



XVI ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO

Desafios e Perspectivas da Internacionalização da Construção
São Paulo, 21 a 23 de Setembro de 2016

AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO TÉRMICO E LUMÍNICO DE ELEMENTOS DE CONTROLE SOLAR PROJETADOS ATRAVÉS DE MODELAGEM PARAMÉTRICA¹

CARTANA, Rafael Prado (1); PEREIRA, Fernando Oscar Ruttakay (2); BERTÉ, Eduardo João (3)

(1) UNIVALI/UFSC, e-mail: cartana@univali.br; (2) UFSC, e-mail: ruttkay.pereira@ufsc.br;
(3) UNIVALI, e-mail: eduardoberte@univali.com

RESUMO

Considerando a importância da radiação solar e iluminação natural no desempenho das edificações, juntamente aos recentes avanços da computação, como a geração paramétrica de geometrias complexas e sua avaliação por simulação computacional, o presente trabalho tem como objetivo avaliar o desempenho térmico e lumínico de elementos de controle solar projetados através de modelagem paramétrica. Como metodologia foram desenvolvidos modelos de elementos de controle utilizando a suíte Rhinoceros+Grasshopper. Tais modelos foram avaliados empregando os aplicativos Diva-for-Rhino e Autodesk Ecotect Analysis. O desempenho térmico foi avaliado por meio da admissão da radiação solar incidente e de máscaras de sombra, enquanto o desempenho lumínico foi avaliado pela admissão e distribuição da luz natural, utilizando as medidas: FLD (Fator de Luz Diurna), DA (Daylight Autonomy) e UDI (Useful Daylight Illuminances). Como principais resultados, os elementos que possuem componentes direcionais foram os únicos que apresentaram capacidade seletiva de admissão de radiação entre inverno e verão. Os elementos que possuem componentes horizontais apresentaram distribuições mais homogêneas da iluminação natural. Como principais conclusões, os resultados demonstram que apesar das possibilidades computacionais de geração e simulação de formas complexas, reforça-se a importância da compreensão da geometria da insolação para o desempenho dos elementos de controle solar.

Palavras-chave: Elementos de controle solar. Modelagem paramétrica. Desempenho térmico e lumínico. Radiação solar.

ABSTRACT

Considering the importance of solar radiation and daylight in buildings performance, along with recent advances in computing, such as parametric generation of complex geometries and their evaluation by computational simulation, this paper aims to evaluate the thermal and luminic performance of solar control devices designed using parametric modeling. As methodology were developed models of solar control devices using the suite Rhinoceros+Grasshopper. These models were evaluated using the DIVA-for-Rhino and Autodesk Ecotect Analysis tools. Regarding to thermal performance were evaluated the incident solar radiation and its shadow masks. Regarding the luminic performance were evaluated the daylight admission and distribution in a test environment using the metrics: DF

¹ CARTANA, R.P.; PEREIRA, F.O.R.; BERTÉ, E.J.. Avaliação de desempenho térmico e lumínico de elementos de controle solar projetados através de modelagem paramétrica. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 16., 2016, São Paulo. **Anais...** Porto Alegre: ANTAC, 2016.

(Daylight Factor), DA (Daylight Autonomy) and UDI (Useful Daylight Illuminances). As main results, the devices that have directional components were the only ones who presented a selective capacity regarding solar radiation admission between winter and summer. The devices which have horizontal components provided more homogeneous distribution of daylight. As main conclusions, the results showed that despite the computational possibilities of generation and simulation of complex shapes, is reinforced the importance of solar geometry understanding for the performance of solar control devices.

Keywords: Solar control devices. Parametric modeling. Thermal and luminic performance. Solar radiation.

1 INTRODUÇÃO

Os elementos de controle solar desempenham importante papel no comportamento ambiental das edificações, principalmente em climas onde se faz necessária a admissão seletiva da radiação solar direta. Sendo os envelopes construtivos, responsáveis pelas trocas térmicas com o meio, assim como a admissão de luz natural; o desempenho ambiental dos sistemas de fachadas vem se tornando cada vez mais importante na arquitetura, principalmente devido ao aumento da proporção de áreas envidraçadas nos edifícios atuais (BADER, 2010; FAJKUS, 2013; CHO; YOO; KIM, 2014).

Considera-se relevante, ainda, que o emprego de ferramentas digitais se estabeleceu nas últimas décadas como um dos principais direcionadores de exploração na arquitetura contemporânea (CASTLE, 2013). Neste contexto, as tecnologias digitais vêm se tornando cada vez mais importantes não apenas para uma representação gráfica ágil e precisa, mas também no auxílio às decisões de projeto, através do emprego integrado de recursos como modelagem paramétrica e simulação computacional.

A modelagem paramétrica é um recurso computacional que permite definir relações entre elementos ou grupos de elementos, aplicando valores ou expressões para organizar e controlar estas definições (TAGLIARI; FLORIO, 2009; DUNN, 2012). A variabilidade de soluções paramétricas facilita a avaliação de diversas alternativas de projeto antes da escolha de uma solução definitiva (KOLAREVIC; MALKAWI, 2005). Nestas situações, a simulação computacional surge como importante ferramenta de auxílio à tomadas de decisão.

A suíte Rhinoceros 3D+Grasshopper, aplicativos utilizados neste trabalho, possibilitam a modelagem paramétrica de formas complexas. O Rhinoceros3D tem como principal característica a capacidade de trabalhar com NURBS (Non Uniform Rational Basis Splines), possibilitando descrever uma infinidade de formas orgânicas. O plug-in de modelagem paramétrica Grasshopper consiste em um editor visual de programação computacional que permite a manipulação dos elementos de lógica em forma gráfica e não textual (AKOS; PARSONS, 2014).

Para as avaliações de desempenho térmico e lumínico foram empregados índices e medidas relativos à radiação solar e à iluminação natural. Para as simulações foi utilizado o plug-in DIVA-for-Rhino, capaz de produzir mapas de radiação e medidas de iluminação natural baseadas em dados climáticos,

juntamente com o aplicativo Ecotect Analysis, que oferece funcionalidades como a geração automática de máscaras de sombra.

Em relação à iluminação natural foram empregadas as medidas dinâmicas: Autonomia da Iluminação Natural (DA) e UDI - *Useful Daylight Illuminances*, juntamente com medida estática, Fator de Luz diurna (FLD). As medidas dinâmicas são assim denominadas por utilizarem condições realísticas da variação de céu e insolação ao longo do tempo, fornecendo resultados para cada hora do ano em cada ponto considerado no ambiente (NABIL; MARDALJEVIC, 2006).

