

## **PROPOSTA DE UM DISPOSITIVO PARA AUMENTAR O DESEMPENHO DE JANELAS E FACHADAS EM TERMOS DE VENTILAÇÃO NATURAL E AUXILIAR NO CONTROLE DA RADIÇÃO SOLAR DIRETA<sup>1</sup>**

**VETTORAZZI, Egon (1); SACHT, Helenice M. (2); LANGNER, Marcelo (3); CAMACHO,  
Darwin J. (4)**

(1) UNILA, e-mail: egon.arquiteto@gmail.com; (2) UNILA, e-mail:  
helenice.sacht@unila.edu.br; (3) UDC, marcelolangner@gmail.com; (4) UNILA,  
darwin.camacho@aluno.unila.edu.br

### **RESUMO**

As edificações são um dos grandes responsáveis pelo consumo energético no Brasil, correspondendo a cerca de 47% do consumo total. Diante disso, o objetivo do trabalho consiste na proposta e no estudo de um dispositivo complementar a janelas e fachadas, que funcione para aumentar a eficiência energética da edificação, sem custos mensais de manutenção. Trata-se do Filtro Sol-Ar, que apresenta duas funções principais: proteção contra a radiação solar indesejada, diminuindo a radiação solar no interior da edificação; e incrementar as condições de ventilação natural, mesmo com a janela fechada como em períodos noturnos e de chuva. Foram obtidos dados de desempenho do dispositivo quanto a radiação solar/sombreamento, iluminação natural e ventilação foram realizadas análises por meio de simulações computacionais, comparando resultados de uma janela sem e com o dispositivo. Para tal, foram utilizados os programas computacionais Autodesk Revit 2016; Flow Design; Daylight Visualizer 2.8.4 e Design Builder 4.2. Verificou-se que além de viável para diferentes latitudes brasileiras, a utilização do dispositivo pode aumentar o conforto térmico do usuário, reduzindo o ganho solar em torno de 36,06% e diminuindo o consumo de energia elétrica, além de melhorar as condições de iluminação natural dos ambientes e contribuir para a eficiência energética das construções.

**Palavras-chave:** Janela. Fachada. Filtro Sol-Ar. Ventilação natural. Iluminação natural. Proteção solar.

### **ABSTRACT**

*Buildings energy consumption in Brazil corresponds to about 47% of total 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 device has two main functions: The first function is the protection against unwanted solar radiation by shadowing, decreasing the solar radiation inside the building. The second function improves the conditions of natural ventilation even with the windows closed, in night periods and rainy days. 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; Flow Design; Daylight Visualizer 2.8.4 and Design Builder 4.2. It*

<sup>1</sup>VETTORAZZI, Egon; SACHT, Helenice M.; LANGNER, Marcelo; CAMACHO, Darwin J.. Proposta de um dispositivo para aumentar o desempenho de janelas e fachadas em termos de ventilação natural e auxiliar no controle da radiação solar direta. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 16., 2016, São Paulo. **Anais...** Porto Alegre: ANTAC, 2016.

*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 energy efficiency of buildings with their use.*

**Keywords:** Windows. Facades. Sun-Air. Natural ventilation. Daylighting. Shading.

## 1 INTRODUÇÃO

Com a crescente demanda de energia mundial e a intensificação de problemas ambientais decorrente do aquecimento global e escassez de recursos naturais, como a água, há um fortalecimento da preocupação com a influência do ambiente construído sobre os recursos naturais. Neste contexto, a integração entre arquitetura e clima é um dos assuntos de maior relevância para a redução do consumo energético e a diminuição da necessidade de produção de energia. Edificações energicamente eficientes são objetos de constante investigação para o desenvolvimento de tecnologias construtivas que reduzam o consumo energético e a emissão de gases de efeito estufa. Silva e Kinsel (2006) afirmam que é importante que inovações na arquitetura sejam exploradas para prover melhores ambientes, principalmente nos países em desenvolvimento e com a redução ou supressão da necessidade de equipamentos mecânicos para o conforto.

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.

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

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.

