2020 ENTAC
XVIII Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído

Futuro da Tecnologia do Ambiente Construído e os Desafios Globais

Porto Alegre, 4 a 6 de novembro de 2020

AVALIAÇÃO DE ELEMENTOS DE CONTROLE SOLAR MÓVEIS PROJETADOS COM MODELAGEM PARAMÉTRICA[1]

CARTANA, Rafael (1); BENNEMANN, Thainá (2); CARVALHO, Judy (3); SMANIOTTO, Bruno (4); DOS SANTOS, Larissa (5)

(1) UNIVALI - Universidade do Vale do Itajaí, cartana@univali.br
(2) UNIVALI - Universidade do Vale do Itajaí, thaibennemann@hotmail.com
(3) UNIVALI - Universidade do Vale do Itajaí, judymeurercarvalho@gmail.com
(4) UNIVALI - Universidade do Vale do Itajaí, brunodarosa@outlook.com
(5) UNIVALI - Universidade do Vale do Itajaí, larissa91santos@gmail.com

RESUMO

Considerando a importância do controle da radiação solar e admissão da luz natural no desempenho das edificações, os elementos de controle solar podem contribuir significativamente com o conforto e eficiência energética no ambiente construído, principalmente se forem dinâmicos. Paralelamente às questões ambientais, destaca-se o crescente emprego de ferramentas digitais na produção arquitetônica contemporânea. A partir destas considerações, este trabalho tem como objetivo aprimorar um dos modelos de elementos de controle solar e dar sequência às avaliações de desempenho apresentadas no trabalho de Cartana e Domingos (2018). Como método, inicialmente, utilizando a suíte Rhinoceros3D+Grasshopper foi aprimorado o algoritmo de um dos modelos anteriormente desenvolvidos. Posteriormente, utilizando o plug-in Diva-for-Rhino foram procedidas simulações de admissão de radiação solar e desempenho lumínico, considerando o clima de Florianópolis. Como resultados, pode-se observar o comportamento do elemento estudado em suas diferentes configurações, nas quais, de forma geral, houve redução do excesso de radiação solar e melhora na distribuição da luz natural, além de possibilitar a admissão seletiva de radiação entre inverno e verão. Por fim, destaca-se que o presente trabalho apresenta um exemplo de aplicação prática de uma ferramenta de modelagem paramétrica associada à simulação computacional na concepção e avaliação de um componente arquitetônico.

Palavras-chave: *Elementos de controle solar. Modelagem paramétrica. Simulação computacional.*

ABSTRACT

Considering the importance of solar radiation control and daylight admission in the performance of the buildings, solar shading devices can significantly contribute to comfort and energy efficiency in the built environment, especially if they are dynamic. Parallel to environmental issues, the growing use of digital tools in contemporary architectural production stands out. Based on these considerations, this work aims to improve one of the models of solar shading devices and to continue the performance evaluations presented in the work of Cartana and Domingos (2018). As a method, initially, using the Rhinoceros3D+Grasshopper

[1] CARTANA, Rafael (1); BENNEMANN, Thainá (2); CARVALHO, Judy (3); SMANIOTTO, Bruno (4); DOS SANTOS, Larissa (5). I Avaliação de Elementos de Controle Solar Móveis Projetados com Modelagem Paramétrica. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 18., 2020, Porto Alegre. **Anais**... Porto Alegre: ANTAC, 2020.

suite, the algorithm of one of the models previously developed was improved. Subsequently, using the Diva-for-Rhino plug-in, computational simulations of solar radiation admission and daylight performance were carried out, considering the climate of Florianópolis. As a result, can be observed the behavior of the studied element in its different configurations, in which, in general, there was a reduction in the excess of solar radiation and an improvement in the daylight distribution, in addition to allowing the selective admission of radiation between winter and summer. Finally, is highlighted that the present work presents an example of practical application of a parametric modeling tool associated with computer simulation in the design and evaluation of an architectural component.