A Autonomia da Iluminação Natural (DA) – *Daylight Autonomy* é definida como: a porcentagem de horas ocupadas do ano onde um valor mínimo de iluminância, no caso 300lx, é atingido (REINHART; WIENOLD, 2011). Como limitação, a medida DA não apresenta limite superior, dificultando a indicação da possibilidade de desconforto por excesso de luz (NABIL; MARDALJEVIC, 2006). Por sua vez, a medida UDI - *Useful Daylight Illuminances* estabelece limites inferior e superior para admissão da iluminação natural. Definindo em 100lx a medida inferior, onde um ponto sobre um plano horizontal estaria muito escuro e 2.000lx o limite superior onde o mesmo estaria muito claro (REINHART, F; MARDALJEVIC; ROGERS, 2006). Tanto as medidas de DA, quanto de UDI são expressas em porcentagem das horas do ano (%) para cada ponto analisado.

Em estudos similares ao desenvolvido neste trabalho, Niloufar, Khodadadi e Buelow (2014) avaliaram o desempenho lumínico de telas de sombreamento com formas complexas. Como limitação, apesar de empregar medidas dinâmicas, o estudo não estabelece um limite superior para admissão de luz natural e consequentemente de radiação solar.

Também abordando formas complexas, Bader (2010) apresenta um estudo de um protótipo para um elemento de controle solar, onde foram feitas análises de admissão de radiação solar e distribuição de luz natural. Como limitação o estudo não emprega medidas dinâmicas além de avaliar a distribuição da luz natural em um ambiente com pouca profundidade.

2 OBJETIVO

Este trabalho tem por objetivo avaliar o desempenho térmico e lumínico de elementos de controle solar projetados por meio de modelagem paramétrica.

3 MÉTODO

Visando a atingir o objetivo proposto, o presente trabalho foi desenvolvido segundo as etapas descritas a seguir:

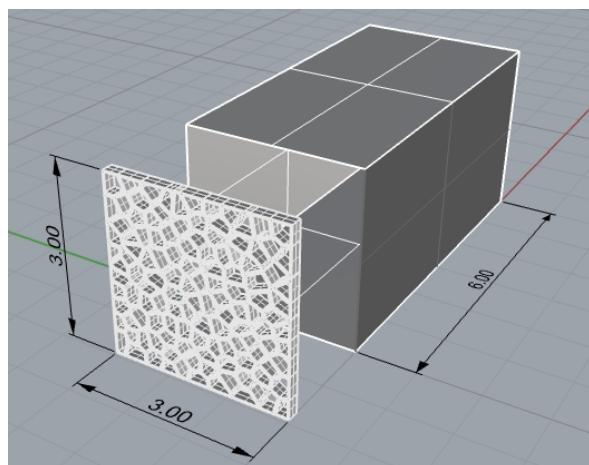
- Definição dos parâmetros geométricos para elaboração dos elementos de controle solar;
- Modelagem dos elementos de controle solar empregando a suíte de aplicativos Rhinoceros+Grasshopper;

- Simulações computacionais para avaliação do desempenho térmico e lumínico dos elementos desenvolvidos.

3.1 Definição dos parâmetros geométricos para elaboração dos elementos de controle solar

Os elementos de controle solar produzidos foram adequados a uma fachada plana, de orientação Oeste, com 3m de largura por 3m de altura, frente a um ambiente de 18m², com 6m de profundidade e toda área de fachada (9m²) aberta ao exterior, como apresentado na figura 1.

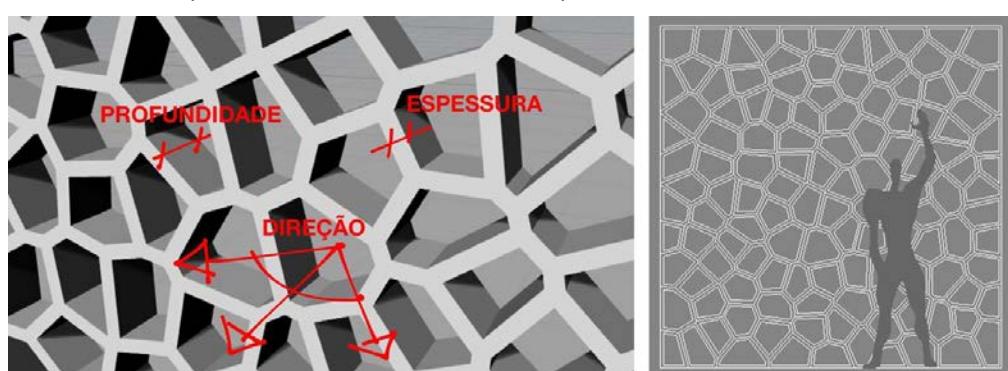
Figura 1 – Dimensões dos elementos de controle solar e ambiente de análise.



Fonte: Os autores

Visando o estabelecimento de relações de causa e efeito entre a geometria e desempenho dos elementos desenvolvidos, foram definidos os seguintes parâmetros geométricos de variação entre os modelos: direção, espessura e profundidade dos componentes (no caso, das aletas). Complementarmente foi calculada a permeabilidade visual através dos elementos em relação ao plano normal à fachada, como demonstrado na figura 2.

Figura 2 – Parâmetros geométricos dos elementos de controle solar e permeabilidade visual no plano normal à fachada.

