

Windows and Facades: Proposal of a Device for Increasing Performance for Natural Ventilation and Daylighting

Egon Vettorazzi

Federal University of Latin American Integration, Architecture and Urbanism, Foz do Iguaçu (PR), Brazil

egon.arquiteto@gmail.com

Helenice M. Sacht

Federal University of Latin American Integration, Civil Engineering of Infrastructure, Foz do Iguaçu (PR), Brazil

helenice.sacht@unila.edu.br

Marcelo Langner

Centro Universitário Dinâmica das Cataratas, Architecture and Urbanism, Foz do Iguaçu (PR), Brazil

marcelolangner@gmail.com

Darwin J. Camacho

Federal University of Latin American Integration, Architecture and Urbanism, Foz do Iguaçu (PR), Brazil

darwin.camacho@aluno.unila.edu.br

ABSTRACT: Buildings energy consumption in Brazil corresponds to about 47% of total consumption. In this respect, facades and windows are elements which influence directly that consumption. Thus, the aim of this work is the study of a device for windows and facades, which operates to increase building energy efficiency, without adding monthly maintenance costs. The proposed Sun-Air-Light device has three main functions: The first function is the protection against unwanted solar radiation by shadowing. The second function improves the conditions of natural ventilation and the third one improves the distribution of daylighting in the interior, by means of a light shelf solution. An analyze was performed by means of computer simulations for comparing the use of the device with a conventional window to obtain the performance data in terms of daylighting and natural ventilation; using the computer programs Autodesk Revit 2016 and Flow Design; Daylight Visualizer 2.8.4 and Design Builder 4.2. It was observed that besides viable for different Brazilian latitudes, the use of the device can increase the thermal comfort conditions, reducing solar gain by exterior windows around 36.06% on average, and thus reducing the energy consumption. The device further improves daylighting conditions of the environment and contributes to sustainability of buildings with their use.

Keywords *Windows; Facades; Device; Natural ventilation; Daylighting; Shading.*

1. INTRODUÇÃO

Estudos demonstram que a composição arquitetônica exerce grande influência no desempenho energético da edificação. Mascaró & Mascaró (1992) constatam que entre 25 a 45% da energia consumida em uma edificação é devido à má orientação e desenho inadequado das fachadas. Já Santos (2002) afirma que uma mesma edificação disposta em cidades diferentes, por exemplo, as cidades brasileiras de Belém e Porto Alegre, pode provocar o aumento de até 80% do consumo de energia elétrica.

Para melhorar o desempenho energético das edificações, as janelas e fachadas são elementos importantes nos quais o arquiteto pode intervir. Projetistas desenvolveram ao longo dos anos novas tecnologias, como a prateleira de luz e o peitoril ventilado, que são adicionadas a esses elementos construtivos, principalmente para controlar a incidência da radiação solar e auxiliar na ventilação natural no interior da edificação.

Sobre dispositivos de sombreamento, Bellia et al. (2014) apontam que os parâmetros a serem considerados para projetá-los são muitos, porém, até agora nenhum esforço significativo tem sido feito no sentido de classificar e caracterizar esses dispositivos; destacam essa complexidade e o fato de que, nos últimos anos, têm sido propostos diferentes tipos de dispositivos de controle solar, dependendo da orientação do edifício, localização, características de janelas, entre outros fatores e os mesmos podem contribuir para melhorar ou piorar o desempenho térmico, de iluminação e energético dos ambientes das edificações se não forem vistos com maior critério.

Freewan (2014) examinou o efeito do uso de dispositivos de sombreamento na temperatura do ar, ambiente visual e interação entre os usuários em escritórios orientados a sul-oeste na Universidade de Ciência e Tecnologia da Jordânia. Os resultados mostraram que a temperatura em escritórios com dispositivos de controle solar em comparação com o escritório sem uso dos mesmos foi reduzida à níveis aceitáveis e o ambiente visual foi melhorado por meio do controle do nível de iluminância, melhorando assim a distribuição da iluminação e eliminando o ofuscamento.

Outros estudos avaliaram o desempenho de edifícios de escritórios em Los Angeles, Estados Unidos, com sistemas de sombreamento integrados em termos de consumo energético e qualidade de iluminação natural, por meio de simulações computacionais. Foi observado que o uso desse tipo de sistema em três fachadas resultou em 5,3% de economia de energia total (Ming Qu & Peng, 2016).