## 2 OBJETIVO

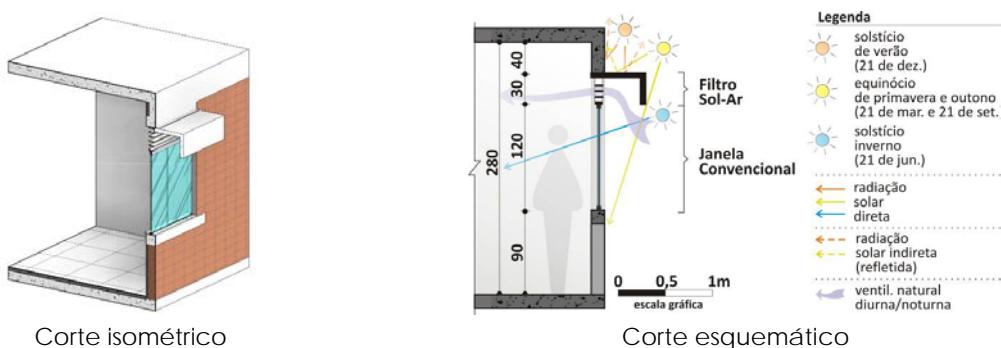
O objetivo geral é o desenvolvimento de um dispositivo complementar à janelas e fachadas, que funcione para aumentar a eficiência da edificação em termos energético, sem agregar custos mensais de manutenção e a verificação de sua eficiência como estratégia bioclimática de condicionamento de edificações.

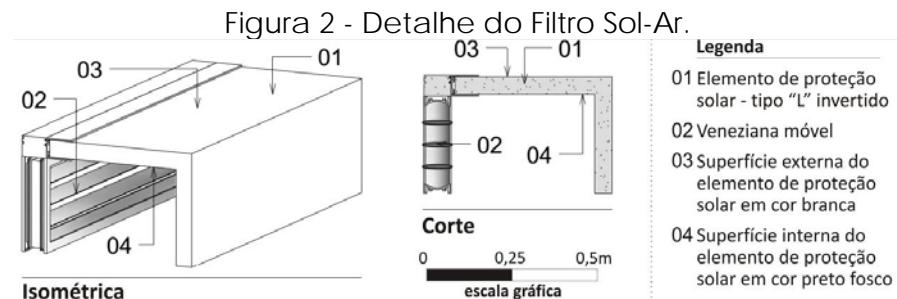
## 3 METODOLOGIA

O dispositivo desenvolvido pelo estudo é o Filtro Sol-Ar e tem por finalidade auxiliar não só na ventilação natural em períodos noturnos e de chuva, mesmo com as janelas fechadas, mas também contribui com o sombreamento da janela e na diminuição da radiação solar no interior da edificação.

O Filtro Sol-Ar é basicamente um elemento complementar a janelas e fachadas, que fica posicionado acima das mesmas, possuindo como principal característica física o elemento de proteção solar em formato de "L", que se projeta à frente da fachada e uma entrada de ar regulável através de venezianas móveis. Ao contrário do peitoril ventilado, a disposição do elemento acima da janela não atrapalha a distribuição do mobiliário e a ventilação não interfere no desenvolvimento de tarefas a serem executadas no ambiente, já que o ar não circula diretamente no plano de trabalho. Por ocupar pouco espaço vertical acima da janela, pode ser utilizado quando há verga ou viga acima das janelas ou em ambientes com pé direito baixo (2,40m). A Figura 1 ilustra um corte isométrico e um corte esquemático mostrando o funcionamento do Filtro Sol-Ar e a Figura 2 apresenta detalhes do elemento proposto. Atualmente tal dispositivo não está disponível no mercado e a intenção é que possa ser produzido em concreto, materiais metálicos e/ou PVC.

Figura 1 - Filtro Sol-Ar.



