



**XV ENCAC** Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído

**XI ELACAC** Encontro Latino-Americano de Conforto no Ambiente Construído

JOÃO PESSOA | 18 a 21 de setembro de 2019

## **EFEITO DE ORIENTAÇÃO DE JANELA NO AMBIENTE TÉRMICO E NA PERCEPÇÃO DO USUÁRIO**

**Eduardo Krüger (1); Livia Yu Iwamura Trevisan (2); Gabriel Celligoi (3); Sergio Leandro Batista Junior (4); Deize Lellys da Silva (5); Cintia Akemi Tamura (6); Clarisse di Núbila (7); Rodrigo José de Almeida Torres Filho (8); Daniele Abe Ribeiro (9)**

- (1) Doutor em Arquitetura, Professor do Departamento acadêmico de construção civil, ekruger@utfpr.edu.br  
(2) Doutoranda em Engenharia Civil, Arquiteta e Urbanista, livia.iwamura@gmail.com  
(3) Mestrando em Engenharia Civil, Arquiteto e Urbanista, gabrielcelligoi@gmail.com  
(4) Engenheiro Civil, sergioleandrobj@gmail.com  
(5) Graduanda em Arquitetura e Urbanismo, laylahh22@gmail.com  
(6) Doutora em Tecnologia, Arquiteta e Urbanista, cintiatamura@gmail.com  
(7) Mestranda em Engenharia Civil, Engenheira Civil, clarissedinubila@yahoo.com.br  
(8) Doutorando em Engenharia Civil, Engenheiro Civil, rodrigotorresfilho@yahoo.com.br  
(9) Mestranda em Engenharia Civil, Engenheira Civil, danielaberibeiro@gmail.com

Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil (PPGEC), Rua Deputado Heitor Alencar Furtado, 5000, Ecoville, Curitiba-PR, (41) 3279-6800

### **RESUMO**

No desenho bioclimático, estratégias como o uso de envelope solar ressaltam a importância de fachadas equatoriais de modo a favorecer ganhos térmicos, uso de iluminação natural e aproveitamento energético pela edificação, recomendando um “volume de desobstrução solar” para tais fachadas. Em Curitiba, o mercado imobiliário se utiliza da orientação da fachada norte na diferenciação do valor do imóvel ou, no mínimo, como argumento de venda, sendo que tal estratégia vem sendo aplicada em outras cidades do sul do Brasil. Em vista disso, o presente artigo analisa o efeito da orientação solar em termos de desempenho térmico e na percepção do ocupante em dois ambientes termicamente equivalentes, porém com orientações solares opostas da fachada com janela. Para isso, faz-se uso de técnicas de Avaliação Pós-Ocupação (APO) e medições de desempenho em ambientes-teste de mesma escala e proporção, submetidos a condições climáticas de inverno em Curitiba, PR. Os resultados das medições objetivas de desempenho foram corroborados pela percepção dos usuários, comprovando-se o benefício térmico de fachadas com janela voltadas para norte em situação de inverno em Curitiba. Orientações solares opostas da janela mostraram 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, sem ganhos diretos no ambiente. Resultados da APO indicaram desconforto por calor mais acentuado para a fachada norte, comprovando dados objetivos coletados.

Palavras-chave: desempenho térmico, monitoramento térmico, avaliação pós-ocupação, câmaras climáticas.

### **ABSTRACT**

In bioclimatic design, strategies such as the use of solar envelope emphasize the importance of equatorial façades in order to promote thermal gains, use of daylight and energy generation, and recommending unobstructed solar access for such façades. In Curitiba, the real estate market uses the north façade orientation for differentiating property value or, at least, as a sales argument; such strategy is usually applied in other cities in southern Brazil. In this context, the present article analyzes the effect of solar orientation in terms of thermal performance and occupant perception in two thermally equivalent environments, but with opposite solar orientations of the window façade. For this, techniques of Post-Occupancy Evaluation (POE) and performance measurements were employed in test environments with same scale and proportion, exposed to winter climatic conditions in Curitiba, PR. Results of the objective measurements were corroborated by the perception of the users, proving the thermal benefit of north-facing window façades in winter in Curitiba. Opposite solar orientations of the window showed changes in air and internal surface

temperatures, with effects in the vertical profile of temperature and in thermal performance levels, even for window configurations with closed shutters, thus without direct gains in the environment. POE results indicated more pronounced heat discomfort for the northern façade, corroborating objective data outcomes. Keywords: thermal performance, thermal monitoring, post-occupancy evaluation, climate chambers.

## 1. INTRODUÇÃO

A orientação de fachadas com abertura sabidamente afeta as condições de conforto internas de uma edificação. 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, o fator orientação é devidamente 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.

No caso do desenho bioclimático, estratégias como o uso de envelope solar ressaltam a importância de uma fachada equatorial de modo a favorecer ganhos térmicos, uso de iluminação natural e aproveitamento energético pela edificação, recomendando um “volume de desobstrução solar” para tais fachadas (KNOWLES, 2003). Do ponto de vista térmico, em regiões subtropicais ou em latitudes altas, o espaçamento entre edificações com vistas a privilegiar fachadas equatoriais pode significar economia de energia em sistemas de climatização (ABANDA; BYERS, 2016). No caso de Curitiba, por exemplo, alterações na implantação de uma moradia do Programa Minha Casa Minha Vida (PMCMV) podem significar variações de até 3% na demanda por aquecimento anual, equivalente a aumentos da espessura da parede ou de seu revestimento interno (DÖRFLER; KRÜGER, 2016).

