ENTAC 2024
XX ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO
Maceió, Brasil, 9 a 11 de outubro de 2024

Avaliação experimental do desempenho térmico e lumínico de um brise-soleil responsivo

Experimental thermal and luminous performance evaluation of a responsive brise-soleil

Gabriel de Bem
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina | Canoinhas | Brasil | gabriel.bem@ifsc.edu.br
Eduardo Krüger
Universidade Tecnológica Federal do Paraná | Curitiba | Brasil | ekruger@utfpr.edu.br
Alexandre Augusto Alberto Moreira de Abreu
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina | Canoinhas | Brasil | alexandre.abreu@ifsc.edu.br

Resumo

Mudanças de tempo repentinas são cada vez mais recorrentes, como as recentes ondas de calor observadas no país. Nesse quadro, fachadas estáticas podem não acomodar flutuações climáticas distintas dos dados climáticos históricos considerados no projeto. Elementos de sombreamento responsivos representam uma solução viável para manter condições ambientais confortáveis. Este artigo descreve um experimento desenvolvido em escala 1:1 para avaliar o desempenho de um *brise-soleil* responsivo. A funcionalidade do dispositivo é baseada nos parâmetros de conforto constantes no *Useful Daylight Illuminance* e *Adaptive Comfort Model* (ANSI/ASHRAE 55). O desempenho é avaliado em dois cenários: janela estaticamente ou responsivamente sombreada. Como resultados preliminares, o dispositivo responsivo reduziu o período de desconforto por frio e evitou o sobreaquecimento, o que tende a reduzir a demanda por sistemas de climatização. O desempenho lumínico foi superior com redução do desconforto causado pelo excesso de iluminância. Considerando a escassez da produção acadêmica brasileira nesta área de conhecimento, as estratégias responsivas abordadas neste artigo poderão subsidiar futuras pesquisas.

Palavras-chave: Fachada dinâmica. Dispositivo de sombreamento. *Brise-soleil*. Arquitetura responsiva. Desempenho de edifícios.

Abstract

Sudden weather changes are becoming increasingly common as noticed in the recent heat waves in the country. Traditional static façades may not accommodate extended weather fluctuations that diverge from historical weather data accounted for at design stage. Responsive shading elements represent a viable solution for ensuring indoor comfort. This paper describes an experiment developed at full scale to evaluate the performance of a responsive brise-soleil. The responsive device functionality considers the Useful Daylight Illuminance and the Adaptive Comfort Model (ANSI/ASHRAE 55) as performance parameters. Performance

Como citar:
BEM, G,; KRÜGER, E.; ABREU, A. A. A. M. Avaliação experimental do desempenho térmico e lumínico de um brise-soleil responsivo. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 20., 2024, Maceió. **Anais**... Maceió: ANTAC, 2024.

evaluations comprise two scenarios, with the window either statically or responsively shaded. As preliminary results, we observed a reduction of cold discomfort with a prevention of overheating. This performance indicates a decrease in the demand for air conditioning. The luminous performance was superior, reducing the periods with excess illuminance. Considering the scarcity of Brazilian academic production in this field, the responsive strategies detailed in this paper may support further research.

Keywords: Dynamic façade. Shading device. Brise-soleil. Responsive architecture. Building performance.

INTRODUÇÃO

De acordo com a *International Energy Agency* (IEA) [1], o setor da construção civil representou 37,02% do consumo energético global em 2022. Destes, 30% estiveram relacionados ao consumo durante a fase de operação do edifício [1]. Estrategicamente, o uso adequado da iluminação natural e o controle do ganho térmico por radiação solar pode contribuir com a manutenção de níveis adequados de iluminação interna além de regular a temperatura, reduzindo assim a demanda por energia elétrica durante a etapa operacional.

Sistemas construtivos dinâmicos oferecem uma solução interessante, sendo capazes de ajustar a forma de acordo com níveis de exposição ambiental e exigência dos usuários, podendo ser classificados como componentes responsivos [2].

No Brasil, as pesquisas sobre o uso de *brise-soleil* abordam majoritariamente os sistemas fixos ou com ajuste manual. Os estudos contemplam análise desempenho em edifícios comerciais, públicos de escritórios e educacionais [3] [4] [5] [6] [7]; edifícios multifamiliares [8]; influência arquitetônica e sua aplicação em cidades brasileiras [9] [10] [11]; aspectos projetuais incluindo processo generativo de desenho e análise de desempenho de projetos paramétricos [12] [13]. E, com menor representatividade, protótipos em pequenas dimensões de sistemas automatizados ou responsivos [14] [15] [16]. Este panorama evidencia uma lacuna quanto ao desenvolvimento e avaliação de sistemas de sombreamento responsivos do tipo *brise-soleil* em escala 1:1. Sendo assim, contribuindo com o cenário nacional, este artigo apresenta os resultados da avaliação do desempenho térmico e lumínico de um *brise-soleil* responsivo frente ao sombreamento estático.

MÉTODO

Esta pesquisa é classificada como experimental, uma vez que as variáveis avaliadas, temperatura e iluminância, são conhecidas e controladas [17]. O protótipo foi instalado na fachada da Câmara Bioclimática de Baixo Custo (CBBC), um ambiente experimental no qual são realizados estudos de conforto e de desempenho térmico e energético de sistemas de condicionamento passivo. Trata-se de um ambiente de escritório de pequenas dimensões (5,4 m² de área interna) construído em contêiner e condicionado artificialmente por uma unidade de A/C do tipo split de 9.000 BTU/h. A câmara, dotada de um eixo de rotação que permite variar as orientações das fachadas em 360°, possui uma janela de correr em vidro temperado 6 mm nas dimensões de

1,40 m × 0,90 m (*window-to-wall ratio* - WWR de 24%). A CBBC está instalada em Curitiba (25,44° Sul e 49,36° Oeste), de clima temperado, oceânico com verões amenos (Cfb) [18].

