

## O POTENCIAL DE *BRISES* DINÂMICOS EM ESCRITÓRIOS QUANTO AO USO DE ENERGIA EM CLIMAS TROPICAIS

**Kamila Mendonça de Lima (1); Rosilene Regolão Brugnera (2); Rosana M. Caram (3)**

(1) Mestra, Doutoranda do Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, kmlima@usp.br

(2) Mestra, Doutoranda do Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, rosilene@sc.usp.br

(3) Prof<sup>a</sup> Dra. do Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, rcaram@sc.usp.br

Universidade de São Paulo, Instituto de Arquitetura e Urbanismo,

Av. Trabalhador São-Carlense, 400, CEP 13566-590, São Carlos – SP, Brasil

### RESUMO

A janela é um dos aspectos-chave do projeto arquitetônico com vistas ao conforto ambiental e uso eficiente de energia no ambiente construído. É fato que em climas quentes o uso de protetores solares nas aberturas é fundamental para controle de ganhos de luz e calor, contudo não se conhece com profundidade o efeito que a automação desses dispositivos tem no desempenho do ambiente interno, especialmente em localidades tropicais. O presente artigo avalia o potencial de *brises* dinâmicos quanto à demanda de energia elétrica para condicionamento do ar e iluminação em escritórios em duas cidades brasileiras de climas distintos, comparando estratégias de controle e considerando diferentes opções de janelas. Utiliza simulação computacional integrada com os programas Daysim e EnergyPlus, considerando um modelo de escritório nas cidades de Maceió-AL e São Carlos-SP. A partir dos resultados, afirma-se que a automação dos dispositivos de proteção solar não é uma estratégia que garante redução da demanda de energia para iluminação artificial e condicionamento térmico no contexto estudado. Nos casos localizados em São Carlos, foram obtidas reduções de até 17% utilizando-se o *brise* ativo o tempo todo com automação da inclinação das aletas, em relação ao caso com *brise* fixo, enquanto para Maceió essa mesma redução não passou de 10%. Nesta localidade, a presença ou não de *brises* teve maior influência na demanda de energia do que as demais modificações analisadas. Foram indicados os cenários de janela com maior potencial para minimizar o consumo de energia elétrica. O trabalho realizado contribui para dar suporte a decisões de projeto mais conscientes quanto ao desempenho do sistema de abertura.

Palavras-chave: *Brisés*, Automação, Simulação integrada.

### ABSTRACT

The window is a key design parameter regarding environmental comfort and building energy efficiency. The use of shading devices in the aperture is an important feature to provide light and heat gain control within warm climates. However, the effect of using automation on such devices is not clearly known, especially when it comes to tropical climates. This paper discusses the potential of dynamic *brises* on air conditioning and lighting electric energy demand in office buildings. Shading control strategies are compared considering different window types for two Brazilian climates. Integrated computational simulation with Daysim and EnergyPlus software is used. A generic office building is modeled considering two Brazilian cities: Maceió/AL and São Carlos/SP. Based on the results, it is stated that the automation of the solar protection devices does not ensure reduction on lighting and air thermal conditioning energy demand. For São Carlos, reductions were obtained up to 17% using the *brise* active all the time with automation of the inclination of the fins on the case with fixed *brise*. While in Maceio the same reduction was no more than 10%. In this location, the presence of *brises* had greater influence in energy demand than other analyzed changes. It was indicated the window scenarios with greatest potential to minimize the electricity consumption. This work contributes to support more conscious design decisions regarding the performance of the window system.

Keywords: *Brisés*, Automation, Integrated Simulation.

## 1. INTRODUÇÃO

O desenho da janela é um dos aspectos-chave do projeto arquitetônico com vistas ao conforto ambiental e uso eficiente de energia para promover conforto no ambiente construído. Conforme sabido, em climas tropicais, esse projeto deve agregar dispositivos de sombreamento, como forma de controle da iluminação natural e do ganho de calor solar. Obter informações sobre o desempenho desses dispositivos, que quanto ao acionamento podem ser estáticos ou dinâmicos, é uma ação que permite escolhas de projeto mais conscientes.

Uma das formas de se avaliar tal desempenho é obtendo a previsão da demanda de energia elétrica necessária no ambiente, considerando o aproveitamento da iluminação natural (abundante nos climas tropicais) para acionamento das lâmpadas de forma complementar. Em ambientes de escritório, que possuem carga térmica elevada devido aos equipamentos, ocupação diurna e tipologia construtiva, a redução dessa demanda de energia pode adquirir peso no comportamento da edificação. Didoné e Pereira (2010) alcançaram reduções do consumo total de energia elétrica entre 12 e 52% em relação a um sistema com lâmpadas acionadas o tempo todo. Somando o aproveitamento da luz natural à estratégia de ventilação híbrida, Brugnera (2014) e Rupp e Ghisi (2013) obtiveram reduções de até 12% e 64,9%, respectivamente.

Quanto aos sistemas de janela em si, o percentual de área de abertura e as propriedades de controle solar pelos vidros e pelo dimensionamento de dispositivos de sombreamento são aspectos de grande influência no conforto ambiental e uso de energia para condicionamento, tal como exemplificado por Carmody *et al.* (2004) e outros diversos autores. Mesmo quando se considera o contraponto entre ganho de calor e de luz, a presença e o dimensionamento do *brise* podem alterar significativamente o uso de energia elétrica, como é o caso de estudos anteriores (LIMA; CARAM, 2015) onde se obtiveram diferenças de até 39% na demanda de energia para condicionamento do ar e iluminação, pela alteração das propriedades da janela com *brises* estáticos.

Os protetores solares automatizados, com acionamento dinâmico (variando ao longo do tempo de acordo com algum critério), são uma possibilidade de se adaptar às condições ambientais externas. Os autores Yun, Yoon, Kim (2014), realizando medições em protótipos e simulações nos programas DIVA e EnergyPlus, destacam o desempenho de sistemas de aletas dinâmicas para melhoria do conforto visual, para o caso de Seul, na Coreia do Sul. Nessa mesma direção, Chan e Tzempelikos (2013) indicam estratégias de acionamento para controle da luz natural e do ofuscamento, no contexto da cidade de Filadélfia.

Já quanto ao somatório consumo de energia para aquecimento, resfriamento e iluminação, quando se faz o balanço dos ganhos e perdas em termos quantitativos, estudos iniciais utilizando simulação computacional não apontam o mesmo impacto da automação dos *brises* no desempenho no ambiente. Tzempelikos e Athienitis (2007), realizando variações na área de abertura, transmissão de luz pelo protetor solar e controle do mesmo, para casos em Montreal (Canadá), identificaram uma redução de até 12% desse consumo total, em relação a soluções de janela sem sombreamento. Manzan *et al.* (2014), verificaram uma redução de até 18%, considerando o acionamento e geometria do dispositivo para o caso de Trieste (Itália). Comparando soluções de janela sem *brise*, janelas com dispositivos de aletas fixas e com dispositivos automatizados no caso da Dinamarca e considerando o aproveitamento de ventilação natural no verão, Nielsen e Svendsen (2011) obtiveram uma diferença de até 16% na demanda total de energia entre os casos que apresentaram o melhor e o pior desempenho para uma dada orientação.