Em Curitiba, o mercado imobiliário se utiliza da orientação da fachada norte na diferenciação do valor do imóvel (APOLAR IMÓVEIS, 2019) ou, no mínimo, como argumento de venda. Tal estratégia vem sendo aplicada em outras cidades do sul do Brasil. Em vista disso, o presente artigo analisa o efeito da orientação solar em termos de desempenho térmico e na percepção do ocupante em dois ambientes termicamente equivalentes, porém com orientações solares opostas. Para isso, faz-se uso de técnicas de Avaliação Pós-Ocupação (APO) e medições de desempenho.

Define-se a APO como uma análise da 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).

Embora trabalhos apresentados no ENCAC já tenham abordado estudos de desempenho termo-energético relacionados à orientação solar em edificações, esses estudos, em sua maioria, se baseiam em simulações computacionais, nas quais a orientação 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 inerentes de se realizar monitoramentos térmicos em um mesmo ambiente, porém sob diferentes condições de exposição solar da fachada com janela, a plataforma criada para o presente estudo facilita tal análise, valendo-se de ambientes-teste em mesma escala e proporção, submetidos a condições climáticas reais.

## 2. OBJETIVO

O objetivo do artigo é analisar o efeito da orientação solar em termos de desempenho térmico e na percepção dos ocupantes de dois ambientes termicamente equivalentes, com orientações solares opostas.

## 3. MÉTODO

O estudo foi realizado na “Câmara Bioclimática de Baixo Custo” (CBBC), localizada em Curitiba, PR (TREVISAN *et al.*, 2018). A CBBC é composta por dois módulos independentes de 5,4m<sup>2</sup>, providos de um sistema de rotação manual que possibilita orientá-los para pontos cardeais distintos, característica a ser explorada em pesquisas futuras. No presente trabalho, são analisadas exclusivamente as orientações Norte e

Sul. Além disso, a manutenção da configuração original do Módulo de Controle (MC) e a possibilidade de alteração da envoltória do Módulo Experimental (ME) é outro atributo a ser explorado em pesquisas comparativas, sob a influência das mesmas condições climáticas – como, por exemplo, em estudos de percepção de conforto no ambiente construído.

Neste estudo, adotou-se a seguinte orientação geográfica: em MC, a fachada com janela foi orientada para Norte, ao passo que em ME, a mesma fachada foi orientada para Sul, conforme ilustrado na Figura 1 (A). A foto aérea foi registrada às 11h30 da manhã, em 06 de maio de 2018 - data que corresponde exatamente ao meio da estação de outono, que tem início em 20 de março e vai até o solstício de inverno, em 21 de junho.

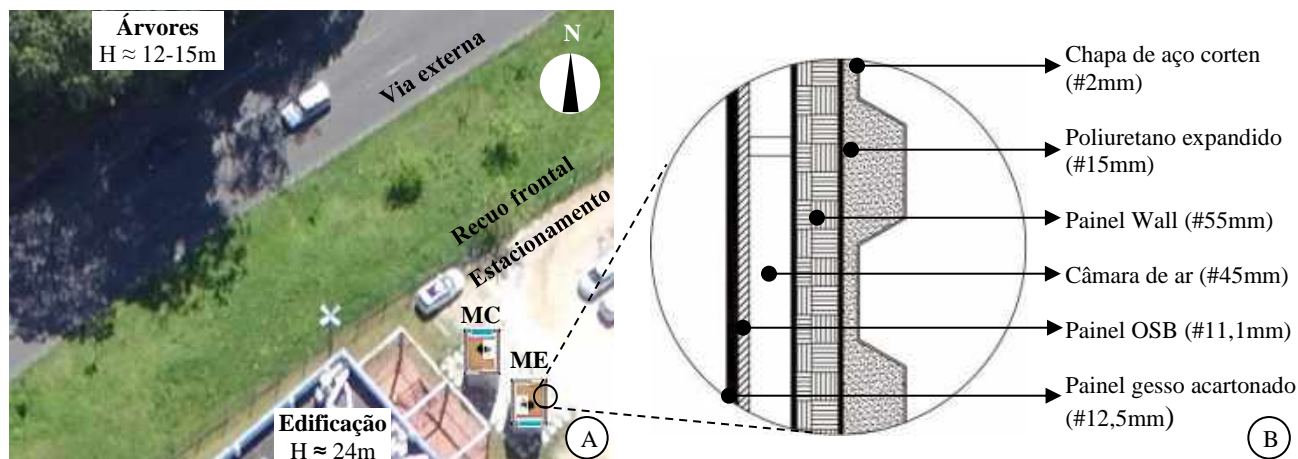


Figura 1 - CBBC: (A) orientação geográfica de MC e ME; (B) detalhe da envoltória (Autoria própria, 2019).

Quanto à vista da janela de MC, nota-se na Figura 1 (A) que não há obstruções provenientes da via externa, do recuo frontal ou do estacionamento. Cumpre destacar que a base das janelas está 1,85m acima do nível do piso externo, altura correspondente ao somatório da estrutura do sistema de rotação ( $H=0,60m$ ), da estrutura do piso ( $H=0,20m$ ) e do próprio peitoril da janela ( $H=1,05m$ ). 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 de quatro pavimentos. Tanto MC quanto ME situam-se a cerca de 10m dessa edificação. No exterior do prédio há uma escada em estrutura metálica, a cerca de 6m de distância de ambos os módulos.

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 a padronização da construção em container. Para este estudo, ressaltou-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.

A concepção da CBBC partiu da NBR 15220-3/2005: Desempenho térmico de edificações, a qual define o Zoneamento Bioclimático brasileiro e estratégias construtivas para otimizar o desempenho térmico da edificação (ABNT, 2005). No Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações (RTQ), por sua vez, são avaliados os sistemas de iluminação e de condicionamento de ar e a interface da edificação com o exterior (PROCEL, 2013). Com base no RTQ, o dimensionamento da envoltória da CBBC foi norteado pelo cálculo da Transmitância (U) e da Capacidade Térmica (CT).