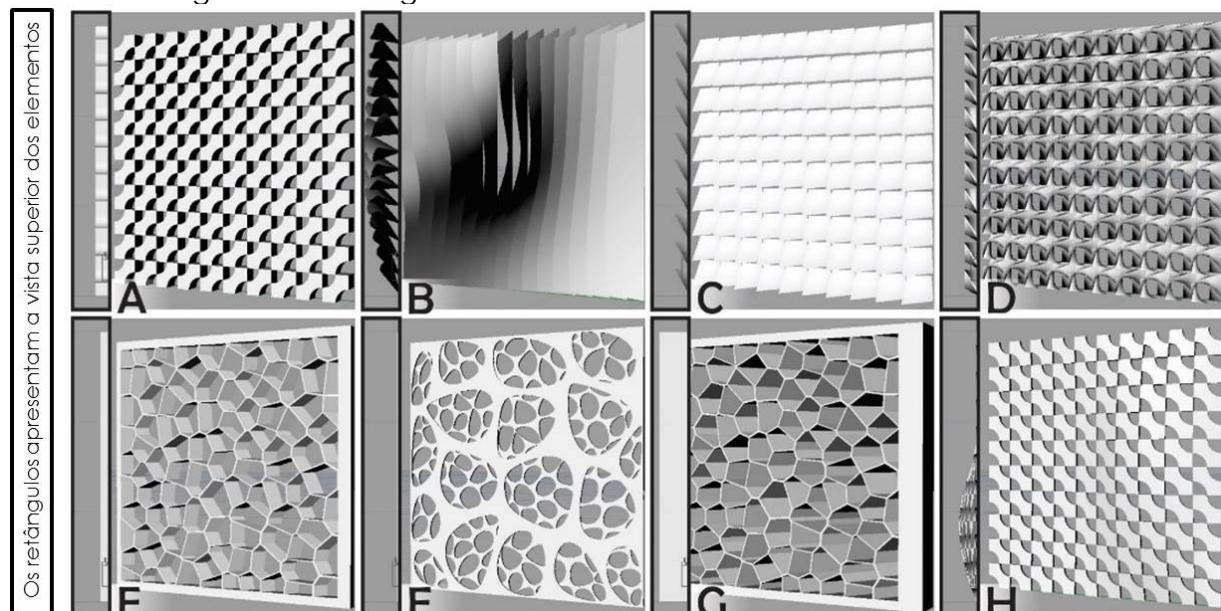


Fonte: Os autores

3.2 Modelagem dos elementos de controle solar empregando a suíte de aplicativos Rhinoceros+Grasshopper

Visando investigar as possibilidades computacionais na geração de formas complexas empregando a suíte de aplicativos Rhinoceros3D+Grasshopper foram produzidos os modelos de elementos de controle solar apresentados na figura 3. O principal critério de concepção dos modelos foi a exploração de diferentes formas que pudessem ser utilizadas como elementos de controle solar.

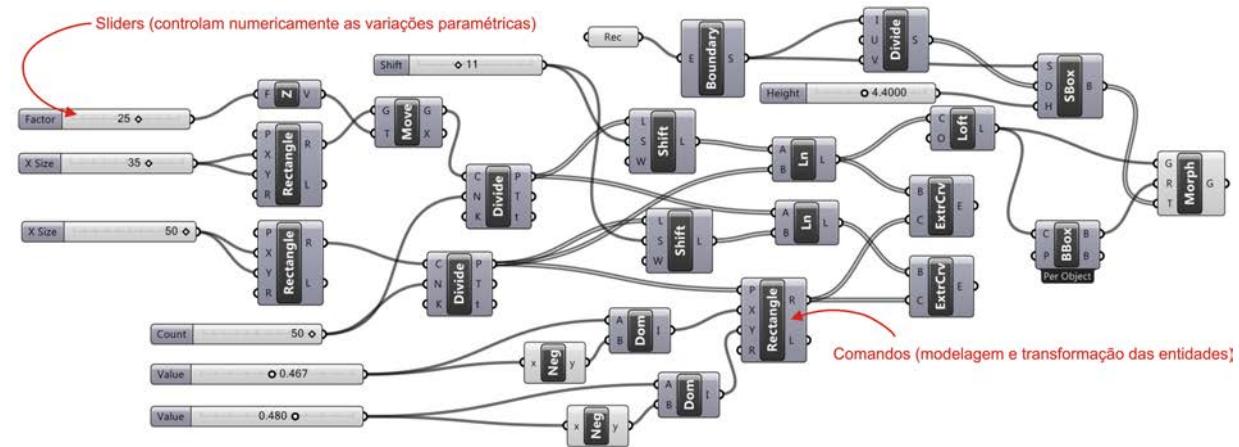
Figura 3 – Visão geral dos elementos de controle solar desenvolvidos.



Fonte: Os autores

Visando exemplificar a interface dos aplicativos utilizados, a figura 4 apresenta o algoritmo de modelagem do elemento D no Grasshopper. Onde em destaque podem ser observados os comandos empregados e suas variações paramétricas.

Figura 4 – Algoritmo de modelagem do elemento D no Grasshopper.



Fonte: Os autores

Em uma breve descrição de sua concepção geométrica, os elementos A, C, D e H, foram desenvolvidos através da repetição de um módulo em uma malha de cem unidades. O elemento B foi desenvolvido a partir da distorção de um conjunto de aletas verticais, já os modelos E, F e G, foram desenvolvidos empregando algoritmos Voronoi, gerando malhas de células irregulares.

O quadro 1 apresenta os parâmetros geométricos e principais comandos de modelagem empregados no Grasshopper. Por limitação de espaço neste trabalho torna-se inviável a apresentação completa dos algoritmos das oito modelagens.

Quadro 1 – Parâmetros geométricos e principais comandos de modelagem empregados no Grasshopper.

Elemento	Profundidade (cm)	Espessura (cm)	Direção	Principais comandos Grasshopper
A	16	Variável	Oeste	Bounding Box (BBox) Surface Box (SBox)
B	No máximo 41	Superfícies (sem espessura)	Variável, de Oeste à Noroeste	Divide Curve (Divide) Rotate 3D (Rot3D) Loft
C	No máximo 17	Superfícies (sem espessura)	Variável de Norte à Noroeste	Bounding Box (BBox) Surface Box (SBox)
D	No máximo 16	Superfícies (sem espessura)	Noroeste	Bounding Box (BBox) Surface Box (SBox) Extrude Along (ExtrCrv)
E	11	De 1 à 2	Noroeste	Populate 2D (Pop2D) Voronoi Extrude (Extr)
F	4	Variável	Oeste	Populate 2D (Pop2D) Voronoi Offset / Extrude (Extr)
G	34	De 1 à 2	Noroeste	Populate 2D (Pop2D) Voronoi Extrude (Extr)
H	3	Variável	Oeste	Bounding Box (BBox) Surface Box (SBox)

Fonte: Os autores

Quanto aos parâmetros geométricos, profundidade, espessura e direção, os elementos F e H se diferenciam dos demais por possuírem menores profundidades; quanto à espessura, torna-se importante estabelecer a relação entre a mesma e permeabilidade normal à fachada, onde os elementos C e G apresentam as maiores obstruções; quanto à direção, os elementos B, C, E e G possuem componentes verticais propositalmente orientados à Noroeste em sua composição.