Durante as medições o ambiente permaneceu sem climatização e com a janela fechada. A fachada com a janela foi orientada para norte, estando assim sem obstruções externas e sujeita a uma maior incidência solar, se comparada às demais orientações.

O sistema de sombreamento dinâmico avaliado, cujo funcionamento independe da ação dos usuários, é baseado no *Adaptive Comfort Model* - ANSI/ASHRAE 55 [19] e no *Useful Daylight Illuminance* – UDI [20], descritos aqui como modelo de conforto adaptativo e luz natural útil, respectivamente. Os mesmos modelos de conforto são adotados para avaliação do sistema estático, em que as aletas do *brise-soleil* permanecem na horizontal, sem rotação.

CONDIÇÕES DE FUNCIONAMENTO

As variáveis térmicas e lumínicas são avaliadas automaticamente pelo sistema de controle em intervalos de 10 min, no período das 07:00 às 18:00. Três padrões de sombreamento regulam a incidência de radiação solar direta:

- Sombreamento nulo - 0%: incidência total de radiação solar direta, exceto o sombreamento resultante da espessura das aletas do brise-soleil (neste protótipo, de 1,5 cm);
- Sombreamento parcial - 50%: redução da área de incidência de radiação solar direta em 50%;
- Sombreamento total - 100%: bloqueio total da incidência de radiação solar direta.

O funcionamento responsivo do *brise-soleil* está associado a três condições de operação:

- Condição 1: Se To < Tn – 2,5°C, o ganho térmico por radiação solar é desejável. Nesta condição, os 3 padrões de sombreamento são possíveis (0%, 50% e 100%). A determinação do padrão de sombreamento fica atrelada ao segundo critério: nível lumínico (E) medido em S1; Se E > 2000 lx, o padrão de sombreamento aumentará de 0% para 50% ou 50% para 100%. Caso E corresponda ao intervalo de conforto (100 lx ≤ E ≤ 2000 lx), não haverá alteração no padrão de sombreamento.
- Condição 2: Se Tn – 2,5°C ≤ To ≤ Tn + 2,5°C, o ganho térmico não é primordial. O sistema opera nos padrões de sombreamento de 50% e 100%. O nível de sombreamento será determinado pelo nível lumínico (E) na superfície de trabalho (S1); Se E > 2000 lx, o padrão de sombreamento aumentará de 50% para 100%, caso contrário, o padrão de sombreamento será mantido em 50%.
- Condição 3: Se To > Tn + 2,5°C, o brise-soleil responsivo proporcionará sombreamento total (100%), independentemente do nível lumínico.

A avaliação do desempenho contempla: o quantitativo de registros térmicos e lumínicos em relação às zonas de conforto e a ocorrência de estratificação térmica desconfortável. A análise inclui os valores médios do índice de claridade atmosférica (KT), que representa a razão entre a irradiação efetivamente incidente na superfície e a estimativa da irradiação incidente no topo da atmosfera [21].

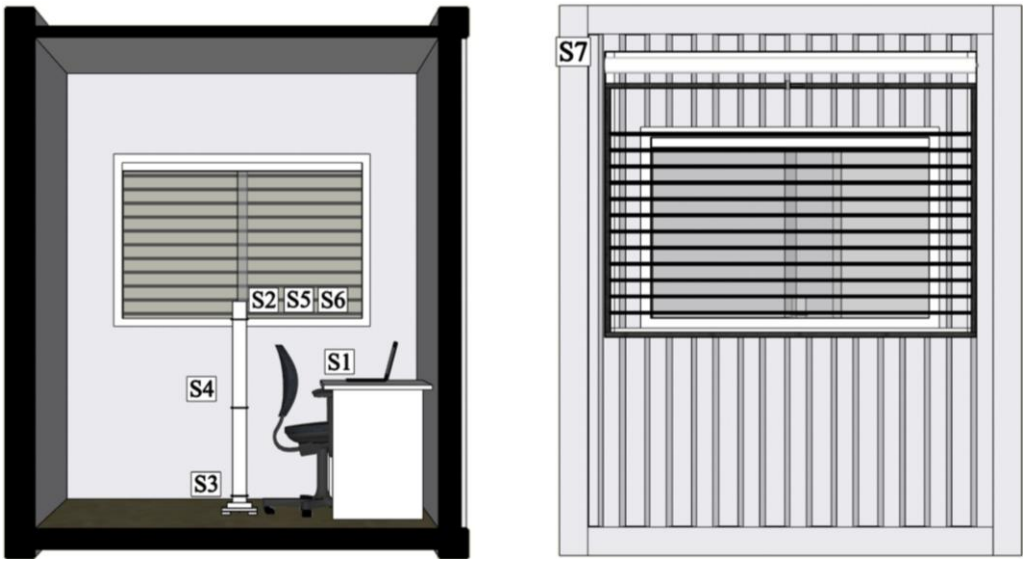
A fim de verificar as vantagens do sistema de sombreamento responsivo em relação aos tradicionais estáticos frente ao desconforto causado por frio, a coleta de dados foi realizada no inverno, no mês de julho.