Observa-se que dispositivos de sombreamento são cruciais, especialmente em climas com verão de elevadas temperaturas. Nesses casos, deve-se proteger a janela de radiação solar no verão, porém, permitindo simultaneamente a entrada de radiação solar no inverno caso apresente baixas temperaturas durante esse período. Por esta razão, são necessários estudos precisos do desempenho de tais dispositivos. Nesse caso, ferramentas de simulação computacional podem ser utilizadas para identificar o elemento de sombreamento mais adequado que se adapte ao edifício, bem como a sua combinação com outros tipos de funções, como é o caso do dispositivo desenvolvido no presente trabalho. Trata-se do dispositivo denominado Filtro Sol-Ar-Luz, que apresenta três funções principais: proteção contra a radiação solar indesejada, por meio de sombreamento, ocasionando assim a diminuição da radiação solar no interior da edificação; incrementa ainda as condições de

ventilação natural, mesmo com a janela fechada como em períodos noturnos e de chuva; e a terceira função, melhora a distribuição da iluminação natural no interior, por meio de uma prateleira de luz.

Diante desses aspectos, o objetivo geral consiste na proposta e análise de um dispositivo complementar à janelas e fachadas, o Filtro Sol-Ar-Luz, que funciona para aumentar a eficiência da edificação em termos energéticos, sem agregar custos mensais de manutenção do sistema.

2. METODOLOGIA

Para desenvolver o estudo do dispositivo proposto, foram realizadas análises, por meio de simulações computacionais em comparação com uma janela convencional. Foram analisados dados de desempenho em termos de radiação solar/sombreamento, iluminação natural e ventilação. Para tal, foram utilizados os programas computacionais Autodesk Revit 2016 e Flow Design; Daylight Visualizer 2.8.4 e Design Builder 4.2.

Para os estudos de radiação solar/sombreamento foram determinados os períodos de solstício de verão (21 de dezembro) e de inverno (21 de junho) no hemisfério sul e foi considerada a latitude 30 graus, no horário solar de meio dia na fachada de orientação solar norte. Os estudos dos ganhos solares pelas janelas com e sem o uso do Filtro Sol-Ar-Luz foram realizados para as latitudes 0°, 15° e 30° graus sul, nas orientações de fachada sul e norte, ao longo de todo o ano.

Já para os estudos de iluminação natural foram realizadas simulações computacionais comparativas, entre o solstício de verão e inverno, no horário do meio dia. A latitude utilizada foi a de 30 graus sul, considerando esse o caso mais crítico quanto à iluminação natural, dentre as latitudes em estudo, devido à maior inclinação da radiação solar do solstício de inverno. Segundo Frota (2004), toma-se o horário do meio dia como o ponto solar ideal para análise da radiação solar nos períodos de solstício de verão, solstício de inverno e equinócios de primavera e outono. A Figura 1 apresenta a influência da latitude no ângulo solar do solstício de verão, inverno e equinócios e sua relação com a arquitetura.

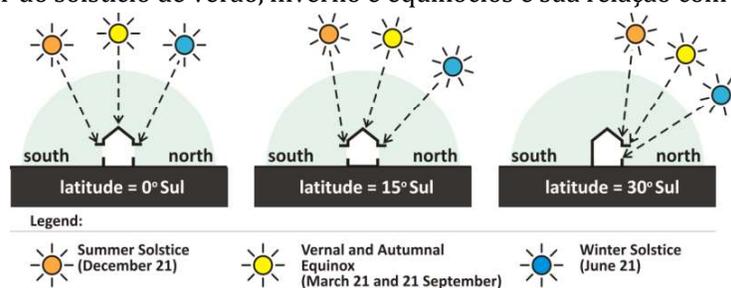


Figura 1. Latitude e o ângulo da radiação solar em diferentes períodos do ano.

2.1 Verificação das Condições de Radiação Solar, Iluminação Natural e Ventilação Natural

Para verificação da incidência de radiação solar no interior de um ambiente com e sem o dispositivo desenvolvido, foram realizadas simulações computacionais com o Autodesk Revit 2016. O Revit oferece a visualização da radiação solar no interior do ambiente na época do ano e horário desejado (Fig. 2). Também foi utilizado o programa Design Builder 4.2.0, para quantificar comparativamente os ganhos solares obtidos para um caso base com

uso de janelas convencionais e da mesma janela com o uso do Filtro Sol-Ar-Luz, considerando o período de um ano e as latitudes de 0, 15 e 30 graus sul já citadas anteriormente. Para cada latitude, foram realizadas simulações de janelas convencionais e do uso do Filtro Sol-Ar-Luz nas fachadas com orientação solar norte e ao sul (Fig. 3).

