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

A INFLUÊNCIA DOS ELEMENTOS DE SOMBREAMENTO E VIDROS NO CONSUMO DE ENERGIA EM CLIMATIZAÇÃO E ILUMINAÇÃO EM EDIFÍCIOS DE ESCRITÓRIOS

Natália Queiroz (1); Fernando Simon Westphal (2); Fernando Oscar Ruttkay Pereira(3)
(1) Mestre, Arquiteta e Urbanista, nataliaqueiroz@labcon.ufsc.br, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis-SC, Brasil.
(2) Dr, Engenheiro Civil, fernando.sw@ufsc.br, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis-SC, Brasil.
(3) PhD., Engenheiro Civil, ruttkay.pereira@ufsc.br, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis-SC, Brasil.

RESUMO
O projeto da envoltória da edificação é fundamental para o bom desempenho energético e luminoso dos ambientes internos. Dentro desse escopo, o sistema de abertura tem o grande papel de permitir ou não o contato dos espaços com a radiação solar e a luz influenciando no desempenho térmico, luminoso e energético. Os elementos de sombreamento e vidros de controle solar, apesar de largamente estudados, não são totalmente compreendidos como conjunto, devendo ser estudados com mais profundidade, considerando características óticas, geométricas e térmicas. Nesse sentido, o objetivo deste artigo é avaliar o desempenho térmico e luminoso de diferentes configurações de elementos horizontais de sombreamento associados a diversos vidros de controle solar para quatro orientações. Duas geometrias de elementos de sombreamento são consideradas: beiral e brise horizontal para quatro ângulos verticais de sombreamento (AVS), combinados a 14 vidros. O estudo utiliza o *EnergyPlus*. As simulações consideram a cidade de Florianópolis-SC. Os resultados da pesquisa apontam quais vidros apresentaram melhor balanço térmico e luminoso, discute-se equivalências entre os vidros com diferentes fatores solar e transmissão visível associados a elementos de sombreamento. Apontam que o conjunto ótico do vidro pode alterar o desempenho do elemento de sombreamento para o clima incidente. Apontam que elementos com mesmo AVS, podem apresentar resultados diferentes. A diferença está associada a reflexão da luz pelos brises, com variações que se intensificam nos AVS de 45°.
Palavras-chave: elementos de sombreamento, vidros de controle solar, consumo climatização, iluminação.

ABSTRACT
The building envelope design is fundamental for good energetic and luminous performance of internal environments. Within this scope, the opening system has the great role of allowing or not the contact of the spaces with solar radiation and light, thus influencing lighting, thermal and energy performance. Shading devices and solar control glass, although widely studied, are not completely understood, and should be studied more deeply, considering optical, geometric and thermal characteristics. In this sense, the objective of this paper is to evaluate thermal and luminous performance of different configurations of horizontal shading elements associated to several solar control glasses. Two geometries of shading elements are considered: overhangs and horizontal louvers considering four vertical shading angles (VSA), combined with 14 kind of glasses. The study utilizes EnergyPlus as an analyses tool. The simulations consider the city of Florianópolis-SC Brazil. Results indicate which glasses presented better thermal and luminous balance, discuss equivalences between the combination of glasses with different solar factors and visible transmission associated with elements of shading. They point out that the optical assembly of the glass can change the performance of shading elements for the incident climate. It indicates that even having similar VSA, overhangs and horizontal louvers can present different results associated with the light reflection by the louvers, with differences that intensify in the 45 ° VSA.
Keywords: shading devices, low-e glasses, air conditioning consumption, lighting

1. INTRODUÇÃO

O projeto dos elementos de sombreamento é influenciado por aspectos climáticos e geométricos, como a posição da Terra em relação ao sol, latitude e o clima incidente. Em relação ao desempenho das edificações, os elementos de sombreamento, se bem projetados, podem colaborar com a redução principalmente do consumo de resfriamento. O projeto também pode contribuir com a melhor distribuição da luz, e controle de aspectos de conforto térmico e luminoso, tais como, temperatura interna, desconforto térmico localizado e o controle de ofuscamento (VALLADARES-RENDÓN, 2017). Além do mais, pode gerar uma proteção para privacidade, ser utilizado para permitir o escurecimento do ambiente, modular o contato visual com exterior, e possibilitar o uso de vidros com uma boa reprodução de cor do exterior. Elementos de sombreamento também geralmente devem atender aspectos como: baixo custo, apelo estético, concordância com as condições locais e permitir proteção a fogo, ruído, e do tempo. O uso desses elementos é vital para fachadas. Principalmente as largamente envidraçadas, com vistas a conservação de energia dos edifícios (IEA, 2015; AL-MASRANI, 2018).

O projeto de elementos de sombreamento é complexo e envolve uma grande quantidade de variáveis interconectadas, cujo muitas vezes, apresentam entre si de maneira conflituosa no problema de projeto. Por exemplo, proteção da radiação solar e a viabilidade de iluminação natural. Um elemento de controle solar, deve evitar sobreaquecimento provocado pelo sol e ao mesmo tempo, não prejudicar a viabilidade da luz. As variáveis envolvidas devem ser analisadas considerando múltiplos critérios, para responder e colaborar com soluções para os conflitos apresentados. (KIRIMBAT, 2016; VALLADARES-RENDÓN, 2017; AL-MASRANI, 2018).

Esses dispositivos podem ser externos e internos, e também podem ser fixos ou móveis. Os elementos sombreamento são alvos de várias pesquisas que foram mencionadas por Kirimtat, (2016), que levantou 109 artigos sobre desempenho de elementos de sombreamento desde 1996. Suas conclusões apontam que a ferramenta do *Energyplus* é a mais utilizada para realizar estudos de simulações computacionais. Os estudos são categóricos a comprovar a importância do uso de elementos de sombreamento, mesmo quando associados a vidros de controle solar, ou mesmo, vidros dinâmicos, ou até, para climas mais frios (KIRIMTAT, 2016; KARLSEN, 2016).