Key words: *Solar shading devices. Parametric modelling. Computational simulation.*

1 INTRODUÇÃO

Comprovadamente os elementos de controle solar podem trazer benefícios ao desempenho térmico e lumínico das edificações, contribuindo com o controle da admissão de radiação solar, com uma melhor distribuição da luz natural e com a redução da probabilidade de desconforto visual por ofuscamento. Seu estudo e utilização se justificam, principalmente se considerarmos o aumento das áreas envidraçadas nos edifícios atuais (BADER, 2010; JAKUBIEC; REINHART, 2011; CHO; YOO; KIM, 2014; CARTANA; PEREIRA; MAYER, 2018).

Considerando a geometria da insolação e as diferentes condições climáticas às quais os sistemas de fachadas são expostos, torna-se adequado que os elementos de controle solar sejam dinâmicos (móveis), possibilitando um comportamento adaptável das edificações em relação a seu meio (REICHERT; MENGES; CORREA, 2014).

Juntamente às questões de sustentabilidade e eficiência energética no ambiente construído, observa-se que o emprego de ferramentas digitais nos processos de projeto e produção se estabeleceu nas últimas décadas como um dos principais direcionadores de exploração na arquitetura contemporânea (CASTLE, 2013). De forma que o emprego integrado de recursos como a modelagem paramétrica e a simulação computacional, pode dar suporte ao processo de projeto e avaliação de componentes arquitetônicos responsivos, como elementos de controle solar dinâmicos (DUNN, 2012; YI, et al., 2020).

A partir destas considerações, esta pesquisa tem como como objetivo aprimorar um dos modelos de elementos de controle solar e dar sequência às avaliações de desempenho apresentadas no trabalho de Cartana e Domingos (2018).

2 METODOLOGIA

Para o desenvolvimento deste trabalho foram definidas as seguintes etapas metodológicas:

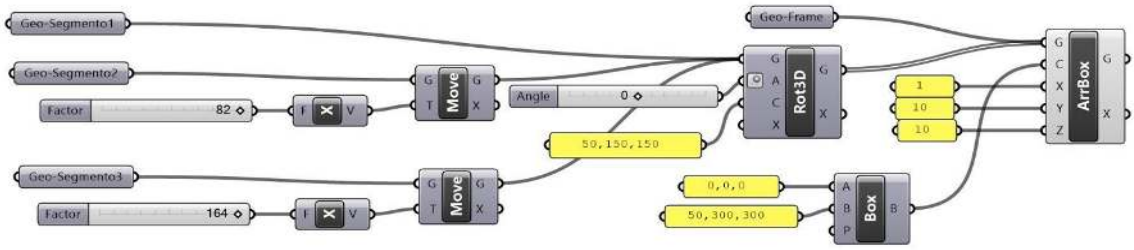
- Escolha e aprimoramento de um dos modelos de elementos de controle solar anteriormente desenvolvidos por Cartana e Domingos (2018);
- Simulações computacionais de admissão de radiação solar;
- Simulações computacionais de admissão e distribuição de luz natural.

2.1 Escolha e aprimoramento de um dos modelos de elementos de controle solar anteriormente desenvolvidos

Dentre os modelos desenvolvidos por Cartana e Domingos (2018), em função de sua geometria que possibilita maior controle da admissão da radiação solar e da luz natural, foi escolhido o modelo "Câmera Original" (Figura 2), para aperfeiçoamento do seu algoritmo de modelagem paramétrica, utilizando a suíte Rhino+Grasshopper.

Além da possibilidade de controle do movimento de extensão e recolhimento das aletas em forma de tubos quadrados do modelo Câmera Original, o novo algoritmo desenvolvido no Grasshopper (Figura 1) possibilita a rotação de cada conjunto de tubos sobre seu eixo central vertical.