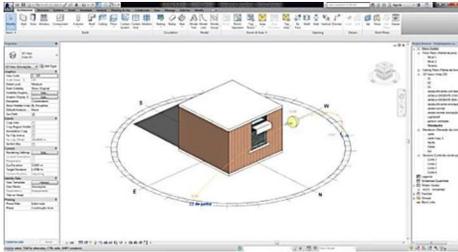


Figura 2. Tela principal do software Autodesk Revit 2016

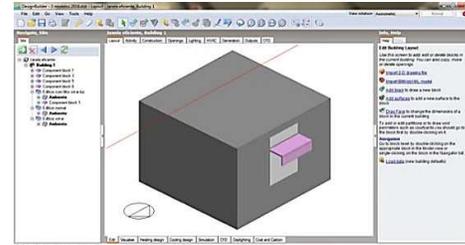


Figura 3. Tela principal do software Design Builder 4.2.0.

Na latitude 0 grau sul foi adotado um elemento de controle da radiação solar para todo o ano, com mesmo tamanho nas fachadas de orientações solares ao norte e ao sul, 37,5cm. Para a latitude 15 graus sul foi adotado um elemento de controle da radiação solar para todo o ano, na fachada com orientação solar norte com tamanho de 80cm e na fachada de orientação solar sul com 30cm. Já na latitude 30 graus sul, optou-se por utilizar um elemento de controle solar que proteja da radiação solar no verão e permita a entrada da radiação no inverno, sendo utilizado 54cm na fachada norte. Nessa mesma latitude, não é necessário a utilização desse elemento na fachada de orientação solar sul para proteção da radiação solar, porém foi adotado um elemento com 30cm para análise comparativa com as demais latitudes e para permitir a ventilação natural dessa fachada. Foram realizadas um total de doze simulações, uma simulação com o Filtro Sol-Ar-Luz e outra sem o uso do elemento para cada latitude sul (0, 15 e 30 graus) para fachadas de orientação solar norte e sul.

Para os estudos quanto à iluminação natural, foram executadas simulações computacionais com o programa Daylight Visualizer 2.8.4 (Fig. 4), para os solstícios de verão e inverno na latitude de 30 graus sul na fachada de orientação solar norte. As simulações demonstraram graficamente os valores de iluminância (lux) nas superfícies do ambiente. Foram realizadas, para o solstício de verão e inverno, uma simulação para a janela convencional e uma considerando o uso do Filtro Sol-Ar-Luz, totalizando quatro simulações.

Já para verificar qualitativamente o desempenho quanto à ventilação natural foi considerada a janela fechada em períodos noturnos ou em dias de chuva e realizada a simulação computacional com o programa Autodesk Flow Design. Foram realizadas um total de duas simulações, uma com o uso da janela fechada e outra somente com uso do Filtro Sol-Ar-Luz, com velocidade de 15m/s. Esse valor total de velocidade do vento de 15m/s foi considerado apenas para fornecer a visualização do fluxo de ar, uma vez que o objetivo era apenas obter resultados para uma análise visual qualitativa (Fig. 5).

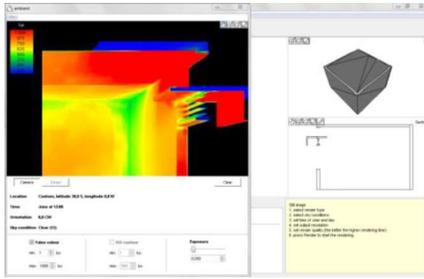


Figura 4. Tela principal do software Daylight Visualizer versão 2.8.4.

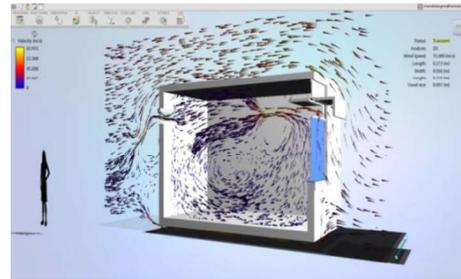


Figura 5. Autodesk Flow Design.

3. RESULTADOS

Serão apresentados a seguir, os resultados referentes ao detalhamento do dispositivo; a análise da radiação solar e sombreamento no verão e inverno; a análise das condições de iluminação natural; a análise das condições de ventilação natural e por fim, uma síntese das vantagens de aplicação do dispositivo proposto Filtro Sol-Ar-Luz.