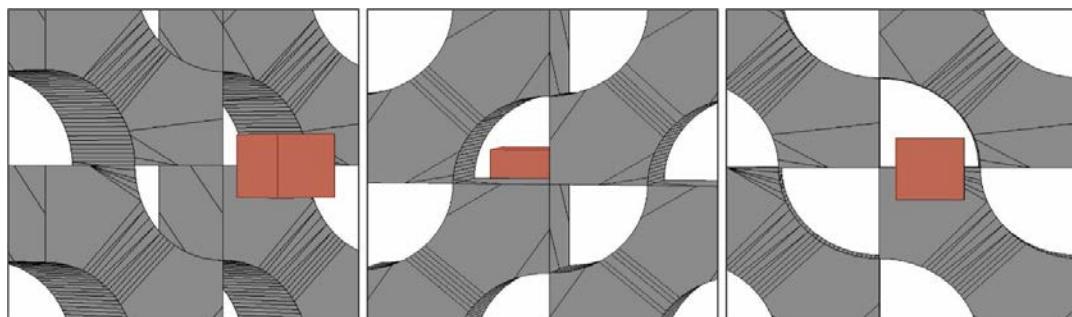
3.3 Simulações computacionais para avaliação do desempenho térmico de lumínico dos elementos desenvolvidos

Como referido anteriormente, devido à sua maior sensibilidade à admissão de radiação solar, foi escolhida a fachada Oeste para realização de todas as simulações. Para as mesmas foi utilizado o arquivo climático BRA_Florianópolis.838990_SWERA.epw, referente à cidade de Florianópolis/SC, (latitude 27°S). Disponível em: <https://energyplus.net/weather>

3.3.1. Mascaramento e permeabilidade normal à fachada

Utilizando o aplicativo Ecotect Analysis foram geradas máscaras de sombra a partir das aberturas dos elementos de controle. Visando facilitar o posicionamento dos pontos de geração das máscaras, foram criados cubos de 10x10x10cm, as máscaras foram geradas a partir dos centros das faces verticais orientadas para as aberturas dos elementos de controle. Assim como se procede em análises de janelas, os cubos foram posicionados centralizados aos componentes verticais e alinhados com a base inferior dos componentes horizontais dos elementos analisados, como exemplificado na figura 5.

Figura 5 – Exemplo de posicionamento do cubo para geração da máscara de sombra do elemento A.



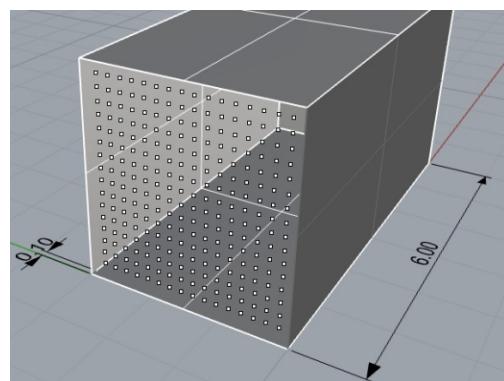
Fonte: Os autores

Complementarmente, por meio da planificação dos elementos em entidades 2D, foi possível o cálculo de sua permeabilidade visual em relação ao plano normal à fachada.

3.3.2. Análise de radiação incidente

Utilizando o plug-in DIVA-for-Rhino foram realizadas simulações da radiação solar incidente para os meses de Janeiro e Julho, por corresponderem respectivamente aos meses de maior e menor radiação incidente. Para todas as simulações de radiação foi criado um plano vertical de análise com sensores espaçados em uma malha de 20x20cm, afastada em 10cm do alinhamento da fachada, como demonstrado na figura 6.

Figura 6 – Plano de análise da radiação incidente.



Fonte: Os autores

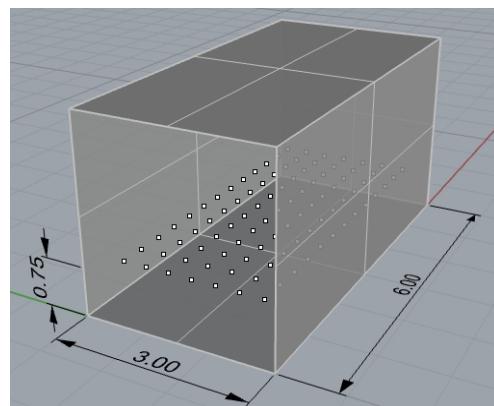
Para as análises de radiação foi utilizada uma medida denominada neste trabalho como: "Coeficiente de admissão da radiação solar incidente". Resultado da comparação percentual entre a radiação incidente no plano de análise antes e depois da utilização dos elementos de controle solar desenvolvidos.

A capacidade seletiva dos elementos em proporcionar a rejeição da radiação nos períodos de verão e admissão nos períodos de inverno, foi adotada como critério de eficiência nas análises realizadas.

3.3.3. Análise da admissão e distribuição da luz natural

Para as simulações de desempenho lumínico foram empregadas as medidas: Autonomia da Iluminação Natural (DA) – *Daylight Autonomy*, UDI - *Useful Daylight Illuminances* e Fator de Luz Diurna Médio no ambiente. Para estas simulações foi criado um plano de análise horizontal, posicionado à 75cm do piso do ambiente e com 50cm de afastamento entre os sensores, como demonstrado na figura 7. As simulações foram realizadas para o período de um ano inteiro, e assim como em relação à radiação, inicialmente foi simulado um modelo sem nenhuma obstrução na fachada, possibilitando a verificação do desempenho lumínico do ambiente em sua configuração original.

Figura 7 – Plano de análise da radiação incidente.



Fonte: Os autores

4 RESULTADOS

O presente capítulo apresenta os resultados e análises das simulações descritas no item 3.3.

4.1 Mascaramento e permeabilidade normal à fachada

Pela análise dos dados apresentados na tabela 1 e mascaramentos na figura 8, verificou-se que devido à sua profundidade e componentes direcionais orientados à Noroeste, os elementos C (9,89%) e G (10,59%) possuem as menores permeabilidades visuais no plano normal à fachada. O que se apresenta adequado para o controle da radiação para orientação Oeste. Juntamente com C e G, porém com maiores permeabilidades, os elementos B (34,44%) e E (41,44%), também favorecem a admissão de sol no inverno e rejeição no verão por apresentarem componentes direcionais orientados à Noroeste em sua geometria, o que pode também ser verificado nos mascaramentos.

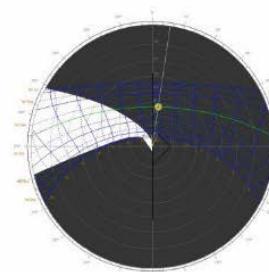
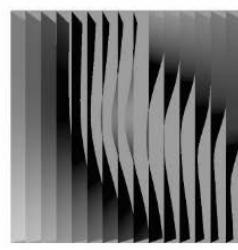
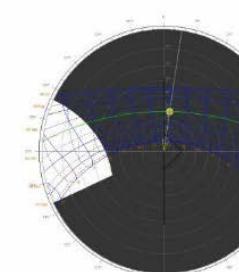
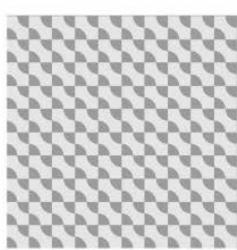
Os elementos F, E, A e H são respectivamente os que apresentam maiores permeabilidades visuais ($F=44,54\%$, $E=41,44\%$, $A=39,44\%$ e $H=38,00\%$). Através dos mascaramentos pode-se observar que as geometrias de F, H e A não favorecem a seletividade de radiação entre inverno e verão, sendo excessivamente abertas para a admissão de sol no verão. Diferentemente de E que é mais aberto para admissão de sol no inverno.