A comparação foi realizada nos dois módulos, de forma independente, porém simultânea. As características da envoltória são apresentadas na Tabela 1 e Figura 1 (B). Buscou-se atingir uma envoltória equivalente em todas as faces do módulo - sendo a composição das quatro paredes e da cobertura idêntica.

Tabela 1 - Caracterização da envoltória da CBBC (Autoria própria, 2019).

Vedação	Materiais da envoltória (espessura em mm)								U [W/(m <sup>2</sup> .K)]	CT [kJ/(m <sup>2</sup> .K)]
	Aço corten	PU expandido	Painel Wall*	OSB	Camada 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

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

A janela é em vidro temperado (1,40m × 0,90m) e tem uma folha fixa e outra folha de correr. Descontando o caixilho e a sobreposição de folhas, as áreas de iluminação natural (1,26m<sup>2</sup>) e ventilação natural (0,63m<sup>2</sup>) satisfazem os requisitos da Resolução SESA nº 318/2002 (PARANÁ, 2018). O

dimensionamento das aberturas também levou em conta parâmetros estabelecidos por normas como a NBR 15220-3/2005 e a NBR 15575/2013.

### 3.1. Clima local

Curitiba (25°25'40" S, 49°16'23" W, 934 m – IBGE, 2019) está situada na região Sul do Brasil e possui clima temperado marítimo úmido (Cfb), segundo a classificação de Köppen-Geiger. Insere-se na Zona Bioclimática 1 (ZB1), sendo a capital mais fria do país (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). Segundo as normais climatológicas de Curitiba no período de 1981-2010, a precipitação média anual é de 1575,8 mm e a temperatura média anual ( $T_{MA}$ ) é de 17,4°C, sendo fevereiro o mês mais quente ( $T_{MM}=21,0^{\circ}\text{C}$ ) e julho o mês mais frio ( $T_{MM}=13,5^{\circ}\text{C}$ ) (INMET, 2018).

### 3.2. Avaliação de desempenho térmico

Testou-se a influência da orientação solar no desempenho térmico dos dois módulos da CBBC, sendo 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 compatível para uma mesma orientação solar. A avaliação do efeito da orientação solar, ou seja, comparando-se MC e ME, se deu entre 22 e 29 de junho de 2018 enquanto que o balizamento em relação ao comportamento térmico dos módulos da CBBC ocorreu entre 30 de junho e 13 de julho de 2018, com ambos os módulos com fachada com janela voltada para norte. Nas duas condições, duas opções foram monitoradas: módulos com persiana interna fechada e aberta.

Além das diferenças entre temperaturas internas nos módulos e relativamente às condições externas, adotaram-se níveis de desempenho térmico conforme a NBR 15575-1/2013.

Os equipamentos usados foram previamente equalizados a partir da média dos registros em ambiente termicamente estável. A Tabela 2 apresenta os tipos de sensores, posicionamento e variável de interesse medida em cada módulo. O intervalo de medição foi de 5 minutos, sendo os dados posteriormente tratados em base horária. Externamente, dados referenciais de temperatura foram obtidos a partir da estação Curitiba-A807 (Código OMM: 86933) da Rede do INMET.

Tabela 2 - Instalação de sensores em MC e ME

Posição	Variável	MC	ME
1,70m	$T_A$ , UR	Hobo Temp/RH H08-003-02	Hobo Temp/RH H08-003-02
1,20m	$T_A$	TagTemp Stick Novus	TagTemp Stick Novus
1,10m	$T_G$	Globo com Hobo Temp U10-001	Globo com Hobo Temp U10-001
1,10m	$T_A$	Hobo Temp U10-001	Hobo Temp U10-001
0,60m	$T_A$ , UR	Hobo Temp/RH H08-003-02	TagTemp Stick Novus
0,10m	$T_A$	TagTemp Stick Novus	TagTemp Stick Novus
Teto	$T_S$	TagTemp-NFC Novus	TagTemp-NFC Novus
Parede 1		TagTemp-NFC Novus	TagTemp-NFC Novus
Parede 2		Sensor Hobo Pro V2	Sensor Hobo Pro V2
Piso		TagTemp-NFC Novus	Sensor Hobo 12-Bit S-THB-M002

Onde:  $T_A$  é a temperatura do ar (°C), UR é a umidade relativa (%),  $T_G$  é a temperatura de globo (°C) e  $T_S$  é a temperatura de superfície (°C). Alturas dadas conforme a ISO 7726/1998 e a ANSI/ASHRAE Standard 55/2017.

### 3.3. Avaliação Pós-Ocupação

Utilizou-se a APO na análise das condições de conforto proporcionadas pelos módulos em situações opostas de acesso solar. A população de uma edificação pode ser fixa e/ou flutuante, conforme o tempo de permanência e a familiaridade dos ocupantes com o ambiente. Considerando que a CBBC é um laboratório de experimentos acadêmicos, o enquadramento dos participantes da APO pode ser entendido como população flutuante. Contudo, cada módulo da CBBC foi mobiliado de modo análogo a um escritório, perfazendo condições adequadas para que a pessoa ficasse no ambiente e realizasse a APO, como se fosse parte da população fixa.