Apesar dessas indicações sobre o comportamento de dispositivos automatizados, pouco se conhece sobre o desempenho de tais dispositivos, especialmente em climas tropicais. Este trabalho consiste em um estudo comparativo nesse contexto.

## 2. OBJETIVO

Este artigo tem como objetivo avaliar o potencial de *brises* dinâmicos quanto à demanda de energia para condicionamento do ar e iluminação em escritórios em duas cidades brasileiras de climas distintos, comparando estratégias de controle e considerando diferentes opções de janelas.

## 3. MÉTODO

O trabalho utiliza simulação computacional e análise comparativa, avaliando quatro situações de acionamento do *brise*, considerando um ambiente de escritório genérico localizado em duas cidades brasileiras (Maceió-AL e São Carlos-SP). O estudo considera ainda três opções de área de abertura, três tipos de vidro, dois ângulos de sombreamento e duas orientações. O procedimento utilizado para a realização desta avaliação será descrito nas etapas a seguir.

### 3.1. Dispositivos de proteção solar

O *brise* analisado é composto por 10 aletas e tem dimensão horizontal igual à da janela. São analisados quatro tipos de acionamento, conforme a Figura 1. O módulo de ambientes simulado é ilustrado na Figura 2.

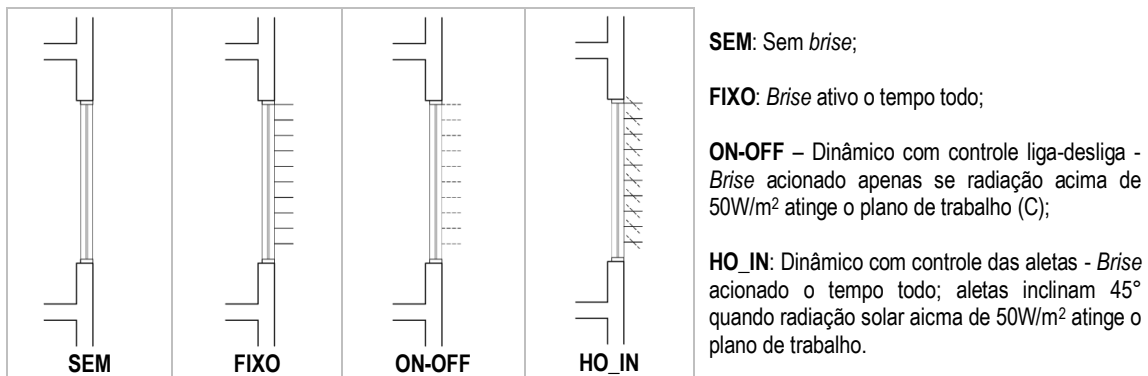


Figura 1 – Seções esquemáticas dos tipos de acionamento estudados

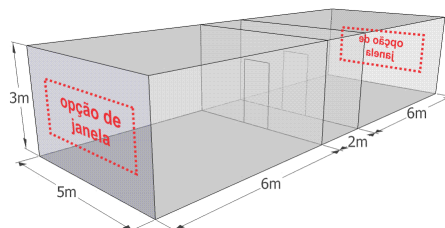


Figura 2 – Esquema do módulo de ambientes simulado

### 3.2. Os climas

As cidades selecionadas para este estudo são Maceió (AL), localizada no nordeste do Brasil e São Carlos (SP), localizada na região sudeste. As Figuras 3 e 4 apresentam a variação anual da radiação solar direta e difusa e a temperatura média do ar nessas localidades.

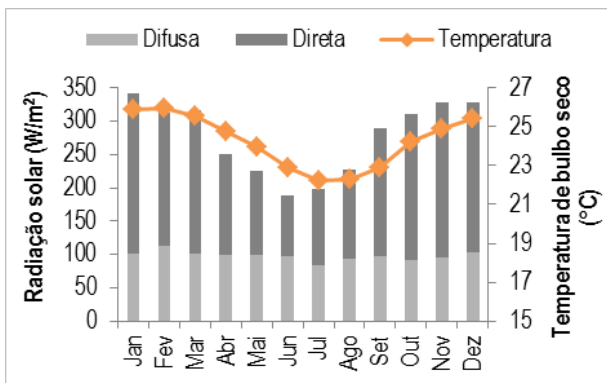


Figura 3 – Dados climáticos de Maceió-AL  
Fonte: Arquivo climático (LABEEE, 2013).

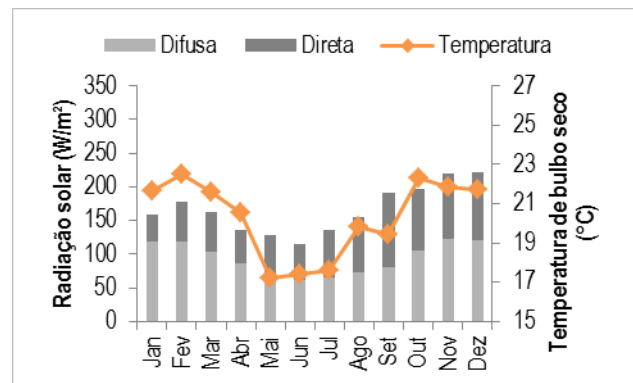


Figura 4 - Dados climáticos de São Carlos-SP  
Fonte: Arquivo climático.

A cidade de Maceió (de latitude 9° e longitude -35°) apresenta clima quente e úmido (NIMER, 1979), caracterizando-se por alta umidade, pequenas variações de temperatura (diárias, sazonais e anuais) e radiação solar intensa (Figura 3). A janela sombreada é uma estratégia fundamental neste tipo de clima, para controle da radiação solar que influenciará a iluminação e os ganhos térmicos.

A cidade de São Carlos possui latitude -22° e longitude -48°, com 863m de altitude e apresenta clima tropical de altitude, com verão chuvoso e inverno seco. Na Figura 4 é possível observar que as temperaturas variam entre 17° e 23°C ao longo do ano, enquanto que a radiação solar está na faixa entre 40 e 225 W/m<sup>2</sup>. De acordo com a carta bioclimática de Givoni para países em desenvolvimento, a cidade de São Carlos está localizada em boa parte do ano dentro da zona de conforto térmico e as principais estratégias bioclimáticas para esta cidade obtidas pelo programa Analysis Bio (LABEEE, 2009) são alta inércia térmica e

aquecimento solar passivo.