3.1 Detalhamento do Dispositivo Filtro Sol-Ar-Luz

O elemento de controle solar proposto foi projetado para proteger a janela da chuva e, principalmente controlar a entrada da radiação solar direta na edificação, ao mesmo tempo em que permite a entrada da luz natural indireta. Para determinar o dimensionamento ideal que o dispositivo de controle de radiação solar necessita de acordo com a latitude, foi desenvolvida uma tabela que indica o comprimento “L” do dispositivo para latitudes brasileiras de 5 graus norte até 32,5 graus sul, variando de 2,5 graus a 2,5 graus, de acordo com a altura solar de cada período do ano (verão, equinócios e inverno). Assim, na Figura 6 é relacionado o comprimento “L” adequado para a proteção da radiação solar direta do verão, equinócios e também para proteção da radiação solar durante todo o ano. A Figura 7 apresenta o corte esquemático do dispositivo proposto e a Figura 8 o detalhamento.

Latitude (degrees)	Latitude: States of Brazil	Solar altitude (degrees) 12:00hs			Size “L” (cm)			
		summer	equinox	winter	Protection equinox and summer*		Protection Summer and winter**	
					Southern facade	Northern facade	Southern facade	Northern facade
5		61,5	84,5	71,6	50,1	0,0	50,1	24,9
2,5		64,0	86,7	68,6	43,5	0,0	43,5	32,0
0		66,6	88,3	66,6	37,2	0,0	37,2	36,9
2,5		69,0	87,1	64,1	31,1	0,0	31,1	43,3
-2,5		71,5	85,0	61,6	25,1	0,0	25,1	49,9
-5		75,0	82,5	59,1	17,1	0,0	17,1	56,8
-7,5		76,5	80,1	56,6	13,8	5,9	13,8	64,1
-10		79,0	77,6	54,1	8,3	11,4	8,3	71,9
-12,5		81,5	75,2	51,6	0,0	16,7	2,9	80,1
-15		84,0	72,7	49,1	0,0	22,4	0,0	88,9
-17,5		86,5	70,2	46,6	0,0	28,2	0,0	98,4
-20		88,9	67,7	44,1	0,0	34,2	0,0	108,8
-22,5		86,5	65,2	41,6	0,0	40,4	0,0	120,1
-25		85,9	62,7	39,1	0,0	46,9	0,0	132,7
-27,5	83,5	60,2	36,6	0,0	53,7	0,0	146,6	
-30	81,5	58,2	34,6	0,0	59,4	0,0	158,9	
-32,5								

* corresponds to the period from December 21 to March 21 and September 21 to December 21.
 ** equivalent to year.

Legend:

- solar altitude: Southern sun (light blue), Northern sun (dark blue)
- size “L” (cm): not required (grey), 1 to 50cm (yellow), 51 to 100cm (light green), 101 to 150cm (orange), > 150cm (red)

Figura 6. Dimensionamento para diferentes latitudes brasileiras.

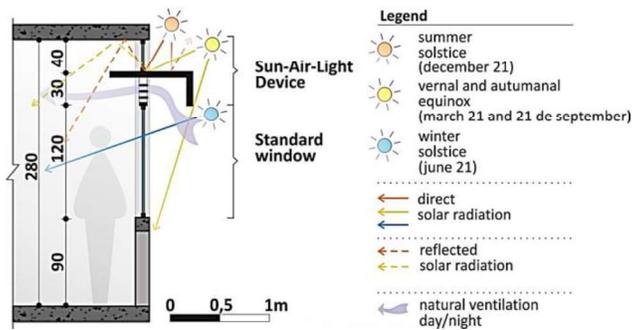


Figura 7. Corte esquemático do Filtro Sol-Ar-Luz.

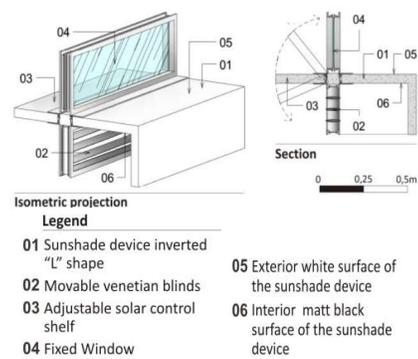


Figura 8. Detalhamento do Filtro Sol-Ar-Luz.