MONITORAMENTO DAS VARIÁVEIS TÉRMICAS E LUMÍNICAS

O registro dos níveis lumínicos é feito por dois sensores modelo BH1750FVI. O sensor S1 (E_{table}) foi instalado horizontalmente sobre a mesa à altura de 0,75 m e voltado para cima. S2 (E_{eye}) foi instalado verticalmente a 1,10 m de altura voltado para a parede à frente, registrando os níveis lumínicos incidentes nos olhos de uma pessoa sentada.

Um conjunto de 5 sensores térmicos DS18B20 registra as temperaturas associadas ao funcionamento do sistema e à verificação da estratificação térmica, dispostos conforme às orientações da norma ISO 7726:1985 [22]: S3 (T_{foot}, 0,10 m), S4 (T_{abd}, 0,60 m), S5 (sendo um único sensor para T_{head} e T_{in}, 1,10 m), S6 (T_g, 1,10 m), adotado para a determinação da temperatura de globo e cálculo da temperatura radiante média interna (T_{mrt}) e, instalado na mesma fachada da janela e protegido por um escudo de proteção solar, S7 (T_{out}, 3,26m), usado para o monitoramento da temperatura externa utilizado na determinação da temperatura neutra (T_n). Corte e vista esquemáticos da CBBC com a distribuição dos sensores são apresentados na Figura 1.

Figura 1 - Distribuição dos sensores no ambiente experimental. Corte (à esquerda) e vista frontal (à direita).



Fonte: o autor.

RESULTADOS

Os registros das variáveis e do comportamento do sistema para avaliação do desempenho são representados em gráficos de linhas, colunas e tabelas. As avaliações do desempenho de ambos os sistemas ocorreram no inverno, no mês de julho. Comparativamente, o mês de julho de 2023 foi mais ameno em relação aos valores representativos para o período de 2007 a 2021 (*Typical Meteorological Year* [23]). De acordo com os dados disponibilizados pelo Instituto Nacional de Meteorologia

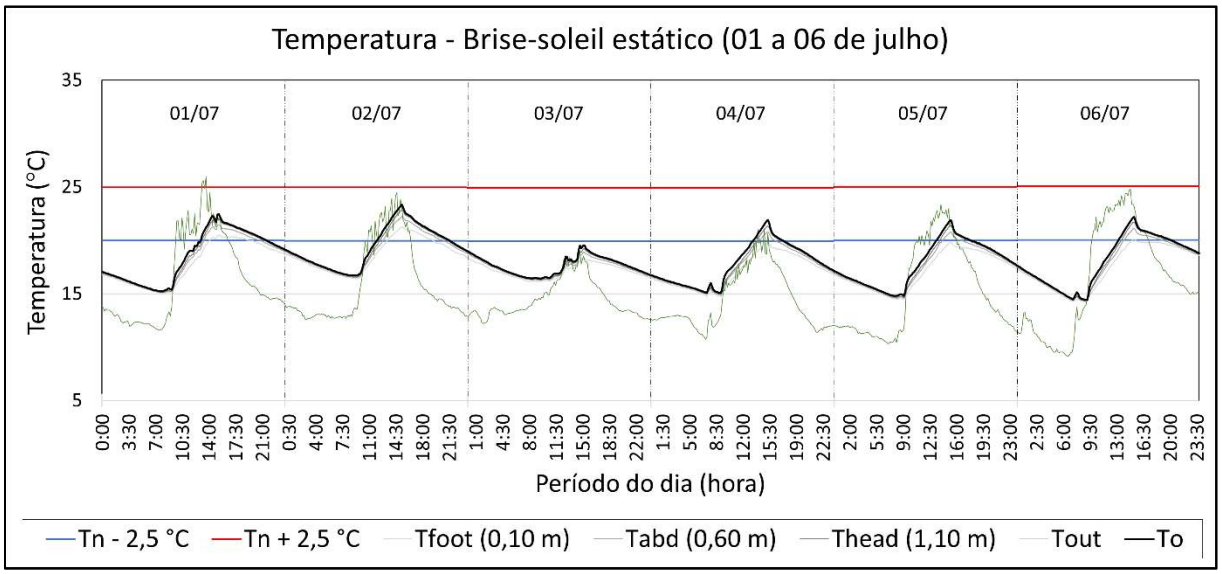
(INMET), a média mensal em 2023 foi de 14,6°C, apresentando um acréscimo de 0,5°C em relação à média verificada no TMY para 2007-2021, de 14,1°C.

DESEMPENHO DO SISTEMA DE SOMBREAMENTO ESTÁTICO

A coleta de dados com brise-soleil estático ocorreu entre os dias 01-06 de julho. O registro térmico é apresentado na Figura 2, compreendendo as 24 horas de cada dia. Estão contemplados os limites inferior e superior da zona e conforto térmico ($T_n - 2{,}5°C$ e $T_n + 2{,}5°C$, linhas de cor azul e vermelho, respectivamente), os pontos de determinação da estratificação térmica (T_{foot}, T_{abd} e T_{head}, linhas em escala de cinza), temperatura operativa (T_o, linha de cor preta) e temperatura externa (T_{out}, linha de cor verde).

Do total de 67 medições diárias, considerando que os intervalos de 10 min entre registros sofreram pequena variação e o período diurno das 07:00 às 18:00 (incluindo este), relacionam-se, quantitativamente e percentualmente, os registros e a relação com os limites de conforto na Tabela 1.