O projeto de pesquisa “Avaliação Pós-Ocupação em Câmara Bioclimática de Baixo Custo” foi aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisa (CEP) da UTFPR em 09 de agosto de 2018, sob o Certificado de Apresentação para Apreciação Ética (CAAE) nº 92497018.5.0000.5547. A APO CBBC considerou a participação de um número mínimo de 120 voluntários conforme definição da amostra mínima, distribuídos em duas amostras de 60 pessoas (uma amostra para cada módulo da CBBC). A amostra consiste de alunos dos cursos de Arquitetura e Urbanismo e de Engenharia Civil da UTFPR, cursos com foco no estudo do

ambiente construído. A APO foi realizada de 21 a 31 de agosto de 2018, conciliando o calendário acadêmico com um período com predomínio de frio, levando em conta as normais climatológicas de Curitiba em 1981-2010 (INMET, 2018). Durante a APO, adotou-se o protocolo de operação descrito na Tabela 3.

Tabela 3 - Protocolo de operação da CBBC, durante a APO

Elemento	Configuração inicial	Ação do participante
Módulo de controle	Janela orientada para Norte	Ajuste não permitido
Módulo experimental	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	Ajuste não permitido
Sistema de iluminação	Complementação da iluminação natural	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 na Tabela 3, a iluminação natural foi complementada com iluminação artificial, cuja temperatura de cor ( $T_{COR}$ ) era alterada gradativamente, de forma a compensar a dinâmica da insolação. Essa configuração partiu da correlação entre fonte luminosa e  $T_{COR}$  equivalente (ROCHA, 2010). Para tal, foi utilizado o aplicativo Hue Pro (PRISMATIC, 2016), 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 aclimação no curto prazo, segundo critérios da NBR 16401/2008 e da ANSI/ASRAE Standard 55/2017, sendo recomendável estar no ambiente 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 que condições ambientais são relacionadas à capacidade de raciocínio. O tempo total 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.

Quanto ao Questionário de APO, elaborou-se um questionário personalizado para a APO da CBBC, abordando questões interferentes na atividade do ocupante, nas áreas do conforto térmico, lumínico, acústico e funcional tomando-se por base as seguintes referências: ISO (1995), LiTG (2018), 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 universidade, sendo este aperfeiçoado e sua consistência interna avaliada pelo Coeficiente Alfa de Cronbach. Durante a APO, este foi aplicado online a partir de uma rotina computacional dedicada, na qual se definiu o tempo exato para início de preenchimento.

Paralelamente à APO, realizou-se o monitoramento das condições térmicas internas. Cumpre ressaltar que o interior da CBBC estava em temperatura ambiente, com o equipamento de ar condicionado em modo ventilação apenas, assim suscetível a variações das condições climáticas externas. As variáveis climatológicas ( $T_A$ , UR) foram monitoradas complementarmente por um *datalogger* HOBO, modelo Temp U10-001, posicionado a 2m do solo. O monitoramento interno foi efetuado por diversos equipamentos, os quais são apresentados na Tabela 4.

Tabela 4 - Instalação de sensores em MC e ME

Posição	Variável	MC	ME
1,70	$T_A$	TagTemp Stick Novus	TagTemp Stick Novus
1,10	$T_A$ , UR	Sensor e Estação Hobo	Sensor e Estação Hobo
1,10	$T_{RM}$	Globo com <i>datalogger</i> Hobo	Globo com <i>datalogger</i> Hobo
0,10	$T_A$	TagTemp Stick Novus	TagTemp Stick Novus

## 4. RESULTADOS

Apresentam-se separadamente os resultados da avaliação térmica e, em seguida, da APO.

### 4.1. Avaliação de desempenho térmico

A similaridade do comportamento térmico nos dois módulos para uma mesma orientação solar mostrou resultados satisfatórios (Figuras 2 e 3), expressos na Tabela 5 como coeficientes de correlação (R), Raiz do Erro Quadrático Médio (RMSE) e erro médio ( $\bar{E}$ ) entre MC e ME.

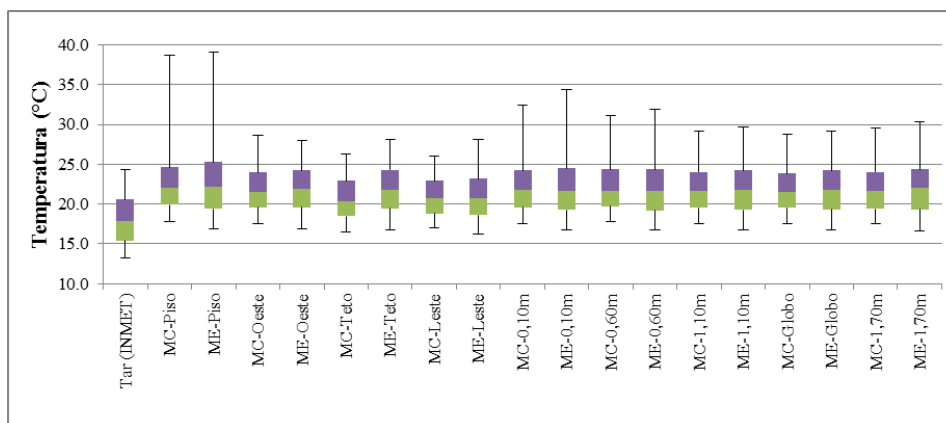


Figura 2 - *Boxplot* de temperaturas internas para orientações iguais com persiana aberta