Tabela 1 – Área e porcentagem da permeabilidade visual normal à fachada (Oeste)

	Sem obs.	A	B	C	D	E	F	G	H
Permeabilidade Visual Normal									
m^2	9,00	3,55	3,10	0,89	2,84	3,73	4,01	0,95	3,42
(%)	100,00	39,44	34,44	9,89	31,56	41,44	44,54	10,59	38,00

Fonte: Os autores

Figura 8 (parte 1) – Permeabilidade visual normal à fachada (Oeste) e máscaras de sombra dos elementos de controle solar desenvolvidos.

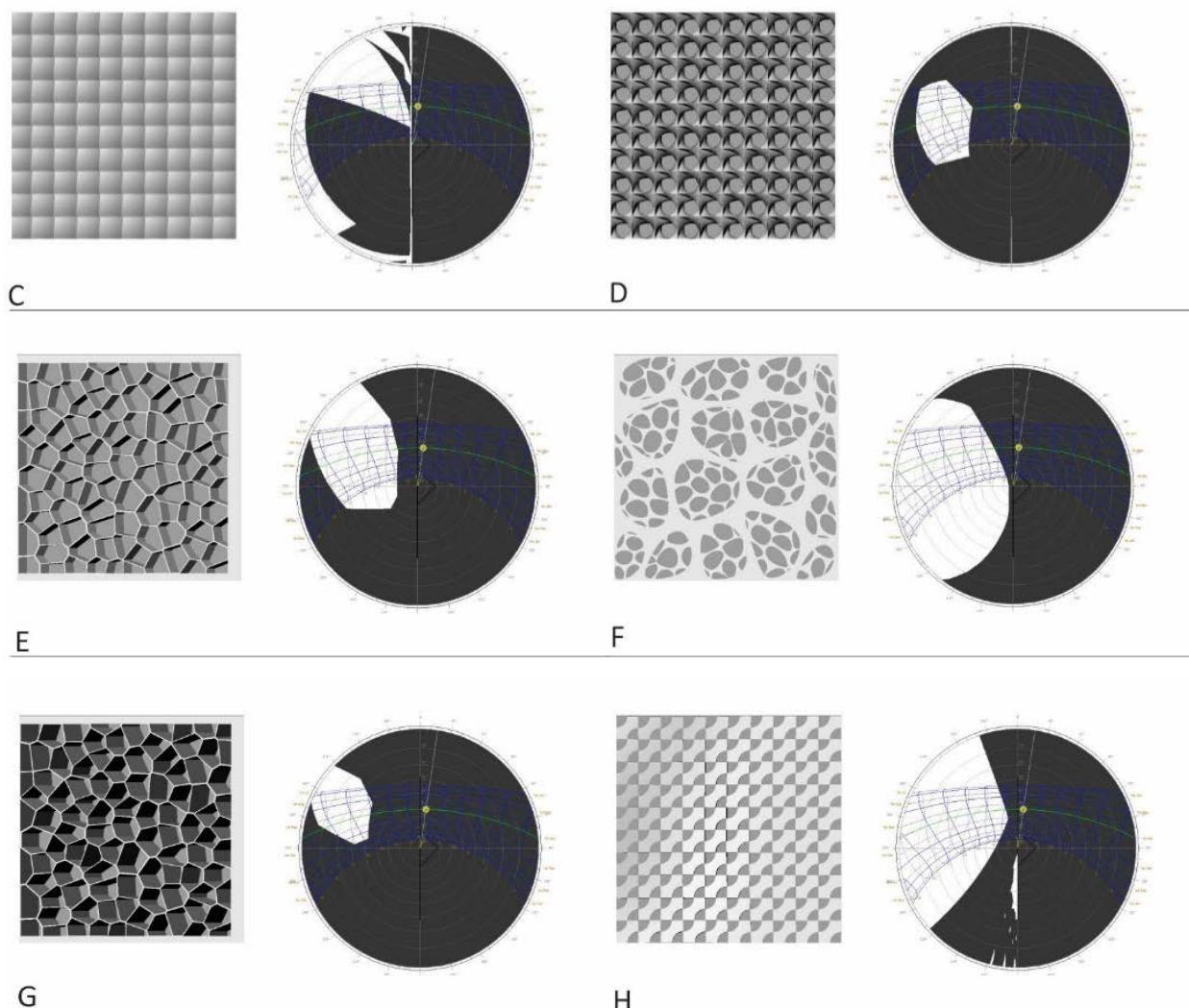


A

B

Fonte: Os autores

Figura 8 (parte 2) – Permeabilidade visual normal à fachada (Oeste) e máscaras de sombra dos elementos de controle solar desenvolvidos.



Fonte: Os autores

4.2 Análise de radiação incidente

Pode-se observar na tabela 2 e figura 9, que B, F, E e H, respectivamente, foram os modelos que mais admitiram radiação em Janeiro ($B=32,19 \text{ Kwh/m}^2$, $F=29,81 \text{ Kwh/m}^2$, $E=29,62 \text{ Kwh/m}^2$ e $H=23,07 \text{ Kwh/m}^2$), com destaque para o elemento B, que não possui componentes horizontais em sua geometria e apesar de ser apenas o 5º em permeabilidade visual ($B=34,44\%$), acaba sendo o 1º em admissão de radiação em Janeiro. Cabendo aqui uma ressalva sobre a eficácia da recomendação genérica de utilização de elementos verticais para controlar a radiação na fachada Oeste.

Estabelecendo uma relação com o item anterior (4.1) F, E, A e H são os elementos que possuem as maiores permeabilidades visuais, destaca-se nesse grupo as grandes admissões de radiação em Janeiro, com exceção do elemento A ($12,03 \text{ Kwh/m}^2$) que diferentemente dos demais possui maior profundidade, o que pode ser observado no quadro 1 apresentado

anteriormente.

Reforçando os resultados dos mascaramentos apresentados no item anterior (4.1), as análises comparativas de radiação incidente entre Janeiro e Julho, demonstram quantitativamente que os elementos B,C, E e G, apresentam capacidade seletiva de admissão de radiação, o que se dá devido à presença de componentes direcionais em sua geometria (ver quadro 1 e figuras 3 e 9). Fato que destaca a importância da compreensão da geometria da insolação no projeto dos elementos de controle solar.