Figura 2 - Desempenho térmico com brise-soleil estático



Fonte: o autor.

Tabela 1 - Temperatura operativa × modelo de conforto adaptativo - Brise-soleil estático – quantidade de registros, percentuais em cada condição, temperatura externa mínima, máxima e amplitude térmica

Dia	$T_o < T_n - 2{,}5°C$	%	$T_n - 2{,}5°C \leq T_o \leq T_n + 2{,}5°C$	%	$T_o > T_n + 2{,}5°C$	%	$T_{out\ mín.}$	$T_{out\ máx.}$	ΔT_{out}
01/07	36	54	31	46	0	0	11,6°C	26,0°C	14,4°C
02/07	31	46	36	54	0	0	12,7°C	24,5°C	11,8°C
03/07	67	100	0	0	0	0	13,5°C	19,0°C	5,5°C
04/07	43	64	24	36	0	0	10,7°C	21,1°C	10,4°C
05/07	40	60	27	40	0	0	10,3°C	23,3°C	13,0°C
06/07	38	57	29	43	0	0	9,5°C	24,8°C	15,3°C
Média	43	63	25	37	0	0	11,4°C	23,1°C	11,7°C

Fonte: o autor.

Tendo em vista o caráter estático do brise-soleil, o ganho térmico por radiação solar direta é prejudicado ao longo da movimentação solar, que resulta em uma incidência

solar parcial. Desta forma, o ganho térmico somente é incrementado pela troca de calor com o ambiente externo ou geração de calor interno.

Durante todo o período a T_o só atinge o limite inferior da zona de conforto no período da tarde, com exceção do dia 03/07, quando os registros permaneceram abaixo de 19,9°C (T_n – 2,5°C), aproximando-se da zona de conforto somente às 15h10min, com uma diferença de 0,4°C. Ainda que a temperatura externa mínima neste dia fosse superior aos demais (13,5°C), o valor máximo registrado foi o mais baixo, 19°C, permanecendo abaixo da zona de conforto. Além disso, o baixo índice de claridade atmosférica (KT = 28%) pode ter prejudicado o ganho de calor por incidência de radiação solar direta.

No primeiro dia, cujos valores de T_{out} foram os mais elevados dentre os demais dias ($T_{out\ máx.}$ 26,0°C), a T_o atingiu o limite inferior somente às 13 h. No dia seguinte, ainda que a T_{out} estivesse menor em relação ao dia anterior, a zona de conforto é alcançada a partir das 12h10min, em razão do calor armazenado no interior da CBBC, fazendo com que a T_o estivesse mais elevada no início do dia. Para os demais dias, a T_o só atinge a zona de conforto após as 13h20min.

Nota-se que em nenhum momento a T_o ultrapassou o limite superior da zona de conforto (T_n + 2,5°C). Tal fato está associado às variações de T_{out} que permaneceram majoritariamente abaixo deste limite, com apenas 3 registros acima deste, atingindo o valor máximo de 26,0°C no dia 01/07 e ultrapassando o limite superior em 1°C. Da mesma forma, em razão dos baixos valores de temperatura externa registrados no dia 03/07 ($T_{out\ máx}$ 19,0°C), a T_o permaneceu abaixo do limite inferior de conforto (T_n - 2,5°C) durante todo o dia.

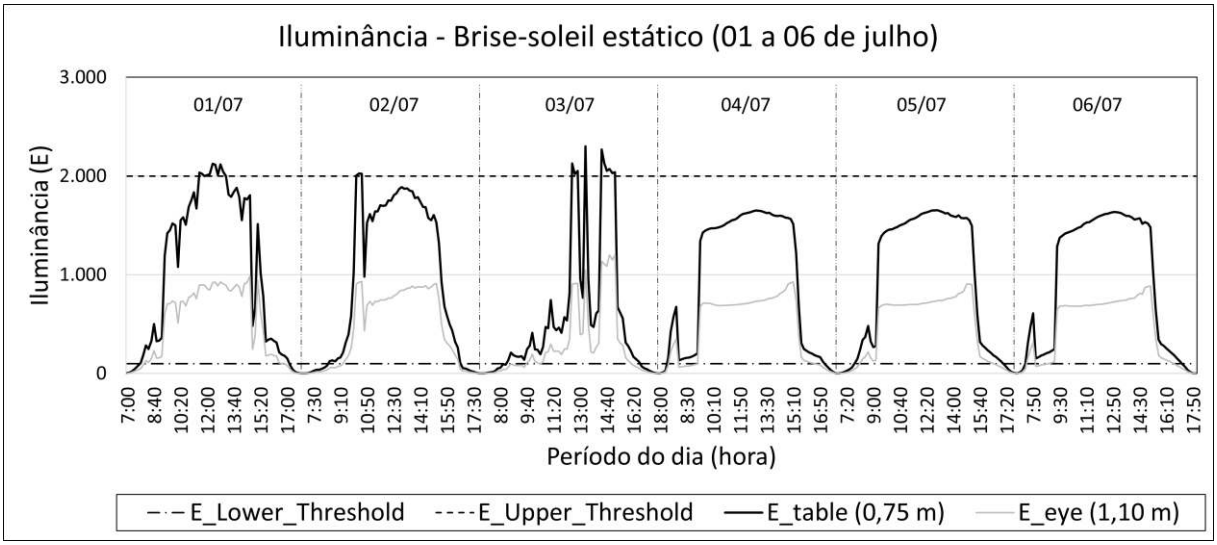
Considerando os valores máximos de $T_{o\ máx.}$ e $T_{out\ máx.}$ para uma situação de sobreaquecimento causado por uma onda de calor no inverno, a diferença máxima registrada entre as temperaturas foi de 3,5°C, no dia 01/07, sendo 22,5°C e 26,0°C, respectivamente.

