



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

ESTUDO COMPARATIVO ENTRE UM BRISE-SOLEIL E O MUXARABI ARTICULÁVEL MUART – ESTUDO DE CASO: LUZ E SOMBRA EM UMA SALA DE AULA COM FACHADA LESTE NO HEMISFÉRIO SUL

Érica da Costa Urbano de Oliveira (1); Ana Lúcia Nogueira de Camargo Harris (2)

(1) mestre, arquiteta e urbanista, arquiteta.ericaurbano@gmail.com, UNICAMP, Rua Equador, 86, Jd América, Amparo/SP, CEP 13904-102 (19)9 97300585

(2) doutora, professora arquiteta e urbanista, luharris@unicamp.br, UNICAMP, Rua Saturnino de Brito, 224 – Cidade Universitária, Campinas/SP, CEP 13083-889 (19) 35212398

RESUMO

Elementos arquitetônicos para a proteção de aberturas em fachadas de edificações se fazem presentes particularmente com os *brises-soleil* e seus precursores, os muxarabis. Tais elementos vêm sendo desenvolvidos gradualmente ao longo da história e atualmente contam com tecnologias e equipamentos que permitem alinhar, num mesmo elemento arquitetônico, as melhores qualidades de ambos. No caso dos *brises-soleil*, remetem especialmente ao alcance de uma boa capacidade de produção industrial, bem como nas possibilidades de articulação. No caso dos clássicos muxarabis, observa-se como principal qualidade, a potencialidade em absorver uma gama de padrões de design de superfície que podem ser desenvolvidos agregando identidade nas fachadas das edificações. Este artigo descreve parte de uma pesquisa de mestrado, na qual, por meio de um experimento, se comparou um tipo de *brise-soleil* articulado com um elemento arquitetônico desenvolvido denominado de MuArt - Muxarabi Articulado e Artístico, o qual incorpora um padrão geométrico bastante conhecido na arte islâmica, denominado de *hueso*. O objeto de estudo para experimento foi um *brise-soleil* instalado em uma sala de aula real. A partir de modelagens digitais, foi gerada uma versão virtual dessa sala de aula e comparou-se efeitos de luz e sombra produzidos por este *brise-soleil* e pelo MuArt, em simulações digitais. Os resultados mostraram que o MuArt apresenta potencial para ser oferecido ao mercado da construção civil como um elemento de proteção solar para fachadas, especialmente pela qualidade de inserir padrões modulares e composição entre cheios e vazios.

Palavras-chave: fachada modular; design de superfície; elemento arquitetônico; articulação.

ABSTRACT

Architectural elements for the protection of openings in facades of buildings are particularly present with the brises-soleil and their precursors, the mashrabyia. These elements have been developed gradually throughout history and nowadays rely on technologies and equipment that allow to align, in one and the same architectural element, the best qualities of both. In the case of the brises-soleil, they refer in particular to the scope of good industrial production capacity, as well as the possibilities for coordination. In the case of the classic muxarabis, one observes as main quality, the potentiality to absorb a range of surface design patterns that can be developed by adding identity in the facades of the buildings. This article describes part of a master's research, where, through an experiment, we compare a type of articulated brise-soleil with a developed architectural element called MuArt - Articulated and Artistic Mashrabyia, which incorporates a well-known geometric pattern in Islamic art, called bone. The object of study for experiment was a brise-soleil installed in a real classroom. From digital modeling, a virtual version of this classroom was generated and light and shadow effects produced by this brise-soleil and MuArt were compared in digital simulations. The results showed that MuArt has the potential to be offered to the construction Market as an element of solar protection for facades, especially for its quality to insert modular patterns and composition between filled and empty.

Keywords: natural light, illuminance, computer simulation systems.

1. INTRODUÇÃO

Nesse estudo, os dois objetos de estudo são um *brise-soleil* e o Muxarabi Articulado e Artístico (MuArt). A justificativa da seleção do *brise-soleil* se fundamenta em sua história de contribuição formal e funcional nas fachadas, tendo se destacado no modernismo e evoluído tecnicamente, principalmente com a implementação de articulações e automação, cada vez mais presentes. Além de servirem como elementos de controle da luz incidente do sol em aberturas de fachadas das edificações, colaboram minimizando a temperatura interna, uma vez que se agrava com a radiação transmitida através dos vidros numa incidência solar direta. Os tipos articuláveis permitem melhor adequação no controle dessa proteção solar ao alinhar-se com o percurso do sol ao longo do dia.

O MuArt foi desenvolvido como um elemento arquitetônico que exemplifica uma nova proposta de classe para elementos de fachada, que incorpora qualidades do *brise-soleil* articulável e automatizável, permitindo também a incorporação de padrões modulares em seu design de superfície, em referência às características formais dos muxarabis clássicos.

Para a realização desta comparação, utilizou-se como base de design de superfície um padrão existente a partir da figura encontrada na arte islâmica, denominada de *hueso*, um exemplo modular capaz de movimentar em encaixes. Esta forma está presente no revestimento de paredes em forma de peças alicatadas no palácio Nazarí em Alhambra, Espanha (FIGURA 1). Incorpora na superfície dessas placas, uma composição de desenhos com cheios e vazios, definem um relevo gráfico alinhado ao padrão modular do *hueso* e permite a articulação por eixos existente no objeto de estudo *brise-soleil*.



Figura 1: Composição do Padrão modular hueso, de paredes do Palácio Nazarí, em Alhambra.
Fonte: BLANCO e HARRIS, 2011.