Figura 1: Algoritmo do Grasshopper, aperfeiçoado para o Modelo Câmera

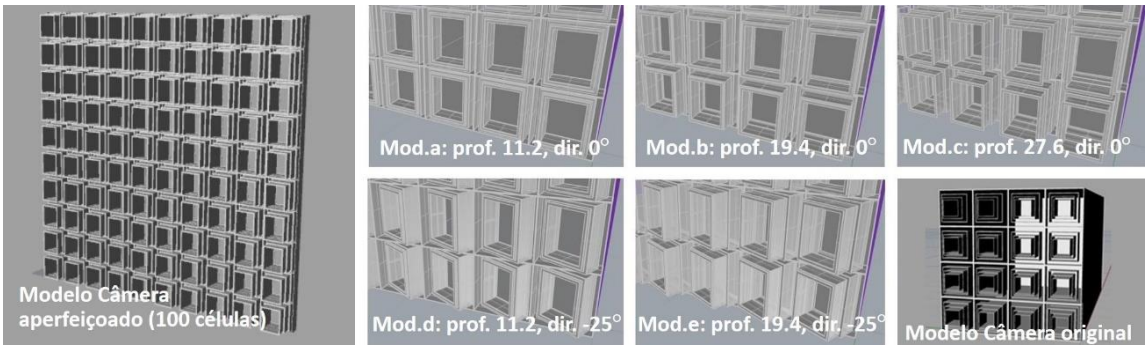


Fonte: Os autores

Quanto ao funcionamento do algoritmo, através das *sliders Factor* ligadas aos comandos move, pode-se alterar a profundidade de cada célula, e através da *slider Angle*, ligada ao comando Rotate3D, pode-se rotacionar simultaneamente todas as 100 células do Modelo Câmera aperfeiçoado. O novo modelo possui 3m de largura por 3m de altura.

Manipulando três diferentes profundidades (11,2cm, 19,4cm e 27,6cm) e duas diferentes posições de rotação das células (0° e -25°), foram configurados os modelos de "a" a "e" apresentados na Figura 2. Sendo os mesmos: "a" (profundidade 11.2, direção 0°), "b" (profundidade 19.4, direção 0°), "c" (profundidade 27.6, direção 0°), "d" (profundidade 11.2, direção -25°), e "e" (profundidade 19.4, direção -25°).

Figura 2: Modelo aperfeiçoado, variações paramétricas e modelo original



Fonte: Os autores; Cartana e Domingos (2018).

2.2 Simulações computacionais de admissão de radiação solar

A Utilizando o plug-in Diva-for-Rhino, foram realizadas simulações relativas à admissão de radiação solar. Em todos os casos, os elementos de controle solar foram posicionados no alinhamento da fachada de um ambiente de 18 m², com dimensões como demonstrado na Figura 3. A área de fachada (9 m²) foi considerada aberta ao exterior em sua largura e altura, sem a presença de verga ou peitoril. Para as simulações, foi criado um plano vertical de análise afastado internamente 10cm do

alinhamento da fachada, com sensores espaçados em 20 x 20cm. O estudo foi realizado para a cidade de Florianópolis-SC, (latitude 27° Sul), sendo utilizado o arquivo climático BRA_Florianopolis.838990_SWERA.epw, disponível em: <https://energyplus.net/weather>, sendo avaliada a orientações oeste.

Como parâmetros de simulação no Diva, foram definidas as refletâncias das paredes, pisos, teto e dos elementos de controle solar em 30%, 20%, 70% e 60%, respectivamente. As simulações foram realizadas com a configuração de 5 bounces (valor que define a precisão na análise das reflexões nos modelos).

