ELEMENTOS VAZADOS: EFEITOS VISUAIS DE LUZ E SOMBRA NO AMBIENTE INTERNO

Gabriela Bolssoni (1); Andréa Laranja (2)
(1) Arquiteta e Urbanista, Mestranda em Arquitetura e Urbanismo, gabriela_bolssoni@hotmail.com
(2) Arquiteta e Urbanista, PhD, Profª de Arquitetura e Urbanismo, andreacoelholaranja@gmail.com
Universidade Federal do Espírito Santo (UFES), Centro de Artes, Laboratório de Planejamento de Projetos (LPP), Av. Fernando Ferrari 514, Goiabeiras, Vitória–ES, 29075-910, Tel.: (27) 4009-2581.

RESUMO

A luz natural é um fenômeno dinâmico, que possibilita diferentes efeitos visuais de luz e sombra, que em geral agradam os seres humanos. Nesse sentido, esta pesquisa teve por objetivo avaliar os efeitos visuais de luz e sombra no ambiente interno proporcionados por elementos vazados. Na metodologia foram feitas simulações computacionais onde utilizou-se o software Sketchup para modelagem e o plugin Vray para as renderizações. Foi avaliado um total de cinco modelos de elementos vazados para as orientações Norte e Oeste em duas etapas de simulações. Nas avaliações foi fixado, para todos os modelos, o mesmo percentual de área de abertura de fachada (PAF) e foram variados os seguintes parâmetros: espessura, ângulos de insolação (α e β), quantidade e dimensão dos furos dos elementos vazados. Como critério de análise buscou-se identificar a potencialidade de os elementos vazados gerarem efeitos visuais de luz e sombra no ambiente interno e com qual frequência esses ocorrem. Como principais resultados, observa-se que todos os modelos avaliados apresentaram potencialidade de gerar efeitos visuais de luz e sombra quando há incidência de radiação solar direta. Ademais, constata-se que dentre os parâmetros avaliados, os ângulos de insolação (α e β) dos elementos vazados são os que exercem influência mais significativa na frequência e nitidez dos efeitos visuais proporcionados pelos elementos vazados. Verifica-se, portanto, que os modelos que possuem geometria com maiores ângulos de insolação (α e β) são capazes de gerar efeitos visuais com maior frequência e nitidez.

Palavras-chave: efeitos visuais de luz e sombra, elementos vazados, iluminação natural.

ABSTRACT

Daylight is a dynamic phenomenon, which allows different visual effects of light and shadow, which in general please human beings. In this sense, this research aimed to evaluate the visual effects of light and shadow in the internal environment provided by perforated solar screen. In the methodology, computer simulations were performed using Sketchup software for modeling and the Vray plugin for renderings. A total of five models of perforated solar screen were evaluated for the North and West orientations in two stages of simulations. In the evaluations, the same percentage of façade opening area (PAF) was fixed for all models and the following parameters were varied: thickness, insolation angles (α and β), quantity and dimension of the holes in the perforated solar screen. As an analysis criterion, we sought to identify the potential of the perforated solar screen to generate visual effects of light and shadow in the internal environment and how often they occur. As main results, it is observed that all the models evaluated showed the potential to generate visual effects of light and shadow when there is an incidence of direct solar radiation. In addition, it appears that among the evaluated parameters, the insolation angles (α and β) of the perforated solar screen are those that exert the most significant influence on the frequency and sharpness of the visual effects provided by the Perforated solar screen. It is verified, therefore, that the models that have geometry with greater insolation angles (α and β) are able to generate visual effects with greater frequency and sharpness.

Keywords: visual effects of light and shadow, perforated solar screen, daylight.

1. INTRODUÇÃO

Diversos são os benefícios do aproveitamento da luz natural. Além das conhecidas vantagens associadas à economia de energia (MESA; CORICA; PATTINI, 2011; RAPHAEL, 2011; LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2014), a luz natural agrega aspectos qualitativos ao ambiente interno. Conforme (Ozorhon; Uraz, 2014) a luz é um elemento dinâmico que dita ritmo ao ambiente por meio de transições de luz e sombra possibilitando diferentes percepções do espaço. Segundo os autores, o ser humano depende dessa mudança visual proporcionada pela variação da luz natural para uma vivência mais satisfatória. Hourani e Hammad (2012) corroboram ao afirmarem que os efeitos visuais de luz e sombra agregam qualidade ao ambiente interno por possibilitarem um ambiente mais dinâmico que resulta em uma melhor produtividade humana do que um ambiente estático.

No entanto, mensurar aspectos qualitativos, como, por exemplo, a ocorrências dos efeitos visuais de luz e sombra, não é uma tarefa fácil. Tendo em vista, que esses aspectos estão relacionados a questões estéticas e emocionais difícil de serem mensurados por números, como na avaliação de desempenho qualitativo das edificações (YI, 2019).

Dentre os dispositivos arquitetônicos capazes de proporcionar efeitos visuais de luz e sombra no ambiente interno em função das diferentes geometrias destacam-se os elementos vazados. Ching (2010) define elemento vazado como qualquer sistema de vedação que inclua o espaço vazio, ou seja, que não seja maciço em toda a sua superfície. No Brasil, o uso de elementos vazados teve destaque, inicialmente, com o arquiteto e urbanista Lúcio Costa, o qual utilizou o elemento vazado cobogó no projeto do Parque Guinle - RJ na década de 1940 (CORDEIRO, 2018).