Para Harris e Castro (2013), uma das funções da fachada é ser a interface entre espaço construído e meio ambiente, devendo garantir qualidade térmica, luminosa e energética. Referenciam Montaner (1988) para ressaltar o potencial da transmissão de valores culturais e necessidade de se incorporar nos projetos tecnologias inovadoras alinhadas a design de superfície personalizado com determinada identidade. Propõem um método que “inclui: percepção, alfabetização, interpretação e representação para leitura visual de fachada” a fim de se extrair vantagens sobre comunicação e captura gráfica da essência em novas formas.

Corbella e Yannas (2003) relacionam o estado de conforto com estar neutro, ou seja, sem sensação de frio, nem de calor. Afirmam que as atividades internas e externas à habitação são diferentes, justificando a importância de o arquiteto compreender o uso espacial para motivar ou modificar a qualidade dos ambientes de acordo com o conhecimento da tecnologia, cultura, estética, ética e história. Alertam que o ruído não é tão desconfortável quanto a temperatura (em clima tropical), recomendando proteger a edificação contra radiação como sendo o princípio do partido arquitetônico.

Amorin (2002) enfatiza que o aspecto estético e funcional está presente "desde os primórdios da arquitetura". Gutierrez (2004) complementa que na busca por proteção, o homem pré-histórico já desenvolvia materiais e soluções construtivas e criativas impulsionadas pelo crescente domínio sobre técnicas, ferramentas, materiais e ciência, quando alternativas inovadoras conferiam ao espaço capacidade de atender aos múltiplos estilos de vida. Posteriormente, a arquitetura demandou elementos de proteção para fachadas cada vez mais flexíveis e articuláveis, como soluções às mudanças sociais e tecnológicas.

Stofella et al (2016) tratam sobre sistemas automatizados de proteção de fachada como tendência crescente em projetos tecnológicos que visam responder às diferenças climáticas e estímulos do meio ambiente. Já havia uma preocupação com o controle na transferência de calor sem que este prejudicasse a qualidade de luz natural no interior do ambiente.

Cunha (2011) destaca que surgiu resistência contra elementos de controle de radiação solar em decorrência da relação entre o elemento de fachada e sua forma de utilização sem estudos sobre a real necessidade dessa estratégia construtiva para cada caso. Defende que os *brises-soleil* são eficientes do ponto

de vista energético, afirmando que “não há dúvida quanto à importância dos mesmos como elementos de controle seletivo de ganhos térmicos”, mas há limites e precisa ser verificado se justifica o investimento financeiro e tecnológico.

Com relação aos limites do *brise-soleil*, Szabo (2003) explica que, por mais que um projeto e obra sejam uma referência e modelo para outros, a necessidade de adequação regional e climática é primordial para propor tais elementos para uma determinada fachada. Destacou como problema do desuso dos *brise-soleil* as consequências da reprodução sem respeito à necessidade luminosa própria de cada implantação, enfatizando um desconhecimento técnico e de estudos pós-ocupacionais.

Gutierrez e Labaki (2005) apresentam os *brises-soleil* como opção de dispositivos para proteção solar, cuja função básica soma à inserção da arquitetura, especialmente no modernismo, enquanto elemento de composição e expressão formal. Explicam que o partido da implantação deve ser condicionado ao programa de necessidades, aos materiais e técnicas construtivas, ao clima, e a intenção plástica. Salientam que o Brasil tem a maior parte de seu território localizado entre o equador e o trópico de capricórnio, região onde a radiação solar é um problema.

Barbosa & Porto (2005) classificam tal controle como “um dos principais desafios” que necessita considerar alterações do clima e incidência solar ao longo do dia e das estações. Salientam que o controle sazonal automático é um instrumento interessante como mecanismo de proteção solar, sendo importante entender sobre características de eficiência geométrica de tipos de protetores, manter um conforto visual necessário, tanto sob iluminação natural, quanto artificial. Isso requer inter-relação com sistemas de proteção solar adequados às diferenças entre situações climáticas e necessidades luminosas.

A forma geométrica tem um papel fundamental no desenvolvimento dos elementos de fachada, tanto externamente quanto internamente. Por fora, a edificação pode transmitir mensagens, comunicar-se com o público que vive a cidade sem adentrar na construção. Internamente, a forma das esquadrias, aberturas e protetores, como *brises-soleil* e muxarabis, podem resultar em sombreamentos com maiores ou menores problemas de contrastes e ofuscamento visual.

Lamberts et al (1997) definem “Conforto Visual” como a existência de um conjunto de condições, num determinado ambiente, no qual o ser humano pode desenvolver tarefas visuais com o máximo de acuidade e precisão visual, com o menor esforço, menor risco de prejuízos à visão e com reduzidos riscos acidentais. Para alcançar tal conforto, os requisitos necessários são: iluminação suficiente com boa distribuição de iluminâncias, ausência de ofuscamento e contrastes adequados e um bom padrão e direção de sombras.

Colin (2011) afirma que para compor formas geométricas, deve-se buscar uma volumetria simples, com estruturas massivas, assumindo os materiais aparentes, convergindo técnicas estruturais tradicionais com alta tecnologia.

O MuArt desenvolvido pelas autoras oferece em sua forma, uma qualidade estética rica em aspectos culturais e tradicionais e ainda permite ventilação através dos vazios proporcionados por suas placas com padrões geométricos perfurados. É um elemento arquitetônico de filtragem da luz solar incidente interessante para estudar como alternativa tecnológica para contribuir nas fachadas das edificações para auxiliar o conforto ambiental do ambiente construído (FIGURAS 2 e 3).