Através das Figuras 3 e 4 é possível verificar uma significativa diferença entre os climas, pois Maceió possui temperaturas que variam de 22° a 26°C e radiação solar que chega a atingir quase 350 W/m<sup>2</sup>, enquanto que em São Carlos as temperaturas não passam de 23°C e a radiação solar não chega a 250 W/m<sup>2</sup>. A localização de cada cidade influencia na disponibilidade de luz, pois Maceió, localizada na latitude - 9° possui mais luz natural disponível que São Carlos, com latitude -22°.

### 3.3. Simulação Computacional

Tendo em vista que as características da janela podem influenciar significativamente o desempenho de dispositivos acoplados a ela, foram consideradas as variáveis apresentadas nas Figuras 5 e 6, junto com o acionamento do *brise* mencionado anteriormente.

Tipo de vidro*		PAF (%)		AVS**		Orient.	Acionamento	
<b>Refletivo (a vácuo) prata médio</b> T <sub>v</sub> : 14%; T <sub>sol</sub> : 12%	v1	25%	a25	30°	s30	Norte	Sem brise	SEM
<b>Comum cinza</b> T <sub>v</sub> : 51%; T <sub>sol</sub> : 49%	v2	50%	a50	60°	s60	Oeste	Brise fixo	FIXO
<b>Comum incolor</b> T <sub>v</sub> : 86%; T <sub>sol</sub> : 81%	v3	75%	a75				Brise dinâmico c/ controle liga/desliga	ON-OFF
							Brise Dinâmico c/ controle das aletas	HO-IN

Figura 5 – Dados e nomenclatura das variáveis de projeto para definição dos cenários analisados.

\*Transmissão visível (T<sub>v</sub>) e solar (T<sub>sol</sub>) para ângulo de incidência normal. Fonte: CARAM (2002).

\*\*Ângulo vertical de sombreamento (ângulo externo)

Como é possível observar na Figura 6, as situações analisadas correspondem a cenários com condições de exposição solar bem distintas, para permitir uma avaliação mais completa.

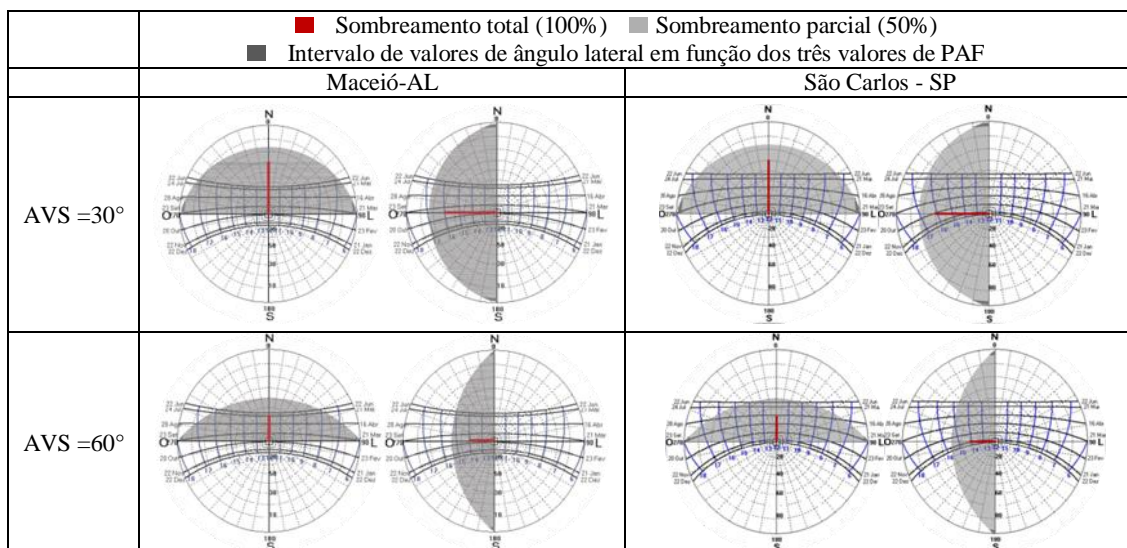


Figura 6 – Máscaras de sombra dos brises estudados

O procedimento das simulações foi realizado em dois passos. Primeiro, foi realizada a simulação de iluminação natural, no software DAYSIM (REINHART, 2014), que emprega a ferramenta Radiance para simular a iluminação natural e agrega um modelo comportamental (chamado LightSwitch), aqui utilizado para simular o acionamento do sistema de luz artificial apenas quando a luz natural não é suficiente para se obter a iluminância de tarefa no ambiente, gerando um arquivo de saída com os horários de acionamento das lâmpadas. Em seguida, foi realizada a simulação energética, utilizando-se o software EnergyPlus (U.S. DEPARTMENT OF ENERGY, 2013), no qual os dados do modelo foram inseridos incluindo-se as

*schedules* de funcionamento das lâmpadas, obtidas na primeira simulação. A Tabela 1 destaca os principais dados inseridos nos programas. As simulações consideraram os períodos ocupados.

Tabela 1 - Principais parâmetros das simulações inseridos nos dois programas computacionais utilizados.

DAYSIM 3.1	ENERGYPLUS 7.2
<p><b>Plano de trabalho:</b> 0,75m a partir do piso;</p> <p><b>Pontos/sensors:</b> Malha ortogonal de 30 pontos;</p> <p><b>Refletâncias:</b> Piso=0,30; teto=0,75; paredes=0,60; <i>brises</i>=0,50;</p> <p><b>Parâmetros do Radiance:</b> Complexidade 2 = ab 7; ad 1500; as 100; ar 300; aa 0,1; lr 6; st 0,15; sj 1,00; lw 0,004; dj 0,00; ds 0,20; dr 2; dp 512;</p> <p><b>Ocupação:</b> 8 às 18h – Rotina gerada pelo <i>software</i>;</p> <p><b>Illuminância mínima:</b> 500lx;</p> <p><b>Tipo de usuário:</b> Ativo;</p> <p><b>Controle das lâmpadas:</b> Manual <i>on/off</i> próximo à porta</p>	<p><b>Construção:</b> Paredes com janela - Bloco cerâmico com seis furos de seção quadrada + argamassa branca (<math>U=2,48W/m^2K</math>); Demais paredes, piso e teto – adiabáticos; <i>Brises</i> - Aluzinc (Condutividade = <math>176,9W/mK</math>) no objeto <i>WindowMaterial:Blind</i></p> <p><b>Ocupação:</b> 8h às 12h e 14h às 18h, de segunda à sexta; 8h às 12h, aos sábados.</p> <p><b>Pessoas:</b> 4 ocupantes; 0,8clo (inverno) e 0,5clo (verão)</p> <p><b>Ganhos internos:</b> 120W/pessoa + Equipamentos (<math>15W/m^2</math>) + Lâmpadas (<math>10W/m^2</math>)</p> <p><b>Ar condicionado:</b> Módulo <i>IdealLoadsAirSystem</i>; ativo durante todo o período de ocupação, termostato a <math>25^{\circ}C</math>; COP=3,5</p> <p><b>Taxa de infiltração:</b> 1 ren/h</p>

A partir das simulações, foram obtidas e somadas a demanda de energia para condicionamento do ar e iluminação artificial para um dos ambientes do modelo, de acordo com a orientação.