Os elementos vazados vêm sendo amplamente estudados no que se refere ao seu potencial de otimizar o desempenho térmico e lumínico dos edifícios. Cartana, Pereira e Mayer (2018) constataram que os elementos vazados são capazes de reduzir a radiação solar admitida, proporcionando uma melhor distribuição da luz natural, além de reduzirem a incidência de iluminação excessiva na área próxima à fachada. Bolssoni e Laranja (2019a) também identificaram a eficiência desses elementos na redução da iluminação excessiva. Todavia, apesar das diversas pesquisas relativas ao desempenho quantitativo dos elementos vazados, nota-se que ainda são escassos os estudos relacionados aos aspectos qualitativos, o que torna de relevante essa pesquisa, com vistas a incentivar o uso desse recurso como estratégia projetual.

2. OBJETIVO

Esta pesquisa teve por objetivo avaliar os efeitos visuais de luz e sombra no ambiente interno proporcionados por elementos vazados.

3. MÉTODO

O método foi organizado em três etapas: (1) caracterização do ambiente interno; (2) caracterização dos elementos vazados; (3) simulações computacionais.

3.1. Caracterização do ambiente interno

As avaliações foram feitas para uma sala hipotética de escritório situada em Vitória – ES (20°19’15” latitude Sul e 40°20'10" longitude Oeste). A geometria da sala obedece às diretrizes do Código de Obras de Vitória (1998), tem dimensões que se aproximam dos modelos reais de escritório construídos em Vitória conforme o 32º Censo Imobiliário da Grande Vitória (SINDUSCONES, 2017) e, por fim, atende uma relação de proporcionalidade entre os lados descrita por Lamberts; Ghisi; Ramos (2006), como indica a Figura 1.

Dimensão	Requisitos do Código de Obras	Dimensões adotadas
Pé-direito (Pd)	Pd ≥ 2,6 0 m	Pd = 2,60 m
Largura (L)	L ≥ 2,00 m	L = 4,00 m
Profundidade (P)	P ≤ 4xL	P = 8,00 m
Área (A)	A ≥ 7,50 m²	A = 32,00 m²

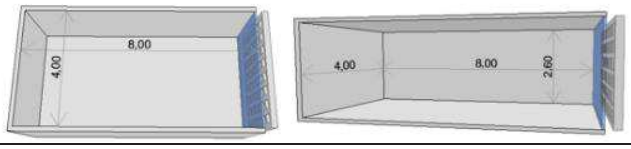


Figura 1 – Dimensões adotadas para o ambiente interno em função dos requisitos do Código de Obras de Vitória - ES

Fonte: as autoras

3.2. Caracterização dos elementos vazados

Os elementos vazados foram posicionados a 20 cm de uma fachada apenas em vidro funcionando, dessa forma, como uma segunda pele. Esses compreendem uma área de 10,40 m² (4,0 m de comprimento e 2,6 m de altura) e possuem refletância de 80%, como indicado por Bolssoni e Laranja (2019b).

Como premissa fixou-se a mesma área total de abertura para todos os modelos avaliados, apesar da quantidade e dimensão dos furos variados. Para definição dessa área, levou-se em consideração os requisitos estabelecidos pelo Códigos de Obras de Vitória para ambientes de escritórios. Assim, foi adotada a área mínima de abertura admitida por esse, que nesse caso foi de 4 m², como indica a Tabela 1.

Requisitos do Código de Obras de Vitória quanto à área de abertura	Área de piso do ambiente avaliado	Área de fachada do ambiente avaliado	Razão entre a área de abertura e a área de piso	Área total de abertura dos elementos vazados	Percentual de área de abertura na fachada (PAF)[1]
- Área de abertura mínima ≥ 1/8 da área do piso e ≥ 0,6 m²	32 m²	10,40 m²	1/8	4 m²	38%

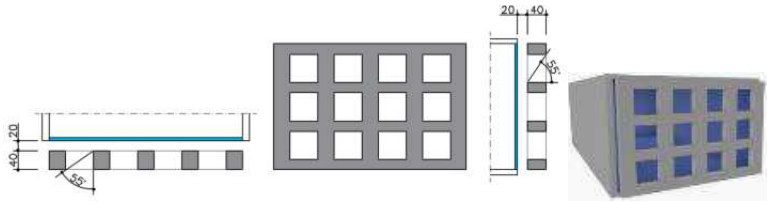
Tabela 1 – Parâmetros adotados para os elementos vazados em função dos requisitos do Código de Obras de Vitória - ES

Fonte: as autoras

Para a determinação da geometria dos elementos vazados, foi definido um modelo base (Modelo II) com furos quadrados numa matriz de 8 furos no eixo X e 6 furos no eixo Y. A partir desse modelo, mantendo-se a mesma área de vazio (4m²), variou-se o percentual da quantidade de furos nos eixos X e Y em 50% para mais e para menos, obtendo-se mais dois modelos (Modelo I e Modelo III). Para as avaliações os modelos foram separados em duas etapas. Na **primeira etapa** foram fixados os mesmos ângulos de insolação (α e β), tendo como base o valor de 55° referente ao Modelo II (modelo base) com espessura de 20 cm. Isso resultou nos Modelos I e III com espessuras de 40 cm e 10 cm, respectivamente, como ilustra a Figura 2.

MODELO I

Fachada em vidro + elemento vazado com **matriz de 4 x 3**, totalizando **12 furos** com dimensões de **58 x 58 cm**, área total de vazio de **4 m²**, espessura de **10 cm** e ângulos de insolação **(α e β) de 55°**.