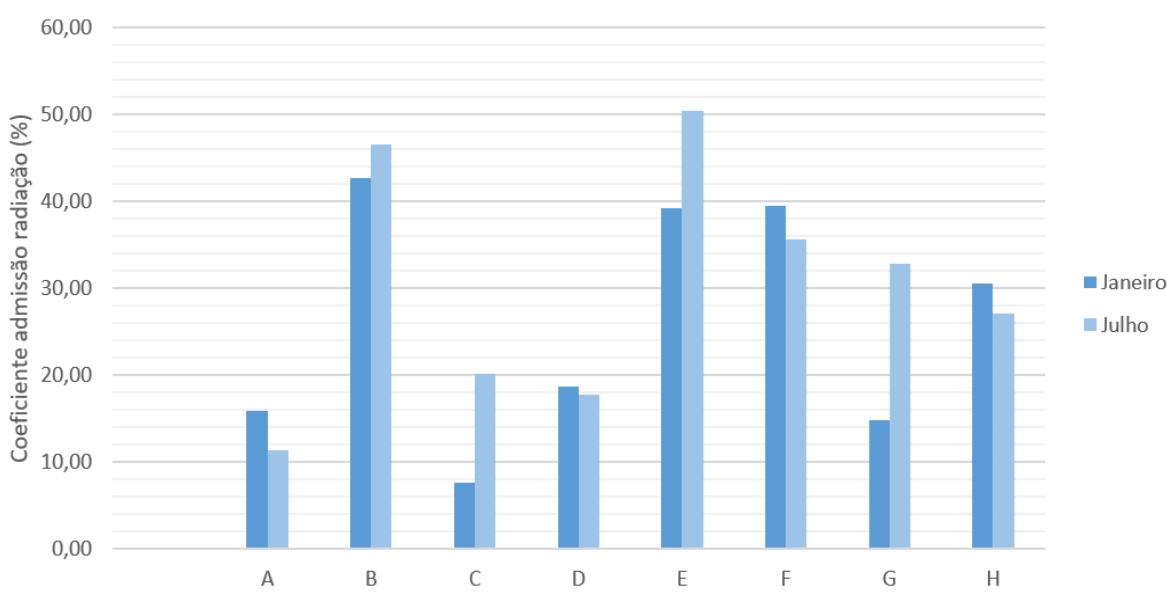
Entre este grupo, os elementos C e G apresentam-se mais eficientes quanto à capacidade seletiva, fato que se dá em função de sua maior profundidade e menor permeabilidade que os demais (razão entre Janeiro e Julho: C=0,38 e G=0,45). Visando a compreensão dos valores da tabela 2, cabe explicar que: para demonstrar a capacidade seletiva dos elementos, foi dividido o coeficiente de admissão de radiação de Janeiro, pelo de Julho. Como resultado, quanto menor o valor obtido, maior é a capacidade do elemento de rejeitar a radiação no verão e admitir no inverno.

Tabela 2 – Radiação solar incidente, Coeficiente de admissão de radiação e Razão entre Janeiro Julho.

	Sem obs.	A	B	C	D	E	F	G	H
Radiação (Kwh/m²)									
Janeiro	75,48	12,03	32,19	5,76	14,06	29,62	29,81	11,22	23,07
Julho	45,42	5,17	21,14	9,13	8,09	22,89	16,16	14,89	12,32
Coeficiente admissão radiação (%)									
Janeiro		15,94	42,65	7,63	18,63	39,24	39,49	14,86	30,56
Julho		11,38	46,54	20,10	17,81	50,40	35,58	32,78	27,12
Razão entre janeiro e julho		1,40	0,92	0,38	1,05	0,78	1,11	0,45	1,13

Fonte: Os autores

Figura 9 – Coeficiente de admissão de radiação para os meses de Janeiro e Julho.



Fonte: Os autores

4.3 Análise da admissão e distribuição da luz natural

Pela análise dos resultados apresentados na tabela 3 e figura 10, notamos que, assim como nas avaliações de radiação, B foi o elemento que apresentou maiores valores de FLD e DA. Confirmando o alto valor destas medidas ($FLD=4,75\%$ e $DA=76,73\%$) como indicativo de entrada excessiva de luz e calor.

Ao contrário de B, o elemento C, que possui permeabilidade visual de 9,89%, foi o que apresentou os mais baixos valores de admissão e distribuição da luz natural ($FLD=1,09\%$, $DA=26,64\%$ e $UDI=47,74\%$), o que indica que apesar de sua seletividade entre inverno e verão, o mesmo acaba admitindo pouca radiação e consequentemente, pouca luz.

Comparativamente a C, o elemento G, que também apresentou boa capacidade seletiva de radiação, admite e distribui melhor a luz natural ($FLD=1,13\%$, $DA=48,65\%$ e $UDI=77,42\%$), fato que se dá em função de sua geometria ser mais aberta às porções zenitais do céu e também por possuir elementos horizontais que facilitam a condução da luz para a parte mais profunda do ambiente.

Em relação à distribuição da iluminação natural nos ambientes, avaliada através da medida de UDI, pode ser observado nos elementos B e F ($UDI_B=69,78\%$ e $UDI_F=74,84\%$) o efeito da pouca profundidade e falta de componentes horizontais na admissão excessiva de luz próximo à fachada.

Os elementos A, D, E e G, que possuem mais profundidade em relação às dimensões de suas aberturas, apresentaram os melhores desempenhos em relação ao UDI médio, todos acima de 77%. Com destaque para o elemento D ($UDI=81,09\%$), que devido a seus componentes horizontais que funcionam como prateleiras de luz, distribui a luz natural da maneira mais homogênea entre todos os demais casos.

Com exceção do modelo C, pode-se afirmar que os elementos desenvolvidos proporcionaram uma melhor distribuição espacial dos valores de UDI em relação ao modelo desobstruído. Cabe observar que o ambiente de análise, sem elementos de proteção, apresenta admissão excessiva de radiação solar e distribuição heterogênea da luz natural.