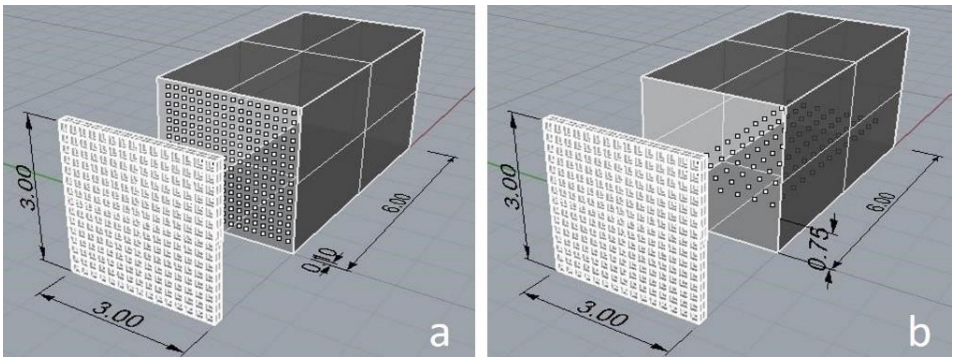
Foram realizadas simulações de admissão de radiação solar para janeiro e julho, escolhidos assim por corresponderem, respectivamente, aos meses de maior e menor radiação incidente em Florianopolis. Para as análises, foi utilizada uma medida comparativa percentual de admissão da radiação solar incidente antes e depois do emprego dos elementos de controle solar, denominada neste trabalho como Coeficiente de Admissão da Radiação Solar Incidente (CRS), expressa em porcentagem. Visando rejeitar qualquer valor diário atípico, foram utilizados valores mensais cumulativos em Wh/m². Foi considerada como critério de eficiência nas análises realizadas a capacidade seletiva dos elementos em admitir menos radiação percentualmente nos períodos de verão do que nos períodos de inverno.

2.3 Simulações computacionais de admissão e distribuição de luz natural

Para as simulações computacionais de admissão e distribuição de luz natural foram empregadas as medidas dinâmicas: Autonomia da Iluminação Natural (DA300), *Useful Daylight Illuminances* (UDI100-2000) e Autonomia Espacial da Iluminação Natural (sDA300/50%) (REINHART, F; MARDALJEVIC; ROGERS, 2006; NABIL; MARDALJEVIC, 2006; REINHART; WIENOLD, 2011; IES, 2012; USGBC, 2015).

As simulações foram realizadas para o período do ano inteiro, aproveitando a capacidade das medidas dinâmicas em caracterizar o comportamento da luz natural ao longo do tempo. O horário de ocupação do ambiente para as análises de iluminação foi das 8h às 18h. Para as simulações de admissão e distribuição da luz natural, foi criado um plano horizontal de análise a 75 cm de altura, com sensores espaçados em 50 x 50cm, como demonstrado na Figura 3.

Figura 3: Dimensões gerais dos elementos de controle solar, ambiente e planos de análise de radiação solar (a) e iluminação natural (b)



Fonte: Os autores.

Para todas as simulações foram escolhidas as posições "fixas" de "a" a "e", apresentadas na Figura 2, caracterizando em seu conjunto de possíveis configurações, o comportamento dinâmico do elemento estudado.

3 RESULTADOS

Neste item são apresentados e discutidos os resultados das etapas apresentadas na metodologia: simulações computacionais de admissão de radiação solar e simulações computacionais de admissão e distribuição de luz natural.

3.1 Simulações computacionais de admissão de radiação solar

A Tabela 1 apresenta os resultados das simulações de admissão de radiação solar. Inicialmente, são indicados os resultados para a situação de fachada desobstruída e posteriormente para as variações paramétricas, apresentadas na Figura 2. Como anteriormente referido, os valores em Kwh/m² apresentados, se referem radiação solar cumulativa para os meses de janeiro e julho, respectivamente.

Visando quantificar a capacidade seletiva dos elementos em admitir menor quantidade de radiação no verão e maior no inverno, foi criada a "Razão jul./jan."(J/J), na qual os valores dos CRSs de julho foram divididos pelos de janeiro. Como resultado, quanto maiores os valores obtidos, melhor a capacidade seletiva do elemento. Ou seja, maior quantidade percentual de radiação admitida no inverno em relação ao verão.

Tabela 1: Radiação solar incidente, CRS e razão jul./jan.