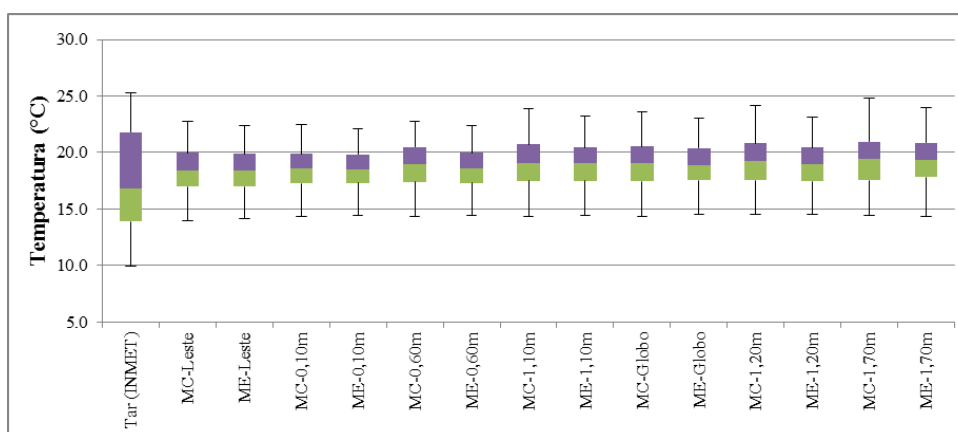


Figura 3 - *Boxplot* de temperaturas internas para orientações iguais com persiana fechada

Tabela 5 - Comparativo de temperatura do ar entre os módulos

Posição/variável	persianas abertas			
	0,10 m	0,60 m	1,10 m	1,70 m
R	0,99	0,99	0,99	0,99
RMSE	0,75	0,56	0,55	0,62
Ē	-0,13	0,11	-0,07	-0,23
Posição/variável	persianas fechadas			
	0,10 m	0,60 m	1,10 m	1,70 m
R	1,00	0,99	0,99	0,97
RMSE	0,19	0,36	0,30	0,43
Ē	0,09	0,23	0,13	0,11

Tanto com a persiana aberta como 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 RMSE, na maioria das situações esteve abaixo ou próximo à precisão dos equipamentos utilizados. Enquanto que, 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. Tomando por base a situação com persiana aberta, com ganhos solares diretos pela janela, a temperatura do ar mínima registrada a 1,10m do piso nos módulos esteve aproximadamente entre 3°C a 4°C acima da temperatura mínima registrada internamente, atingindo o desempenho mínimo ‘M’ (mínimo) pela NBR 15575-1. Já em relação aos módulos com persiana fechada, considerando as máximas internas a 1,10m, a redução da máxima externa supera 2°C, o que classifica o desempenho dos módulos como ‘I’ (intermediário).

A Figura 4 apresenta resultados em termos de  $T_A$  a 1,10m do piso para os módulos em orientações opostas, com persianas fechadas.

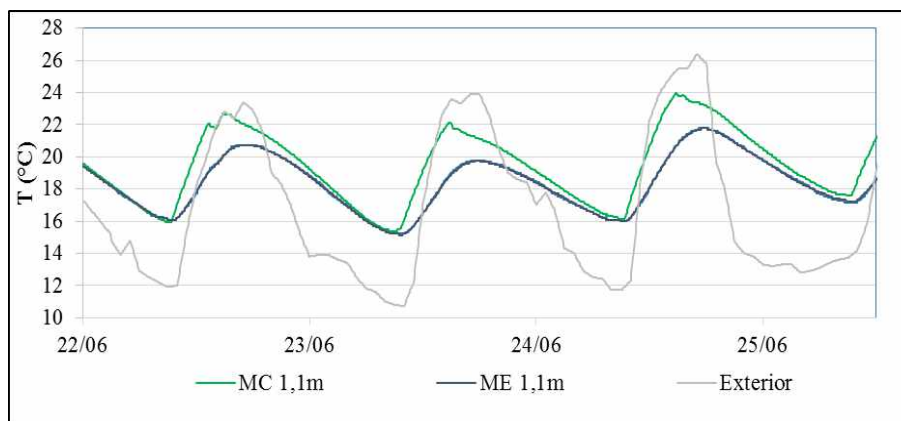


Figura 4 - Temperaturas internas do ar em MC (Norte) e ME (Sul), persiana fechada (22-25.06.2018)

As medições de  $T_A$  mostram valores mais elevados em MC que em ME, devido à orientação divergente das janelas. Além disso, notou-se que a estratificação vertical de  $T_A$  é mais acentuada em MC: a máxima variação entre os sensores a 0,10m e 1,70m ( $\Delta T_A$ ) foi de 4,40°C. 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). 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 o calor recebido não foi suficiente para que houvesse armazenamento interno de longo prazo. Em termos de desempenho, analisando as mínimas diárias para o dia mais quente (24/06), ambos, MC e ME, atingiram nível ‘M’ de desempenho (cerca de 4°C acima da mínima externa). Já quanto às máximas diárias no mesmo dia,  $T_A$  em ME trouxe uma redução da temperatura máxima externa de aproximadamente 4°C (com nível de desempenho ‘S’, superior) comparativamente a 2°C em MC (nível ‘I’, intermediário).

As temperaturas de superfície ( $T_s$ ) em MC e ME, com medições em quatro pontos: piso, teto, parede da caixa de energia (parede 1, oposta à fachada com janela) e parede leste (parede 2), constam na Figura 5.