## 4. ANÁLISE DE RESULTADOS

### 4.1. Comparação do consumo de energia nos casos estudados

A seguir serão apresentados os resultados referentes aos casos estudados, separados inicialmente por localidade e ângulo de sombreamento (tamanho das aletas). A Figura 7 apresenta os casos simulados para Maceió, com orientação norte. Verifica-se a diferença no comportamento dos diferentes controles do dispositivo de proteção solar em relação ao caso da janela sem *brise*. Já em relação ao caso com aletas fixas, não parece haver influência significativa do acionamento automatizado com os controles utilizados.

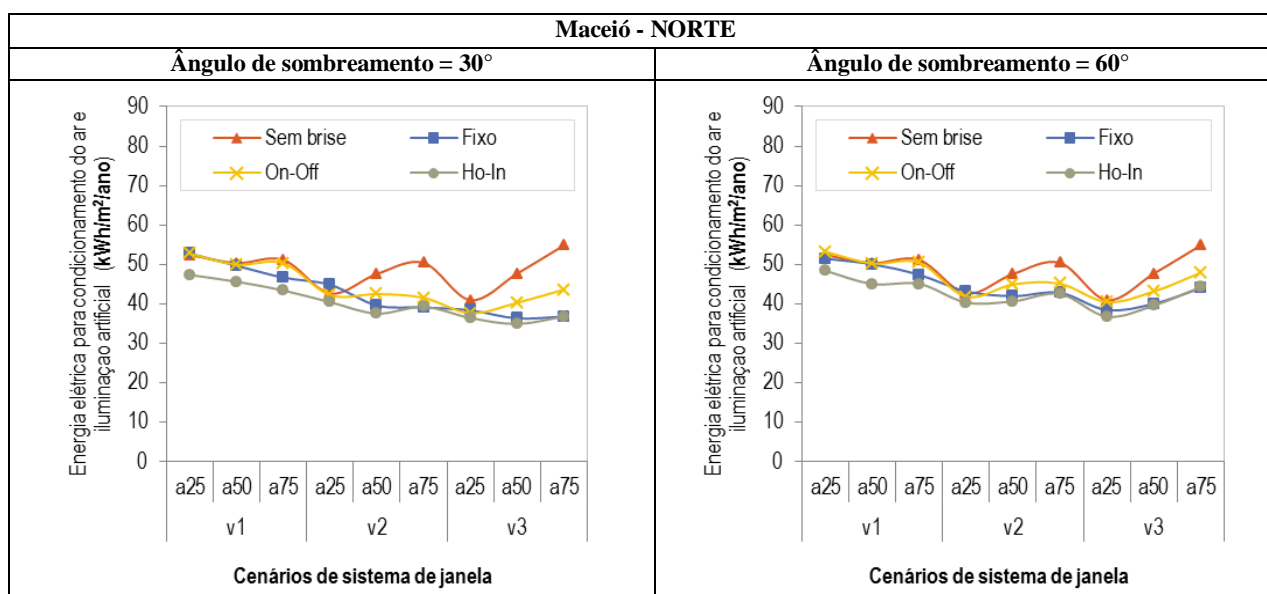


Figura 7 – Casos simulados para Maceió-AL, com orientação norte.

Nos casos com ângulo de sombreamento de  $30^{\circ}$  pode-se notar uma redução no consumo de energia quando as aberturas mudam de pequenas (PAF = 25%), para médias (PAF=50%), para os casos com controle de ângulo das aletas do *brise*, nos vidros 2 (cinza) e 3 (incolor). No entanto, quando o ângulo de sombreamento é alterado de  $30^{\circ}$  para  $60^{\circ}$ , esse comportamento também se altera, pois as janelas menores são as que apresentam a redução no consumo de energia.

Os casos com *brises* (fixo horizontal, controle *on-off* e com controle do ângulo) geralmente apresentam uma tendência semelhante de redução do consumo de energia quando são utilizados com vidro incolor, sendo que a mudança no ângulo de sombreamento causa uma diferença nos resultados. Dessa forma, demonstra-se o quão sensíveis são resultados em relação aos parâmetros utilizados da janela, pois quaisquer alterações acarretam mudanças na comparação dos acionamentos.



Como esperado, as janelas sem *brise* apresentam os maiores valores de consumo de energia, aumentando o valor quanto maior for o tamanho da janela. Para janelas pequenas, os valores se assemelham aos casos com *brise* fixo horizontal e com controle *on-off*. Assim, é possível afirmar que para Maceió, neste caso estudado, as maiores aberturas com vidro incolor podem ter melhor desempenho energético que aberturas menores com vidros menos transmissivos se forem protegidas com o *brise* com ângulo de sombreamento de 30°.

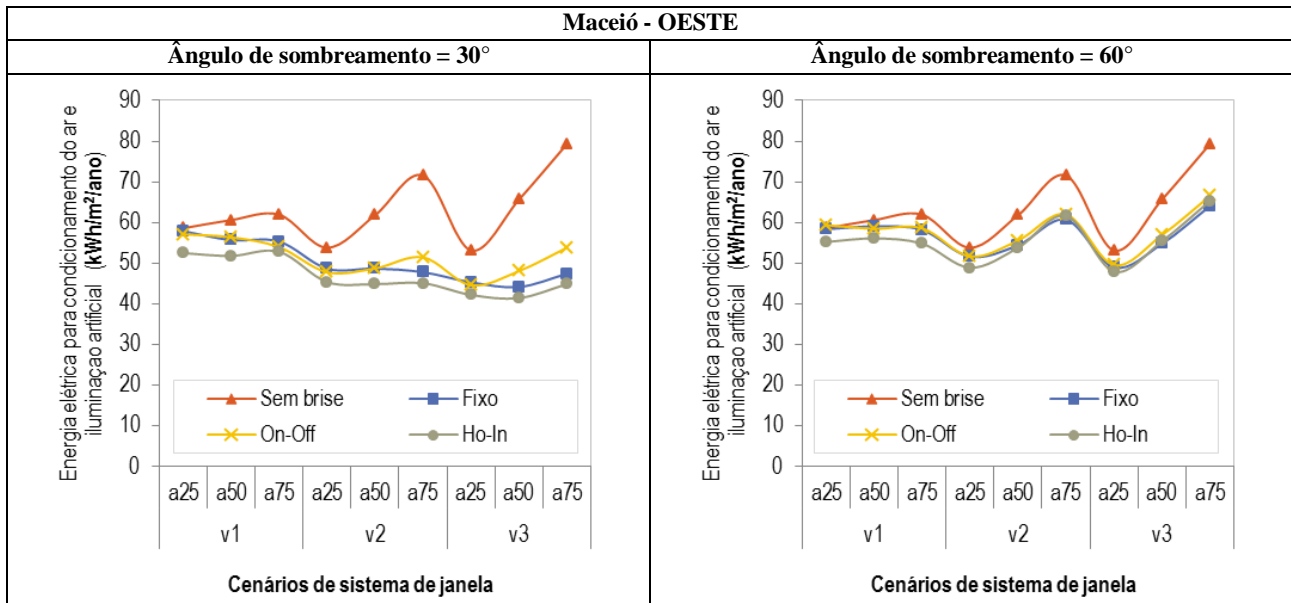


Figura 8 – Casos simulados para Maceió-AL, com orientação oeste.