3.2 Análise da radiação solar e sombreamento no verão e inverno

Os estudos realizados para a janela convencional (Fig. 9a) e para o Filtro Sol-Ar-Luz (Fig. 9b) permitiram uma análise comparativa da quantidade de radiação solar que incide no interior do ambiente no solstício de verão para a latitude de 30 graus ao meio dia na fachada de orientação solar norte. No período de verão é desejável proteger a janela da radiação solar para minimizar os ganhos térmicos e o consumo de energia elétrica para resfriamento.

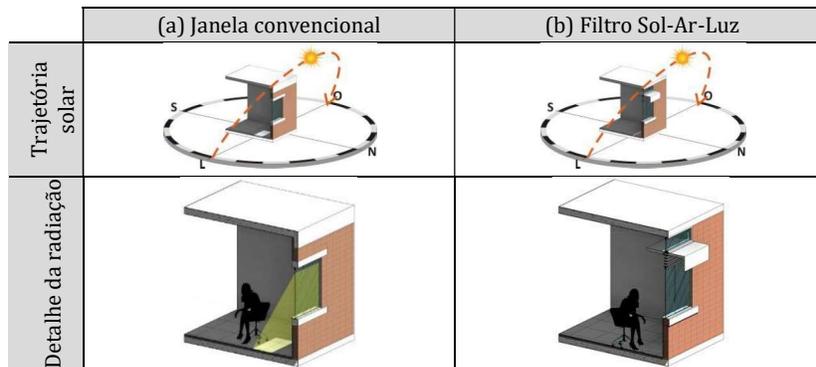


Figura 9a-b. Comparativo da radiação solar no interior da edificação no solstício de verão.

De acordo com a Figura 10a-b, a ausência de um elemento de controle solar faz com que a radiação solar direta entre na totalidade através de uma janela convencional, aumentando assim a temperatura interna. Já com o uso do elemento de controle solar do Filtro Sol-Ar-Luz, a radiação solar direta no interior do ambiente é nula nesse horário, diminuindo a temperatura interna e o ofuscamento. A radiação solar indireta (luz do céu e da reflexão do sol no entorno) continua iluminando normalmente o ambiente.

No período de inverno, para a latitude sul analisada de 30 graus sul, com orientação da fachada ao norte é desejável que a radiação solar direta entre na edificação para aquecer os ambientes desde que o ofuscamento não interfira nas atividades desempenhadas. A Figura 10a-b demonstra que, mesmo com o elemento de controle solar Filtro Sol-Ar-Luz, a radiação solar entra em abundância, aumentando a temperatura interna do ambiente e diminuindo o uso de sistemas artificiais de aquecimento.

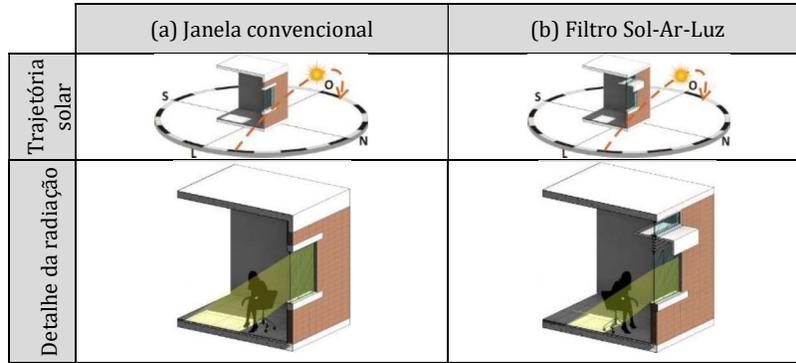


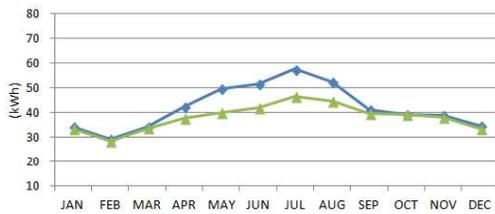
Figura 10a-b. Comparativo da radiação solar no interior da edificação no solstício de inverno.

Ao contrário da janela convencional, que permite a entrada da radiação solar no solstício de verão (Fig. 9a) e inverno (Fig. 10a), o Filtro Sol-Ar-Luz pode ser dimensionado para permitir a entrada da radiação solar selecionada somente para os períodos de temperatura mais baixa. Caso a edificação esteja em um local onde as altas temperaturas predominem o ano todo, é possível dimensionar o Filtro Sol-Ar-Luz de forma a sombrear a janela durante todo o ano (de acordo com o dimensionamento apresentado na Fig. 6).