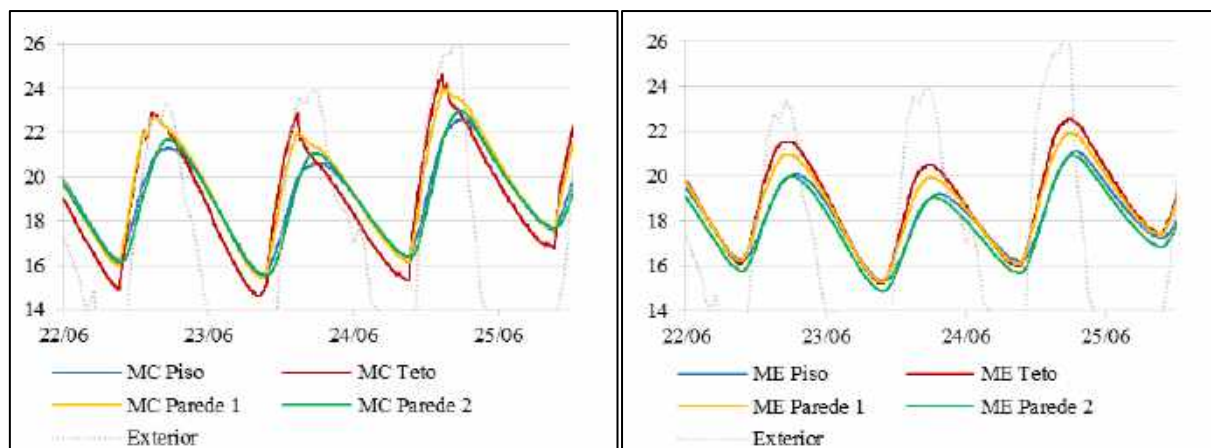


Figura 5 -  $\Delta T_s$  na CBBC: MC, à esquerda; ME, à direita (22-26.06.2018)

Na Figura 5, nota-se que a amplitude térmica diária de todos os dados de  $T_s$  é maior em MC que em ME. Esses registros indicam outra influência da orientação da janela de MC para Norte: a radiação que levou ao incremento de  $T_A$  também serviu para o aquecimento de  $T_s$  em MC, mesmo com a persiana fechada.

Na sequência, abriram-se as persianas e a segunda rodada de medições foi iniciada a 00h00 de 26 de junho de 2018. Os dados de  $T_A$  são apresentados na Figura 6, novamente a 1,10m do piso.

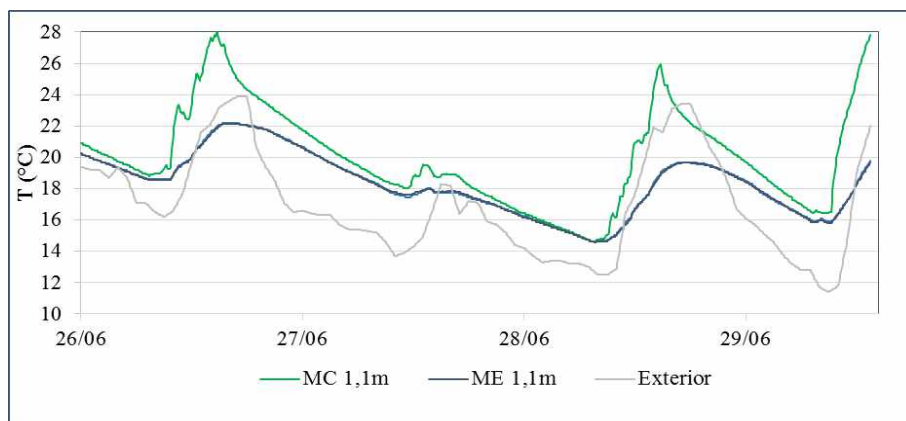


Figura 6 - Temperaturas internas do ar em MC (Norte) e ME (Sul), persiana aberta (26-29.06.2018)

Nota-se um aumento mais acentuado da temperatura interna com o aporte solar direto no ambiente, atingindo-se o pico na diferença de  $T_A$  entre MC e ME de  $5,90^\circ\text{C}$ . Essa diferença, embora tenha pequena repercussão nas mínimas internas, afeta o nível de desempenho dos módulos. Se considerados os valores das máximas diárias, MC fica aquém do nível ‘M’ (com  $T_{i,máx} > T_{e,máx}$ ) e ME atinge o nível ‘I’, segundo os limites da NBR 15575-1 (2013). Os dados de  $T_s$  do piso, teto e paredes em MC e ME são apresentados na Figura 7.

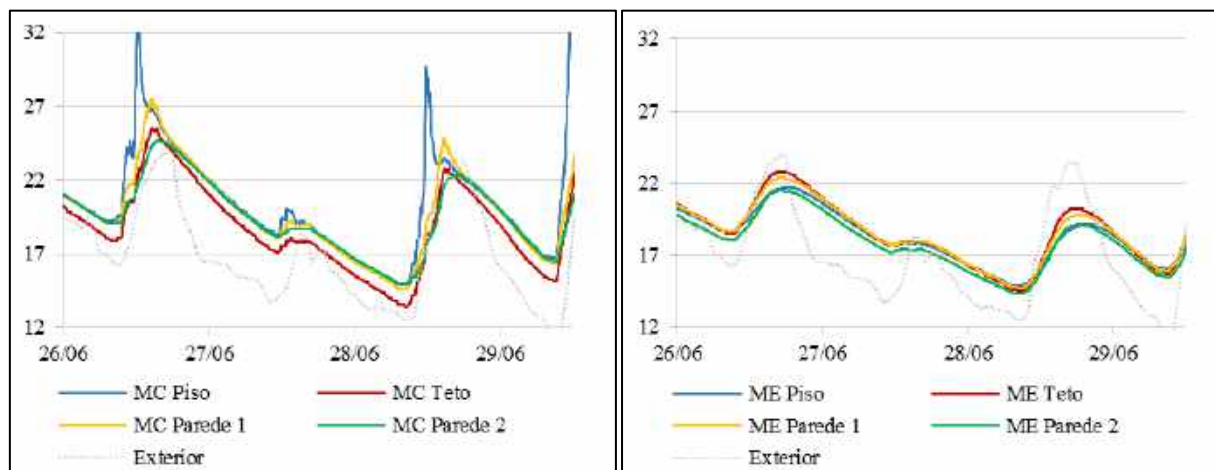


Figura 7 -  $\Delta T_s$  na CBBC: MC, à esquerda; ME, à direita (26-29.06.2018)

Constata-se novamente que a amplitude térmica de  $T_s$  é maior em MC que em ME, nos quatro sensores. Além disso, a abertura da persiana levou a incidência de irradiação solar no interior de MC, especialmente nos sensores do piso e da parede 1, oposta à janela.