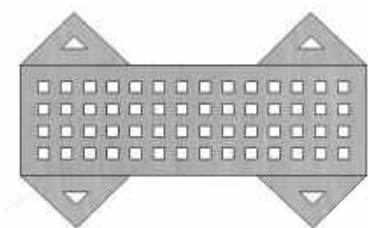


Figura 2. Módulo *hueso* perfurado.

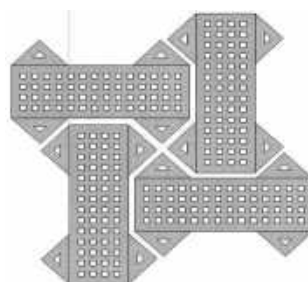


Figura 3. Módulo da composição de encaixe de quatro placas com formato *hueso*.
Fonte: As autoras.

2. OBJETIVO DO EXPERIMENTO

Comparar um *brise-soleil* articulado e um novo elemento de fachada, MuArt, em suas potencialidades relacionadas aos efeitos de luz e sombras resultantes no interior de um ambiente.

3. MÉTODO

Este artigo descreve um experimento, realizado como parte de uma pesquisa de mestrado, com enfoque em uma análise comparativa entre dois elementos arquitetônicos de proteção de fachada para filtragem do excesso de luz solar incidente em edificações. Comparou-se um elemento do tipo *brise-soleil*, o qual existe na fachada de um edifício de salas de aula, e o elemento MuArt, Muxarabi Articulado e Artístico desenvolvido pelas autoras.

Seguindo o delineamento do método *Design Science Research*, selecionou-se para a etapa de experimento uma sala de aula existente, cuja fachada está voltada para Leste, na qual está instalado um *brise-soleil* articulado. Para validar a análise da sala real (FIGURA 4) com o ambiente virtual (FIGURA 5) das simulações realizadas para comparar os elementos de proteção de fachada, foi feita uma aferição entre as duas realidades. Para tanto, modelou-se a sala a ser analisada para tais simulações e comparações.



Figura 4. Foto do ambiente da sala real.
Fonte: As autoras.



Figura 5. Renderização do ambiente modelado digitalmente.

O ambiente real foi submetido à medição do nível de iluminação por meio de registros dos efeitos de luz e sombra para ambas situações, tanto de *brise-soleil* aberto, quanto fechado, a partir de imagens fotográficas de hora em hora. Para cada horário, os *brises-soleil* foram abertos e fechados registrando, em planilha do Excel pré-elaborada, os níveis de iluminação com luxímetro em cada mesa selecionada nas duas situações. Outra medição também foi feita, acendendo às lâmpadas da sala, e assim, cada carteira foi medido o lux, tanto para a iluminação natural quanto artificial.

Realizou-se uma simulação equivalente no ambiente virtual modelado, submetendo-o a uma análise de renderizações com uso dos softwares *Vray 3.6* e *Atlantis 9*. O ambiente virtual foi submetido às medições de lux/hora em situações de céu claro na data crítica de iluminação natural, 21 de dezembro de 2019. A data foi escolhida por ser o solstício de verão no Hemisfério Sul, quando o sol está mais próximo de praticamente todo o Brasil. Isso devido a inclinação do eixo da Terra, e como resultado, é o dia mais longo do ano no Hemisfério Sul, oposto ao Norte, onde há o dia mais curto. No Brasil o Sol aparece mais cedo, fica mais alto e demora para anoitecer. Assim, para o estudo da sala, optou-se por esse Solstício de Verão considerando que oferecia o maior tempo de incidência solar para esse estudo.

A sala foi medida com trena, tanto os elementos construtivos, quanto os móveis, e foi modelada em maquete digital, na qual se inseriu o *brise-soleil* existente. Na medição, além do uso da trena para conhecimento das dimensões, foi utilizado luxímetro para mediar o lux de cada mesa. Esses dados foram coletados de hora em hora, abrindo e fechando os *brises-soleil*. Realizou-se uma análise comparativa entre a situação real a partir de fotografias tiradas em determinados momentos, posicionando a câmera e pontos pré-determinados, com a simulação equivalente no ambiente virtual (FIGURAS 6).



Figura 6. Fotos internas dos *brises-soleil* instalados nas janelas do ambiente medido no experimento.
Fonte: As autoras.

Quando as simulações foram realizadas, cada fileira de mesas foi agrupada em fileira da janela, fileira do meio e fileira da parede da porta. Na sala há 5 fileiras, recortando na amostra as das extremidades (janela e parede) e a do meio. A fileira entre as mesas da janela e do meio, e a fileira das mesas entre a parede e o meio

foram desconsideradas. As mesas próximas às janelas estavam submetidas à mesma iluminação, a qual era mais distante das mesas da fileira encostada na parede, sendo às perto da janela mais iluminadas do que às outras, em ambas as situações tanto do *brise-soleil* quanto do MuArt (FIGURA 7).