A Figura 8 apresenta os casos para Maceió, com orientação oeste e com ângulos de sombreamento do *brise* de 30° e 60°. É possível notar a grande diferença que há entre os casos sem *brise* e com *brise*, de maneira que esta diferença se sobressai em relação aos diferentes acionamentos, principalmente quando o vidro é cinza ou incolor. Quando se considera apenas os casos com *brise*, novamente não há uma alteração significativa do consumo de energia obtido. Observa-se a proximidade das curvas indicando esse fato. Essa diferença, no entanto, é maior do que quando o ambiente está orientado a Norte no caso de o *brise* possuir aletas maiores ( $s=30^\circ$ ).

Nos casos com vidro refletivo (v1), o ângulo de sombreamento e a área de abertura não influenciam significativamente o consumo de energia, apenas o acionamento, pois nos casos orientados a norte, a variação do percentual de área de abertura de 50 para 75% só causa alteração se o *brise* for acionado o tempo todo (fixo ou com controle das aletas). Nos casos com vidro incolor, o aumento da área de abertura acarreta no aumento do consumo de energia de forma mais acentuada que na fachada norte. Isso ocorre devido ao aumento no consumo de energia com ar condicionado, que pode ser observado na Figura 9, que separa por origem as demandas de energia obtidas para a situação sem *brise*, em percentual e em valores absolutos.

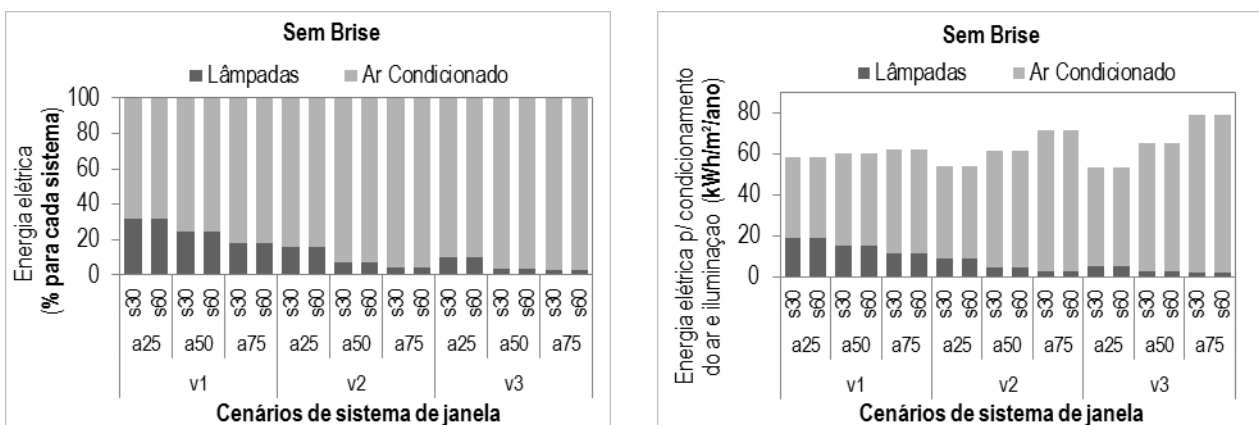


Figura 9 – Casos simulados para Maceió-AL, sem *brise*, com orientação oeste.

Assim, nos casos com melhor desempenho energético nas duas orientações, têm-se a combinação de vidro incolor com área de abertura pequena ou média, protegidas e com controle do ângulo das aletas (Ho-In). Aberturas grandes (a75) obtiveram desempenho semelhante quando protegidas com *brises* de ângulo 30°. As Tabelas a seguir apresentam a comparação apenas dos casos com *brise*, mostrando a diferença percentual entre a demanda de energia para os casos com acionamento automatizado em relação aos casos com *brise* fixo, como forma de observar quantitativamente essa relação.

Tabela 2 – Incremento percentual da demanda de energia em relação ao caso com *brise* fixo - Norte

	v1						v2						v3						
	a25		a50		a75		a25		a50		a75		a25		a50		a75		
	s30	s60	s30	s60	s30	s60	s30	s60	s30	s60	s30	s60	s30	s60	s30	s60	s30	s60	
<b>Fixo</b>	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
<b>On-Off</b>	0,0	3,4	0,5	0,4	7,8	6,5	-5,8	-3,1	7,3	7,0	6,3	5,3	-1,8	5,3	10,9	7,8	18,5	8,9	
<b>Ho-In</b>	-10,3	-5,9	-8,2	-10,0	-7,0	-4,8	-9,8	-6,5	-5,2	-3,1	0,5	-0,8	-5,0	-4,3	-3,9	-1,1	0,1	0,6	

Tabela 3 – Incremento percentual da demanda de energia em relação ao caso com *brise* fixo - Oeste

	v1						v2						v3						
	a25		a50		a75		a25		a50		a75		a25		a50		a75		
	s30	s60	s30	s60	s30	s60	s30	s60	s30	s60	s30	s60	s30	s60	s30	s60	s30	s60	
<b>Fixo</b>	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
<b>On-Off</b>	-1,3	1,7	1,2	-1,0	-2,5	0,8	-1,8	0,1	0,1	2,1	7,6	2,2	-1,6	1,1	8,9	3,9	13,5	3,9	
<b>Ho-In</b>	-9,3	-5,4	-7,0	-5,0	-4,5	-5,8	-6,8	-5,3	-7,9	-1,1	-5,7	1,6	-6,9	-2,1	-6,2	1,2	-5,4	1,9	

Observa-se que as maiores diferenças percentuais ocorrem no sentido de haver prejuízo (aumento do consumo), como no caso com abertura grande (a75) e aletas grandes (s30), onde há um aumento de até 18,5% do consumo de energia dos casos com controle *on-off* (em que se alterna entre as situações sem *brise* e com *brise*), em relação ao caso com *brise* fixo.

