

## **Eficiência de proteções solares horizontais externas para a latitude da cidade de São Paulo**

**Matheus Tonelli Santos**

*Instituto de Pesquisas Tecnológicas, Mestrado em Habitação, São Paulo (SP), Brasil*

[mtonellis@gmail.com](mailto:mtonellis@gmail.com)

**Maria Akutsu**

*Instituto de Pesquisas Tecnológicas, Laboratório de Conforto Ambiental e Sustentabilidade, São Paulo (SP), Brasil*

[akutsuma@ipt.br](mailto:akutsuma@ipt.br)

**Adriana Camargo de Brito**

*Instituto de Pesquisas Tecnológicas, Laboratório de Conforto Ambiental e Sustentabilidade, São Paulo (SP), Brasil*

[adrianab@ipt.br](mailto:adrianab@ipt.br)

**RESUMO:** O controle da incidência da energia solar nas edificações pode impactar significativamente a sua eficiência energética. Entender o comportamento do sombreamento das proteções solares em relação às variações de intensidade e período de incidência da radiação solar ao longo do ano é o passo fundamental para determinar as suas consequências no desempenho térmico da edificação. Este trabalho tem como objetivo apresentar o comportamento do sombreamento de proteções solares externas horizontais para aberturas para a avaliação da eficiência destes elementos, constituindo-se numa ferramenta prática que auxilia no projeto de dispositivos de sombreamento. Foram feitas simulações com o software Energy Plus considerando-se a latitude da cidade de São Paulo, para a determinação da radiação solar direta incidente em uma unidade de área de superfície vertical, sem sombreamento e com uma proteção solar horizontal típica e algumas variações dimensionais, de modo a se determinar a redução da incidência de energia solar para cada alteração nas medidas. Foram consideradas oito orientações solares para as superfícies, e 12 “Dias de Referência” ao longo do ano, sem nebulosidade.

**Palavras-chave** *Proteções solares Horizontais. Sombreamento. Eficiência. Radiação Solar.*

## 1. INTRODUÇÃO

Janelas sem sombreamento podem admitir quantidades significativas de radiação solar em ambientes, causando problemas visuais, como o brilho intenso da iluminação natural, e térmicos com consequências no conforto do usuário. O controle eficiente da incidência de energia solar nas edificações contribui tanto para a melhoria do seu desempenho térmico, quanto para o aproveitamento da luz natural, fatores associados à eficiência energética dos edifícios, que são fundamentais no âmbito da sustentabilidade do ambiente construído. Isso é destacado em diversos trabalhos que apresentam o resultado de pesquisas onde se avaliaram a influência das proteções solares no consumo de energia por sistemas de ar-condicionado e no conforto térmico dos usuários. (Tzempelikos e Athienitis, 2007; Datta, 2001; Palmero-Marrero e Oliveira, 2010; Gupta e Ralegaonkar, 2004). Porém, não é feita uma análise considerando isoladamente o efeito da eficiência da proteção solar no sombreamento de aberturas.

Florides et al. (2002) estudaram o efeito do comprimento do beiral na demanda de energia. Eles descobriram que um beiral horizontal maior reduziu a demanda de refrigeração porém aumentou a demanda de aquecimento. As cargas térmicas de cada edifício e as diferentes características climáticas ao longo do ano de cada lugar demandam por eficiências de sombreamento apropriadas. Uma proporção maior de sombreamento (maior eficiência do dispositivo) não significa necessariamente um ambiente mais confortável. Dependendo da situação é adequado admitir ou impedir o ganho de calor solar através da abertura no ambiente. Desse modo um padrão para demonstrar a eficiência mensal de sombreamento é um dos fatores essenciais para a escolha de um dispositivo de sombreamento adequado.

Cho, Yoo e Kim (2014) apresentam uma análise de eficiência do sombreamento de proteções solares. Para isso uma janela de referência foi definida e modelos de proteções solares (verticais e horizontais), com variações dimensionais, foram aplicados à janela de referência para três orientações solares (sul, leste e oeste). A incidência de radiação solar direta é simulada apenas de maio a setembro, quando a ocorrência de carga de resfriamento é esperada, sem avaliar a influência dos dispositivos de sombreamento nos outros meses do ano. Os dados de radiação solar utilizados para as simulações são de um ano típico do lugar com as variações de nebulosidade. As nuvens causam a maior atenuação da radiação, porém são imprevisíveis e não é possível determinar sua localização, tamanho e espessura, por isso podem mascarar o efeito das proteções solares. São utilizados como resultado os totais de radiação direta incidente durante todo o mês, o que encobre o padrão de incidência durante o dia e não demonstra as horas em que a proteção solar é eficiente.

