MC; e (b) ME



Quanto à incidência solar sobre os módulos da CBBC, cabe lembrar que a janela de MC foi orientada para norte e a janela de ME, para sul. Nesse contexto, dos 16 participantes (11 em MC e 5 em ME) que alegaram desconforto térmico, 9 estavam em MC, em condições de céu claro – dos quais 7 gostariam que a temperatura estivesse um pouco mais baixa.

## Conclusões

A pesquisa mostrou de forma simultânea a diferença térmica obtida para dois ambientes-teste virtualmente idênticos submetidos a orientações solares opostas, com alteração do entorno construído e da vista da janela. Os resultados das medições objetivas de desempenho foram corroborados pela percepção dos usuários. Dos achados deste estudo, comprova-se a variação térmica de fachadas com janela voltadas para norte em situação de inverno em localidades situadas na Zona Bioclimática 1 relativamente a uma orientação sul. Pode-se também obter a partir dos resultados *insights* sobre possíveis efeitos térmicos deletérios da obstrução de janelas em edificações situadas em cânions urbanos com acesso solar limitado.

Note-se que, na avaliação de desempenho segundo a NBR 15575-1 (ABNT, 2013), embora os níveis de desempenho tenham sido próximos para MC e ME (situação inverno), MC, com orientação norte, trouxe maior sobreaquecimento em alguns momentos do dia, mesmo no caso de bloqueio de ganhos solares diretos (persiana fechada). Dois efeitos podem ter contribuído para isso: o período de inverno contemplado durante as avaliações de desempenho apresentou temperaturas amenas durante o dia; ademais, a CBBC possui

envoltória com grande capacidade de isolamento térmico, dificultando a perda de radiação de onda longa a partir do interior.

Sob condições de inverno com pouco rigor térmico (nos dias com persiana fechada, atingindo máxima superior a 26 °C, e, nos dias com persiana aberta, chegando a uma máxima de 24 °C no primeiro dia, porém ambas as situações com mínimas superiores a 10 °C), pouco representativas na série histórica da localidade estudada, leia-se ano climático ou normais climatológicas, notou-se que o ambiente com orientação de janela para norte apresenta algum risco de sobreaquecimento durante o dia, especialmente com a persiana aberta. Assumindo uma situação de céu claro e de poucas nuvens para os dois dias mais quentes em cada modo de operação da persiana (fechada *versus* aberta) representada por uma amplitude térmica diária de aproximadamente 14 K e 8 K, respectivamente, e segundo dados de radiação por fachada para uma latitude 25°S, próxima ao local do experimento apresentados por Frota e Schiffer (2001), tem-se uma proporção de carga solar total diária cerca de 10 vezes maior na fachada norte relativamente à face sul (4.895 W/m<sup>2</sup>.dia *versus* 419 W/m<sup>2</sup>.dia). Ainda que a situação se inverta no verão, com proporção inversa de totais diários de radiação solar na fachada norte *versus* fachada sul, a maior intensidade de radiação na face norte permanece ainda nos equinócios (3.401 W/m<sup>2</sup>.dia contra 563 W/m<sup>2</sup>.dia). A frequência cada vez maior de períodos de inverno amenos com estações de transição já apresentando calor torna o assunto exposição de janelas para face norte uma preocupação no atual contexto de mudanças climáticas.

Por outro lado, a ausência de acesso solar em fachadas privilegiadas com orientação solar traz outras consequências como prejuízos quanto ao aproveitamento energético nessas fachadas (para conversão de energia ou uso de sistemas de condicionamento passivo), quanto ao uso de luz natural, dentre outros aspectos. A questão a ser considerada é o contraponto entre bloquear total ou parcialmente o acesso solar de uma fachada norte, muitas vezes por obstruções geradas pela malha urbana (situação de cânions, por exemplo) e permitir que a fachada fique livre, com devido controle dos ganhos pela abertura. Há também que se considerar a possibilidade de se utilizar a fachada norte para sistemas de condicionamento como paredes Trombe, combinados com áreas destinadas à iluminação natural, para geração elétrica por painéis fotovoltaicos, etc.

Deve-se também ressaltar que os resultados se referem a um tipo de construção que apresenta pouca massa térmica e grande isolamento térmico. Em construções com diferentes propriedades termofísicas, os resultados poderiam ter impacto mais positivo no que diz respeito ao armazenamento térmico durante o período noturno.

Na avaliação pelos usuários, comprovou-se que MC (norte), em dias com maior nebulosidade e temperaturas mais baixas, apresenta maior percentual de votos de conforto que em ME (sul), situação que se inverte em dias de céu claro. Embora os dados reportados de percepção térmica tenham apontado diferenças de percepção subjetiva quanto a esse aspecto, durante as sessões, os efeitos mensurados ocorreram em menor grau, com pouca diferenciação entre dados médios de PMV obtidos nos dois ambientes.