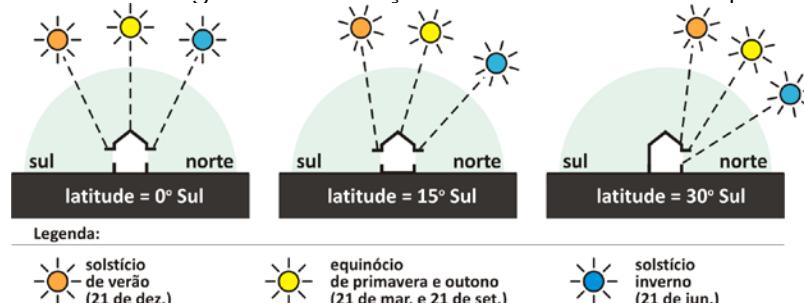


Para realizar o estudo de desempenho em termos de eficiência bioclimática do dispositivo proposto, foram realizadas análises, por meio de simulações computacionais em comparação com uma janela convencional, uma abertura sem uso de nenhum elemento de proteção solar. Foram analisados dados de desempenho 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 adotados os períodos extremos anual da inclinação solar, o solstício de verão (21 de dezembro) e o solstício inverno (21 de junho). A fim de delimitar a pesquisa, foi adotado o hemisfério sul para a realização dos estudos e foi considerada a latitude 0, 15 e 30 graus, no horário solar de meio dia, que é o horário de maior altura solar diária. Serão expostos os resultados somente da latitude 30 graus sul, devido a maior inclinação da radiação solar, no solstício de verão e inverno, no horário do meio dia.

Os estudos dos ganhos solares pelas janelas com e sem o uso do Filtro Sol-Ar foram realizados nas latitudes 0, 15 e 30 graus sul com orientação das aberturas ao sul e norte, ao longo de todo o ano. Já para os estudos de iluminação natural foi realizado para as latitudes 0, 15 e 30 sul, na orientação norte, porém serão expostos nos resultados, somente a latitude de 30 graus sul, com orientação norte, devido à maior inclinação da radiação solar, no solstício de verão e inverno, no horário do meio dia. 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 3 apresenta a influência da latitude no ângulo solar do solstício de verão, inverno e equinócios e sua relação com a arquitetura.

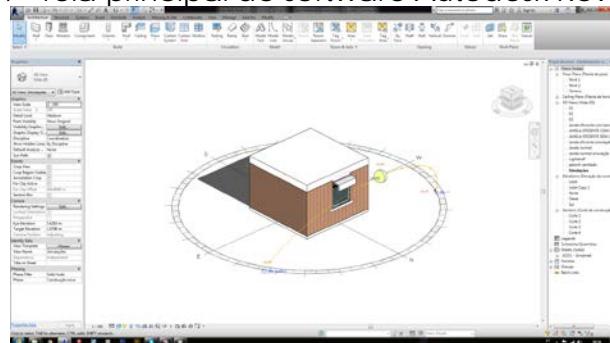
Figura 3 - Latitude e o ângulo da radiação solar em diferentes períodos do ano.



### 3.1 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 (Figura 4).

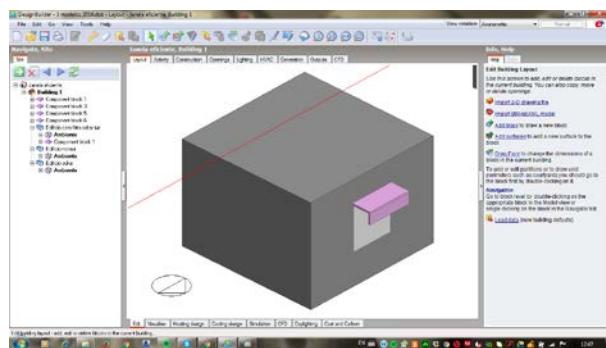
Figura 4 - Tela principal do software Autodesk Revit 2016.



Também foi utilizado o programa Design Builder 4.2.0 (Figura 5), quantificando comparativamente os ganhos solares obtidos para um caso base com uso de janelas convencionais e considerando a aplicação da solução com uso do Filtro Sol-Ar considerando o período de um ano e as latitudes de 0, 15 e 30 graus já citadas anteriormente. Para cada latitude, foram realizadas simulações de janelas convencionais e do uso do Filtro Sol-Ar ao norte e ao sul.

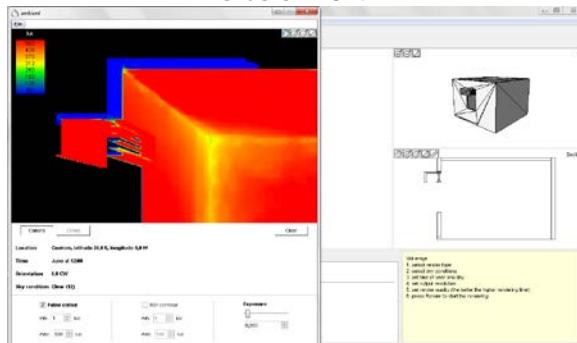
Foram realizadas um total de doze simulações, uma simulação com o Filtro Sol-Ar e outra sem o uso do elemento para cada latitude sul (0, 15 e 30 graus) para orientação solar norte e sul. Na latitude 0 foi adotado um elemento de proteção da radiação solar para todo o ano, com mesmo tamanho na orientação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

Figura 5 - Tela principal do software Design Builder 4.2.0.