Associado a importância do elemento de sombreamento, o projeto da abertura deve considerar a escolha de bons vidros. E dessa forma, apresentar uma combinação entre a proteção da radiação direta do sol e a proteção da radiação indireta, a qual o elemento de sombreamento tem pouca influência. As propriedades térmicas e óticas do vidro devem ser consideras, sendo que também apresentam uma característica conflituosa para o projeto, uma vez que, o vidro deve proteger a edificação da radiação solar e ao mesmo tempo permitir a entrada de boa parte do espectro de luz visível (SCHITTICH, 2015).

Considerando os artigos citados por Kirimbat (2016), nota-se a falta de estudos que abordem o desempenho de elementos de sombreamento, suas características óticas e geométricas, associados a diferentes tipos de vidros. A maior parte da literatura pesquisada contrapõe o uso de elementos de sombreamento e a área de envidraçamento, não exatamente o tipo do vidro. A pesquisa apresentada por Tzempelikos (2007), por exemplo, busca a área de envidraçamento associada a elementos de sombreamento para um bom desempenho térmico e luminoso. Geralmente as pesquisas não se aprofundam nas propriedades óticas do conjunto elemento de sombreamento mais vidro (TZEMPELIKOS, 2007; KIRIMTAT, 2016). A pesquisa apresentada por Inoue (2003) confronta o uso de vidros dinâmicos somados ao uso de elementos de sombreamento. Seus testes indicam que a combinação ajuda no conforto localizado, redução do consumo de energia e melhor aproveitamento da luz natural nos espaços. Suas conclusões apontam a possibilidade de variação do fator solar das janelas e níveis de transparência quando a fachada está associada a elementos de sombreamento.

2. OBJETIVO

O objetivo deste artigo é obter a análise paramétrica e discutir equivalências entre os usos de 14 vidros associados a 8 diferentes configurações de elementos de sombreamento horizontais para quatro orientações. Outros objetivos deste estudo são selecionar os melhores casos entre a combinação de elementos de sombreamento e o uso de vidros com diferentes fatores solar e transmissão visível. Identificar diferenças entre elementos de sombreamento com mesmo ângulo vertical de sombreamento (AVS), porém configurações geométricas diferentes.

2.1 Método e limitações do *EnergyPlus* para cálculos de iluminação

O *EnergyPlus* foi desenvolvido a partir da combinação de dois softwares de simulação reconhecida: *Blast* e *DOE*-2. O modelo de iluminação origina DOE-2. Fatores de luz do dia (DF) são calculados para quatro tipos diferentes de céu: nublado, ensolarado, céu claro, uniformemente nublado. A luminosidade do céu é representada pela superposição e interpolação de até dois modelos de céu, usando a abordagem descrita por Perez et al. 1990 (CRAWLEY, 2000).

O software tem dois métodos de cálculo para iluminação: Splitflux e delight. No Splitflux, a iluminação transmitida através da janela é dividida em dois vetores. Um descendente, que atinge o chão e partes das paredes; e outro para cima, que atinge o teto e partes das paredes também. Uma fração desses fluxos luminosos é absorvida pelas superfícies usando um cálculo de média ponderada por área. No método Splitflux o EnergyPlus realiza o cálculo completo da iluminância para dois pontos de referência e aplica esses valores para outros pontos necessários através de fatores de ponderação. Este cálculo é executado se a opção "com reflexões" é usada no componente “Building”, na opção “Solar Distribution”.

O trabalho de Ramos et al. (2010) traça uma comparação entre *EnergyPlus* e *Radiance*, avaliando o índice de UDI e DF para três proporções de ambientes. O trabalho aponta uma limitação do *EnergyPlus* associado ao decaimento da luz em ambientes profundos. Acosta, et al (2015), por sua vez, testou várias ferramentas usando o protocolo de 171:2006 da CIE para simulação de iluminação natural. O *EnergyPlus* foi testado com base na interface do *DesignBuilder*. Suas conclusões, apontam para uma média de erro máxima de 14,00%, embora este valor atinga 40,00% em determinados pontos. Os autores deduziram que o *EnergyPlus* oferece um modelo de céu preciso e facilita um cálculo aproximado, tendendo a divergir quando a geometria é complexa.

Complementando, testes realizados pelos autores deste artigo ao comparar simulações do *EnergyPlus* e *Radiance* para 162 pontos em uma sala hipotética com proporção de 1:2, associado a três vidros e diferentes refletâncias internas, demostram que mesmo nos casos com maior disparidade, há uma similaridade nos valores de iluminância na primeira metade da sala próxima a janela, sendo que os maiores desvios ocorrem no fundo do ambiente. Nesse sentido, apesar das limitações, os autores deste artigo consideram que o *EnergyPlus* pode ser utilizado em simulações que incluem iluminação natural, para exigências menos pragmáticas e com critérios simplificados.

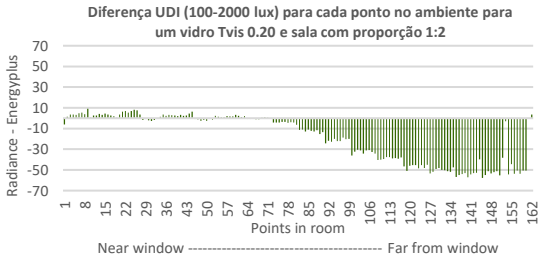


Figura 1 – Difergença dos resultados entre o *Radiance* e o *Energyplus* para valores de UDI para 162 pontos em um ambiente com proporção de 1:2 para uma janela com vidro com Tvis 0.2.