Ao longo dos 6 dias, o aumento da temperatura operativa interna do ambiente testado, sombreado com o brise-soleil estático, só seria possível com acionamento de aquecedores, ou a partir do calor gerado pelos ocupantes e equipamentos ligados. Ao longo do período de análise, de um total de 402 registros, apenas 147 correspondem à zona de conforto térmico (36,6%).

No que diz respeito à estratificação térmica, a diferença máxima entre T_{foot} e T_{head} foi de 1,6°C, às 15h20min do dia 02/07, não caracterizando desconforto térmico.

O comportamento lumínico sob sombreamento estático é apresentado na Figura 3, durante o período considerado, das 07:00 às 18:00. Os registros contemplam os limites inferior e superior de conforto lumínico (100 lx e 2000 lx, respectivamente), os níveis lumínicos na altura da superfície de trabalho (sensor S1, E_{table}, voltado para cima) e no plano vertical, em altura equivalente aos olhos de um usuário sentado (sensor S2, E_{eye}, voltado para a parede à frente). A Tabela 2 apresenta os registros medidos pelo sensor S1, o quantitativo de registros e percentual em relação à zona de conforto e os respectivos índices de claridade atmosférica.

Figura 3 - Iluminância interna com brise-soleil estático



Fonte: o autor.

Tabela 2 - Níveis lumínicos em E_{table} × zona de conforto com brise-soleil estático - quantidade de registros, percentuais em cada condição e índice KT

Dia	E < 100 lx	%	100 lx ≤ E ≤ 2000 lx	%	E > 2000 lx	%	KT (%)
01/07	11	16	45	67	11	16	46
02/07	17	25	47	70	3	4	45
03/07	17	25	40	60	10	15	28
04/07	8	12	59	88	0	0	53
05/07	11	16	56	84	0	0	53
06/07	9	13	58	87	0	0	52
Média	12	18	51	76	4	6	46

Fonte: o autor.

No geral, os registros em que a luminância horizontal no plano de trabalho, E_{table}, está abaixo do mínimo desejado (E < 100 lx) correspondem ao início da manhã e ao fim da tarde, resultantes da disponibilidade de luz natural, equivalentes a 18% do total. Os níveis lumínicos permanecem dentro da zona de conforto (100 lx ≤ E ≤ 2000 lx) durante grande parte do tempo, acima de 60%, sendo ainda mais expressivos nos três últimos dias, fato que pode estar associado a maior claridade atmosférica (índice KT).

O controle lumínico realizado pelo brise-soleil estático é insuficiente nos três primeiros dias, no que diz respeito ao limite máximo de conforto. E_{table} ultrapassou o limite superior (E > 2000 lx) em 24 registros, permanecendo acima até que houvesse redução da iluminância externa, seja em razão de aumento da nebulosidade ou da movimentação solar, com consequente sombreamento pelo brise-soleil (6% do total de registros).

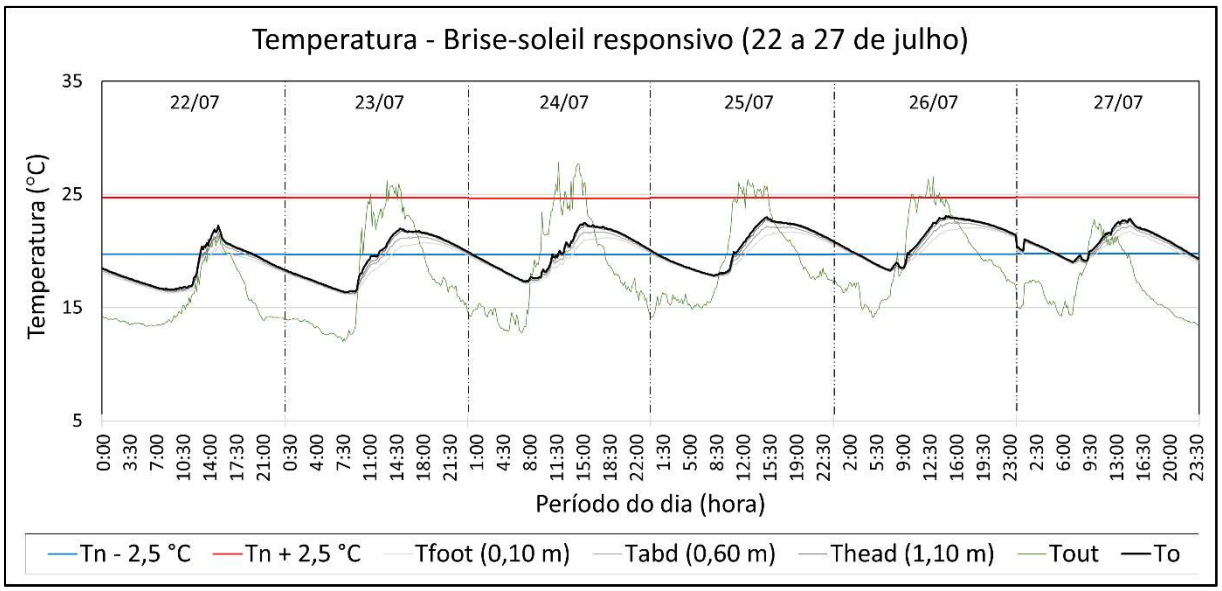
Por fim, a iluminância vertical, registrada à altura dos olhos do ocupante (S2, E_{eye}) permaneceu abaixo do limite máximo de conforto ao longo de todas as medições. Destaca-se o longo período de exposição de um potencial usuário no primeiro e terceiro dia a condições de desconforto visual, o qual demandaria o fechamento de elementos internos de sombreamento, obstruindo totalmente a visibilidade do ambiente externo.