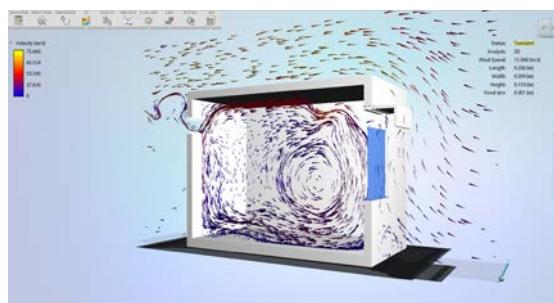
Para os estudos quanto à iluminação natural, foram executadas simulações computacionais com o programa Daylight Visualizer 2.8.4 (Figura 6), para os solstícios de verão e inverno na latitude de 30 graus sul, na orientação solar norte. As simulações demonstraram graficamente os valores de iluminância (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, totalizando quatro simulações.

Figura 6 - Tela principal do software Daylight Visualizer versão 2.8.4.



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. A incidência do vento considerada foi normal à janela. Foram realizadas um total de duas simulações, uma com a janela fechada e outra somente com uso do Filtro Sol-Ar, com velocidade de 15m/s. Esse valor total de velocidade do vento de 15m/s foi considerado para fornecer a visualização do fluxo de ar, uma vez que o objetivo era obter resultados para uma análise visual qualitativa (Figura 7). Trata-se apenas de um estudo inicial para verificar se o dispositivo Filtro Sol-Ar pode influenciar na ventilação natural no interior da edificação.

Figura 7 - Autodesk Flow Design.



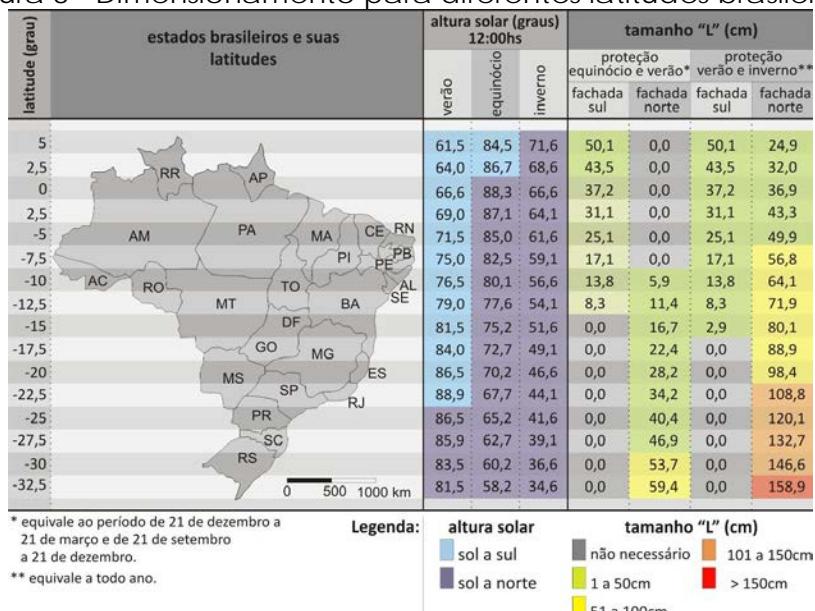
## 4 RESULTADOS

Serão apresentados a seguir, os resultados referentes ao dimensionamento 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.

### 4.1 Dimensionamento do Dispositivo: Filtro Sol-Ar

O elemento de proteção 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 proteção necessitaria de acordo com a latitude, foi desenvolvida a Figura 8 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, equinócio e inverno). Assim, na Figura 8 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.

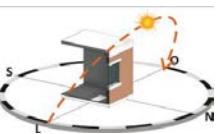
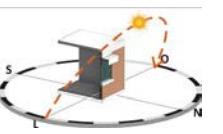
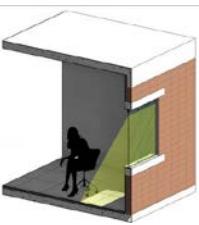
Figura 8 - Dimensionamento para diferentes latitudes brasileiras.