3. MÉTODO

Para avaliar o desempenho dos elementos de sombreamento, as simulações combinam dados de consumo de condicionamento e de iluminação para um sistema dimerizado utilizando o software *Energylplus*. As etapas práticas deste trabalho foram divididas em 3 partes: estabelecimento de um caso-base, simulação integrada, leitura e tratamento de dados.

3.1 Estabelecimento do caso-base

O caso-base é um modelo de sala comercial com dimensões de 7,00 x 4,50 x 3,00m, totalizando 31,5 m² localizado na cidade de Florianópolis-SC. Possui uma parede na menor direção com abertura expostas ao sol e vento. A janela é centralizada com dimensões de 2,00 x 4,00m, representando um PAF (Percentual de Abertura) de 60%. Todas as outras superfícies foram consideradas adiabáticas. O sistema construtivo utilizado está especificado na tabela 1. As refletâncias das paredes internas é de 0,7, sendo 0,6 para piso e forro. As refletâncias adotadas para os elementos de sombreamento foram de 0,65.

Associado ao caso-base, foram utilizadas 9 variações de elementos de sombreamento externo para 4 orientações (Norte, sul, leste e oeste) e 14 vidros distintos selecionados com base no Fator Solar, e Transmissão de Luz Visível (Tvis) (tabela 2, figura 2). A janela não possui persianas internas. As

combinações dos elementos de sombreamento foram: sem elemento de sombreamento; com um elemento de beiral para quatro ângulos verticais de sombreamento (15°, 30°, 45°, 60°); e com um elemento de brise horizontal fixo com 10 aletas igualmente distribuídas ao longo e a frente da janela também para quatro ângulos de sombreamento (15°, 30°, 45°, 60°). O controle das simulações será para a janela sem sombreamento.

Tabela 1: Sistema construtivo.

	Material	**Condutividade (W/m.K)**	**Densidade (kg/m³)**	**Calor específico (J/kg.K)**
Parede externa	Placa cimentícia	0,95	1800	840
	Lã de vidro	0,045	100	700
	Concreto	1,75	2200	1000
	Gesso	0,35	875	840
Laje (piso e teto)	Adiabático	Adiabático	Adiabático	Adiabático
Parede interna	Adiabático	Adiabático	Adiabático	Adiabático

Tabela 2: Vidros especificados.

	Fabricante	**Produto**	**U (W/m²K)**	**Fator solar**	**TVis**
01		Simples 6mm	5.792	0.88	0.88
02	CEBRACE	Cinza 6mm	5.792	0.61	0.43
03	GUARDIAN	Neutral 70 clear	5.630	0.59	0.72
04	GUARDIAN	Light Blue 52 clear	5.560	0.57	0.52
05	CEBRACE	COOL-LITE ST 136 6mm	5.566	0.46	0.37
06	CEBRACE	COOL-LITE SKN 174 6mm	3.225	0.43	0.76
07	GUARDIAN	NP 50 clear	5.630	0.39	0.47
08	CEBRACE	COOL-LITE SKN 165 6mm	3.225	0.35	0.67
09	GUARDIAN	AG 43 clear	5.630	0.35	0.39
10	CEBRACE	COOL-LITE SKN 154 6mm	3.139	0.29	0.55
11	GUARDIAN	Silver 20 clear	4.880	0.28	0.20
12	CEBRACE	Cool Lite 114 PN	5.700	0.27	0.13
13	GUARDIAN	SNL 37 Clear	5.630	0.26	0.33
14	GUARDIAN	Neutral 14 clear	4.240	0.22	0.14



Figura 2 – Fator Solar e transmissão visível dos vidros escolhidos.

3.2 Simulação integrada

O *EnergyPlus* permite ambas análises térmica e de iluminação. Para integrar as análises térmicas e de iluminação, o cômputo de consumo foi considerado, ou seja, foram estimados o consumo de resfriamento, aquecimento e de iluminação. A simulação no *EnergyPlus* utilizou dados de carga térmica (*ideal loads*) para estabelecer as demandas de resfriamento e aquecimento. Para a estimativa de consumo a valor da demanda (carga térmica) foi divido pela eficiência de um aparelho hipotético com COP de 3,5. O *set point* estabelecido para temperatura foi de 24°C para resfriamento e 18°C para aquecimento. Para estabelecer as iluminâncias internas, foi utilizado o método *Split flux*. Foi considerado um sistema dimerizado ideal. O sensor foi localizado no centro da sala a uma altura de 0.8 m. O *set point* de iluminância para o sistema dimerizado foi de 500 lux. Com base nas combinações apresentadas no tópico anterior, foram realizadas um total de 504 simulações. Os parâmetros para ganho térmico interno e as rotinas utilizadas estão especificadas na Tabela 3 e Figura 3.

Tabela 3: Parâmetros para ganho térmico interno.

Especificações gerais	Valor	Und.
Pessoas	0.1	Pessoa/m²
Equipamentos	9.7	W/m²
Iluminação	11	W/m²
Infiltração	0.0001	m³/s

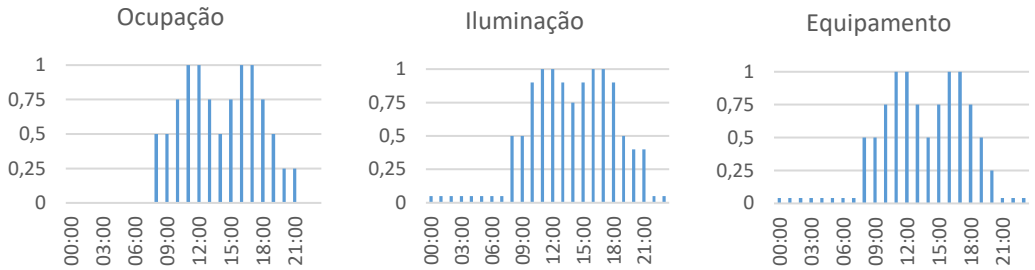


Figura 3 – Rotinas utilizadas na simulação computacional.