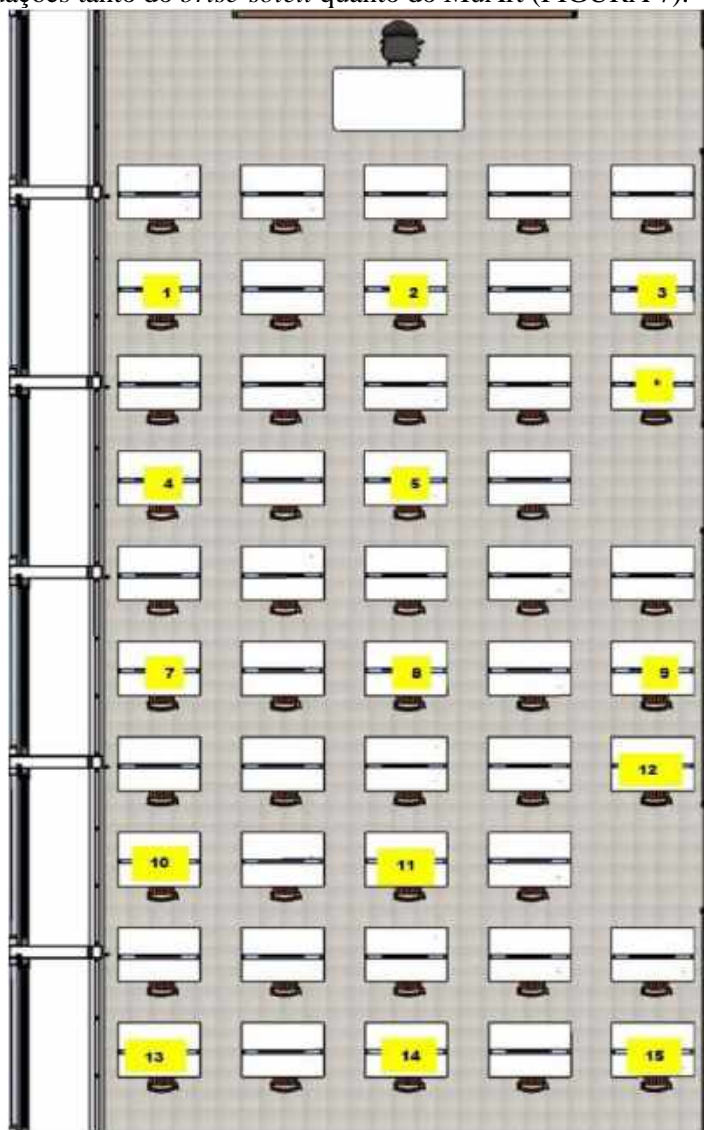


Figura 7. Planta Baixa com layout da sala e mesas medidas no experimento.

Fonte: As autoras.

Observada a necessidade de fazer alguns ajustes no modelo, voltou-se aos softwares Autocad 2018, SkechtUp 2018 e Revit 2018 corrigindo a maquete conforme a aferição da situação real exigiu. Após os ajustes, pôde-se validar o ambiente modelado para que pudesse ser utilizado na comparação dos dois elementos arquitetônicos de fachadas: o *brise-soleil* real, instalado no ambiente construído, e o MuArt, proposta virtual que resultou em um protótipo e que segue seu desenvolvimento para ser possível aplicar em fachadas.

Para as análises da tabela oferecida pelos registros dos valores medidos em lux pelo luxímetro foram traduzidas nos níveis de iluminação apresentadas por Lamberts et al (1997) a fim de apresentar visualmente as informações dos números em cores (TABELA 1). Em tal legenda, para uma sala de aula, os autores consideram “Baixa” iluminação até 200 lux, “Média” entre 200 lux e 500 lux e “Alta” (desejada), acima de 500 lux. Os valores numéricos medidos foram traduzidos conforme a legenda nas letras “B” (Baixa iluminação), “M” (Médio) e “A” (Alto). Tal substituição se justifica porque se a leitura foi de 220 lux ou 480, ambos dados numéricos correspondem à mesma informação: de que tais lux oferecem uma iluminação Média para a atividade necessária para uma superfície de estudo. Assim, os números lidos até 200 lux foram substituídos pela letra “B”; os números entre 201 lux e 500 lux por “M”, e os registros acima de 501 foram trocados por “A”.

Utilizando o ambiente virtual validado, modelou-se o novo elemento e novas simulações foram feitas para comparar os efeitos de luz e sombra produzidos pelo *brise-soleil* instalado com o MuArt. Nas simulações, substituíram-se os *brise-soleil* pela proposta do MuArt, mantendo as cenas gravadas no software e

renderizando sob as mesmas situações de dia, céu e horários, abrindo e fechando a articulação. Os resultados foram analisados a partir da observação dos efeitos de luz e sombra das fotos e renderizações, não sendo medido o lux para a análise da simulação do novo artefato MuArt.

Na situação dos elementos de proteção de fachada estarem fechados, o nível de iluminância foi lido como taxas de iluminação abaixo do necessário para atividades visuais de estudo. Assim, detectou-se um problema para acuidade visual no ambiente para todas as mesas, as quais foram lidas abaixo de 200 lux, ou seja, escuras. Tal situação foi resolvido pela iluminação artificial se necessário manter o elemento fechado (FIGURA 8). Outra alternativa para tal questão é abrir as placas e permitir a entrada da luz do sol. Observou-se no uso da sala que muitas vezes se faz necessário deixar as placas fechadas para apresentações multimídia que necessitam da sala escura, acendendo as luzes entre um slide e outro para explicações.



Figura 8. Sala com MuArt e iluminação artificial.