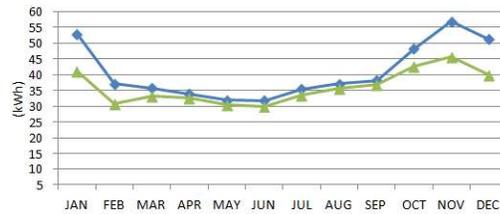
Os ganhos solares das janelas com orientação de fachadas voltadas a norte e a sul também foram obtidos, com e sem o uso do dispositivo. Esse valor consiste na radiação transmitida que passa através do vidro, somada à radiação difusa refletida. Analisando os gráficos das Figuras 11a e 11b, é possível verificar que na latitude de 0 grau sul, a redução dos ganhos solares é maior na fachada norte entre março e agosto e na fachada sul entre janeiro e março e outubro e dezembro em função das características da trajetória solar.

Na latitude 15 graus sul (Fig. 11c e 11d), na fachada norte, há uma grande redução dos ganhos solares entre março e setembro, enquanto na fachada sul a redução dos ganhos é inferior e praticamente homogênea em todos os meses. Já na latitude 30 graus sul (Fig. 11e e 11f), na fachada norte, a redução dos ganhos solares é maior entre os períodos de fevereiro a maio e de agosto a novembro, e na fachada sul é praticamente homogênea em todos os meses, com maior redução no início e final do ano.

Foi possível observar para as latitudes analisadas, que o ganho solar com o uso do Filtro Sol-Ar-Luz, conforme apresenta a Figura 11(a-f), é significativamente menor, apresentando uma diminuição média de 30,46 kWh (redução média de 36,06%) e, conseqüentemente, impactando diretamente na diminuição da necessidade de uso de energia elétrica para resfriar o ambiente.



(a) Latitude 0° Sul, northern facade.



(b) Latitude 0° Sul, southern facade.

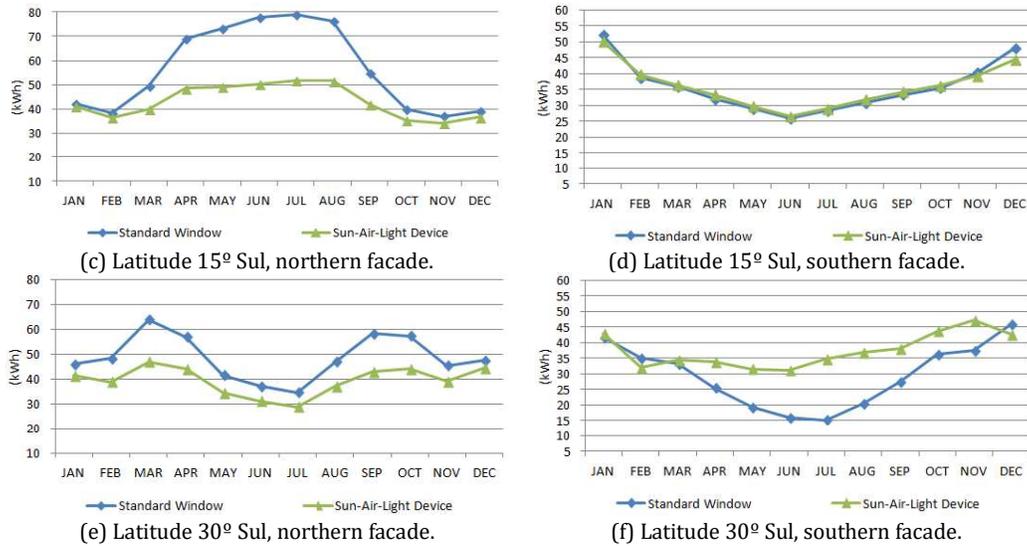


Figura 11a-f. Comparativo dos ganhos solares das janelas para fachadas norte e sul, com e sem o uso do dispositivo Sol-Ar-Luz.

3.3 Análise das Condições de Iluminação Natural

No solstício de inverno, na latitude de 30 graus sul, na orientação norte, o ideal é tentar bloquear a iluminação natural excessiva. A análise comparativa da iluminação natural de uma janela convencional (Fig. 12a) e uma janela com o Filtro Sol-Ar-Luz (Fig. 12b) demonstra que a amplitude de luz natural diminui consideravelmente com o uso do Filtro Sol-Ar-Luz, minimizando as possibilidades de ofuscamento ao usuário.