3.3 Tratamento dos dados

Os dados de todas simulações foram compilados em um único arquivo .CSV para cada orientação com ajuda de um *script* gerado no plugin *Grasshopper* para *Rhinoceros 3D*. Foram realizados três tipos de análise: análise de consumo, análise dos melhores casos e análises das diferenças entre brise e beiral.

A primeira, a análise do consumo, utilizou como indicador de desempenho, o somatório total anual do consumo de resfriamento, aquecimento e iluminação artificial *versus* o consumo do sistema de iluminação. Esta análise permite compreender as equivalências entre o uso de elementos de sombreamento propostos combinados ao uso dos vidros com diferentes fatores solar e transmitância visível. E também permite interpretar a demanda de iluminação provocada pelo conjunto vidro e elemento de proteção externo.

O segundo, análise dos melhores casos, teve como critério as ocorrências dentro da margem de 10% em relação ao melhor caso em cada orientação simulada. Esta etapa permite elencar e discutir os casos "ótimos" para o clima analisado em diferentes orientações.

O terceiro, análise das diferenças entre brise e beiral, teve como critério a diferença percentual calculada através da equação 1. Esta etapa compara casos similares e identifica diferenças entre o uso de beirais e brises horizontais com mesmo ângulo vertical de sombreamento.

$$Dif(\%) = \left(1 - \frac{x_{n.beiral}}{x_{n.brise}}\right) * 100 \qquad \text{Equação 1}$$

Onde:

Dif(%) é a diferença percentual entre o consumo de beiral e brise para um determinado vidro e AVS;

$x_{n.beiral}$ é o resultado do consumo total de um determinado vidro e AVS para o beiral;

$x_{n.brise}$ é o resultado do consumo total de um determinado vidro e AVS para o brise.

4. RESULTADOS

Os resultados foram divididos em três momentos: primeiro, a análise do desempenho térmico-luminoso-energético, com o objetivo entender as equivalências dos casos e padrões de desempenho para cada orientação. Segundo os melhores casos, que identifica e discute as melhores combinações dentre os simulados. Terceiro, diferenças encontradas entre os elementos de beiral e de brise horizontal para os mesmos ângulos de sombreamento. Este último, aponta diferenças entre elementos de sombreamento com ângulos similares.

4.1 Análise do desempenho térmico-luminoso

Dois indicadores de desempenho foram considerados para análise do desempenho térmico-luminoso: o consumo total de resfriamento, aquecimento e iluminação, e o consumo de iluminação em separado. O primeiro possibilita estabelecer o desempenho geral dos vidros associados ao elemento de sombreamento. O segundo permite discutir o desempenho luminoso do conjunto vidro e elemento de sombreamento.

4.1.1 Fachadas Norte e Sul

A fachada norte apresentou a maior amplitude de resultados. O maior consumo ocorreu para o vidro simples sem sombreamento com 2457 KWh. O menor consumo foi apresentado para o vidro 7 (NP 50 *Clear*) para

um beiral com ângulo de sombreamento de 60°, totalizando 1136 KWh. Dentre os vidros de controle solar, o que apresentou maior consumo foi o vidro 2 (Cinza 6mm) sem sombreamento com 2162 KWh. O vidro de controle solar que apresentou o menor consumo sem uso de elemento de sombreamento foi o vidro 13 (SNL 37 *Clear*) com um total de 1522 KWh. O vidro simples apresenta a maior amplitude de desempenho associado a um elemento de sombreamento com até 50,7% de economia. Dentre os vidros de controle solar, o vidro 3, 4 e 2 apresentam a maior amplitude: 44,7%; 43,2%; 42,2% de economia respectivamente. Os vidros que demandam menos de sombreamento são os 14, 12 e 11 com 15,6%; 18,6% e 22,0% de amplitude de economia respectivamente. De acordo com os resultados, o vidro 13 sem sombreamento é compatível com o vidro 8 com um beiral de 15°, ou um vidro simples com brise de 45°. O vidro de controle solar 7 sem sombreamento seria compatível com um vidro simples associado a um beiral de 30° (Figuras 4 e 6).

A fachada Sul apresenta as menores amplitudes de consumo associado aos elementos de sombreamento e entre os vidros. O caso com maior consumo registrado é o do vidro 12 (Cool Lite 114 PN) associado a um beiral de 45°. Os vidros 11, 12 e 14 apresentaram consumos mais altos quando associados a elementos de proteção se comparados a janela sem sombreamento. Também são os vidros que apresentam maiores consumos para o sistema de iluminação e por essa razão, no consumo total. O caso que registrou menor consumo é o vidro 7 associado a um brise de 45° com consumo de 1123 KWh. Este consumo, porém é similar ao do mesmo vidro sem elementos de sombreamento, com 1170KWh. As maiores reduções de consumo para fachada sul variaram de 17,8% para vidros simples, até 5,9% para o vidro 14. (Figuras 5 e 7).

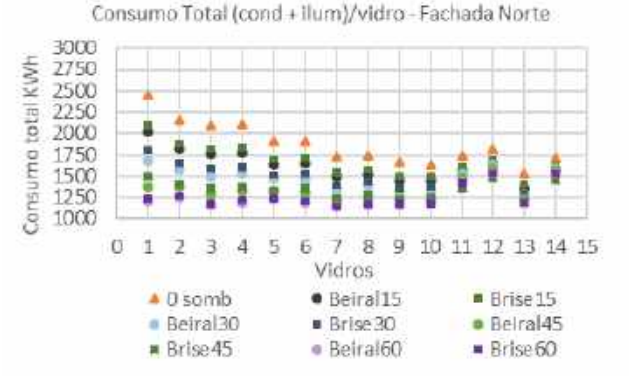


Figura 4 – Consumo total para fachada Norte.