4. RESULTADOS

Quando os *brises-soleil* eram abertos na sala analisada, os níveis de lux medidos nas bases de trabalho das mesas próximas às janelas apresentaram resultados adequados para as atividades visuais necessárias para aula, isso de acordo com o nível de iluminação apresentado por Lamberts et al (1997) na legenda adotada (TABELA 1). Para a situação de *brises-soleil* fechados, as atividades visuais, de leitura, escrita e desenho, ficaram comprometidas por estarem abaixo de 200 lux, principalmente nas mesas próximas às paredes. Acendendo as luzes, a medição do luxímetro mostrou que os usos da iluminação artificial mantem a sala mais homogênea, ou seja, os níveis de iluminação medidos por lux variavam muito pouco entre as mesas ao lado da janela e as encostadas na parede lateral. As mesas ao lado das janelas obtiveram maiores valores nas medições em lux, mesmo com o *brise-soleil* fechado, pois em tal situação os elementos de proteção de fachada não obstruem a incidência solar em 100%.

Nas análises dos níveis de iluminação medidos em lux, os valores numéricos lidos no luxímetro traduzidos em Baixo (B), Médio (M) e Alto (A) apresentam informações relevantes para compreender o cenário da sala de aula analisada (TABELA 1). O *brise-soleil* simulado, na condição de fechado, diminui a quantidade de lux e abaixa o nível de iluminação necessária para as atividades visuais de modo a comprometer a visão do usuário, conseqüentemente gera a necessidade do uso de iluminação artificial no ambiente, o que não pode ser identificado como problema, visto que há momentos em que se faz necessário, como em apresentações de slides. Na situação das placas abertas, tais elementos arquitetônicos mostram uma proteção eficiente na filtragem da luz solar incidente, sendo grande a diferença entre as medições de iluminação natural enquanto os *brises-soleil* são abertos ou fechados.

As medições do luxímetro permitiram elaborar tanto a tabela, quanto gráficos (GRÁFICO 1 A 3), e evidenciaram as diferenças entre a alta iluminação incidente nas mesas próximas às janelas e quanto mais afastadas, a iluminação diminuiu. Também mostraram que quanto os *brises-soleil* estão fechados, pouco varia o nível de iluminação, mas abertos a variação medida em lux se amplia. Além das situações do elemento de proteção aberto ou fechado e da disposição física das 15 mesas, mais próximas ou afastadas da janela, observou-se a diferença lumínica nos horários, aumentando principalmente próximo das 9 horas da manhã, regredindo 11 horas da manhã. As leituras *in loco* seguiram à tarde, mas mantiveram-se com resultado baixo, por isso, foi selecionado o recorte entre 7 e 11 horas da manhã nesse estudo.

Tabela 1. Níveis de iluminação na sala simulada com medição no dia 20 de dezembro de 2018 conforme legenda.

| CA 25 FEC - 20 de dezembro de 2018 | | | | | | | | | | | | | | | |
|------------------------------------|---------------------------|---|---|----|----|---------|---|---|----|----------------|---|---|---|----|----|
| Fileira de mesas: | Lousa | | | | | | | | | | | | | | |
| | Lado das Janelas e Brises | | | | | Meio | | | | Lado da parede | | | | | |
| Brise/Hora (h) | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 |
| Mesa | 1 | | | | | 2 | | | | 3 | | | | | |
| Aberto (90°) | A | | | | | A | | | | M | A | | | | |
| Fechado (0°) | B | M | A | M | M | B | | | | B | | | | | |
| Mesa | 4 | | | | | 5 | | | | 6 | | | | | |
| Aberto (90°) | A | | | | | A | | | | M | A | | | | |
| Fechado (0°) | B | M | A | M | M | B | M | M | B | B | B | | | | |
| Mesa | 7 | | | | | 8 | | | | 9 | | | | | |
| Aberto (90°) | A | | | | | A | | | | A | | | | | |
| Fechado (0°) | B | A | M | M | M | B | M | M | B | B | B | | | | |
| Mesa | 10 | | | | | 11 | | | | 12 | | | | | |
| Aberto (90°) | A | | | | | A | | | | A | | | | | |
| Fechado (0°) | B | M | M | M | M | B | M | M | B | B | B | | | | |
| Mesa | 13 | | | | | 14 | | | | 15 | | | | | |
| Aberto (90°) | A | | | | | A | | | | A | | | M | | |
| Fechado (0°) | B | M | M | M | M | B | M | M | B | B | B | | | | |
| Iluminação: | Alta - Clara - Ideal | | | | | Mediana | | | | Baixa - Escura | | | | | |

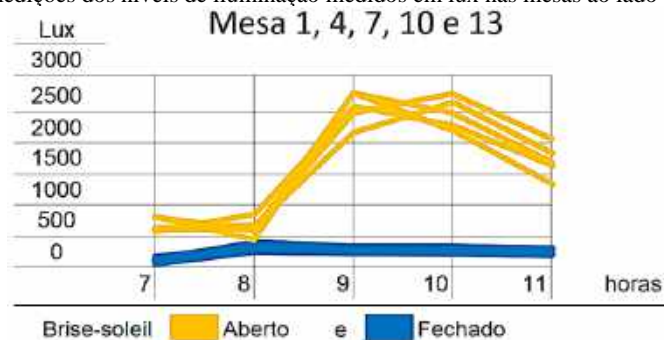
Fonte: As autoras.

| Legenda | | | |
|---------|---------------|---------------------|--|
| Sigla | Iluminação | Nível de iluminação | Tarefas conforme o nível de iluminação necessário |
| B | Baixa | < 200 lux | Tarefas com requisitos visuais limitados como circulação, reconhecimento facial, leitura casual, armazenamento, refeição |
| M | Média | ente 200 a 500 lux | Leitura e escrita de documentos com alto contraste, Participação de conferências |
| A | Alta IDEAL | > 500 lux | Leitura e escrita de documentos com fontes pequenas e baixo contraste Desenho Técnico |

Fonte da Legenda: Lamberts et al (1997) adaptado pelas autoras.