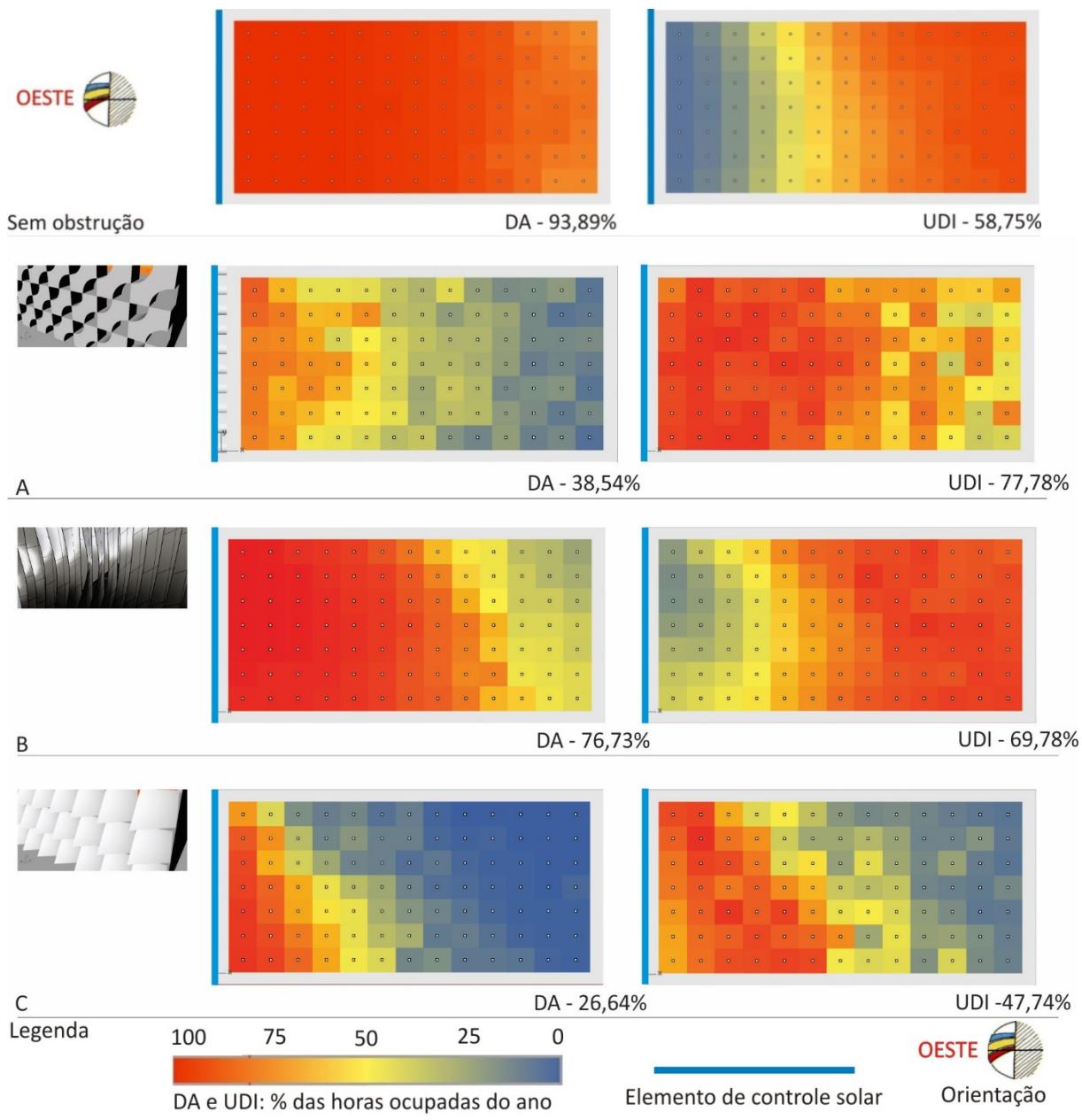
Por fim, cabe salientar que a leitura independente da medida DA dissociada do UDI pode ocasionar equívocos na avaliação do desempenho lumínico de um ambiente, por não apresentar um limite superior para admissão de luz e consequentemente admissão excessiva de calor, além da possibilidade de desconforto visual por ofuscamento nos usuários do ambiente.

Tabela 3 – Fator de Luz Diurna Médio (FLD), Autonomia da Luz Natural Média (DA) e Useful Daylight Illuminances Médio (UDI).

	Sem obs.	A	B	C	D	E	F	G	H
Fator de Luz Diurna Médio - FLD(%)	10	1,04	4,75	1,09	1,4	3,26	3,69	1,13	2,88
Auton. Da Iluminação Natural Média - DA (%)	93,89	38,54	76,73	26,64	47,96	73,26	67,16	48,65	61,09
Useful Daylight Illuminances Médio - UDI (%)	58,75	77,78	69,78	47,74	81,09	77,23	74,84	77,42	76,25