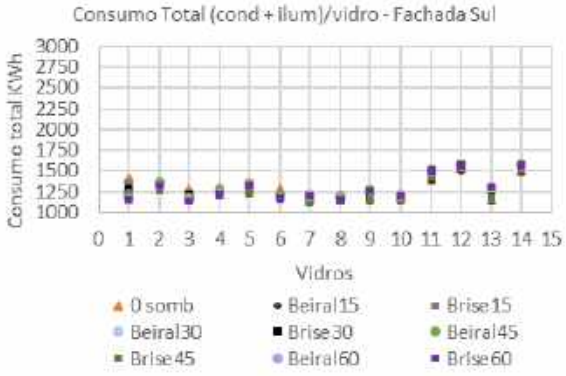


Figura 5 – Consumo total para fachada Sul.

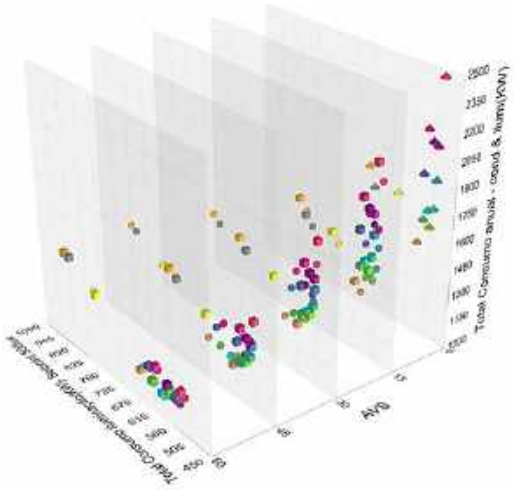


Figura 6 – Consumo total versus consumo de iluminação para fachada Norte para os diferentes ângulos de sombreamento.

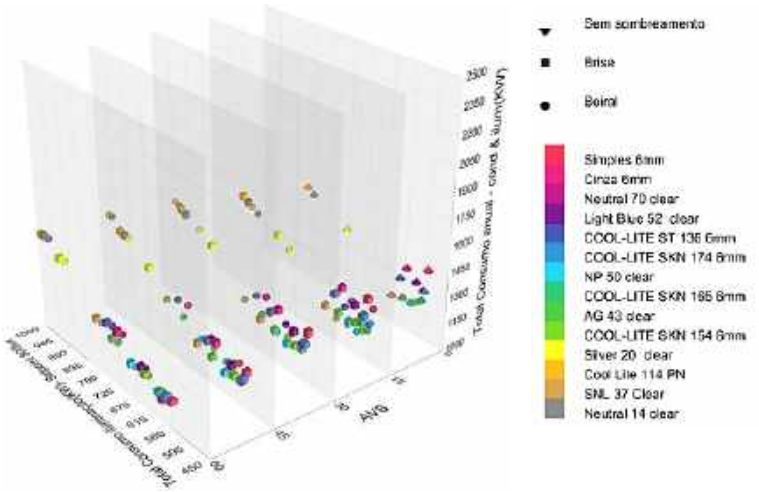


Figura 7 – Consumo total versus consumo de iluminação para fachada Sul para os diferentes ângulos de sombreamento.

4.1.2 Fachadas Leste e Oeste

A fachada leste apresenta reduções de consumo associados aos elementos de sombreamento que variaram entre 42,2% para o vidro simples a 11,0% para o vidro 14 (Neutral 14 *Clear*). O caso que apresenta maior consumo é o vidro simples sem elemento de sombreamento com consumo de 2238 KWh. A combinação que

apresenta menor consumo é do vidro 7 utilizando um beiral e brise com 60°, com consumo de 1213 kWh e 1216 KWh respectivamente. Os vidros 8, 9, 10 e 13 para a mesma combinação de sombreamento apresentaram consumo similar. O vidro 7 sem sombreamento tem consumo compatível ao de um vidro simples com beiral de 30° de AVS. Assim como nos casos anteriores, os vidros 11, 12 e 14, estão associados aos maiores consumos do sistema de iluminação (Figuras 8 e 10).

A fachada oeste apresenta amplitude dos resultados de consumo similares as da fachada leste, com valores de economia que variam entre 43,6% para o vidro simples e 10,9% para o vidro 14 (Neutral 14 *Clear*). O caso que apresenta maior consumo é o do vidro simples sem elemento de sombreamento com consumo de 2233 KWh. O caso com menor consumo é o do vidro 7 associado a um elemento de sombreamento de Beiral com 60°, totalizando 1138 KWh, os vidros 9, 10 e 13 para a mesma combinação tiveram resultados de consumo similares. Assim como nas orientações anteriores, os vidros 11, 12 e 14 obtiveram maior consumo associado ao sistema de iluminação (Figuras 9 e 11).

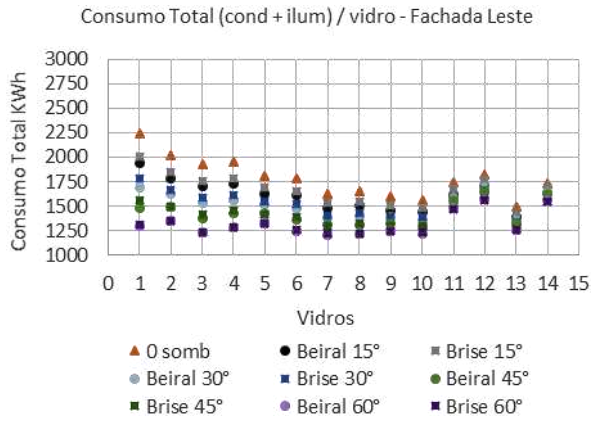


Figura 8 – Consumo total para fachada Leste.