Entender o comportamento do sombreamento das proteções solares em relação às variações na intensidade e no período de incidência da radiação solar ao longo do ano é um passo fundamental para que o projetista possa determinar suas consequências finais no consumo de energia, no conforto e no desempenho térmico da edificação.

Este trabalho foi desenvolvido com o objetivo de apresentar o comportamento do sombreamento de proteções solares externas horizontais típicas para aberturas de modo a proporcionar a avaliação e a comparação direta da eficiência destes elementos, para cada

necessidade de desempenho, constituindo-se numa ferramenta prática que auxilia no projeto de dispositivos de sombreamento.

## **2. MÉTODO**

Para determinar a eficiência do sombreamento quanto à efetiva redução de energia solar que incide numa superfície é necessário considerar as variações no período de insolação e na intensidade da radiação solar incidente ao longo do tempo. Para isso foi desenvolvido um método, com base em simulações com o software Energy Plus para a determinação da radiação solar incidente em uma unidade de área de superfície vertical, sem sombreamento e com os modelos de proteções solares avaliados.

As dezesseis variações dimensionais da proteção solar horizontal contempladas nesta avaliação abrangem as formas básicas dos dispositivos de sombreamento horizontais externos normalmente utilizados em edifícios. O comportamento do sombreamento proporcionado por este modelo e as suas variações na largura e profundidade do elemento demonstram a influência dessas alterações no sombreamento horário e mensal, visando levar à compreensão da eficiência dos dispositivos ao longo de um dia e de um ano.

Foram consideradas oito orientações solares para a superfície vertical de referência (N, S, L, O, NE, NO, SO e SE) com o intuito de evidenciar o comportamento da insolação para as diferentes possibilidades de implantação de um edifício, e doze “Dias de Referência” relacionados aos meses do ano, considerando-se o céu sem nebulosidade. Foi selecionado o dia 21 de cada mês para as simulações, tendo em vista contemplar as variações mensais da geometria solar e também os solstícios e equinócios.

A eficiência dos dispositivos foi determinada em função da sua capacidade de redução da incidência de energia solar na superfície vertical analisada em comparação com a situação sem sombreamento.

### **2.1 Software - Energy Plus**

O software Energy Plus possibilita a simulação da incidência de radiação solar baseado na trajetória solar e na relação geométrica com a superfície avaliada, permitindo a determinação do período de incidência e da intensidade da componente direta da radiação solar sobre uma superfície pelo intervalo de tempo determinado. Além disso permite o cálculo da porcentagem de área sombreada de uma superfície vertical com o efeito de dispositivos de sombreamento externos para o intervalo de tempo considerado.

### **2.2 Dados de Radiação Solar**

Para a avaliação da eficiência das proteções solares, considerou-se céu sem nebulosidade, ou seja, na condição em que o período e a intensidade da radiação direta são máximos, mesmo que essa seja uma situação atípica para o lugar avaliado visto que o objetivo deste trabalho é demonstrar comparativamente, a eficiência de cada configuração do dispositivo de sombreamento.

Para a obtenção dos dados de radiação solar direta utilizou-se o modelo de céu limpo apresentado pela ASHRAE 2009 *Handbook of Fundamentals*, revisto com base nas profundidades ópticas específicas para cada localização para a radiação direta e difusa.

Estes valores são tabulados por mês nos dados climatológicos da *ASHRAE* e os valores de profundidade óptica de céu claro para irradiância direta ( $\tau_{\text{aub}}$ ) e difusa ( $\tau_{\text{aud}}$ ) são específicos de cada lugar e variam durante o ano. Para esses valores são consideradas as condições locais, tais como altitude, teor de água precipitável e aerossóis presentes na atmosfera através de levantamentos.

### 2.3 Proteções Solares

A superfície de referência definida para a simulação é vertical, e representa uma janela ou abertura. Possui um metro de largura por um metro de altura porém, suas dimensões não intervêm na análise pois a comparação dos resultados é feita por unidade de área. Ela funciona como uma geometria de referência para o dimensionamento das 16 variações de proteções solares horizontais analisadas (figura 1), e o que deve ser considerado são os ângulos limites de sombreamento: alfa ( $\alpha$ ) influenciado pela profundidade do dispositivo, e gama ( $\gamma$ ) alterado pela largura da proteção solar.