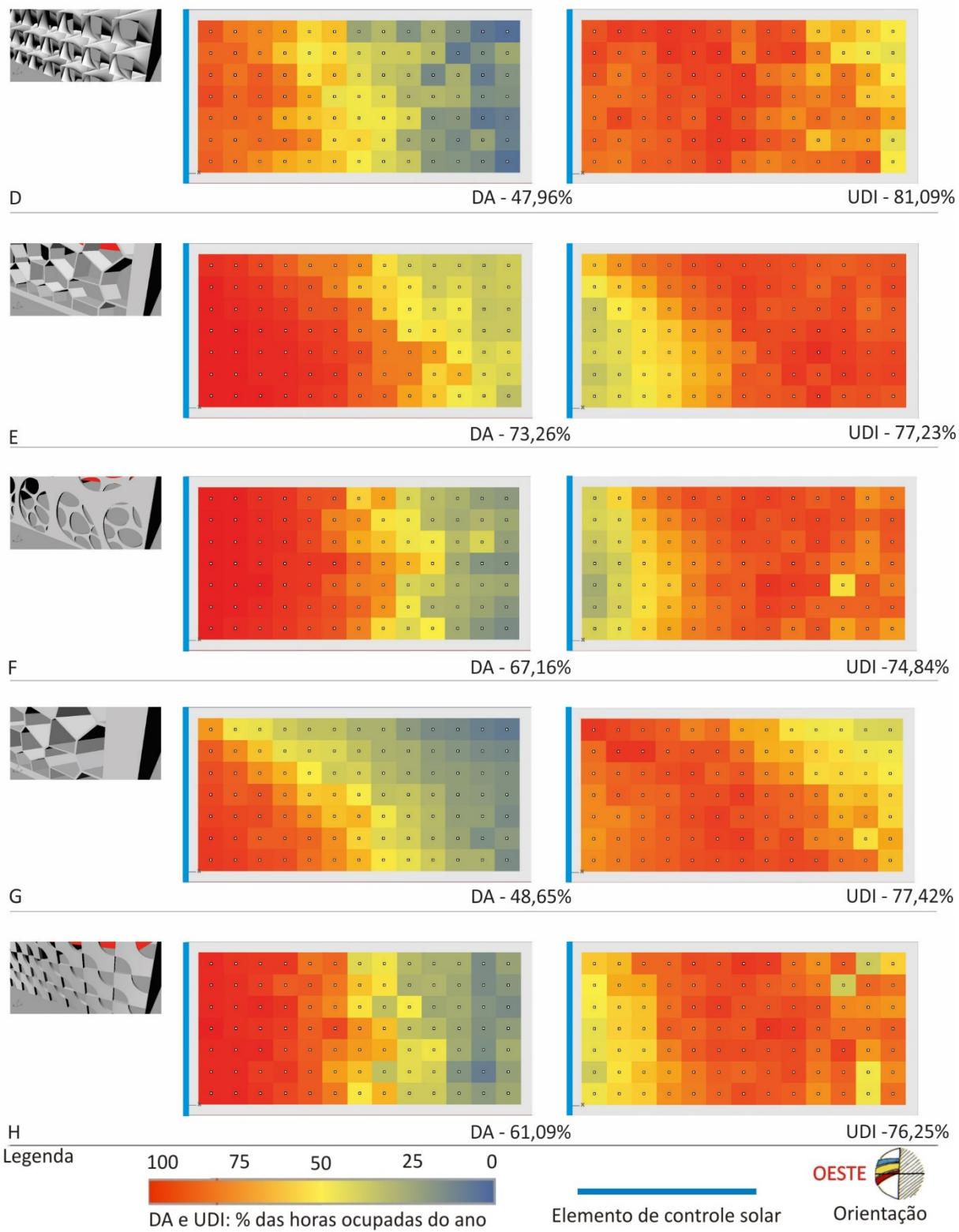
Fonte: Os autores

Figura 10 (parte 1) – Autonomia da Iluminação Natural (DA) e Useful Daylight Illuminances (UDI).



Fonte: Os autores

Figura 10 (parte 2) – Autonomia da Iluminação Natural (DA) e Useful Daylight Illuminances (UDI).



Fonte: Os autores

5 CONCLUSOES

Este trabalho teve como objetivo avaliar o desempenho térmico e lumínico de elementos de controle solar projetados através de modelagem paramétrica. Como principais conclusões destaca-se a importância dos componentes direcionais e horizontais nos elementos de controle solar desenvolvidos. Os componentes direcionais orientados à Noroeste determinaram a capacidade seletiva de admissão da radiação solar entre inverno e verão. Enquanto os componentes horizontais contribuíram com uma melhor distribuição da luz natural no ambiente de análise, funcionando como prateleiras de luz, reduzindo o excesso de luz e radiação próximo à fachada e aumentando os níveis de iluminação no fundo do ambiente.

Exemplificando estas considerações, destaca-se o desempenho dos elementos C, D, E e G. Onde, o primeiro (C) foi o que demonstrou melhor capacidade seletiva de admissão de radiação solar, resultando na maior admissão no mês de julho, quando comparado ao mês de janeiro (razão de 0,38). Entretanto, sua pouca permeabilidade conferiu-lhe os piores desempenhos nas análises de iluminação, resultando em um FLD de apenas 1,09%, e valores de DA e UDI de 26,64% e 47,74% respectivamente, os mais baixos entre o grupo avaliado.

Por não possuir componentes direcionais, o elemento D, não apresentou resultados tão satisfatórios em relação à seletividade na admissão da radiação quanto o elemento C; porém como decorrência do funcionamento de seus elementos horizontais, D apresentou o maior valor de UDI entre os demais (81,09%). Na figura 10 pode-se observar a uniformidade da distribuição da luz natural ao longo do plano de análise, sem excessos próximos à abertura.

Devido à sua geometria com elementos horizontais juntamente com direcionais, os elementos E e G, tanto foram capazes de admitir percentualmente mais radiação no inverno relativamente ao verão (com razões de 0,78 e 0,45 respectivamente), quanto proporcionar altos valores de UDI (acima de 77%). Cabe também observar na figura 10, que apesar de sua capacidade seletiva, os elementos direcionais distribuíram a luz natural de forma assimétrica no ambiente de análise.

Complementarmente, os mascaramentos apresentados na figura 8 reforçam os demais resultados apresentados, relacionando os valores de radiação e luz natural admitidos à parcelas de céu visível e trajetórias solares. Demonstrando que apesar das possibilidades computacionais de geração e simulação de formas complexas, a compreensão da geometria da insolação no projeto de elementos de controle solar apresenta-se imprescindível para seu desempenho.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à FAPESC – Fundação de Amparo à Pesquisa e Inovação do Estado de Santa Catarina, UFSC e UNIVALI pelos recursos financeiros aplicados no desenvolvimento e divulgação deste trabalho.

REFERÊNCIAS

AKOS, G.; PARSONS, R. **Foundations. The Grasshopper Primer Third Edition**, New York, 2014. Disponível em: <<http://modelab.is/grasshopper-primer/>>. Acesso em: março de 2015.

BADER, S. **High-performance façades for commercial buildings**. Austin, Texas: The University of Texas at Austin - School of Architecture, 2010.

CASTLE, H. Editorial - Computation Works: The Building of Algorithmic Thought. **Architectural Design**, v. 83, n. 2, p. 5–5, 2013.

CHO, J.; YOO, C.; KIM, Y. Viability of exterior shading devices for high-rise residential buildings : Case study for cooling energy saving and economic feasibility analysis. **Energy & Buildings**, v. 82, p. 771–785, 2014.

DUNN, N. **Digital Fabrication in Architecture**. London: Laurence King Publishing, 2012.

FAJKUS, M. **Superficial skins? Super Skins? Shading structures and thermal impact analysis**. In: Proceedings Advanced Building Skins - Energy Forum. p. 23-27. Bressanone, Italy: 2013

KOLAREVIC, B.; MALKAWI, A. **Performative architecture beyond instrumentality**. 1. ed. New York: Spoon Press, 2005.

NABIL, A.; MARDALJEVIC, J. Useful daylight illuminances: A replacement for daylight factors. **Energy and Buildings**, v. 38, n. 7, p. 905–913, 2006.

NILOUFAR, E.; KHODADADI, A.; BUELOW, P. VON. **Design of Shading Screens Inspired by Persian Geometric Patterns : An Integrated Structural and Daylighting Performance Evaluation**Proceedings of the IASS-SLTE 2014 Symposium "Shells, Membranes and Spatial Structures: Footprints". **Anais...**Brasilia: 2014

REINHART, C. F.; WIENOLD, J. The daylighting dashboard - A simulation-based design analysis for daylit spaces. **Building and Environment**, v. 46, n. 2, p. 386–396, 2011.

REINHART, F. C.; MARDALJEVIC, J.; ROGERS, Z. Dynamic Daylight Performance Metrics for Sustainable Building Design. **LEUKOS VOL 3 NO 1**, p. 7–31, 2006.

TAGLIARI, A.; FLORIO, W. **Fabricação Digital de Superfícies: Aplicações da Modelagem Paramétrica na Criação de Ornamentos na Arquitetura Contemporânea**. In: Anais XIII Sigradi - Congresso Iberoamericano de Gráfica Digital. p. 77-79. São Paulo: Brazil, 2009.