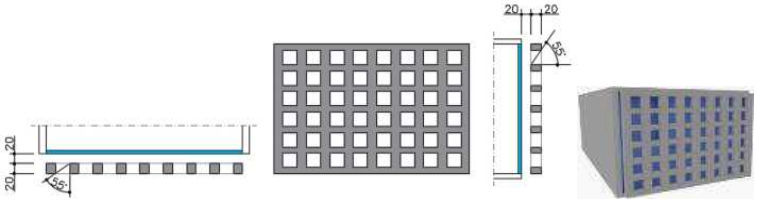


Planta, vista, corte e perspectiva esquemáticos Modelo I

MODELO II

(MODELO BASE)

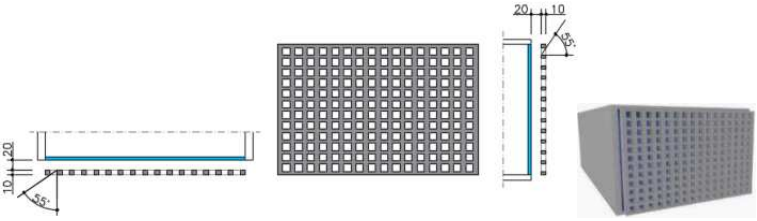
Fachada em vidro + elemento vazado com matriz de **8 x 6**, totalizando **48 furos** com dimensões de **29 x 29 cm**, área total de vazio de 4m², espessura de **20 cm** e ângulos de insolação **(α e β) de 55°**.



Planta, vista, corte e perspectiva esquemáticos Modelo II

MODELO III

Fachada em vidro + elemento vazado com matriz de **16 x 12**, totalizando **192 furos** com dimensões de. **14,5 cm x 14,5 cm**, área total de vazio de **4 m²**, espessura de **40 cm** e ângulos de insolação **(α e β) de 55°**.



Planta, vista, corte e perspectiva esquemáticos Modelo III

Figura 2 – Descrição, planta, vista, corte e perspectiva esquemáticos dos modelos avaliados na primeira etapa (Modelos I, II e III)

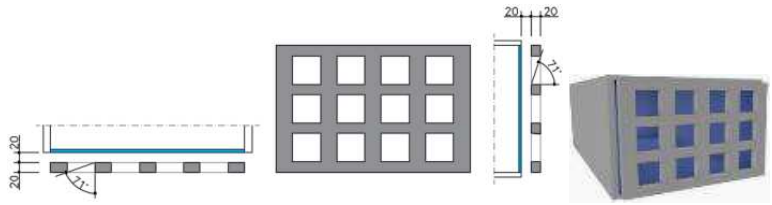
Fonte: as autoras

[1] O percentual de área de abertura na fachada (PAF) corresponde a razão entre a soma das áreas de abertura com fechamento translúcido da fachada e a área total de fachada.

Na **segunda etapa** foi fixada a mesma espessura, de 20 cm do modelo base (Modelo II), para todos os o elementos vazados. Todavia, ao se fixar a mesma espessura foram obtidos ângulos de insolação (α e β) variados em função das dimensões dos furos dos elementos vazados, em que o modelo com furo de maior dimensão (Modelo I') teve consequentemente maiores ângulos de insolação (α e β = 71°) e o de menor dimensão (Modelo III') apresentou os menores ângulos de insolação (α e β = 36°), enquanto para o Modelo II com furo com dimensão intermediária os ângulos de insolação (α e β) foram de 55°, conforme a Figura 3.

MODELO I'

Fachada em vidro + elemento vazado com **matriz de 4 x 3**, totalizando **12 furos** com dimensões de **58 x 58cm**, área total de vazio de **4 m²**, espessura de **20 cm** e ângulos de insolação (α e β) de **71°**.

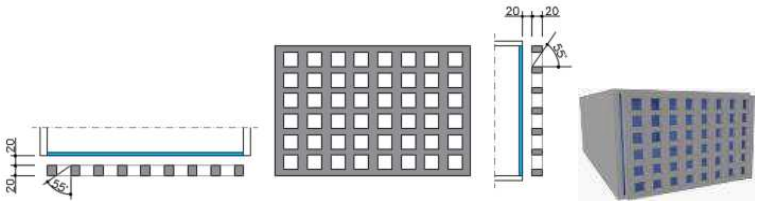


Planta, vista e corte e perspectiva esquemáticos Modelo I'

MODELO II

(MODELO BASE)

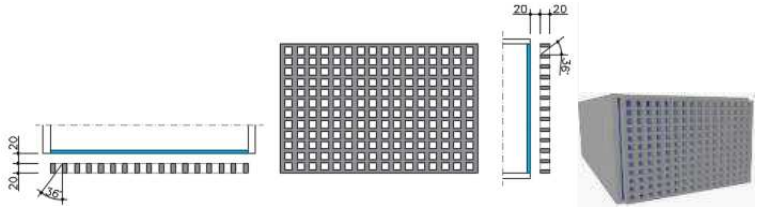
Fachada em vidro + elemento vazado com matriz de **8 x 6**, totalizando **48 furos** com dimensões de **29 x 29 cm**, área total de vazio de **4 m²**, espessura de **20 cm** e ângulos de insolação (α e β) de **55°**.



Planta, vista, corte e perspectiva esquemáticos Modelo II

MODELO III'

Fachada em vidro + elemento vazado com matriz de **16 x 12**, totalizando **192 furos** com dimensões de **14,5 cm x 14,5 cm**, área total de vazio de **4 m²**, espessura de **20 cm** e ângulos de insolação **(α e β) de 36°**.



Planta, vista e corte e perspectiva esquemáticos Modelo III'

Figura 3 – Descrição, planta, vista, corte e perspectiva esquemáticos dos modelos avaliados na segunda etapa (Modelos I', II e III')

Fonte: as autoras

3.3. Simulações computacionais

Para as simulações computacionais utilizou-se o software Sketchup para modelagem e o plugin Vray para as renderizações. O V-Ray, que é um software de renderização 3D que funciona como plugin do programa de modelagem do SketchUp. Desenvolvido pela Chaos Group, o Vray trata-se de um programa que vem sendo amplamente utilizado para a representação realista de projetos de arquitetura. A escolha por esses programas se deu em função da facilidade de manipulação, da interface com outros programas e, principalmente, dos resultados realistas possibilitados por esses, que se dá por meio da configuração dos materiais, da inserção da localização, da época do ano, da orientação e do tipo de céu.