## 4.2. Avaliação Pós-Ocupação

A APO mostrou diferenças de percepção dos usuários durante a permanência nos módulos. A APO da CBBC foi realizada no período de 21 a 31 de Agosto de 2018. No total, a APO contou com a participação de 136 voluntários, distribuídos conforme consta na Tabela 6.

Tabela 6 - 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	<b>69</b>
ME	Face Sul	36	31	36	34	<b>67</b>
<b>Total</b>		70	66	69	67	<b>136</b>

No que concerne à percepção térmica no interior da CBBC durante a APO, constatou-se um equilíbrio entre voluntários dos sexos feminino e masculino:

- Confortável: 115 pessoas (84,6%), sendo 60 mulheres e 55 homens;
- Desconfortável: 16 pessoas (11,8%), sendo oito mulheres e oito homens;
- Não soube dizer: 5 pessoas (3,7%), sendo duas mulheres e três homens.

Essas respostas são classificadas na Figura 8, com a divisão dos participantes nos módulos da CBBC.



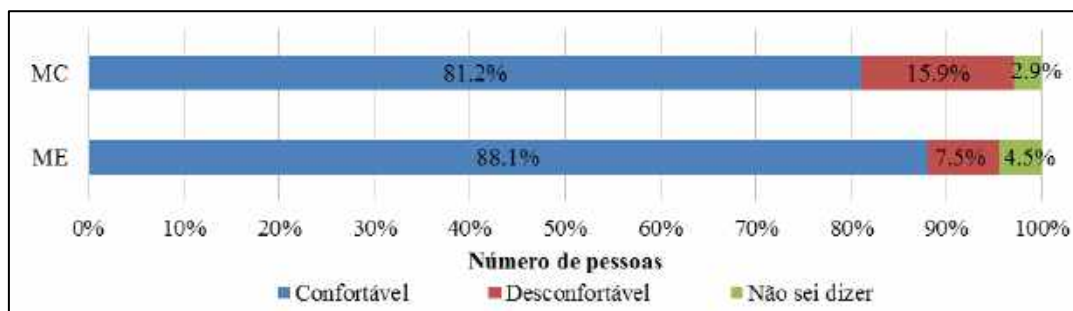


Figura 8 - Percepção da temperatura nos módulos da CBBC

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, oito 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.

Também foram analisadas possíveis correlações entre a percepção da temperatura na CBBC e a condição climática externa. Durante a realização da APO, 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 9.

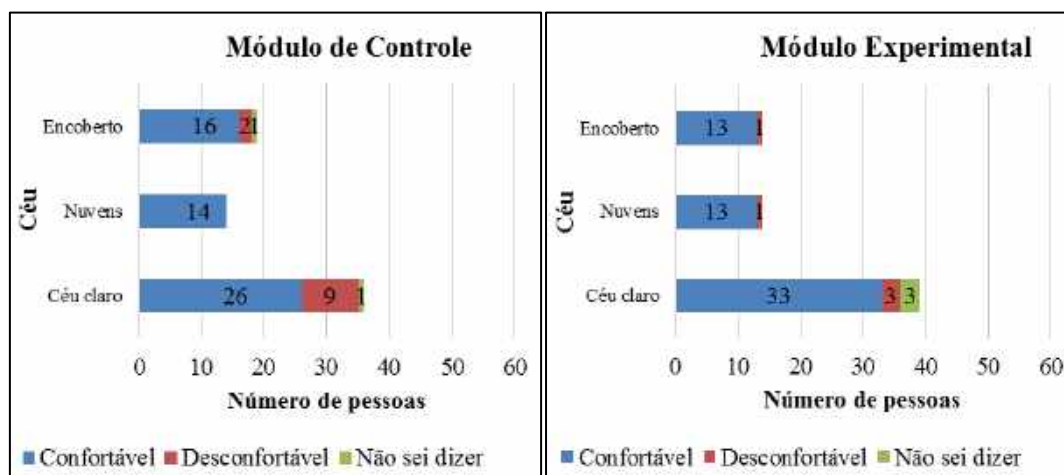


Figura 9 - Conforto térmico CBBC versus condição do céu: MC, à esquerda; ME, à direita

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, do total de 16 participantes (11 em MC e cinco em ME) que alegaram desconforto térmico, nove estavam em MC, em condições de céu claro – sendo que sete destes gostariam que a temperatura estivesse um pouco mais baixa.

## 5. CONCLUSÕES

A pesquisa mostrou de forma simultânea a diferença térmica obtida para uma mesma edificação para orientações solares opostas. Os resultados das medições objetivas de desempenho foram corroborados pela percepção dos usuários. Dos achados deste estudo, comprova-se o benefício térmico de fachadas com janela voltadas para norte em situação de inverno em Curitiba. Pode-se também obter *insights* sobre efeitos térmicos devidos à obstrução de edificações em função de tendências de adensamento urbano. Ademais, o estudo apresenta as vantagens da CBBC para avaliação do efeito de orientação solar em edificações de pequeno porte.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 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.
- ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220** - Desempenho térmico de edificações. Rio de Janeiro, 2005.
- \_\_\_\_\_. **NBR 15575** - Edificações habitacionais: desempenho. Rio de Janeiro: ABNT, 2013.
- \_\_\_\_\_. **NBR 16401** - Instalações de ar condicionado: sistemas centrais e unitários. São Paulo: ABNT, 2008.