Corroboraram-se os resultados encontrados com estudos como o de Vanhoutteghem *et al.* (2015), em edificações com consumo quase nulo e de Persson, Roos e Wall (2006), em edificações do tipo *Passiv Haus*, nos quais, mesmo em locais como a Dinamarca e a Suécia, corre-se sobretudo o risco de sobreaquecimento com uma orientação equatorial das aberturas.

Por fim, a concepção da CBBC baseou-se em regulamentações vigentes no Brasil, porém não específicas para construção de câmaras climáticas. Assim, adotaram-se referências de transmitância e capacidade térmica, pois se referem aos materiais adotados, porém não se considerou, por exemplo, o método de cálculo do RTQ para fins de obtenção de nível de eficiência energética. Enquanto o projeto e construção da CBBC tenha essa limitação, acredita-se que o seu aperfeiçoamento futuro seja etapa necessária para a criação de uma normatização para o desenvolvimento desse tipo de construção.

## Referências

ABANDA, F. H.; BYERS, L. An investigation of the impact of building orientation on energy consumption in a domestic building using emerging BIM (Building Information Modelling). **Energy**, v. 97, p. 517-527, 2016.

AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS. **Standard 55**: thermal environmental conditions for human occupancy. Atlanta, 2017.

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220**: desempenho térmico de edificações. Rio de Janeiro, 2005.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575**: edificações habitacionais: desempenho. Rio de Janeiro, 2013.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16401**: instalações de ar condicionado: sistemas centrais e unitários. Rio de Janeiro, 2008.
- BOCCALANDRO, E. R. **Coleção G-38**: teste não verbal de inteligência. São Paulo: Vetor, 2003.
- DENGEL, A.; SWAINSON, M. **Overheating in new homes**: a review of the evidence. Reading: NHBC Foundation, Zero Carbon Hub, 2012.
- DEUTSCHE LICHTTECHNISCHE GESELLSCHAFT e.V. **Questionnaire for assessment of light situations**. Karlsruhe: LiTG, 2014.
- DÖRFLER, M.; KRÜGER, E. Simulações de desempenho térmico de moradias do PMCMV em diferentes zonas bioclimáticas quanto aos aspectos de implantação, materialidade e sombreamento de aberturas. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 16., São Paulo, 2016. **Anais [...]** Porto Alegre: ANTAC, 2016.
- FONSECA, R. W. *et al.* Avaliação do desempenho energético de um edifício comercial condicionado artificialmente com base em energia primária. In: ENCONTRO NACIONAL, 14.; ENCONTRO LATINO-AMERICANO DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 10., Balneário Camboriú, 2017. **Anais [...]** Porto Alegre: ANTAC, 2017.
- FROTA, A. B.; SCHIFFER, S. R. **Manual de conforto térmico**: Arquitetura. Urbanismo. 2. ed. São Paulo: 2001.
- GASPARELLA, A. *et al.* Analysis and modelling of window and glazing systems energy performance for a well insulated residential building. **Energy and Buildings**, v. 43, n. 4, p. 1030-1037, 2011.
- GHISI, E.; TINKER, J. A. An ideal window area concept for energy efficient integration of daylight and artificial light in buildings. **Building and Environment**, v. 40, n. 1, p. 51-61, 2005.
- GOMES, S. H. T. **Edifícios para bibliotecas universitárias**: perspectivas e diretrizes a partir da Avaliação Pós-Ocupação. São Paulo, 2007. 524 f. Tese (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo) – Escol Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007.
- HASSOUNEH, K.; ALSHBOUL, A.; AL-SALAYMEH, A. Influence of windows on the energy balance of apartment buildings in Amman. **Energy Conversion and Management**, v. 51, n. 8, p. 1583-1591, 2010.
- INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. **Normais climatológicas**. Disponível em: <http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=clima/normaisclimatologicas>. Acesso em: 13 out. 2019.
- INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA, QUALIDADE E TECNOLOGIA. **Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais, RTQ-R**. Brasília, 2012. Disponível em: <http://www.pbeedifica.com.br/sites/default/files/projetos/etiquetagem/residencial/downloads/RTQR.pdf>. Acesso em: 18 nov. 2019.
- INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA, QUALIDADE E TECNOLOGIA. **Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas, RTQ-C**. Brasília, 2013. Disponível em: [http://www.pbeedifica.com.br/sites/default/files/projetos/etiquetagem/comercial/downloads/Port372-2010\\_RTQ\\_Def\\_Edificacoes-C\\_rev01.pdf](http://www.pbeedifica.com.br/sites/default/files/projetos/etiquetagem/comercial/downloads/Port372-2010_RTQ_Def_Edificacoes-C_rev01.pdf). Acesso em: 18 nov 2019.
- INTERNATIONAL STANDARD ORGANIZATION. **ISO 10551**: ergonomics of the thermal environment: assessment of the influence of the thermal environment using subjective judgement scales. Genebra, 1995.
- INTERNATIONAL STANDARD ORGANIZATION. **ISO 7726**: ergonomics of the thermal environment: instruments for measuring physical quantities. Genebra, 1998.
- INTERNATIONAL STANDARD ORGANIZATION. **ISO 7730**: ergonomics of the thermal environment: analytical determination and interpretation of thermal comfort using calculation of the PMV and PPD indices and local thermal comfort criteria. Genebra, 2005.