Radiação solar – Fachada Oeste					
Modelos	Rad.Jan. (Kwh/m²)	Rad.Jul. (Kwh/m²)	CRS Jan. (%)	CRS Jul. (%)	Razão J/J
Desobstruído	71,15	38,77	100,00	100,00	1,00
a) Profundidade 11.2 direção 0°	23,76	10,22	33,39	26,36	0,79
b) Profundidade 19.4 direção 0°	17,55	6,72	24,67	17,33	0,70
c) Profundidade 27.6 direção 0°	12,81	4,38	18,00	11,30	0,63
d) Profundidade 11.2 direção -25°	18,78	14,44	26,39	37,25	1,41
e) Profundidade 19.4 direção -25°	11,32	10,93	15,91	28,19	1,77

Fonte: Os autores

Coerentemente, em todos os casos, os valores apresentaram redução de acordo com o aumento da profundidade dos elementos de controle solar. Demonstrando a funcionalidade de um elemento de controle solar dinâmico, através da possibilidade de ajuste para obtenção de diferentes desempenhos.

Quanto à seletividade na admissão de radiação solar entre inverno e verão, pode-se observar o efeito da manipulação do parâmetro direção das células dos elementos de controle solar (modelos "d" e "e"), nos quais a rotação de -25° (para direção noroeste) favorece a admissão de radiação nos períodos do inverno, enquanto rejeita a admissão nos períodos de verão. Este efeito, pode ser quantitativamente avaliado pelos valores das Razões J/J destes modelos. Este fenômeno se dá em função dos diferentes azimutes das trajetórias solares entre inverno e verão na latitude da cidade de Florianópolis.

3.2 Simulações computacionais de admissão e distribuição de luz natural

A Tabela 2 e a Figura 4, apresentam os resultados das simulações de admissão e distribuição da luz natural. Assim como nas simulações de radiação solar, são apresentados inicialmente os resultados para a situação de fachada desobstruída e posteriormente para as demais variações paramétricas.

A Tabela 2 apresenta os valores simulados de DA300 (médio), UDI100-2000 (médio) e Autonomia sDA300/50%, sendo esta última medida apresentada juntamente à uma escala de cores relativa ao atendimento aos critérios da certificação LEED v4.

Observa-se como resultados que assim como nas simulações de radiação, os valores de admissão de luz natural, coerentemente se comportaram de acordo com as variações dos parâmetros geométricos de cada uma das configurações simuladas. Nas quais, quanto maior a profundidade do elemento ou maior sua inclinação em relação ao azimute da fachada analisada, menor a admissão de luz natural.

Tabela 2: Autonomia da Iluminação Natural Média (DA300), *Useful Daylight Illuminances* Médio (UDI100-2000) e Autonomia Espacial da Iluminação Natural (sDA300/50%).

Admissão e distribuição da luz natural – Fachada Oeste			
Modelos	DA300 (%)	UDI100-2000 (%)	sDA(300-50%)
Desobstruído	97,08	55,64	100
a) Profundidade 11.2 direção 0°	74,71	83,49	82
b) Profundidade 19.4 direção 0°	63,99	89,14	67
c) Profundidade 27.6 direção 0°	49,59	89,65	48
d) Profundidade 11.2 direção -25°	68,32	83,24	70
e) Profundidade 19.4 direção -25°	56,08	83,78	51
Legenda sDA(300-50%)			
de 0 à 55	% da área do ambiente (Não atende critério LEED V4)		
de 55 à 75	% da área do ambiente (2 pontos EG*)		
de 75 à 90	% da área do ambiente (3 pontos EG ou 1 ponto EH**)		
de 90 à 100	% da área do ambiente (2 pontos EH)		
*EG - Edificações em Geral, **EH - Edificações Hospitalares			