Levando em consideração que a ocorrência dos efeitos visuais é considerada um aspecto positivo que agrega qualidade ao ambiente interno e aumenta a produtividade do usuário ao promover um ambiente mais dinâmico (OZORHON; URAZ, 2014; HOURANI; HAMMAD, 2012), como critério de análise buscou-se identificar a potencialidade de os modelos gerarem efeitos visuais de luz e sombra no ambiente interno e em quais momentos esses ocorrem. Além disso, procurou-se entender como cada um dos parâmetros avaliados, orientação, horários do dia, geometria do elemento vazado (dimensão dos furos, espessura do elemento vazado, ângulos de insolação) na ocorrência desses efeitos. Para tanto, foram adotados dois parâmetros de avaliação:

1) Frequência: foi observada a quantidade de vezes que os elementos vazados geram efeitos visuais de luz e sombra nas superfícies de paredes e piso interno;

2) Nitidez: foi verificado o nível de contraste entre a luz e a sombra possibilitado pelos elementos vazados.

As avaliações foram feitas para os solstícios de inverno e verão (21 de junho e 21 de dezembro, respectivamente) nas orientações Norte e Oeste para os horários de 8h, 10h, 12h, 14h e 16h em condições de

céu claro.

4. RESULTADOS

Nas avaliações dos efeitos visuais de luz e sombra, observa-se, de modo geral, que os modelos apresentaram potencialidade de gerar esses efeitos no ambiente interno. Como resultado da **primeira etapa** para a orientação Norte no solstício de inverno (Figura 4), nota-se a ocorrência de efeitos visuais de luz e sombra ao longo de todo o dia. Isso é decorrente da radiação solar direta recebida nessa orientação nessa época do ano. Todos os modelos foram capazes de reproduzir os desenhos dos elementos vazados. Todavia, esses desenhos só podem ser observados nos horários de 10h, 12h e 14h. Para o solstício de verão (Figura 5), verifica-se que nenhum dos modelos gerou efeitos visuais de luz e sombra no ambiente interno. Isso é decorrente da orientação Norte não receber radiação solar direta nessa época do ano. Observa-se apenas um brilho intenso que se dá no próprio elemento vazado, sem definição de desenhos luz e sombra nas superfícies.

Para a orientação Oeste nos solstícios de inverno (Figura 6) e verão (Figura 7), verifica-se a ocorrência de efeitos visuais de luz e sombra apenas no período da tarde (14h, 16h). Nota-se ainda, para todos os modelos, que os efeitos visuais de luz e sombra identificados no horário das 14h estão mais próximos à abertura, enquanto às 16h esses efeitos atingem uma maior profundidade do ambiente interno. Atribui-se esse fato a altura solar, quando às 16h o sol está mais baixo, assim os raios solares conseguem atingir áreas mais profundas do ambiente interno.

Em relação ao desempenho dos modelos avaliados nessa etapa (Modelos I, II e III) não foi possível identificar uma diferença notável quanto à nitidez e à frequência dos desenhos de luz e sombra. Tal resultado pode estar relacionado à fixação dos mesmos ângulos de insolação (α e $\beta = 55°$), apesar da quantidade e dimensões dos furos variadas. Isso conduziu a uma segunda etapa de avaliação, onde foram variados os ângulos de insolação a partir da fixação da mesma espessura com a finalidade de se constatar essa hipótese.

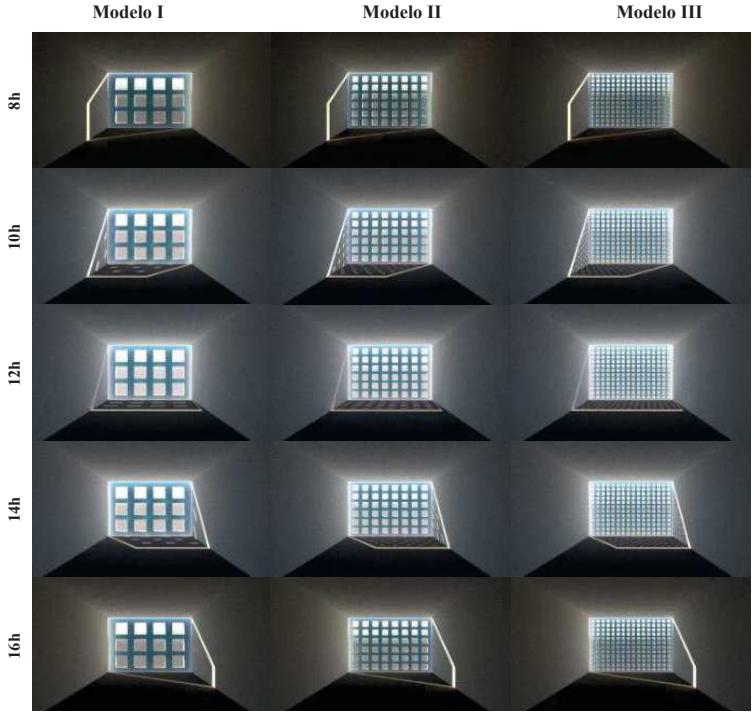


Figura 4 – Orientação Norte, solstício de inverno, modelos avaliados na primeira etapa (Modelo I, II, III)
Fonte: as autoras