- JABER, S.; AJIB, S. Optimum, technical and energy efficiency design of residential building in Mediterranean region. **Energy and Buildings**, v. 43, n. 8, p. 1829-1834, 2011.
- KNOWLES, R. L. The solar envelope: it's meaning for energy and buildings. **Energy and Buildings**, v. 35, n. 1, p. 15-25, 2003.
- LABORATÓRIO, DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM EDIFICAÇÕES. **Programa Analysis BIO**. Florianópolis: LabEEE, 2003.
- LAN, L. *et al.* Effects of thermal discomfort in an office on perceived air quality, SBS symptoms, physiological responses, and human performance. **Indoor Air**, v. 21, n. 5, p. 376-390, 2011.
- LAN, L.; WARGOCKI, P.; LIAN, Z. Quantitative measurement of productivity loss due to thermal discomfort. **Energy and Buildings**, v. 43, n. 5, p. 1057-1062, 2011.
- LEE, J. W. *et al.* Optimization of building window system in Asian regions by analyzing solar heat gain and daylighting elements. **Renewable Energy**, v. 50, p. 522-531, 2013.
- MCLEOD, R. S.; HOPFE, C. J.; KWAN, A. An investigation into future performance and overheating risks in Passivhaus dwellings. **Building and Environment**, v. 70, p. 189-209, 2013.
- MENDONÇA, F. A.; DANNI-OLIVEIRA, I. M. **Climatologia: noções básicas e climas do Brasil**. São Paulo: Oficina de Textos, 2007.
- MOTUZIENE, V.; JUODIS, E. S. Simulation based complex energy assessment of office building fenestration. **Journal of Civil Engineering and Management**, v. 16, n. 3, p. 345-351, 2010.
- ORNSTEIN, S. W. Post-Occupancy Evaluation in Brazil: evaluating quality in educational facilities. In: ORGANISATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION AND DEVELOPMENT, 2005. **Proceedings [...]** 2005.
- PACHECO, F.; SCHAEFER, A.; GHISI, E. Caracterização das Habitações de Interesse Social de Florianópolis e a influência dos parâmetros arquitetônicos no seu desempenho térmico. In: ENCONTRO NACIONAL, 14.; ENCONTRO LATINO-AMERICANO DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 10., Balneário Camboriú, 2017. **Anais [...]** Porto Alegre: ANTAC, 2017.
- PERSSON, J.; WESTERMARK, M. Phase change material cool storage for a Swedish Passive House. **Energy and Buildings**, v. 54, p. 490-495, 2012.
- PERSSON, M. L.; ROOS, A.; WALL, M. Influence of window size on the energy balance of low energy houses. **Energy and Buildings**, v. 38, n. 3, p. 181-188, 2006.
- PINTO, M. M.; WESTPHAL, F. S. Desempenho térmico do uso de vidros insulados em escritórios condicionados artificialmente: Curitiba (PR) e Boa Vista (RR). In: ENCONTRO NACIONAL, 14.; ENCONTRO LATINO-AMERICANO DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 10., Balneário Camboriú, 2017. **Anais [...]** Porto Alegre: ANTAC, 2017.
- PRISMATIC. **Aplicativo Hue Pro**. Disponível em: <http://hueproapp.com>. Acesso em: 27 dez. 2018.
- QUADROS, B. M.; ORDENES, M. O. Importância da adequação de um projeto padrão de unidade de saúde para o clima de Florianópolis (SC). In: ENCONTRO NACIONAL, 14.; ENCONTRO LATINO-AMERICANO DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 10., Balneário Camboriú, 2017. **Anais [...]** Porto Alegre: ANTAC, 2017.
- RESENDE, A. E. **Salas de controle: do artefato ao instrumento**. São Paulo, 2011. Tese (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011.
- RICCARDI, P.; BURATTI, C. Environmental quality of university classrooms: subjective and objective evaluation of the thermal, acoustic, and lighting comfort conditions. **Building and Environment**, v. 127, p. 22-36, 2018.
- ROAF, S.; FUENTES, M.; THOMAS, S. **Ecohouse: a casa ambientalmente sustentável**. Porto Alegre: Bookman, 2006.
- ROCHA, J. C. Cor luz, cor pigmento e os sistemas RGB e CMY. **Revista Belas Artes**, v. 3, n. 2, p. 107-128, 2010.