Cada dado coletado em uma mesa gerou uma linha gráfica dos resultados de cada superfície medida, os quais foram sobrepostos e mostraram valores de lux aproximados em cada mesa ao longo da manhã, para ambas as situações de *brise-soleil* aberto ou fechado conforme a localização estar mais próxima ou afastada das janelas e incidência da luz solar. As mesas localizadas ao lado das janelas, identificadas aqui como 1, 4, 7, 10 e 13 tiveram suas superfícies medidas pelo luxímetro atingindo valores superiores inclusive a 2.000 lux, alta segundo Lamberts et al (1997) quando os *brises-soleil* foram abertos. Não ultrapassaram 500 lux quando foram fechados, considerado pelos autores como iluminação baixa e média (GRÁFICO 1).

Gráfico 1. Comparação entre as medições dos níveis de iluminação medidos em lux nas mesas ao lado das janelas da Sala.

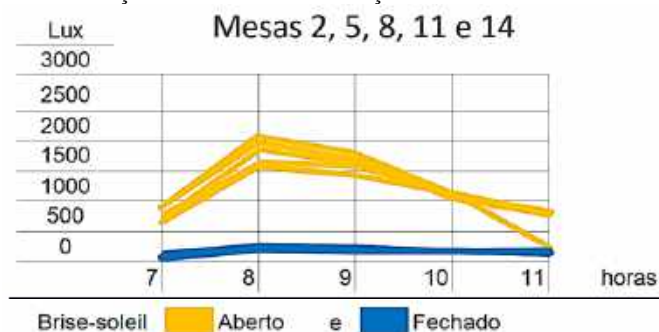


Fonte: as autoras.

As mesas localizadas no meio da sala, identificadas aqui como 2, 5, 8, 11 e 14 tiveram suas

superfícies medidas pelo luxímetro atingindo valores máximos de 2.000 lux, alta segundo Lamberts et al (1997) quando os *brises-soleil* foram abertos, mas menores do que os resultados medidos nas mesas ao lado das janelas. Não ultrapassaram 250 lux quando foram fechados, considerado pelos autores como iluminação baixa e média, sendo média apenas entre 8 e 9 horas da manhã, e no restante do dia, inferior aos 200 lux que configura iluminação baixa para uma sala de aula. (GRÁFICO 2).

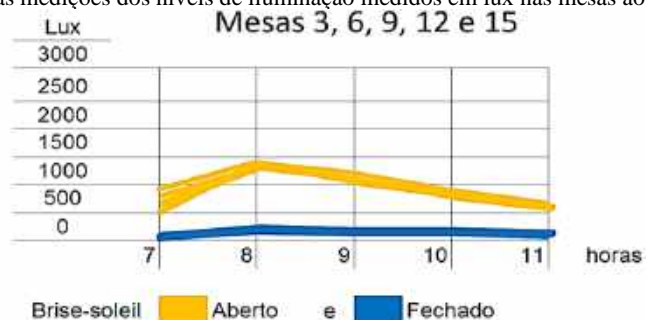
Gráfico 2. Comparação entre as medições dos níveis de iluminação medidos em lux nas mesas no meio da Sala.



Fonte: as autoras.

As mesas localizadas ao lado da parede, identificadas aqui como 3, 6, 9, 12 e 15 tiveram suas superfícies medidas pelo luxímetro com valores máximos de 1.500 lux, ainda alta segundo Lamberts et al (1997) quando os *brises-soleil* foram abertos, mas inferiores aos resultados obtidos nas mesas situadas no meio da sala e principalmente comparando com as do lado das janelas. Não ultrapassaram 200 lux quando foram fechados, considerado pelos autores como iluminação baixa. (GRÁFICO 3).

Gráfico 3. Comparação entre as medições dos níveis de iluminação medidos em lux nas mesas ao lado da parede da Sala.



Fonte: as autoras.

Ao se comparar no mesmo horário (8:00 horas), a iluminação proporcionada pelos *brises-soleil* e pelo MuArt, pôde-se observar, que o efeito de luz e sombra no piso e nas superfícies das mesas com maior efeito de ofuscamento se deu no dos *brises-soleil*. Observou-se que o fato do MuArt apresentar suas placas vazadas suavizou a diferença entre luz e sombra ao mesmo tempo em que estampou seus desenhos geométricos, que variavam com o passar do tempo. (FIGURAS 9 a 11).



Figura 9. Luz e sombra do *brise-soleil* real.

Fonte: As autoras.



Figura 10. Luz e sombra da simulação *brise-soleil* modelado.



Figura 11. Luz e sombra da simulação do MuArt proposto.

Observou-se que no solstício de inverno, no hemisfério sul, a incidência solar em uma fachada leste não é um problema para sala de aula porque o lux medido nas mesas pela manhã só foi mais alto às 9:00 horas da manhã, sendo o horário com necessidade de proteção solar para seguir as atividades de estudo nas mesas. No período da tarde, a incidência solar era indireta, ficando abaixo até do recomendado, precisando acender a iluminação artificial. Entre 8:00 e 9:00 horas da manhã se observou um momento de maior incidência solar. O

contraste listrado resultante dos *brises-soleil* não foi significativo a partir das 10:00 horas. (FIGURAS 12 e 13).