#### 4.2 Análise da radiação solar e sombreamento no verão e inverno

Os estudos realizados para a janela convencional (Figura 9a) e para o Filtro Sol-Ar (Figura 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. No período de verão é desejável proteger a janela da radiação solar para minimizar os ganhos térmicos e o consumo de energia elétrica com o uso de condicionadores de ar.

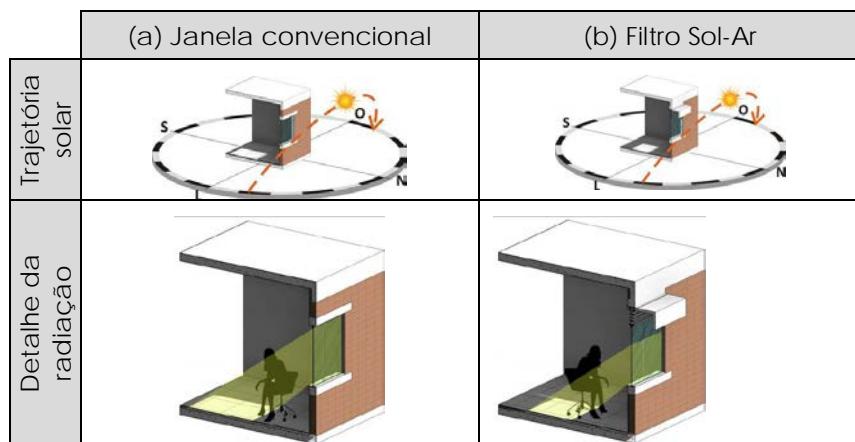
Figura 9a-b - Comparativo da radiação solar no interior da edificação no verão.

	(a) Janela convencional	(b) Filtro Sol-Ar
Trajetória solar		
Detalhe da radiação		

De acordo com a Figura 9a-b, a ausência de um elemento de proteção solar faz com que a radiação solar direta entre na totalidade do ambiente através de uma janela convencional, aumentando assim a temperatura interna. Já com o uso do elemento de proteção solar do Filtro Sol-Ar, a radiação solar direta no interior do ambiente é nula, 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, 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 proteção solar Filtro Sol-Ar, 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 inverno.