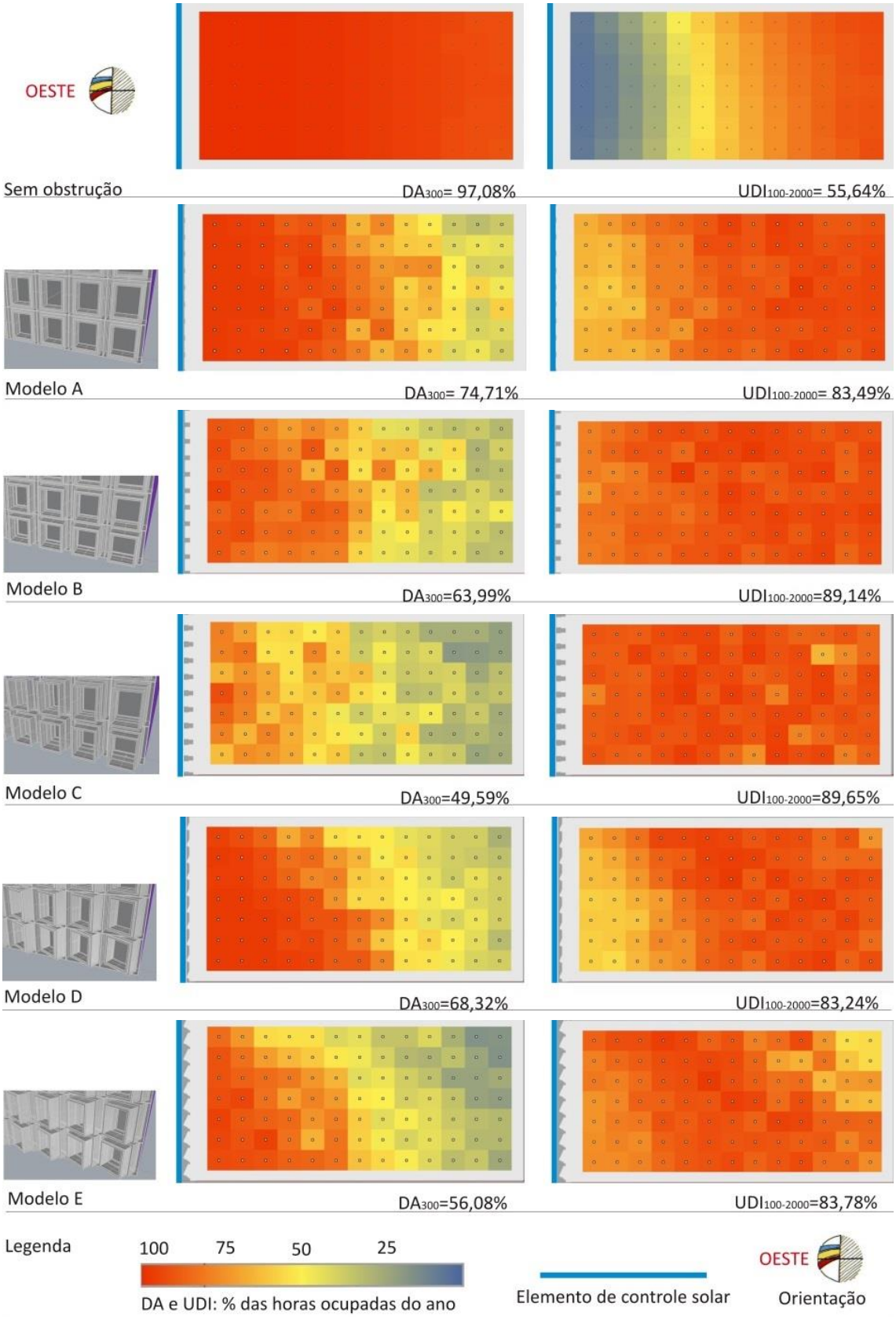
Fonte: Os autores; IES (2012); USGBC (2015).