SCHMITT, Y.; DAL SAVIO, S.; SPARBER, W. Monitoring of a multi family passive house in South Tyrol, Italy. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON PASSIVE HOUSES, 11., Bregenz, 2007. **Proceedings** [...] Bregenz: iPHA, 2007.

SCHNEIDERS, J. **Passive houses in South West Europe**: a quantitative investigation of some passive and active space conditioning techniques for highly energy efficient dwellings in the South West European region. Darmstadt: Passiv Haus Institute, 2009.

SOARES, M. M.; SILVA, A. C. S. B.; CUNHA, E. G. A compatibilização dos métodos simplificado e por simulação da NBR 15575, sob análise do RTQ-R: Zona Bioclimática 2. In: ENCONTRO NACIONAL, 14.; ENCONTRO LATINO-AMERICANO DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 10., Balneário Camboriú, 2007. **Anais** [...] Porto Alegre: ANTAC, 2017.

SUGA, M. **Avaliação do potencial de aproveitamento de luz natural em cânions urbanos**: estudo realizado nos Eixos Estruturais de Curitiba. Curitiba, 2005. Dissertação (Mestrado em Tecnologia e Desenvolvimento) - Centro Federal de Ensino Tecnológico, Curitiba, 2005.

SUSOROVA, I. *et al.* The effect of geometry factors on fenestration energy performance and energy savings in office buildings. **Energy and Buildings**, v. 57, p. 6-13, 2013.

TAMURA, C. A. **Simulação de insolação**: implantação da CBBC na UTFPR Sede Ecoville. Curitiba: UTFPR, 2017. Memorial.

UC-BERKELEY. **Thermal Comfort Tool**. Disponível em: <https://comfort.cbe.berkeley.edu/>. Acesso em: 25 nov. 2019.

VANHOUTTEGHEM, L. *et al.* Impact of façade window design on energy, daylighting and thermal comfort in nearly zero-energy houses. **Energy and Buildings**, v. 102, p. 149-156, 2015.

ZIMRING, C.; REIZENSTEIN, J. E. Post Occupancy Evaluation: an overview, environment and behaviour. In: ZIMMERMAN, A.; MARTIN, M. Post Occupancy Evaluation: benefits and barriers. **Building Research and Information**, v. 29, n. 2, p. 168-174, 1980.

**Eduardo Leite Krüger**

Departamento de Construção Civil | Universidade Tecnológica Federal do Paraná | Av. Dep. Heitor de Alencar Furtado, 4900 | Curitiba - PR - Brasil | CEP 81280-340 | Tel.: (41) 3279-6821 | E-mail: ekruger@utfpr.edu.br

**Livia Iwamura Trevisan**

Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil | Universidade Tecnológica Federal do Paraná | E-mail: livia.iwamura@gmail.com

**Cintia Tamura**

Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil | Universidade Tecnológica Federal do Paraná | Av. Dep. Heitor de Alencar Furtado, 5000 | Curitiba - PR - Brasil | CEP 81280-340 | Tel.: (41) 3279-6821 | E-mail: cintiatamura@gmail.com

**Clarisse Di Núbila**

Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil | Universidade Tecnológica Federal do Paraná | E-mail: clarissedinubila@yahoo.com.br

**Gabriel Celligoi**

Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil | Universidade Tecnológica Federal do Paraná | E-mail: gabrielcelligoi@gmail.com

**Sergio Batista Junior**

Departamento de Construção Civil | Universidade Tecnológica Federal do Paraná | Tel.: (41) 3279-6821 | E-mail: sergioleandrobj@gmail.com

**Deize Lellys da Silva**

Departamento de Construção Civil | Universidade Tecnológica Federal do Paraná | E-mail: laylahh22@gmail.com

**Rodrigo José de Almeida Torres Filho**

Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil | Universidade Tecnológica Federal do Paraná | Tel.: (41) 3279-6821 | E-mail: rodrigotorresfilho@yahoo.com.br

**Daniele Abe Ribeiro**

Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil | Universidade Tecnológica Federal do Paraná | E-mail: danielieberibeiro@gmail.com

***Ambiente Construído***

Revista da Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído

Av. Osvaldo Aranha, 99 - 3º andar, Centro

Porto Alegre - RS - Brasil

CEP 90035-190

Telefone: +55 (51) 3308-4084

Fax: +55 (51) 3308-4054

www.seer.ufrgs.br/ambienteconstruido

E-mail: ambienteconstruido@ufrgs.br



This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License.