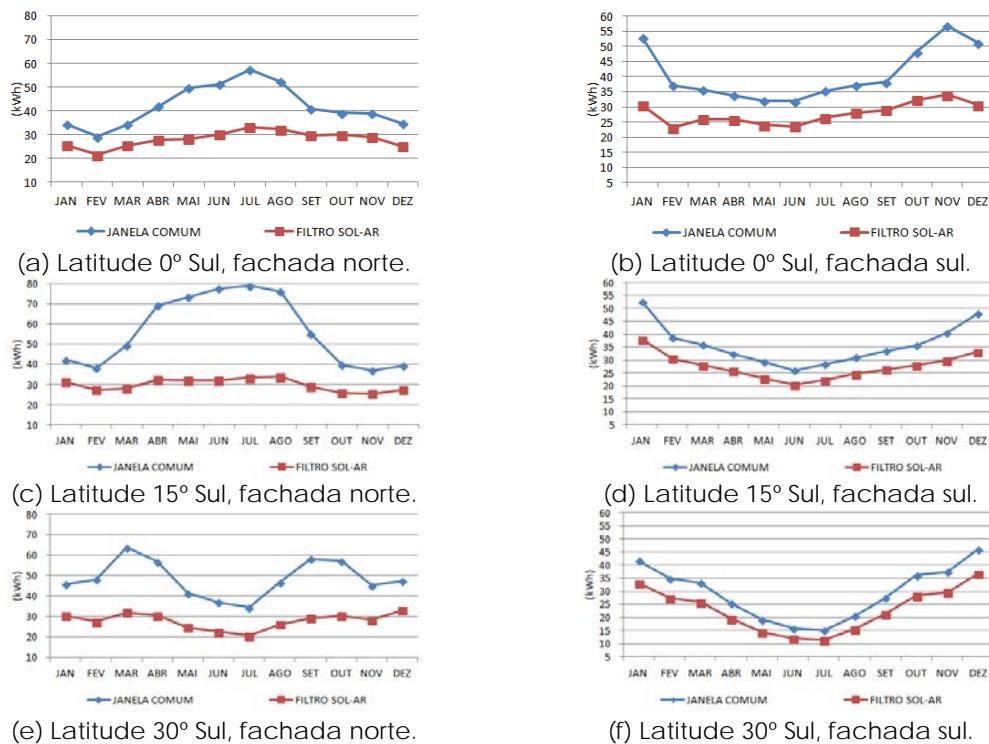


Ao contrário da janela convencional, que permite a entrada da radiação solar no período de verão (Figura 9a) e inverno (Figura 10a), o Filtro Sol-Ar pode ser dimensionado para permitir a entrada da radiação solar selecionada somente para os períodos de temperatura mais baixa. Caso a edificação esteja em um local onde as altas temperaturas predominam o ano todo, é possível dimensionar o Filtro Sol-Ar de forma a sombrear a janela durante todo o ano (respeitando dimensionamento apresentado na Figura 8).

Os ganhos solares das janelas 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 graus sul, a redução dos ganhos solares é maior na fachada norte entre março e setembro e na fachada sul entre janeiro e fevereiro e outubro e dezembro. Na latitude 15 graus sul (Figura 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 homogêneo em todos os meses. Já na latitude 30 graus sul (Figura 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, já na fachada sul é praticamente homogênea em todos os meses, com maior redução no inicio e final do ano.

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

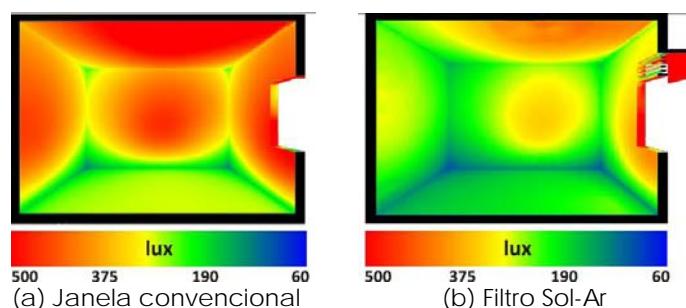
Figura 11a-f - Comparativo dos ganhos solares das janelas para fachadas norte e sul, com e sem o uso do dispositivo Sol-Ar.



#### 4.3 Análise das Condições de Iluminação Natural

No inverno, na latitude de 30 graus sul, na orientação norte, o ideal é tentar bloquear a iluminação natural em excesso. A análise comparativa da iluminação natural de uma janela convencional (Figura 12a) e com o Filtro Sol-Ar (Figura 12b) demonstra que há excesso e distribuição não homogênea de luz natural em uma janela convencional (entre 250 a 500 lux) e que, com o dispositivo proposto, a distribuição da luz natural melhora significativamente nas superfícies do piso e paredes (entre 250 e 400 lux).

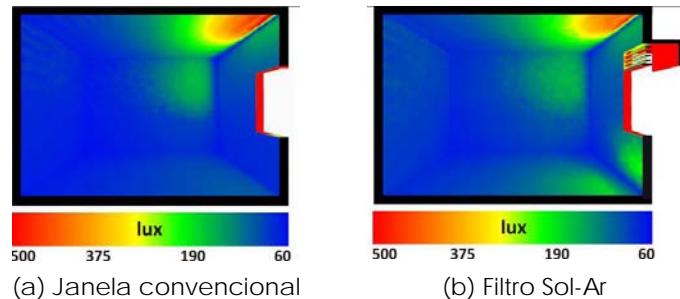
Figura 12a-b - Ensaio de iluminação natural no período do inverno.



No 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 (Figura 13a) com o uso do Filtro Sol-Ar (Figura 13b), demonstra que há pouca luz natural em uma janela convencional e que, com o uso do elemento de

proteção solar ocorre uma melhora, mesmo que em pequena escala, inclusive da distribuição da luz natural no ambiente interno.

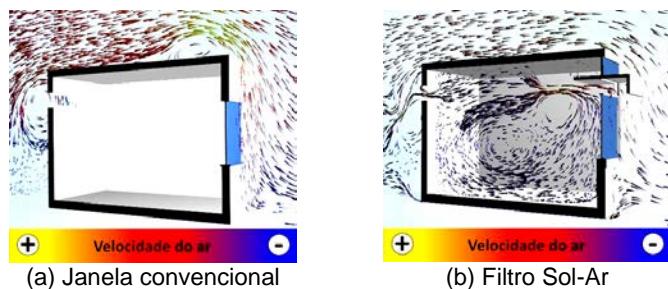
Figura 13a-b - Ensaio de iluminação natural no período do verão.