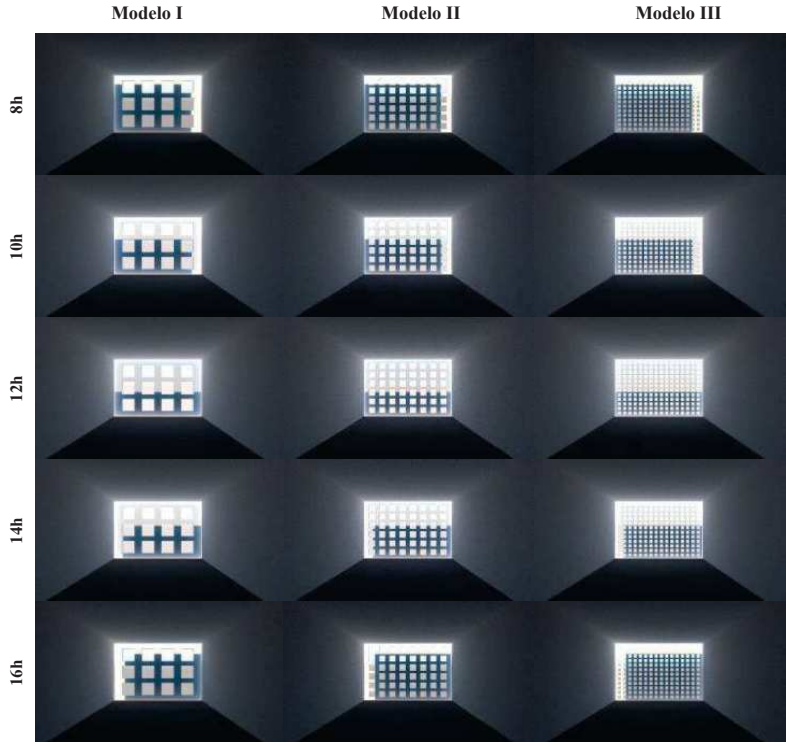


Figura 5 – Orientação Norte, solstício de verão, modelos avaliados na primeira etapa (Modelo I, II, III)
Fonte: as autoras

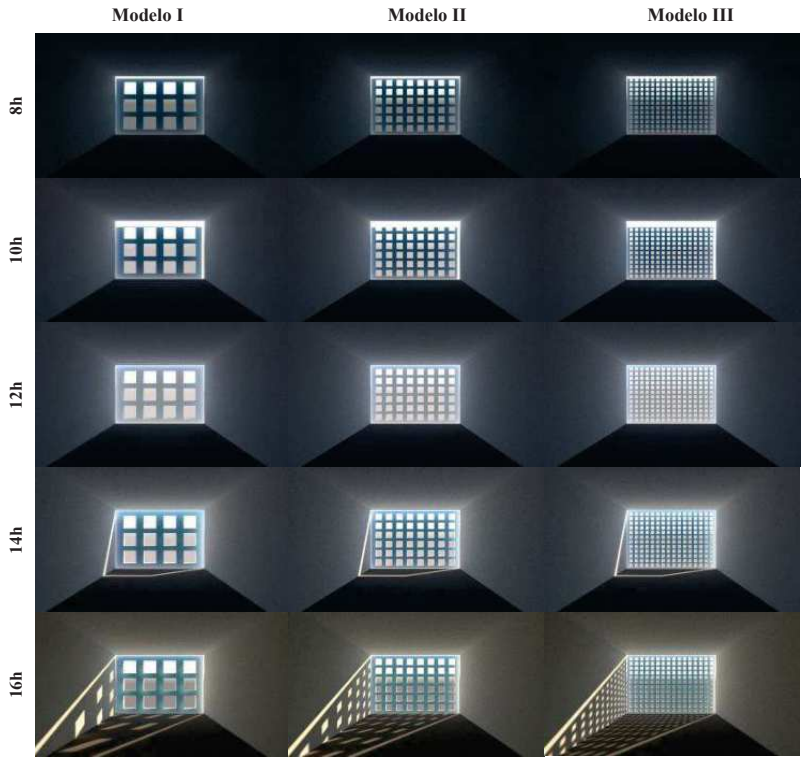


Figura 6 – Orientação Oeste, solstício de inverno, modelos avaliados na primeira etapa (Modelo I, II, III)
Fonte: as autoras

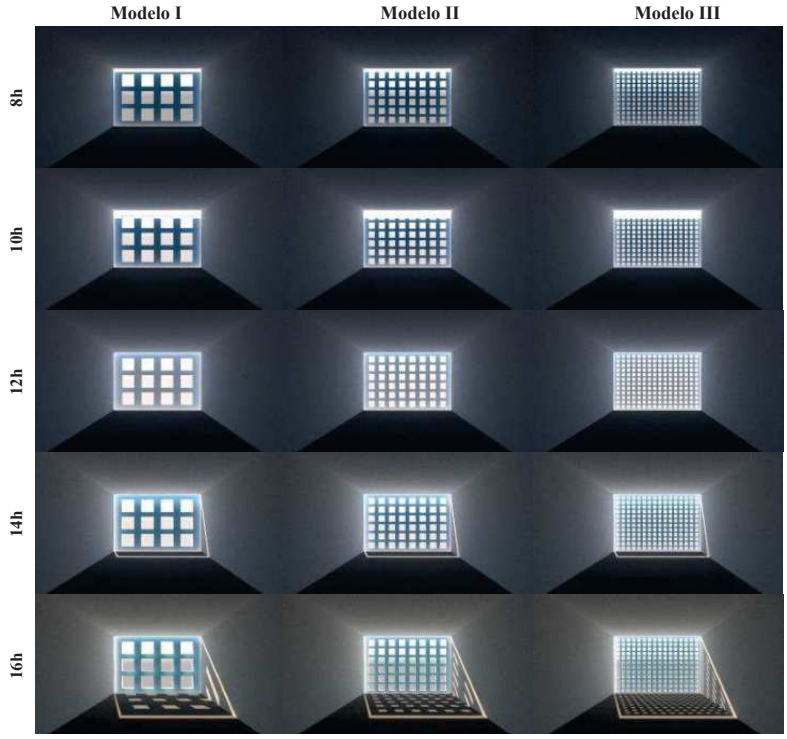


Figura 7 – Orientação Oeste, solstício de verão, modelos avaliados na primeira etapa (Modelo I, II, III)