Quando se trata dos casos com acionamento alternando entre aletas fixas horizontais e aletas fixas inclinadas, observa-se que há redução do consumo em relação aos casos com *brise* fixo na maior parte dos cenários de janela analisados, contudo essa diferença não passou dos 10,3% (Tabela 2), o que, em se tratando de simulação computacional, pode ser considerado um valor baixo, dadas as possíveis imprecisões dos modelos. Para a cidade de Maceió, e considerando os parâmetros analisados e do ponto de vista de consumo de energia para condicionamento, uma vez que se decide pôr o *brise* horizontal, não há vantagem garantida ao se optar por sistemas automatizados.

A seguir serão apresentadas as análises dos mesmos cenários para o caso de São Carlos.

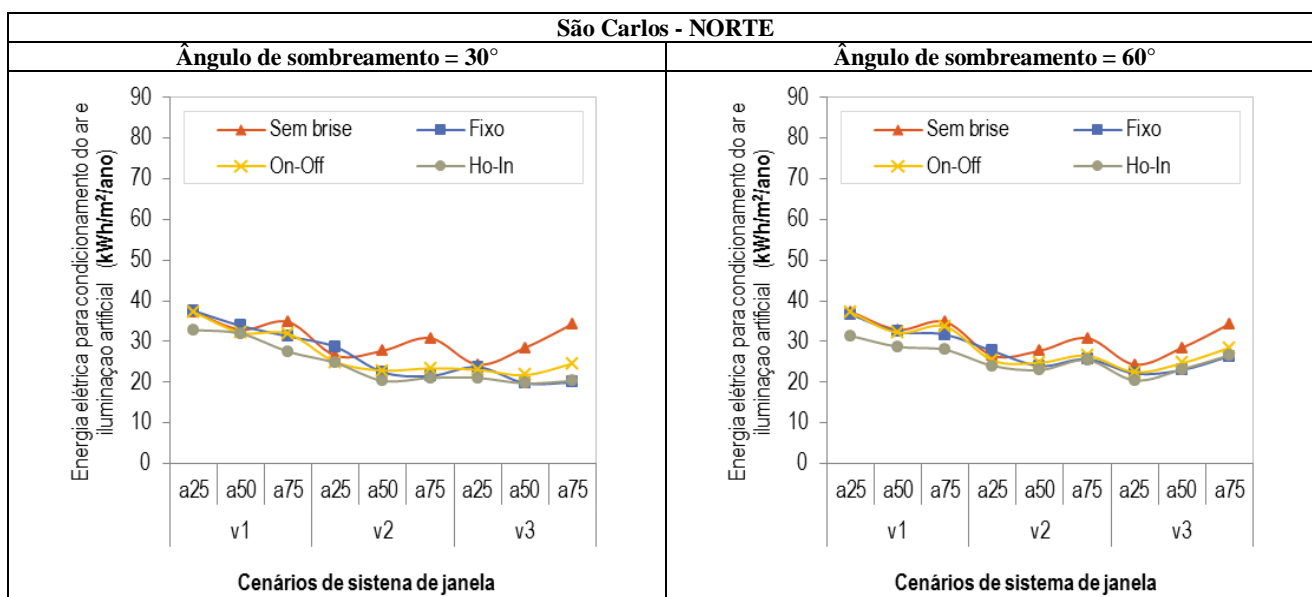


Figura 10 – Casos simulados para São Carlos-SP, com orientação norte.

A Figura 10 apresenta os casos simulados para São Carlos, com orientação norte, em que se pode notar que, tanto nos cenários com ângulo de sombreamento de 30° quanto de 60°, o caso sem *brise* destaca-se com maiores consumos de energia quanto maior for a área de abertura (PAF=75%). Já nos cenários com menor consumo de energia destacam-se os casos com *brise* de controle de ângulo (Ho-In) os quais apresentam menores consumos se comparados aos demais. No entanto, os menores consumos se apresentam nos cenários com ângulo de sombreamento de 30° em que se têm os vidros cinza ou incolor, com janelas de tamanhos médios (PAF=50%). Já nos cenários com ângulo de sombreamento de 60°, o menor consumo se apresenta em aberturas médias (PAF=50%) para o vidro cinza e em pequenas (PAF=25%) para o vidro incolor.

Com ângulo de sombreamento de 60°, mesmo que o sombreamento signifique bloquear quase toda a radiação direta recebida nessa orientação (note-se a mancha na Figura 6, p.4), há pouca diferença entre os casos sem *brise* e com *brise* em termos de consumo de energia, pois os consumos de energia para iluminação e condicionamento do ar, apesar de possivelmente diferentes, resultam em um total semelhante.

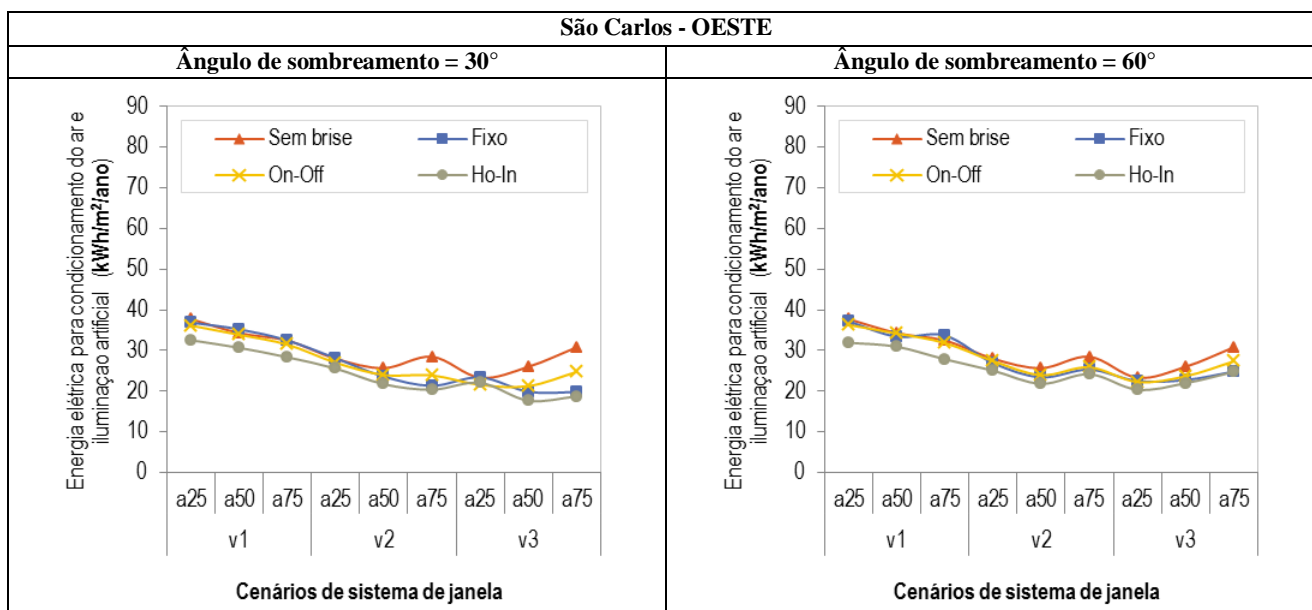


Figura 11 – Casos simulados para São Carlos-SP, com orientação oeste.