#### 4.4 Análise das Condições de Ventilação Natural

Analizando comparativamente a ventilação natural proporcionada com a janela fechada, em um dia chuvoso ou à noite, por exemplo, com uma janela convencional (Figura 14a) e utilizando o Filtro Sol-Ar (Figura 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 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 necessário considerar uma abertura na parede oposta.

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



#### 4.5 Síntese das Vantagens de Aplicação do Filtro Sol-Ar

A Tabela 1 apresenta uma comparação qualitativa entre as características de uma janela convencional e elementos existentes com o dispositivo proposto. É possível perceber que o Filtro Sol-Ar é possuir algumas vantagens sobre os demais sistemas.

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

Benefícios	Janela convencional	Filtro Sol-Ar
Não interfere no layout interno	✓	✓
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	-	✓
Ventilação natural com segurança	-	✓
Pode ser adaptada a qualquer tipo de janela	-	✓

A Figura 15 e 16 demonstram de forma ilustrativa, a comparação qualitativa dos benefícios que uma janela com o elemento proposto Filtro Sol-Ar possui em relação a uma janela convencional. É possível analisar, esquematicamente, que uma edificação com janela convencional (Figura 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), possui como maior benefício a ventilação natural diurna e noturna melhorada pelo uso de venezianas junto ao elemento de proteção 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) (Figura 16).

Figura 15 – Edificação residencial com janela convencional.

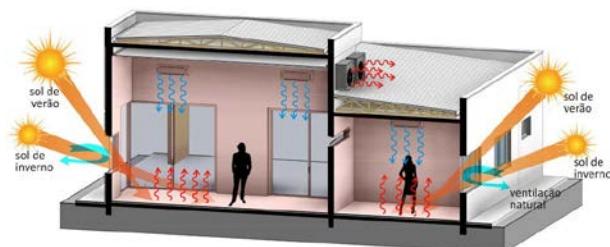


Figura 16 – Edificação residencial com Filtro Sol-Ar.



## 5 CONCLUSÕES

O estudo apresenta um elemento arquitetônico de tecnologia simples, complementar às 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 uso de ar condicionado e de iluminação artificial. Além disso, o elemento proposto apresenta potencial para incrementar a ventilação natural, mesmo com a janela fechada, tornando possível seu uso em dias de chuva e/ou à noite.

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

Devido ao seu amplo território, o Brasil possui latitudes extremas e climas diferenciados em cada região geográfica, portanto, para cada latitude e clima, faz-se necessário utilizar um elemento Filtro Sol-Ar com dimensões diferentes, projetados para 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.

Portanto, o Filtro Sol-Ar 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 necessária a continuidade dos estudos para verificar a possibilidade de variação do tamanho do elemento de proteção horizontal para que não fique limitado a largura da janela e assim possa proteger da radiação solar a abertura em uma quantidade maior de horas por dia. O trabalho desenvolvido até o momento engloba o desenvolvimento do Filtro Sol-Ar e também a verificação de sua eficiência quanto ao desempenho em termos de radiação solar/sombreamento, iluminação natural e ventilação, porém, os ensaios de cada uma dessas especificidades necessitam ser aprofundados tendo em vista resultados mais precisos e detalhados.

## REFERÊNCIAS

BELLIA, L.; MARINO, C.; MINICHIELLO; F.; PEDACE, A. An overview on solar shading systems for buildings. **Energy Procedia**, 62 , 309 – 317. 2014.

FROTA, A. **Geometria da insolação**. Studio Geros, São Paulo, 2004.

MASCARÓ, J. L.; MASCARÓ, L. E. R. **Incidência das variáveis projetivas e de construção no consumo energético dos edifícios**. Porto Alegre: Luzzatto, 1992.

SANTOS, J. C. P. D. **Desempenho térmico e visual de elementos transparentes frente à radiação solar**. São Carlos: [s.n.], 2002.

SILVA, H. C.; KINSEL, L. S. **Região Climática de Porto Alegre: revisão para um desenho inteligente e uma arquitetura adequada**. Porto Alegre: Arqtexto, 2006.