DESEMPENHO DO SISTEMA DE SOMBREAMENTO RESPONSIVO

A coleta de dados com o *brise-soleil* responsivo ocorreu entre os dias 22-27 de julho.

O desempenho térmico do sistema dinâmico é apresentado na Figura 4. Os padrões de cores de linhas utilizados na representação são os mesmos do sistema estático e contemplam as 24 horas do dia, igualmente com 67 registros por hora (para aproximadamente 10 min de intervalo de medição).

Figura 4 - Desempenho térmico com brise-soleil responsivo



Fonte: o autor.

A síntese quantitativa de registros que relaciona T_o e zona de conforto, os valores máximos, mínimos e a amplitude térmica do ar exterior são apresentadas na Tabela 3.

Tabela 3 - Temperatura operativa × modelo de conforto adaptativo - Brise-soleil responsivo - quantidade de registros, percentuais em cada condição, temperatura externa mínima, máxima e amplitude térmica

Dia	$T_o<T_n–2,5°C$	%	$T_n–2,5°C≤T_o≤T_n+2,5°C$	%	$T_o>Tn+2,5°C$	%	$T_{out\ mín.}$	$T_{out\ máx.}$	ΔT_{out}
22/07	35	52	32	48	0	0	13,4°C	21,4°C	8,0°C
23/07	32	48	35	52	0	0	12,0°C	26,2°C	14,2°C
24/07	28	42	39	58	0	0	12,8°C	27,9°C	15,1°C
25/07	23	34	44	66	0	0	15,2°C	26,3°C	11,1°C
26/07	17	25	50	75	0	0	15,8°C	26,5°C	10,7°C
27/07	15	22	52	78	0	0	14,3°C	22,8°C	8,5°C
Média	25	37	42	63	0	0	13,9°C	25,2°C	11,3°C

Fonte: o autor.

O sombreamento dinâmico proporcionado pelo brise-soleil responsivo resultou em um menor período de exposição de um potencial usuário ao desconforto causado pelo frio ($T_o < T_n – 2,5°C$), com uma média de 37% de registros/dia versus 64% no caso do brise-soleil estático. Apesar da influência da T_{out} no ambiente interno, o padrão de sombreamento 0% resulta, consequentemente, em um maior ganho de calor solar, contribuindo com a redução do desconforto por frio. Do total de 402 registros, 252 correspondem à zona de conforto (62,7%).

Durante os seis dias de coleta de dados, em nenhum momento a T_o atingiu níveis de sobreaquecimento ($T_o > T_n + 2,5°C$), ainda que os registros de T_{out} tenham sido

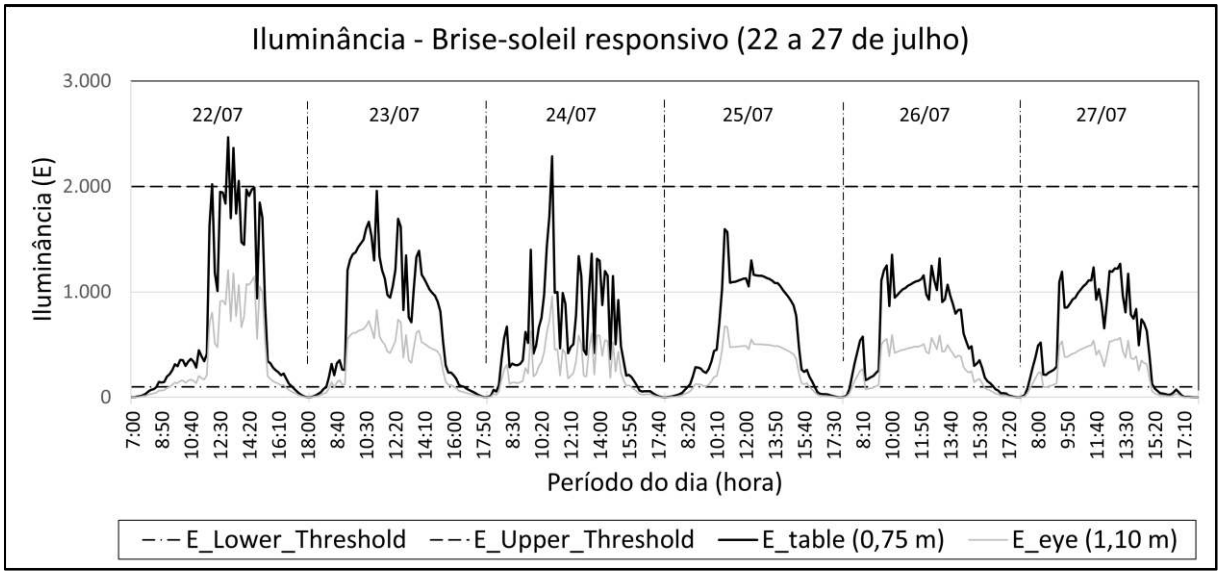
superiores a este limite em 4 dos 6 dias, ultrapassando esta marca em 3,2°C no terceiro dia (27,9°C, 11h50min). Apesar da diferença de 5,4°C entre a $T_{out\ máx.}$ e $T_{o\ máx.}$ no dia 24/07, o sombreamento proporcionado pelo sistema dinâmico foi eficiente para evitar o sobreaquecimento.