A Figura 11 apresenta os cenários simulados para São Carlos, com orientação oeste, em que se pode notar que os casos sem *brise* apresentam os maiores consumos em relação a ambos os ângulos de sombreamento, quanto maior for a área de abertura, devido ao ganho de calor pela radiação solar absorvida pelo vidro. Nos casos com vidro 1 e abertura pequena, o consumo de energia é maior, pois há um vidro com pouca transmissividade, gerando pouca entrada de luz no ambiente.

Os cenários com *brise* com controle de ângulo – horizontal/inclinado – possuem os menores consumos de energia para ambos os ângulos de sombreamento, desde que as aberturas sejam de tamanhos médios (PAF=50%) à grandes (PAF=75%).

Dessa forma, se a abertura for grande e o vidro incolor, os melhores comportamentos em todas as situações analisadas são as dos *brises* fixo e com controle de ângulo das aletas – horizontal/inclinado-, porém isso não quer dizer que o *brise* fixo com abertura grande seja o melhor caso de forma geral. Na orientação Oeste, se o vidro for cinza ou incolor, há muito pouca diferença entre todos os acionamentos analisados (sem *brise*, com *brise* fixo e com os dois casos de *brise* automatizado). O tamanho das aletas, nessa localidade, tem menor influência no desempenho total do que nos casos de Maceió-AL. Observa-se que os dois gráficos da Figura 11 são muito semelhantes, excetuando-se apenas os casos com abertura grande e vidro cinza ou incolor, onde certamente o papel do bloqueio da radiação solar ficou mais evidente.

No entanto, usando vidro refletivo, há uma diferença um pouco mais visível entre os *brises* fixo e o móvel com controle de ângulo das aletas – horizontal/inclinado, como é possível verificar nas Tabelas 4 e 5, pois chega a 17,4% de redução no consumo em relação ao *brise* fixo. Tal diferença também aparece se compararmos os consumos com lâmpadas e ar condicionado, conforme mostra a Figura 12.



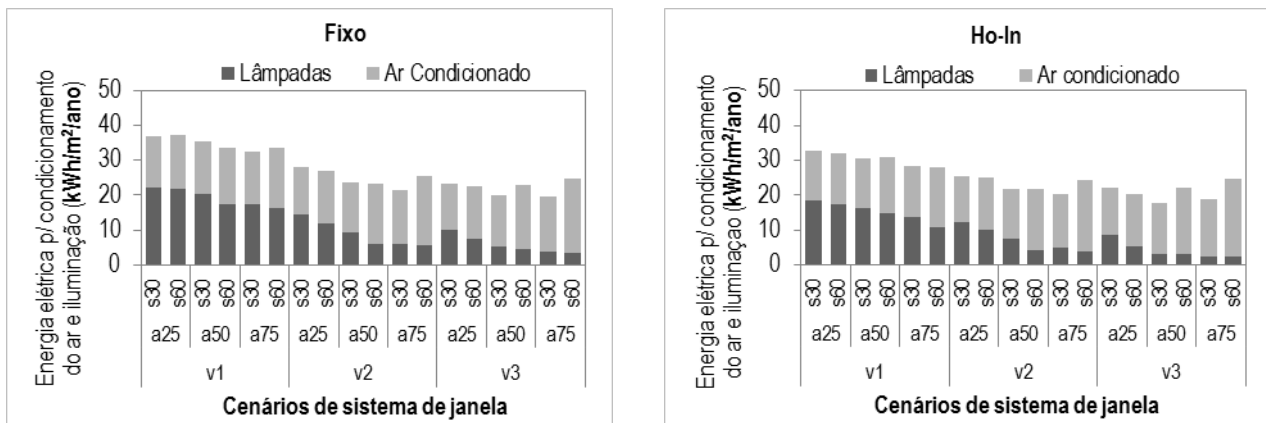


Figura 12 – Casos simulados de *brise* fixo e dinâmico com controle do ângulo das aletas, para São Carlos-SP, com orientação oeste.

A seguir, são apresentados os dados de incremento percentual da demanda de energia comparando-se os casos com *brise* fixo em relação aos demais casos com acionamento automatizado para São Carlos nas orientações norte e oeste.

Tabela 4 - Incremento percentual da demanda de energia em relação ao caso com *brise* fixo - Norte

	v1						v2						v3					
	a25		a50		a75		a25		a50		a75		a25		a50		a75	
	s30	s60	s30	s60	s30	s60	s30	s60	s30	s60	s30	s60	s30	s60	s30	s60	s30	s60
<b>Fixo</b>	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
<b>On-Off</b>	-0,8	1,5	-4,9	-0,7	2,1	6,2	-13,0	-8,3	1,9	3,4	8,8	3,2	-2,9	1,7	10,0	7,3	23,0	7,8
<b>Ho-In</b>	-12,6	-14,4	-5,7	-11,3	-12,0	-11,9	-13,7	-13,1	-9,4	-4,1	-2,2	-1,1	-11,2	-7,6	-0,3	0,7	1,8	0,9

Tabela 5 - Incremento percentual da demanda de energia em relação ao caso com *brise* fixo - Oeste

	v1						v2						v3					
	a25		a50		a75		a25		a50		a75		a25		a50		a75	
	s30	s60	s30	s60	s30	s60	s30	s60	s30	s60	s30	s60	s30	s60	s30	s60	s30	s60
<b>Fixo</b>	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
<b>On-Off</b>	-2,0	-2,3	-3,8	2,3	-3,2	-5,5	-3,9	1,8	1,7	2,3	11,9	2,2	-8,0	-1,1	7,0	4,1	25,3	10,1
<b>Ho-In</b>	-11,7	-14,0	-12,9	-7,4	-12,7	-17,4	-9,0	-6,9	-8,0	-6,8	-4,5	-4,5	-5,8	-9,6	-11,1	-3,4	-5,3	-0,3

Através das Tabelas 4 e 5, é possível notar a diferença entre os sistemas de *brise* fixo e os automatizados, destacando-se os casos com *brises* automatizados com controle de ângulo – horizontal/inclinado –, os quais apresentam as maiores reduções nos consumos de energia em relação ao *brise* fixo, tanto para norte quanto para oeste. Para a orientação norte, tem-se que os valores de redução de consumo variam entre 0,3 e 14,4% (Tabela 4), enquanto que para oeste esta variação ocorre entre 0,3 e 17,4% (Tabela 5). Na fachada oeste tem-se um ganho de calor solar maior que na fachada norte, fator que possivelmente aumenta o potencial do *brise* automatizado de reduzir o consumo em relação a um estático.