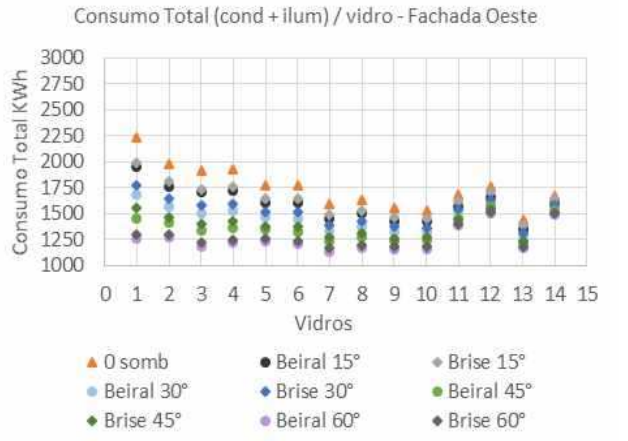


Figura 9 – Consumo total para fachada Oeste.

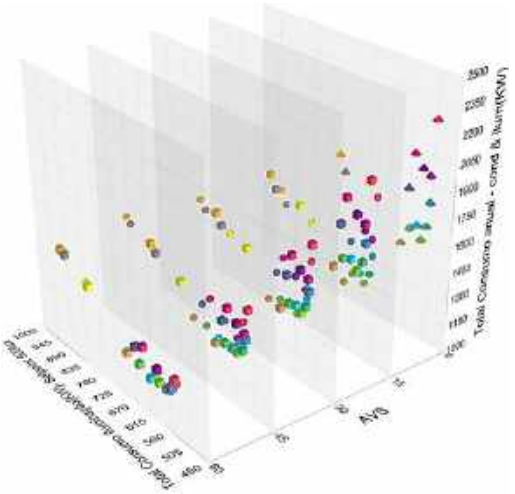


Figura 10 – Consumo total versus consumo de iluminação para fachada Leste para os diferentes ângulos de sombreamento.

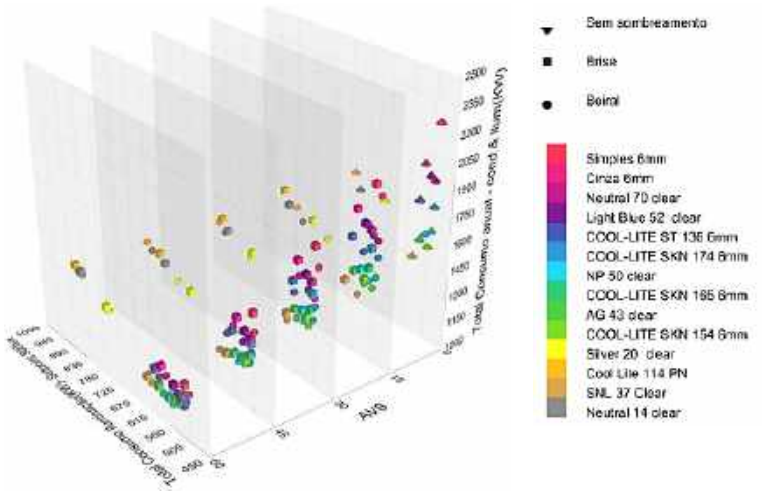


Figura 11 – Consumo total versus consumo de iluminação para fachada Oeste para os diferentes ângulos de sombreamento.

4.2 Melhores casos

Com base no consumo da melhor combinação, foram selecionados casos que ficam dentro da margem de 10% como sendo os melhores. Em Florianópolis, a fachada sul apresenta mais casos dentro desta margem. Foram 60 casos de 126 simulados. Sendo que também apresenta casos que dispensam elementos de sombreamento, os vidros 7, 8, 9, 10 e 13 (Figura 13). A Fachada Norte apresentou 28 casos dentre os com menor consumo, os vidros 7, 9 e 13 são os que apresentam melhor desempenho quando associados a um elemento de sombreamento com 45° de AVS (Figura 12). A fachada leste apresenta 30 casos, sendo os vidros 7, 8, 9, 10 e 13 os que melhor desempenham associados também a um elemento de sombreamento de 45° (Figura 14). A fachada oeste apresentou menos casos, 22. Os vidros 7, 9, 10 e 13 são os que desempenham melhor (Figura 15).

A reflexão dos elementos de sombreamento provoca um aumento de carga térmica associada ao uso do brise horizontal, se comparado ao elemento de beiral. Por essa razão, existem casos que nas fachadas Norte, leste e oeste aparecem combinações onde apenas o beiral entra no grupo de melhores casos (figuras 12, 14 e 15). Ou seja, brises com os mesmos ângulos de sombreamento, não desempenharam de forma similar aos beirais de acordo com as simulações. Por razão similar, na fachada Sul, com menos contato com a radiação direta, houve casos em que os brises horizontais desempenharam melhor que o beiral. Nestes, a simulação indica que os brises funcionam como prateleira de luz, reduzido demanda de consumo do sistema de iluminação com economias de até 17% para este sistema. Este comportamento foi verificado principalmente em brises com AVS de 45º (ver item 3.3).

De maneira geral, os vidros 7, 9 e 13 são os que apresentam mais casos dentre os melhores para Florianópolis, indicando boa relação entre o consumo de energia e seu desempenho térmico e luminoso.

		15		30		45		60	
Vidros	0	Beiral	Brise	Beiral	Brise	Beiral	Brise	Beiral	Brise
1								✓	✓
2								✓	
3								✓	✓
4								✓	✓
5								✓	✓
6								✓	✓
7						✓	✓	✓	✓
8								✓	✓
9						✓	✓	✓	✓
10						✓		✓	✓
11									
12									
13						✓	✓	✓	✓
14									

Figura 12 – Melhores casos para fachada Norte.