Além do desempenho resultante do funcionamento dinâmico, cabe ressaltar que as condições climáticas também contribuíram para obtenção do conforto térmico. Com exceção do dia 22/07, a T_{out} atinge o limite inferior da zona de conforto antes das 10 h (dia 23/07, mais tarde, às 9h50min e dias 26 e 27/07, mais cedo, às 9h20min).

Por fim, não foi observada estratificação térmica desconfortável, uma vez que a diferença máxima entre a temperatura na altura dos pés (T_{foot}) e da cabeça (T_{head}) correspondeu a 1,4°C no dia 24/07.

O comportamento lumínico com o brise-soleil responsivo é apresentado na Figura 5.

Figura 5 - Iluminância interna com brise-soleil responsivo



Fonte: o autor.

Os quantitativos de registros em E_{table}, os respectivos limites de conforto e o índice KT são apresentados na Tabela 4.

Tabela 4 - Níveis lumínicos em Etable × zona de conforto com brise-soleil responsivo - quantidade de registros, percentuais em cada condição e índice KT

Dia	E < 100 lx	%	100 lx ≤ E ≤ 2000 lx	%	E > 2000 lx	%	KT (%)
22/07	16	24	47	70	4	6	39
23/07	15	22	52	78	0	0	45
24/07	14	21	52	78	1	1	40
25/07	20	30	47	70	0	0	47
26/07	13	19	54	81	0	0	48
27/07	20	30	47	70	0	0	44
Média	16	24	50	74	1	1	44

Fonte: o autor.

No que se refere ao gerenciamento do ganho lumínico em níveis aceitáveis de conforto (100 lx < E < 2000 lx), o sistema apresentou condições para realização de atividades de escritório em 299 registros (74,4%). O desempenho inferior ao sistema estático esteve

neste caso relacionado às condições de nebulosidade no início da manhã e final da tarde, totalizando 98 registros abaixo do limite inferior de conforto de 100 lx. O índice de claridade atmosférica médio diário durante a coleta de dados com o sistema dinâmico foi significativamente inferior ao início do mês (sombreamento estático). Contudo, o número de registros em que E permaneceu na zona de conforto foi similar: 74% (responsivo) e 76% (estático). Tal resultado é atribuído à maior incidência solar, especialmente durante o padrão de sombreamento 0%.

Foram observadas condições de desconforto causado por excesso de iluminância na superfície de trabalho pontualmente em apenas 2 dias. Durante o dia 22/07 foram registrados 4 momentos nos quais a incidência lumínica ultrapassou o limite superior da zona de conforto (E > 2000 lx). Diferentemente do comportamento observado com o sistema estático, os níveis de desconforto são pontuais, uma vez que o sistema aumenta o percentual de sombreamento com vistas à redução da intensidade de luz.

Ainda, assim como observado no sistema estático, em nenhum momento os níveis lumínicos na altura equivalente aos olhos de um ocupante sentado, sensor S2 (E_{eye}), ultrapassaram o limite de 2000 lx.

CONCLUSÕES

Sistemas de sombreamento responsivos possibilitam o ajuste automatizado da incidência solar no interior da edificação em consonância com as flutuações térmicas e lumínicas registradas em tempo real. Desta forma, os efeitos das variações climáticas repentinas tendem a ser reduzidas quando comparados aos sistemas estáticos.

Esta pesquisa apresentou os resultados da avaliação do desempenho térmico e lumínico de um ambiente experimental sombreado por um *brise-soleil* responsivo e estático. Ainda que as condições térmicas tenham contribuído com o desempenho do sistema dinâmico, o sombreamento resultante foi eficiente para evitar o sobreaquecimento.

Outra vantagem observada com o sistema diz respeito ao controle lumínico na superfície do trabalho. Enquanto o sistema estático esteve sujeito à redução natural da intensidade lumínica, o fechamento das aletas do brise-soleil reduziu o período de desconforto, sem comprometer a permeabilidade da janela e o contato com o ambiente exterior por completo. Ainda, mesmo durante condições de claridade atmosférica inferior, o sistema apresentou desempenho superior.

Embora ambas as séries de medições tenham ocorrido no mês de julho, um mês com condições de nebulosidade historicamente baixas na localidade de estudo, as condições climáticas, lumínicas e térmicas observadas foram bastante diversas, o que prejudicou a realização de uma análise equânime no que trata do desempenho dos dois sistemas. Por outro lado, este contexto reforça a viabilidade do uso de sistemas adaptativos frente à instabilidade climática a que uma edificação está sujeita em uma mesma estação do ano.

Novos estudos de desempenho devem contemplar períodos de coleta de dados consecutivos e com pré-condicionamento do ambiente experimental, a fim de aproximar as condições térmicas no início da coleta de dados.

REFERÊNCIAS

[1] CAMARASA, C. **The energy efficiency policy package: key catalyst for building decarbonisation and climate action**. ArchDaily. The Energy Efficiency Policy Package: Key Catalyst for Building Decarbonisation and Climate Action. 2023. Disponível em: https://www.archdaily.com/. Acesso em: 10 abril 2024.