Fonte: as autoras

Como resultado da **segunda etapa**, de modo geral, identifica-se mais uma vez, para as orientações Norte e Oeste, a necessidade da incidência da radiação solar direta para a ocorrência de efeitos visuais de luz e sombra proveniente dos elementos vazados. Porém, confirma-se a hipótese sugerida na primeira etapa, que os ângulos de insolação (α e β) são elementos influenciadores na ocorrência dos efeitos visuais. Isso é percebido com o Modelo I', de maiores ângulos de insolação (α e β = 71°), o qual reproduz o desenho do elemento vazado com maior nitidez e com maior frequência. Já o Modelo III', de menores ângulos de insolação (α e β = 36°) apresenta os desenhos menos evidentes e com menor ocorrência ao longo do dia.

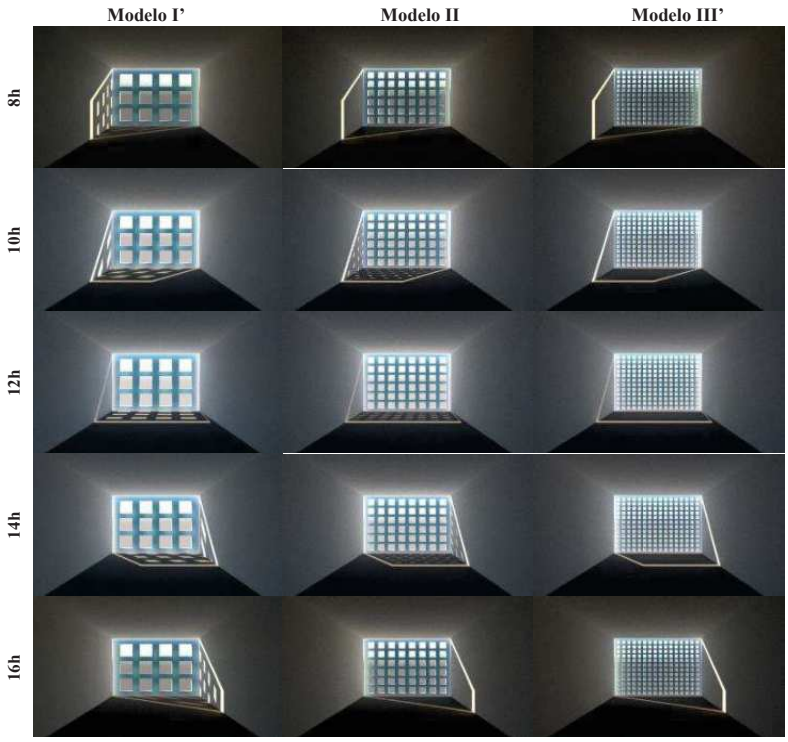


Figura 8 – Orientação Norte, solstício de inverno, modelos avaliados na segunda etapa (Modelo I', II, III')

Fonte: as autoras

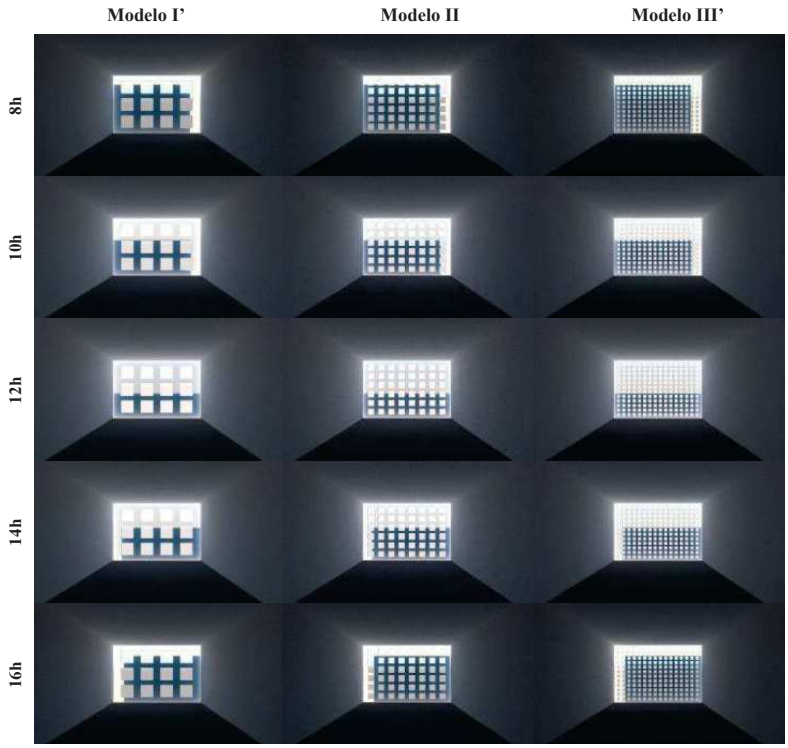


Figura 9 – Orientação Norte, solstício de verão, modelos avaliados na segunda etapa (Modelo I', II, III')
Fonte: as autoras