		15		30		45		60	
Vidros	0	Beiral	Brise	Beiral	Brise	Beiral	Brise	Beiral	Brise
1						✓	✓	✓	✓
2									
3		✓		✓	✓	✓	✓	✓	✓
4							✓	✓	✓
5							✓		
6		✓		✓	✓	✓	✓	✓	✓
7	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
8	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
9	✓	✓	✓	✓	✓		✓		
10	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
11									
12									
13	✓	✓	✓		✓		✓		
14									

Figura 13 – Melhores casos para fachada Sul.

		15		30		45		60	
Vidros	0	Beiral	Brise	Beiral	Brise	Beiral	Brise	Beiral	Brise
1								✓	✓
2									
3								✓	✓
4								✓	✓
5								✓	✓
6								✓	✓
7						✓	✓	✓	✓
8						✓	✓	✓	✓
9						✓	✓	✓	✓
10						✓	✓	✓	✓
11									
12									
13						✓	✓	✓	✓
14									

Figura 14 – Melhores casos para fachada Leste.

		15		30		45		60	
Vidros	0	Beiral	Brise	Beiral	Brise	Beiral	Brise	Beiral	Brise
1									
2									
3								✓	✓
4								✓	✓
5								✓	
6								✓	✓
7						✓		✓	✓
8								✓	✓
9						✓		✓	✓
10						✓		✓	✓
11									
12									
13						✓	✓	✓	✓
14									

Figura 15 – Melhores casos para fachada Oeste.

4.3 Diferenças entre elementos horizontais de beiral e brise

Em decorrência do resultado anterior, as diferenças entre os consumos de beiral e brises foram computadas. A intenção é encontrar padrões que colaborem com a compreensão do funcionamento de um elemento de sombreamento associado a vidros de controle solar. Os resultados foram separados por vidro e ângulo de sombreamento. Os indicadores positivos apontam melhor funcionamento para o elemento de beiral, já os negativos, para o brise. Os resultados estão em valores percentuais.

Os vidros com maior Fator Solar, em geral, desempenharam melhor quando associados a um elemento de beiral. Este padrão ocorre para as fachadas norte, leste e oeste. (Figuras 16, 18 e 19). Os casos em que a disponibilidade de radiação é reduzida, seja porque o vidro tem baixo Fator Solar, ou porque a fachada tem pouco contato com a radiação solar direta, são os casos que o brise desempenha melhor. Isso ocorre porque o brise em relação ao beiral contribuiu com a redução do consumo de iluminação, funcionando como "prateleira de luz" (Figuras 16, 17, 18). Destaca-se que são os brises com ângulo de sombreamento de 45° os que intensificam o efeito de deflexão da luz para dentro do ambiente. Essa diferença, chegou a 11% do consumo em relação ao beiral na fachada sul (vidro 13), 9% na fachada norte (vidros, 11 e 14) e 5% na

fachada leste (vidros 11 e 14). Os ângulos de sombreamento de 30° também apresentam diferenças significativas. Já o ângulo de 60° não produz este efeito.

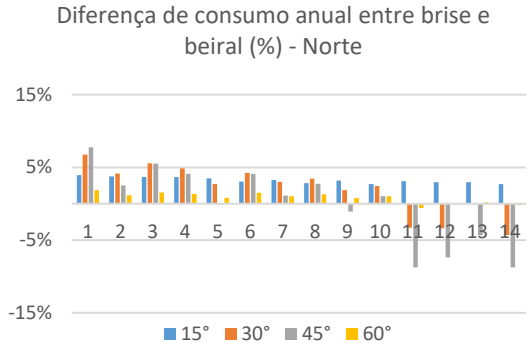


Figura 16 – Diferenças para fachada Norte.

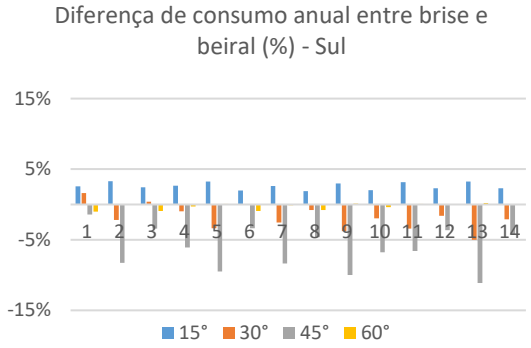


Figura 17 – Diferenças para fachada Sul.

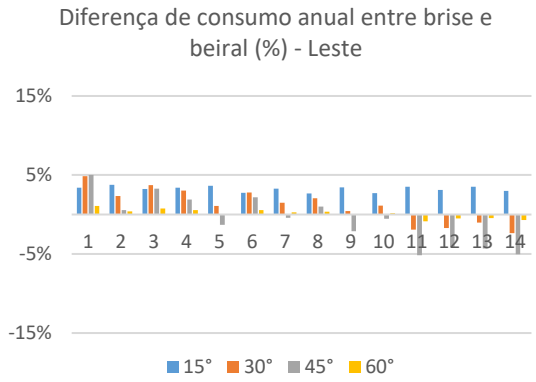


Figura 18 – Diferenças para fachada Leste.

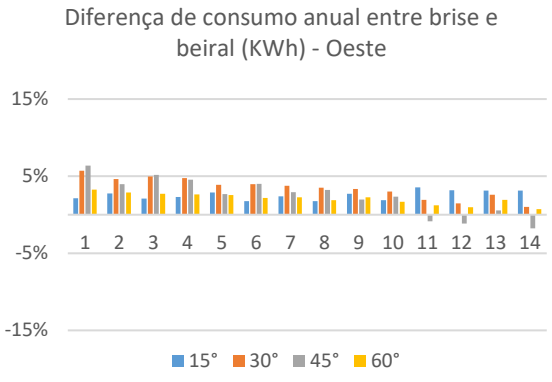


Figura 19 – Diferenças para fachada Oeste.