[2] MEAGHER, M. Designing for change: The poetic potential of responsive architecture. **Frontiers of Architectural Research**, v. 4, n. 2, p. 159-165, mar. 2015. DOI: https://doi.org/10.1016/j.foar.2015.03.002

[3] SILVA, J. S. d. **A eficiência do brise-soleil em edifícios públicos de escritórios**: estudo de casos no plano piloto de Brasília. 2007. 161 f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) - Universidade de Brasília, Brasília, 2007.

[4] SILVA, V. d. S. C. e. **A influência dos protetores solares no comportamento da luz natural em edifícios de escritórios**. 2011. 137 f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) - Universidadade de Brasília, Brasília, 2011.

[5] LIMA, K. M. d. **Desempenho térmico e luminoso de brises externos em escritórios em Maceió - AL**. 2012. 165 f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) - Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2012.

[6] MEDEIROS, R. d. C. B. **Avaliação do desempenho luminoso de protetores solares verticais na iluminação natural em ambiente de internação hospitalar**. 2015. 136 f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) - Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2015.

[7] FASSINA, S. P. **Qualificação dos dispositivos de fachada quanto à disponibilidade de luz natural**: o caso do Instituto Federal do Espírito Santo Campus Colatina. 2017. 207 f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) - Universidade Federal do Espírito Santo, Espírito Santo, 2017.

[8] GONÇALVES, J. C. S.; DOLCE, M.; MULFARTH, R. C. K.; LIMA, E. G.; FERREIRA, A. Revealing the thermal environmental quality of the high-density residential tall building from the Brazilian bioclimatic modernism: The case-study of Copan building. **Energy & Buildings**, v. 175, p. 17-29, jul. 2018. DOI: https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2018.06.054

[9] MARAGNO, G. V. **Eficiência e forma do brise-soleil na arquitetura de Campo Grande - MS**. 2000. 219 f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2000.

[10] WEBER, C. P. **O uso do *brise-soleil* na arquiteura da região central do Rio Grande do Sul**. 2005. 209 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2005.

[11] VETTORAZZI, E.; REBELO, F.; FIGUEIREDO, A.; VICENTE, R.; LANGNER, M.; FEIERTAG, G. Expressions of Arab Influence on the Brazilian architecture: The case of solar control elements. **Buildings**, v. 14, n. 194, 2024. DOI: https://doi.org/10.3390/buildings14010194

[12] SEDREZ, M.; MENEGHEL, R.; CELANI, G. Celani. Digital fabrication of a brise-soleil using fractal geometry as generative system. In: 32nd INTERNATIONAL CONFERENCE ON EDUCATION AND RESEARCH IN COMPUTER AIDED ARCHITECTURAL DESIGN IN EUROPE, 32., 2014, Newcastle. **Proceedings [...]** Newcastle: Northumbria University, 2014. p. 315-325.

[13] GARCIA, M. d. S.; VILELA, J. A.; MAIRINK, A. J.; VELOSO, A. C. d. O.; SOUZA, R. V. G. d. Simulação paramétrica de brise-soleil para redução de consumo energético em edificação comercial. **Revista Tecnologia e Sociedade**, v. 16, n. 40, abr. 2020. DOI: https:// doi.org/10.3895/rts.v16n40.9783

[14] FRANCO, I. M. **Desempenho de um brise-soleil automático tipo prateleira de luz em função da luminosidade e temperatura.** 2003. 207 f. Tese (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2003.

[15] ALVARENGA, R. B. **Estudo e desenvolvimento de brise-soleil automatizado em clima tropical:** Aplicação em caso no Rio de Janeiro. 2004. 215 f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2004.

[16] DE BEM, G.; KRÜGER, E.; LA ROCHE, P.; DE ABREU, A. A. A. M.; LUU, L. Development of ReShadS, a climate-responsive shading system: Conception, design, fabrication, and small-scale testing. **Journal of Building Engineering**, v. 89, abr. 2024. DOI: https://doi.org/10.1016/j.jobe.2024.109423

[17] FELLOWS, R.; LIU, A. **Research Methods for Construction.** 3. ed. Oxford: John Wiley & Sons, 2009.

[18] CENTER FOR THE BUILT ENVIRONMENT. **CBE Clima Tool**: A free and open-source web application for climate analysis tailored to sustainable building design. Berkeley, 2022.

[19] AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING, AND AIR CONDITIONING ENGINEERS. **ANSI/ASHRAE 55**: Thermal environmental conditions for human occupancy, Atlanta, 2020.

[20] NABIL, A.; MARDALJEVIC, J. Useful daylight illuminance: a new paradigm for assessing daylight in buildings. **Lighting Research & Technology**, v. 37, n. 1, p. 41-59, Jul. 2005. DOI: https://doi.org/10.1191/1365782805li128oa

[21] DUFFIE, J. A.; BECKMAN, W. A.; BLAIR, N. **Solar engineering of thermal processes, photovoltaics and wind**. 5 ed. New Jersey: John Wiley & Sons, 2020.

[22] INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 7726**: Thermal environments - Instruments and methods for measuring physical quantities. Genebra, 1985.

[23] CRAWLEY, D.; LAWRIE, L. **Climate.One.Building.Org**. 2023. Disponível em: https://climate.onebuilding.org/. Acesso em: 05 julho 2023.