No solstício de verão, na latitude de 30 graus sul, devido à altura solar, não há incidência elevada de iluminação natural no interior da edificação. A análise comparativa da iluminação natural de uma janela convencional (Fig. 13a) com o uso do Filtro Sol-Ar-Luz (Fig. 13b), demonstra que há pouca luz natural em uma janela convencional e que, com o uso do elemento de controle solar ocorre uma melhora, mesmo que em pequena escala, inclusive da distribuição da luz natural no ambiente interno.

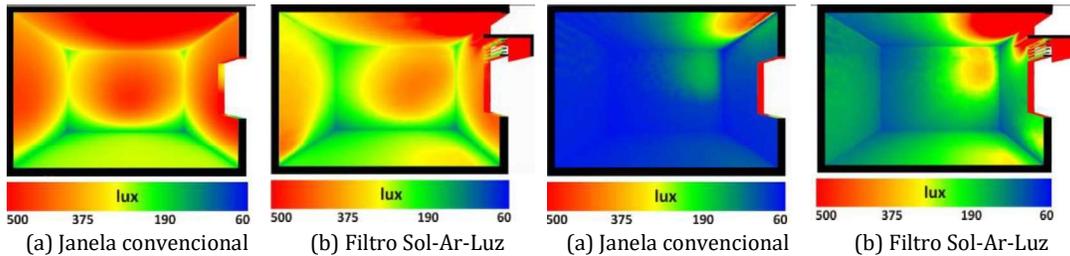


Figura 12a-b. Resultado de iluminação natural no período do inverno.

Figura 13a-b. Ensaio de iluminação natural no período do verão.

Analisando comparativamente a ventilação natural proporcionada com a janela convencional fechada (Fig. 14a), em um dia chuvoso ou à noite, por exemplo, com uma janela convencional utilizando o Filtro Sol-Ar-Luz (Fig. 14b), verifica-se que na janela convencional não há ventilação alguma (mesmo quando a janela possui venezianas, a ventilação é quase nula). Já no caso do uso do Filtro Sol-Ar-Luz há um aumento da ventilação no interior da edificação. Caso seja necessário diminuir a ventilação natural

desses elementos é possível simplesmente fechá-lo. Para permitir a ventilação natural no ambiente foi preciso utilizar uma abertura na parede oposta.

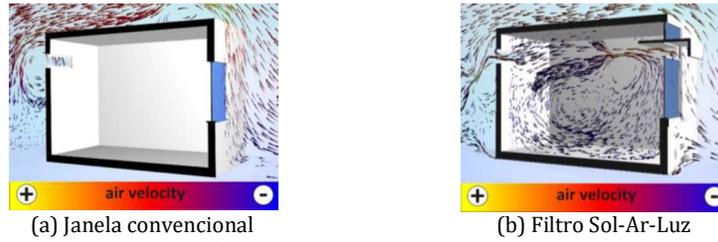


Figura 14a-b - Ensaio de ventilação natural em um dia de chuva ou à noite

3.4 Síntese das Vantagens de Aplicação do Filtro Sol-Ar-Luz

A Quadro 1 apresenta uma comparação qualitativa entre as características de uma janela convencional e elementos existentes com o dispositivo proposto. É possível perceber que o uso do Filtro Sol-Ar-Luz possui inúmeros benefícios.

Quadro 1. Comparativo entre janela convencional e Filtro Sol-Ar-Luz.

Benefícios	Janela convencional	Filtro Sol-Ar-Luz
Não interfere no layout interno (mobiliário baixo)	✓	✓
Auxilia na ventilação natural	✓	✓
Auxilia na ventilação higiênica	-	✓
Ventilação noturna sem comprometer a luminosidade interna	-	✓
Controle da radiação solar direta	-	✓
Ventila, ao mesmo tempo em que protege da chuva	-	✓
Auxilia na iluminação natural	✓	✓
Ventilação natural com segurança	-	✓

As Figuras 15 e 16 demonstram de forma ilustrativa, a comparação qualitativa dos benefícios que uma janela com o elemento proposto Filtro Sol-Ar-Luz possui em relação a uma janela convencional. É possível analisar, esquematicamente, que uma edificação com janela convencional (Fig. 15) está exposta a radiação solar direta durante o verão e o inverno, além de apresentar iluminação excessiva. Para amenizar as altas temperaturas, a única opção é manter as janelas fechadas para utilização do ar condicionado. Ao comparar as Figuras 15 e 16, percebe-se que o elemento proposto (Filtro Sol-Ar-Luz), possui como maior benefício a ventilação natural diurna e noturna melhorada pelo uso de venezianas junto ao elemento de controle solar. Proporciona também, o controle da radiação solar direta nos períodos de maior temperatura (verão até os equinócios) e a possibilidade da entrada da radiação solar direta para aquecer os ambientes nos períodos mais frios (inverno) (Fig. 16).