Se considerarmos a diferença entre os *brises* fixos e os automatizados com controle *on-off*, tem-se que este último é o que apresenta aumentos no consumo de energia, principalmente nos casos com vidro incolor, ângulo de sombreamento de 30° e aberturas grandes (PAF=75%). Apesar de apresentar menos diferenças entre os diferentes tipos de janela em relação a Maceió, as situações com *brise* automatizado para o caso de São Carlos apresentam um maior potencial de redução da demanda de energia.

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O estudo realizado avaliou o desempenho de sistemas de janela com diferentes tipos de protetores solares quanto à demanda de energia para condicionamento do ar e iluminação artificial. O principal aspecto considerado foi o acionamento dos *brises*, mas foram observadas diferentes opções de vidro, abertura e tamanho de aleta desse dispositivo. A partir dos resultados, é possível afirmar que a automação dos dispositivos de proteção solar não é uma estratégia que garante redução da demanda de energia para iluminação artificial e condicionamento térmico.

Observou-se que, no contexto de Maceió, a presença ou não de *brises* parece ter maior influência na demanda de energia do que as demais modificações. No contexto de São Carlos, há um maior potencial para

utilização dos dispositivos automatizados. Nas simulações realizadas foram obtidas reduções de até 17,4% utilizando-se o *brise* ativo o tempo todo com automação da inclinação das aletas, em relação ao caso com *brise* fixo, enquanto para Maceió essa mesma redução não passou de 10,3%. A pouca diferença observada entre os acionamentos considerados pode ser uma evidência de que dispositivos bem dimensionados e bem orientados seriam suficientes para se manter baixos índices de consumo de energia no ambiente interno.

Sobre as características da janela e considerando as condições analisadas, a combinação de vidro incolor com aberturas sombreadas, médias ou pequenas, apresentou menores demandas de energia anuais, mas outras combinações se aproximaram, a depender do caso.

Alguns aspectos que fazem parte do recorte e limitações deste trabalho podem ser mencionados. O sistema de controle das lâmpadas utilizado foi manual, para se aproximar mais das realidades ainda presentes nas cidades analisadas, contudo um controle dimerizável poderia proporcionar uma economia ainda maior de luz artificial. A faixa de acionamento dos *brises* também poderia alterar os resultados. O valor de 50W/m<sup>2</sup> é a única opção disponibilizada pelo programa utilizado. Como sugestões para trabalhos futuros, aponta-se estudos que agreguem a definição do leiaute do ambiente, que permite a especificação mais precisa dos pontos para medição da iluminação.

A análise realizada refere-se à demanda de energia no ambiente, contudo as questões de conforto do usuário devem ser sempre consideradas. É provável que em relação ao conforto visual e térmico ao longo do dia, os dispositivos tenham uma contribuição importante, pois proporciona um meio de adaptação do usuário. O uso de energia é um dos aspectos de projeto e o trabalho apresentado informou aspectos que podem auxiliar o projeto de sistemas de janela com dispositivos de proteção solar estáticos ou dinâmicos.

Dessa forma, através do estudo realizado na presente pesquisa, é possível reafirmar a importância do projeto das aberturas em edifícios de escritórios localizados em climas tropicais, sendo relevantes os estudos relacionados a características tais como as porcentagens de abertura, os tipos de vidros e as proteções solares. Assim, conhecer o desempenho de tais sistemas é importante no sentido de promover melhorias no desempenho energético de tais edificações.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BRUGNERA, R. R. **Potencial de economia de energia em edifícios de escritórios com estratégias de ventilação híbrida**. Dissertação de Mestrado. Universidade de São Paulo, Instituto de Arquitetura e Urbanismo, IAU-USP. São Carlos, 2014.
- CARAM, R. M. **Estudo e caracterização de fachadas transparentes para uso na arquitetura: ênfase na eficiência energética**. Tese (Livre-Docência). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2002.
- CARMODY, J. et al. **Window systems for high-performance buildings**. Nova York: Norton, 2004.
- CHAN, Y. C.; TZEMPELIKOS, A. Efficient venetian blind control strategies considering daylight utilization and glare protection. **Solar Energy**, v. 98, p. 241–254, dez. 2013.
- DIDONÉ, E. L.; PEREIRA, F. O. R. Simulação computacional integrada para a consideração da luz natural na avaliação do desempenho energético de edificações. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 10, n.4, p. 139-154, out./dez. 2010.
- LABORATÓRIO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM EDIFICAÇÕES – LABEEE. **Arquivos climáticos em formato TRY, SWERA, CSV e BIN**. Disponível em: <<http://www.labee.ufsc.br/downloads/arquivos-climaticos/formato-try-swera-csv-bin>>. Acesso em: 01nov. 2013.
- \_\_\_\_\_. **Analysis Bio**. Versão 2.1.5. Florianópolis: LabEEE, 2009. Disponível em: <<http://www.labee.ufsc.br/downloads/softwares/analysis-bio>>. Acesso em 10 abr.2015.
- LIMA, K.M.; CARAM, R.M. Avaliação de sistemas de janela para suporte a decisões de projeto quanto ao equilíbrio de ganhos de luz e calor. Aceito para publicação. **Ambiente Construído**, 2015.
- MANZAN, M. et al. Energy and daylighting optimization for an office with fixed and moveable shading devices (L. Malki-Epstein et al., Eds.) Building Simulation and Optimization Conference. **Anais...**2014
- NIELSEN, M. V.; SVENDSEN, S.; JENSEN, L. B. Quantifying the potential of automated dynamic solar shading in office buildings through integrated simulations of energy and daylight. **Solar Energy**, v. 85, n. 5, p. 757–768, maio 2011.
- NIMER, E. **Climatologia do Brasil**. v.4. Rio de Janeiro: IBGE, 1979.
- REINHART, C. F. **DAYSIM 3.1**. Disponível em: <<http://daysim.ning.com/page/download>>. Acesso em 31mar.2014.
- RUPP, R. F.; GHISI, E. Potencial de economia de energia elétrica através do uso da luz natural e da ventilação híbrida em edifícios comerciais em Florianópolis. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 13, n.4., 75–86, 2013.
- TZEMPELIKOS, A.; ATHIENTIS, A. K. The impact of shading design and control on building cooling and lighting demand. **Solar Energy**, v. 81, n. 3, p. 369–382, mar. 2007.
- U. S. DEPARTMENT OF ENERGY. **EnergyPlus 7.2.0.006**. Disponível em: <<http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/>>. Acesso em: 02mai. 2013.
- YUN, G.; YOON, K. C.; KIM, K. S. The influence of shading control strategies on the visual comfort and energy demand of office buildings. **Energy and Buildings**, v. 84, p. 70–85, dez. 2014.

## AGRADECIMENTOS

As autoras agradecem às fundações FAPESP e CAPES pela concessão das bolsas de doutorado que permitiram a realização do trabalho.