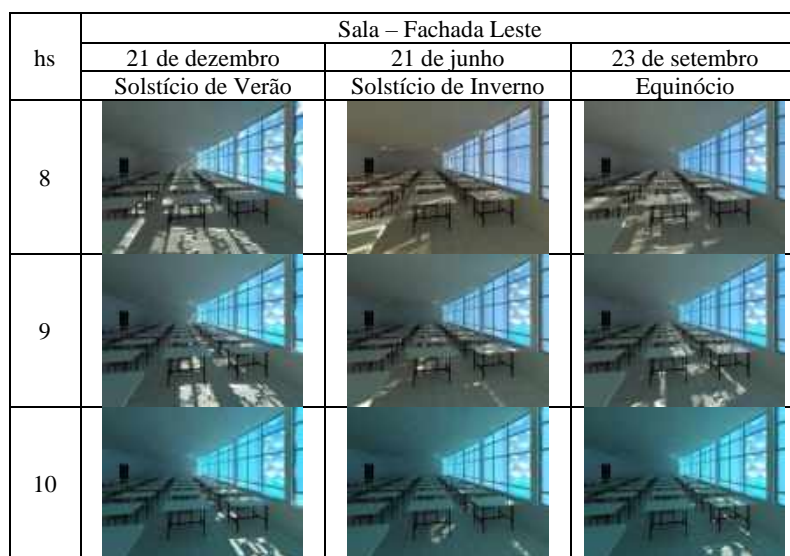


Figura 12. Simulação do MuArt Aberto (H45V45) – Hemisfério Sul.

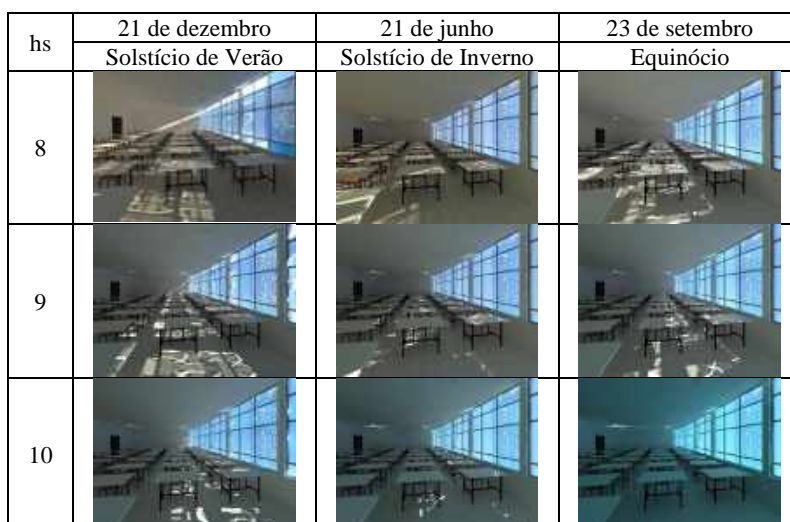


Figura 13. Simulação do MuArt fechado (H90V90) – Hemisfério Sul.

Comparando os elementos arquitetônicos articulados de proteção de fachada *brise-soleil* e o MuArt, por meio das simulações e medições em uma sala de aula real, com fachada Leste situada no Hemisfério Sul, modelada digitalmente, observou-se que ambos apresentam potencial de controle da incidência solar. Em relação aos efeitos de luz e sombras produzidos no interior de ambiente, o elemento perfurado MuArt desenvolvido, mostrou-se mais suave do que o *brise-soleil*.

5. CONCLUSÕES

Com as análises realizadas a partir das simulações, concluiu-se que o MuArt tem qualidades superiores do que o *brise-soleil* na possibilidade de aplicação de uma identidade, por meio de designs de superfície das placas. A perfuração da placa *hueso* pode ser desenvolvida com desenhos diferentes e pode ser aplicado ao *brise-soleil*, porque esses cheios e vazios se mostram importantes para os elementos de proteção de fachada por permitirem que a iluminação e a ventilação adentrem. É interessante também que usuário do ambiente interno tenha a possibilidade de visibilidade para o exterior, e as perfurações do MuArt também auxiliam mais do que os *brise-soleil*, e no MuArt foi menor o contraste e ofuscamento do que nas placas sólidas retangulares do *brise-soleil*.

A articulação de ambos é fundamental para permitir abrir as placas quando necessária e fechar se for preciso para a adaptabilidade à filtragem da luz solar incidente nas fachadas. Afinal, a incidência da iluminação natural é diferente no decorrer das horas. Com o experimento foi possível compreender que a fachada leste de um edifício do hemisfério sul precisa de proteção no período da manhã, mas no período da tarde, a iluminação

é indireta. Para a atividade visual necessária para uma sala de aula, a tarde se faz necessário recorrer à iluminação artificial para complementar a natural. Deste modo, um elemento de proteção de fachada fixo não seria recomendado.