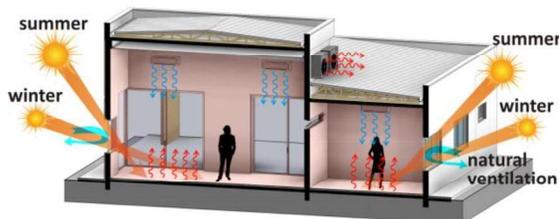


Figura 15. Edificação residencial com janela convencional.

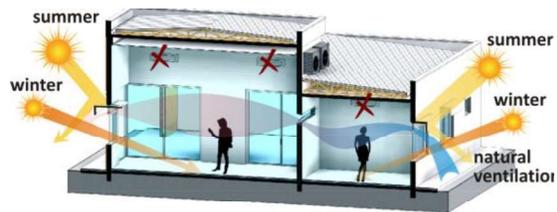


Figura 16. Edificação residencial com Filtro Sol-Ar-Luz.

4. CONCLUSÕES

O estudo apresenta o Filtro Sol-Ar-Luz um elemento arquitetônico, desenvolvido pelos autores, que possui uma tecnologia simples, funcionando de forma complementar as janelas e fachadas e comprova que sua aplicação contribui para a melhoria do desempenho lumínico e térmico da janela, ao mesmo tempo em que permite a redução do consumo energético com uso de ar condicionado e de iluminação artificial. Além disso, o elemento proposto proporciona ventilação natural mesmo com a janela fechada, tornando possível seu uso em dias de chuva e/ou à noite.

O Filtro Sol-Ar-Luz pode ser utilizado tanto em edificações novas quanto em existentes de quaisquer tipologias, desde habitações de interesse social até edificações comerciais ou industriais. O seu desenvolvimento poderá ter viabilidade social e econômica pela possibilidade de reduzir significativamente o consumo de energia elétrica, ao mesmo tempo em que não agrega custos mensais de manutenção por se tratar de um elemento com dispositivos simplificados.

Devido ao seu amplo território, o Brasil apresenta latitudes extremas e climas diferenciados em cada região geográfica, portanto, para cada latitude e clima, faz-se necessário utilizar um elemento Filtro Sol-Ar-Luz com dimensões diferentes, projetados de forma a proteger da radiação solar excessiva. O estudo demonstra que o dispositivo desenvolvido se mostra útil, versátil e eficiente, com grande potencial de utilização na prática para diferentes climas.

Portanto, o Filtro Sol-Ar-Luz barra a radiação solar de verão (indesejada), ao mesmo tempo em que permite a entrada da radiação solar de inverno, controla a iluminação natural e ainda auxilia na ventilação natural. É necessário dar continuidade aos estudos do dispositivo para verificar o quanto sua utilização torna, de fato, as edificações mais eficientes energeticamente, com menor consumo de energia e melhores condições de conforto ambiental. Porém, é necessário realizar novos estudos para verificar possibilidade de variação do tamanho do elemento de controle horizontal, de forma que não se limite à largura da janela e assim possa proteger da radiação solar a abertura em um maior número de horas por dia.

REFERÊNCIAS

- Bellia, L.; Marino, C., Minichiello, F., Pedace, A. 2014. An overview on solar shading systems for buildings. *Energy Procedia*, 62, 309 – 317.
- Freewan, A. A.Y. 2014. Impact of external shading devices on thermal and daylighting performance of offices in hot climate regions. *Solar Energy*, 102. 14–30.
- Frota, A. 2004. *Geometria da insolação*. Studio Geros, São Paulo.
- Mascaró, J. L. & Mascaró, L. E. R. 1992. *Incidência das variáveis projetivas e de construção no consumo energético dos edifícios*. Porto Alegre: Luzzatto.
- Ming Qu, L. L. & Peng, L. S. 2016. Performance evaluation of building integrated solar thermal shading system: Building energy consumption and daylight provision. *Energy and Buildings*, 113, 189–201.
- Santos, J. C. P. D. 2002. *Desempenho térmico e visual de elementos transparentes frente à radiação solar*. São Carlos: [s.n.].