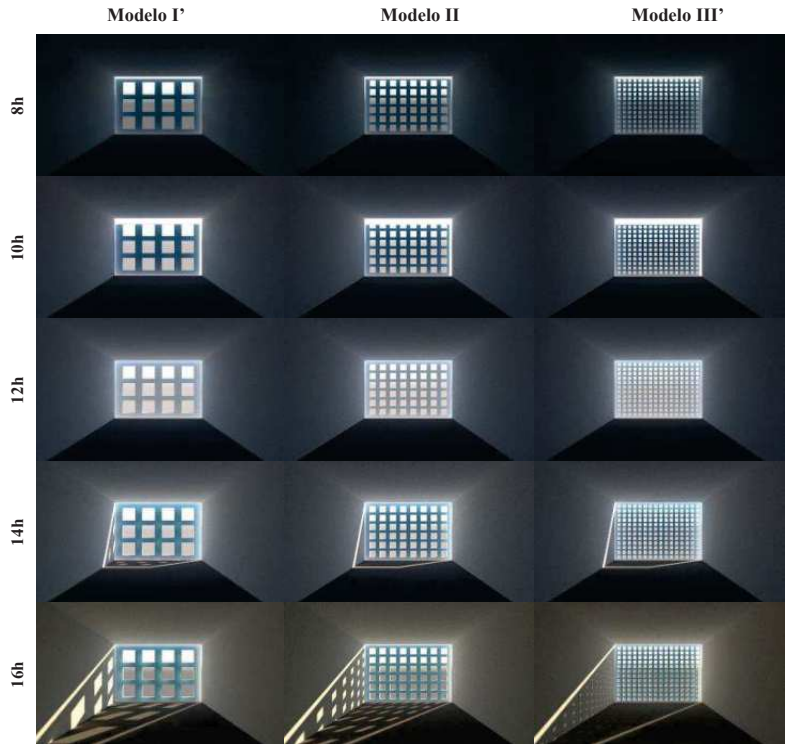


Figura 10 – Orientação Oeste, solstício de inverno, modelos avaliados na segunda etapa (Modelo I', II, III')
Fonte: as autoras

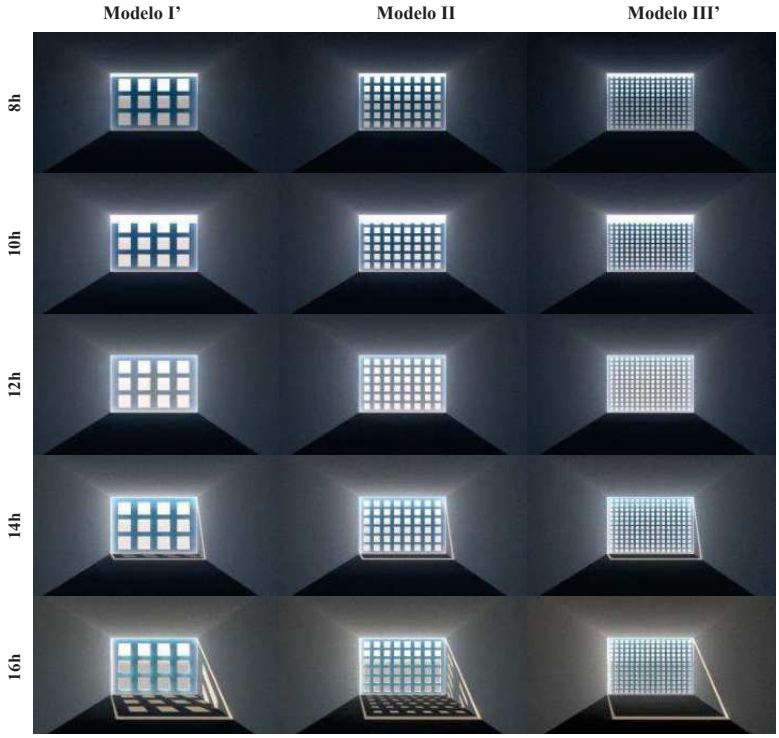


Figura 11 – Orientação Oeste, solstício de verão, modelos avaliados na segunda etapa (Modelo I', II, III')
Fonte: as autoras

Assim, é possível concluir, que são os ângulos de insolação (α e β) os fatores mais determinantes para a ocorrência dos efeitos visuais de luz e sombra dos elementos vazados. Tal influência torna-se mais evidente ao se comparar simultaneamente os modelos da primeira e da segunda etapa. Os modelos com mesma geometria (mesma quantidade e dimensão dos furos), mas com ângulos de insolação variados apresentaram diferentes performances visuais, como é o caso dos Modelos I (α e β = 55°) e I' (α e β = 71°); Modelos III (α e β = 55°) e III' (α e β = 36°). Para o Modelo III', por exemplo, os contrastes de luz e sombra são praticamente imperceptíveis, enquanto para o Modelo III esses já são mais evidentes. Assim como, com o Modelo I' o desenho do elemento vazado é reproduzido de maneira mais nítida, enquanto com o Modelo I esse apresenta menor nitidez, como exemplifica a Figura 12.