5. CONCLUSÕES

Este artigo apresenta o início de um estudo que visa a compreensão do funcionamento do conjunto ótico do vidro e elementos de sombreamento. Teve como objetivo traçar a análise paramétrica e identificar diferenças de funcionamento para o desempenho térmico e luminoso de diferentes tipos de vidro associados a elementos de sombreamento.

Os objetivos do estudo foram alcançados ajudando na compreensão do desempenho de aberturas para a cidade de Florianópolis. Os resultados indicam que a análise do desempenho da abertura deve considerar o conjunto do vidro e elemento de sombreamento, sendo que as variações de soluções e alternativas devem ocorrer de maneira integrada e de forma multicritériosa. A análise isolada do vidro e do elemento de sombreamento, ou do desempenho térmico ou luminoso, podem gerar uma compreensão reduzida do funcionamento, gerando resultados parciais, menos precisos.

Os dados apontam que vidros com Fator Solar mais alto, podem ter desempenho similar a vidros de controle solar mais exigentes quando combinados a elementos de sombreamento, e demonstra a sensibilidade da combinação. Os vidros menos transparentes e com fator solar mais baixo, como os vidros 11, 12 e 14 não obtiveram desempenho desejado para os parâmetros desta análise no clima de Florianópolis em decorrência da baixa luminosidade e por exigir maior demanda do sistema de iluminação.

A geometria do elemento de sombreamento e sua propriedade ótica influenciam no desempenho e devem ser considerados no projeto. Os resultados apontam que a mera consideração sobre o ângulo de sombreamento é insuficiente para definir a performance do elemento de sombreamento. O seu desempenho também está associado a escolha do vidro, podendo este, alterar características do funcionamento do elemento de sombreamento.

Os resultados indicam que para Florianópolis os vidros 7, 9 e 13 em geral desempenham bem para todas as orientações simuladas. Os vidros 7, 8, 9, 10 e 13 dispensam uso de elemento de sombreamento na fachada sul. As diferenças entre os elementos de brise e beiral indicam que em situações com maior entrada

de radiação solar, o beiral desempenha melhor. Já em situações com menos entrada de radiação solar, o brise desempenha melhor. A refletância do elemento de sombreamento influência no resultado. Ora, demanda do consumo de resfriamento por direcionar a radiação direta para o interior, aumentando a carga térmica, ora reduz o consumo de iluminação por direcionar a luz para dentro do ambiente. O ângulo de 45° é o que apresenta essas características de maneira mais pronunciada.

O *Energyplus* para esta análise foi considerado satisfatório, uma vez que, o sistema de iluminação foi controlado por um sensor localizado num ponto da sala que os testes prévios e pesquisas anteriores demostraram apresentar menos desvios nos cômputos de iluminância.

Pesquisas futuras podem integrar uma análise de ofuscamento e custo benefício ao estudo para melhorar a abordagem e seleção de melhores casos. Outras orientações solares, como a nordeste, sudeste, noroeste e sudoeste podem ser consideradas para aumentar a compreensão do desempenho de elementos de sombreamento. Nesse sentido, elementos de sombreamento verticais também devem ser considerados. Análises em laboratório *in loco* são desejadas para aferir os resultados da pesquisa.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACOSTA, Ignacio et al. Analysis of the accuracy of the sky component calculation in daylighting simulation programs. **Solar Energy**, v. 119, p. 54-67, 2015.

AL-MASRANI, Salwa M. et al. Design optimisation of solar shading systems for tropical office buildings: Challenges and future trends. **Solar Energy**, v. 170, p. 849-872, 2018.

CRAWLEY, Drury B. et al. Energy plus: energy simulation program. **ASHRAE journal**, v. 42, n. 4, p. 49-56, 2000.

KARLSEN, Line et al. Solar shading control strategy for office buildings in cold climate. **Energy and Buildings**, v. 118, p. 316-328, 2016.

KIRIMTAT, Ayca et al. Review of simulation modeling for shading devices in buildings. **Renewable and Sustainable Energy** Reviews, v. 53, p. 23-49, 2016.

IEA, **Technology Roadmap-Energy efficient building envelopes**. IEA, 2015.

INOUE, Takashi. Solar shading and daylighting by means of autonomous responsive dimming glass: practical application. **Energy and buildings**, v. 35, n. 5, p. 463-471, 2003.

PEREZ, Richard et al. Modeling daylight availability and irradiance components from direct and global irradiance. **Solar energy**, v. 44, n. 5, p. 271-289, 1990.

RAMOS, Greici; GHISI, Enedir. Analysis of daylight calculated using the EnergyPlus programme. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 14, n. 7, p. 1948-1958, 2010.

SCHITTICH, Christian et al. **Glass construction manual.** Walter de Gruyter, 2012.

TZEMPELIKOS, Athanassios; ATHIENITIS, Andreas K. **The impact of shading design and control on building cooling and lighting demand**. Solar energy, v. 81, n. 3, p. 369-382, 2007.

VALLADARES-RENDÓN, L. G.; SCHMID, Gerd; LO, Shang-Lien. Review on energy savings by solar control techniques and optimal building orientation for the strategic placement of façade shading systems. **Energy and Buildings**, v. 140, p. 458-479, 2017.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao apoio financeiro da FAPESC (Fundação de Amparo à pesquisa do estado de Santa Catarina), do CNPq (Proc. 307179/2016-8) e da CAPES para o desenvolvimento desta pesquisa.