Destaca-se que o modelo "c", com profundidade de 27,6cm e o modelo "e", com profundidade 19.4cm e inclinado em relação ao azimute da fachada, não atenderiam os critérios de mínimos iluminação natural da certificação LEED v4, já todos os demais atenderiam. Demonstrando que um elemento de controle solar pode apresentar um efetivo controle da admissão de radiação sem que acarrete demasiada redução na admissão e luz natural. Destaca-se o modelo "d", que apresenta capacidade seletiva de admissão de radiação entre inverno e verão e suficiente admissão de iluminação natural.

Todavia, os principais benefícios da utilização dos elementos de controle solar, podem ser observados na melhoria da distribuição da iluminação natural, demonstrada através dos valores de UDI e suas imagens apresentadas na Figura 4.

Comparativamente à situação de fachada desobstruída, observa-se em todos os casos uma melhor distribuição da luz natural, e consequentemente maiores valores de UDI médios, corrigindo a admissão excessiva de luz e radiação, principalmente na região do ambiente, próxima à janela.

Figura 4: Distribuição espacial da Autonomia da Iluminação Natural (DA300) e Useful Daylight Illuminances (UDI100-2000) sobre o plano de análise de iluminação.



Fonte: Os autores

4 CONCLUSÕES

Tendo em vista o objetivo deste trabalho de aprimorar um dos modelos de elementos de controle solar e dar sequência às avaliações de desempenho apresentadas no trabalho de Cartana e Domingos (2018), considera-se que os resultados das simulações computacionais de radiação solar e de luz natural, demonstram de forma geral a eficácia no emprego deste tipo de solução, tanto para o controle da admissão excessiva de calor, quanto para uma melhor distribuição da luz natural. O aprimoramento do modelo escolhido, consistiu na reconstrução do seu algoritmo de modelagem paramétrica, de forma mais simplificada, porém possibilitando controles mais precisos.

De forma complementar às questões de desempenho ambiental, os resultados deste trabalho exemplificam as potencialidades de uso das ferramentas de modelagem paramétrica na criação de elementos arquitetônicos dinâmicos. Sendo os mesmos cada vez mais pertinentes à um conceito de arquitetura contemporânea sustentável, no qual os edifícios têm que se adaptar dinamicamente às condições climáticas às quais estão sujeitos.

5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

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

CARTANA, R. P.; PEREIRA, F. O. R.; MAYER, A. Estudo piloto para elementos de controle solar desenvolvidos com modelagem paramétrica e fabricação digital. **Ambiente Construído**, v. 18, n. 3, p. 67–82, 2018.

CASTLE, H. Editorial – Computation Works: The Building of Algorithmic Thought. **Architectural Design**, v. 83, n. 2, p. 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 Publshing, 2012.

IES. Illuminating Society of North America. **IES Spatial Daylight Autonomy (sDA) and Annual Sunlight Exposure (ASE).** New York, USA, 2012.

JAKUBIEC, J. A.; REINHART, C. **The "Adaptive Zone"– A Concept for Assessing Glare Throughout Daylit Spaces**. In: Proceedings of Building Simulation 2011. p. 2178-2185. Sydney, Australia: 2011.

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

REICHERT, S.; MENGES, A.; CORREA, D. Meteorosensitive architecture: Biomimetic building skins based on materially embedded and hygroscopically enabled responsiveness. **Computer-Aided Design**, v. 60, p. 50–69, 2014.

REINHART, F, C.; MARDALJEVIC, J.; ROGERS, Z. Dynamic Daylight Performance Metrics for Sustainable Building Design. **L E U K O S V O L 3 N O 1**, p. 7–31, 2006.

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.

USGBC. United States Green Building Council. **LEED v4 for Building Design and Construction.** 2015. Disponível em: <http://www.usgbc.org/resources/leed-v4-building-design-and-construction-current-version>. Acesso em: 15 dez. 2017.

YI, H. et al. 3D-printed attachable kinetic shading device with alternate actuation: Use of shape-memory alloy (SMA) for climate-adaptive responsive architecture. **Automation in Construction**, v. 114, n. February, p. 103151, 2020.