A partir de um design de superfície com padrão modular, composto originalmente na forma *hueso* e vazado, exemplificou a potencialidade gramatical que o design da superfície pode agregar aos elementos de fachada para cumprir a função de controle solar. Como sugestão para trabalhos futuros, além das variações formais de design de superfície que podem ser desenvolvidas sobre este artefato, é interessante a possibilidade de fazer uso de tecnologia e equipamentos que permitam abertura e fechamento como *brise-soleil* e MuArt articulados e automatizados.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AMORIN, C. N. D. Iluminação natural e eficiência energética – Parte I: Estratégias de Projeto para uma arquitetura sustentável. **Cadernos Eletrônicos da Pós**. Brasília: FAU - UNB, 2002.
- BARBOSA, E.; PORTO, M. M. Arquitetura Moderna – Permeabilidade Visual através de Soluções de Fachada. In: VIII Encontro Nacional e IV Encontro Latino Americano sobre Conforto no Ambiente Construído – ENCAC-ENLAC 2005, Maceió. **Anais...** Maceió, 2005. p. 102-111. Disponível em: <http://www.infohab.org.br/encac/files/2005/ENCAC05_0102_111.pdf> Acesso em: 17 jun. 2018.
- BLANCO, M. F. B.; HARRIS, A. L. N. C. *Symmetry groups in the Alhambra*. VISUAL MATHEMATICS, v. 13. 2011. p. 1-42. Disponível em: <<https://www.fec.unicamp.br/~laforma/pages/laforma-pb.html>> Acesso em: 01 mar. 2017.
- COLIN, S. **Manual de informações sobre as formas de construir no período colonial no Brasil – Técnicas construtivas do período colonial**. 2011. 46 p. Disponível em: <http://imphic.ning.com/group/historiacolonial/forum/topics/arquitetura-colonial?xg_source=activity> Acesso em: 17 jun. 2018.
- CORBELLA, O. D.; CASTANHEIRA, R. G. Sobre a necessidade de proteção da radiação solar incidente nas fachadas sul, para edifícios situados entre as latitudes 10° e 35°. In: VI ENCONTRO NACIONAL E III ENCONTRO LATINO-AMERICANO SOBRE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 2001, **Resumos...** São Pedro, SP. ENCAC, 2001.
- CUNHA, E. G. Brise-soleil: da estética à eficiência energética. **Vitrúvius**. 2011. ano 11, abr. 2011. Disponível em: <<http://www.vitruvius.com.br/revistas/read/arquitextos/11.131/3844>>. Acesso em: 01 mai. 2017.
- GUTIERREZ, G. C. R., **Avaliação do desempenho térmico de três tipologias de brise-soleil fixo**. 2004. 203 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Estadual e Campinas, Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Campinas, 2004. Disponível em: <<http://repositorio.unicamp.br/jspui/handle/REPOSIP/257743>> Acesso em: 21 mar. 2017.
- GUTIERREZ, G. C. R.; LABAKI, L. C. Considerações sobre o brise-soleil na arquitetura moderna Brasileira. In: VIII ENCONTRO NACIONAL e IV ENCONTRO LATINO-AMERICANO SOBRE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 2005, Maceió. **Anais eletrônicos...** ENCAC – ELACAC, 2005, Maceió: ANTAC, v. 1, p. 874-882. Disponível em: <http://www.infohab.org.br/encac/files/2005/ENCAC05_0864_873.pdf> Acesso em: 21 mar. 2017.
- HARRIS, A. L. N. C.; CASTRO J. A. G. F. Elementos de fachada - abordagem estética e qualitativa para soluções arquitetônicas. In: V ENCUENTRO LATINOAMERICANO DE GESTIÓN Y ECONOMÍA DE LA CONSTRUCCIÓN Desafíos de la Gestión de la Construcción en Iberoamérica, ELAGEC V, 2013, Cancún. **Anais eletrônicos...** Nuevo León: Salvador García Rodríguez, 2013. v. 1. p. 1-9. Disponível em: <<http://www.fec.unicamp.br/nlaforma/art/elagec13-castro-luharris.pdf>> Acesso em: 01 mar. 2017.
- LAMBERTS, R.; DUTRA, L.; PEREIRA, F. O. R. **Eficiência Energética na Arquitetura**. 1 ed. São Paulo: PW editores, 1997, v. 1. 188 p.
- STOFELLA, A; BERTOLI, L. F.; VAZ, C. E. V.; KÓS, J. R. O desenvolvimento de um sistema de proteção de fachadas cinéticas: um protótipo responsivo ao comportamento do usuário. In: XX CONGRESO DE LA SOCIEDAD IBEROAMERICANA DE GRÁFICA DIGITAL [Blucher Design Proceedings, v. 3, n. 1], 2016, São Paulo. **Anais...** São Paulo: Blucher, 2016, p. 550-555. ISSN 2318-6968, DOI 10.5151/despro-sigradi2016-695. Disponível em: <www.proceedings.blucher.com.br/article-details/o-desenvolvimento-de-um-sistema-de-proteo-de-fachadas-cinticos-um-prortipo-responsivo-ao-comportamento-do-usurio-24848> Acesso em: 14 fev. 2018.
- SZABO, L; P. Uso e desuso do brise-soleil na arquitetura brasileira. In: XVII CONGRESSO BRASILEIRO DE ARQUITETOS, 2003, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: Instituto Luzes Desenvolvimento Humano, 2009. Disponível em: <<http://www.thecnica.com/conteudo.php?ar=2&a=46&Cod=33&w=1024&op=i>> Acesso em: 17 jun. 2018.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à UNICAMP e à CAPES pelos recursos financeiros aplicados no financiamento do projeto.