- ANSI-ASHRAE - AMERICAN NATIONAL STANDARDS INSTITUTE; AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS. **Standard 55-2017: Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy**. Atlanta: ANSI/ASHRAE, 2017.
- APOLAR IMÓVEIS. **Como avaliar o preço do seu imóvel**. Disponível em: <<https://www.apolar.com.br/blog/como-avaliar-o-preco-seu-imovel/>> Acesso em: 29.mar.2019.
- BOCCALANDRO, E. R. **Coleção G-38: Teste Não Verbal de Inteligência**. São Paulo: Vetor, 2003.
- DOERFLER, 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: XVI Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, 2016, São Paulo, SP. **Anais...** Porto Alegre: ANTAC, 2016.
- FONSECA, R. W.; VECCHI, R.; RUPP, R. F.; FÜRST, A.; CANANI, F.; ELI, L. G.; LAMBERTS, R. Avaliação do desempenho energético de um edifício comercial condicionado artificialmente com base em energia primária. In: XIV Encontro Nacional e X Encontro Latino-americano de Conforto no Ambiente Construído, 2017, Camboriú, SC. **Anais...** Porto Alegre: ANTAC, 2017.
- GOMES, S. H. T. **Edifícios para bibliotecas universitárias: perspectivas e diretrizes a partir da Avaliação Pós-Ocupação**. São Paulo, 2007. 524 f. Tese de Doutorado, Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, USP, São Paulo, 2007.
- INMET - INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. **Normais climatológicas**. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=clima/normaisclimatologicas>> Acesso em: 06.set.2018.
- ISO - INTERNATIONAL STANDARD ORGANIZATION. **ISO 7726 – Ergonomics of the thermal environment: instruments for measuring physical quantities**. Genebra: ISO, 1998.
- KNOWLES, R. L. The solar envelope: it's meaning for energy and buildings. **Energy and Buildings**, v. 35, n.1, p.15-25, 2003.
- 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.
- LAN, L.; WARGOCKI, P.; WYON, D. P.; LIAN, Z. Effects of thermal discomfort in an office on perceived air quality, SBS symptoms, physiological responses, and human performance. **Indoor Air**, v. 21, p. 376-380, 2011.
- LITG - DEUTSCHE LICHTTECHNISCHE GESELLSCHAFT e.V. **Questionnaire for Assessment of Light Situations**. Karlsruhe: LitG, 2014.
- MENDONÇA, F. A.; DANNI-OLIVEIRA, I. M. **Climatologia: noções básicas e climas do Brasil**. São Paulo: Oficina de Textos, 2007.
- ORNSTEIN, S. W. **Post-Occupancy Evaluation in Brazil**. Evaluating Quality in Educational Facilities. Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD), p. 135–143, 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: XIV Encontro Nacional e X Encontro Latino-americano de Conforto no Ambiente Construído, 2017, Camboriú, SC. **Anais...** Porto Alegre: ANTAC, 2017.
- PARANÁ. Resolução SESA nº 318, de 31 de julho de 2002. Estabelece exigências sanitárias para instituições de ensino fundamental, médio e superior, bem como cursos livres no Estado do Paraná. **Diário Oficial do Estado**. Curitiba, 31.jul.2002. Disponível em: <<http://www.saude.pr.gov.br>> Acesso em: 08.jan.2018.
- PINTO, M. M.; WESTPHAL, F. S. Desempenho térmico do uso de vidros insulados em escritórios condicionados artificialmente: Curitiba (PR) e Boa Vista (RR). In: XIV Encontro Nacional e X Encontro Latino-americano de Conforto no Ambiente Construído, 2017, Camboriú, SC. **Anais...** Porto Alegre: ANTAC, 2017.
- PRISMATIC. **Aplicativo Hue Pro**. Disponível em: <<http://hueproapp.com>> Acesso em: 27.dez.2018.
- PROCEL - PROGRAMA NACIONAL DE CONSERVAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA. **Manual para Aplicação do RTQ-C**. Brasília: PROCEL, 2013.
- QUADROS, B. M.; ORDENES, M. O. Importância da adequação de um projeto padrão de unidade de saúde para o clima de Florianópolis (SC). In: XIV Encontro Nacional e X Encontro Latino-americano de Conforto no Ambiente Construído, 2017, Camboriú, SC. **Anais...** Porto Alegre: ANTAC, 2017.
- RESENDE, A. E. **Salas de controle: do artefato ao instrumento**. Tese de Doutorado, Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, USP, 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.
- ROCHA, J. C. Cor luz, cor pigmento e os sistemas RGB e CMY. **Revista Belas Artes**, v. 3, n. 2, p. 107-128, 2010.
- 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: XIV Encontro Nacional e X Encontro Latino-americano de Conforto no Ambiente Construído, 2017, Camboriú, SC. **Anais...** Porto Alegre: ANTAC, 2017.
- TREVISAN, L. Y. I.; TAMURA, C. A.; RIBEIRO, D. A.; GOMES, B. L. M.; DRACH, P. R. C.; HARA, M. M.; KRÜGER, E. L. Construção de câmara climática de baixo custo para estudos de ambiência térmica no Brasil. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 17, 2018, Foz do Iguaçu, PR. **Anais...** Porto Alegre: ANTAC, 2018.
- 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.

## AGRADECIMENTOS

Agradecemos à UTFPR, pelo suporte ao desenvolvimento desta pesquisa; ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pelo auxílio financeiro; à Delta Containers, pelo fornecimento e execução da CBBC, e à Eternit, LP Brasil, Pado, Philco Eletrônicos S.A. e Placo Saint-Gobain, pelas doações de aparelhos e insumos.