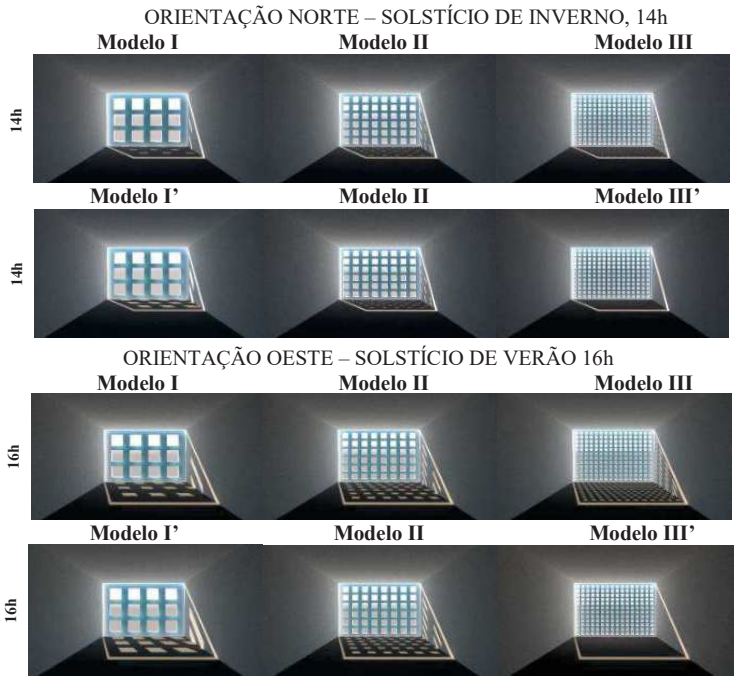


Figura 12 – Síntese dos resultados dos modelos avaliados na primeira (Modelo I, II, III) e segunda etapa (Modelo I', II, III')
Fonte: as autoras

5. CONCLUSÕES

Esta pesquisa teve por objetivo avaliar os efeitos visuais de luz e sombra no ambiente interno proporcionados por elementos vazados. Como método, foram realizados renders do ambiente interno onde foi avaliado o potencial dos elementos vazados produzirem efeitos visuais de luz e sombra.

Como principais resultados destaca-se a potencialidade de os elementos vazados gerarem efeitos visuais de luz e sombra no ambiente interno quando há incidência de radiação solar direta para as orientações Norte e Oeste. Além disso constata-se que, dentre os parâmetros avaliados, os ângulos de insolação (α e β) são os que exercem influência mais significativa na ocorrência dos efeitos visuais. O modelo de maiores ângulos (Modelo I') apresentou os desenhos mais nítidos e com maior frequência. O modelo de menores ângulos (Modelo III') apresentou os desenhos menos nítidos e com menor frequência, enquanto com os modelos de mesmos ângulos os desenhos de luz e sombra ocorreram nos mesmos períodos e não foi identificada uma diferença notável quanto a nitidez dos mesmos.

No entanto, é importante atentar que, possivelmente, os modelos com maiores ângulos de insolação também admitirão maior radiação solar e maiores níveis de iluminância, sendo por isso importante realizar avaliações complementares de outros parâmetros como, por exemplo, análise da radiação solar transmitida e do ofuscamento. Ademais, como trabalhos futuros sugere-se a realização de pesquisas com o usuário a fim de verificar se de fato há essa preferência por ambiente com efeitos visuais de luz e sombra.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BOLSSONI, G.; LARANJA, A. Análise do desempenho lumínico de ambientes internos a partir da atuação de elementos vazados. **XV Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído (ENCAC) e XI Encontro Latino-Americano de Conforto no Ambiente Construído (ELACAC).** João Pessoa, 2019a.

BOLSSONI, G.; LARANJA, A. A Influência da Refletância dos Elementos Vazados no Desempenho Lumínico. **II Congesso Internacional de Arquitetura e Cidade (ARQCIDADE) e X Coletânea ARQURB.** Vila Velha, 2019b.

CARTANA, R.; PEREIRA, F. 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, Porto Alegre, 2018.

CHING, F. D. K. Dicionário visual de arquitetura. São Paulo: **Martins Fontes**, 2010.

CORDEIRO, A. **O uso de cobogós como uma segunda pele em edifícios de escritórios: análise do desempenho lumínico de diferentes geometrias.** 2018. 199p. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Instituto de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2018.

HOURANI, M. M.; HAMMAD, R. N. Impact of daylight quality on architectural space dynamics Case study: City Mall – Amman, Jordan. Renewable and Sustainable Energy Reviews n. 16, p. 3579-3585, 2012.

LAMBERTS, R.; DUTRA, L.; PEREIRA, F. O. R**. Eficiência energética na arquitetura.** 3ª ed. São Paulo, 2014.

MESA, N. A.; CORICA, L.; PATTINI, A. Evaluation of the potential of natural light to illuminate buildings in dense urban environment. A study in Mendoza, Argentina. **Renewable Energy**, n. 36, p. 2414-2423, 2011.

OZORHON, I. F.; URAZ, T. U Natural light as a determinant of the identity of architectural space. **Journal of Architecture and Urbanism**, v. 38, n. 2, p. 107-119, 2014.

RAPHAEL, B. Active control of daylighting features in buildings. **Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering,** n.26, p.393-405, 2011.

SINDICATO DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO CIVIL NO ESTADO DO ESPÍRITO SANTO (SINDUSCON-ES). **32º Censo Imobiliário**. 2017. Disponível em: <http://www.sinduscon-es.com.br/v2/upload/572018171542_Apresentacao_Censo_JULHO_2017.pdf>. Acesso em: 25 nov. 2018.

VITÓRIA. Lei n°. 4821, de 30 de dezembro de 1998. **Código de Edificações do Município de Vitória. Vitória**, 1998. Disponível em: <https://leismunicipais.com.br/codigo-de-obras-vitoria-es> Acesso em: 17 out. 2019.

YI, Y.K. Building facade multi-objective optimization for daylight and aesthetical perception. **Building and Environment**. Volume 156, June 2019, Pages 178-190.

AGRADECIMENTOS

As autoras agradecem à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo apoio financeiro destinado à esta pesquisa.