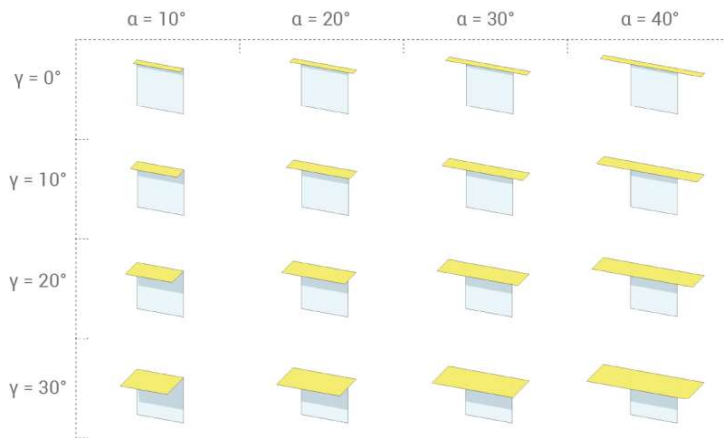


Figura 1. Variações dimensionais das proteções solares horizontais avaliadas.

Os modelos analisados representam os seus ângulos limites de sombreamento pois o padrão de sombreamento e a eficiência do elemento é determinada por eles. Como pode-se notar na figura 2, os dispositivos de sombreamento com ângulos limites de sombreamento idênticos, apesar de divididos em mais aletas, demonstram a mesma eficiência ao longo do ano. Assim o comportamento do sombreamento das 16 variações dimensionais representa uma série de outras possibilidades de projetos de proteções solares que respeitem os mesmos ângulos limites de sombreamento.

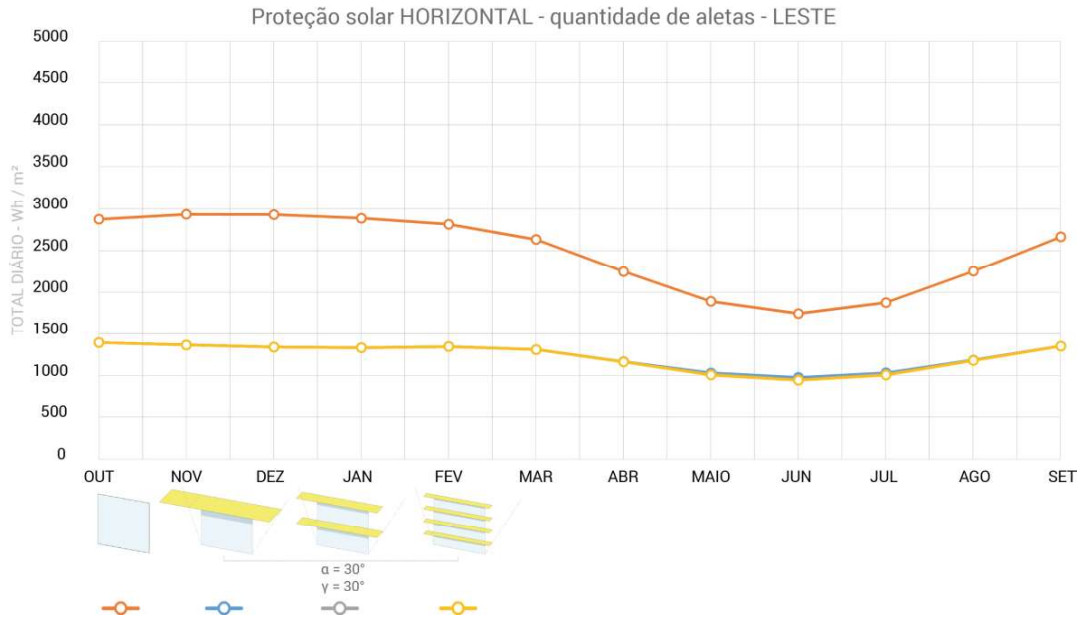


Figura 1. Eficiência proteções solares horizontais para leste com mesmos ângulos limites de sombreamento e variação no número de aletas.

### 3. APLICAÇÃO DO MÉTODO

São Paulo (latitude 23° 50') é uma das maiores cidades da América Latina com uma quantidade significativa de edificações projetadas geralmente sem dispositivos de sombreamento. Para a simulação foram inseridos no software Energy Plus os valores de profundidade óptica para radiação solar direta (*taub*) e profundidade óptica para radiação solar difusa (*taud*) descritos pela ASHRAE 2009 HOF (figura 3) para os respectivos “Dias de Referência” no modelo solar *ASHRAE Revised Clear Sky* para a cidade em estudo.

Monthly Climatic Design Conditions													
Clear Sky Solar Irradiance		Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
	<i>taub</i>		0.391	0.383	0.365	0.325	0.302	0.295	0.307	0.366	0.436	0.412	0.389
<i>taud</i>		2.593	2.589	2.602	2.608	2.576	2.533	2.486	2.306	2.168	2.363	2.534	2.589

Figura 3. Valores de profundidade óptica para radiação solar direta e difusa (*taub* e *taud*). ASHRAE, 2009.

#### 3.1 Avaliação das orientações solares

Inicialmente é determinada a radiação solar direta incidente ao longo do ano para as oito orientações solares sem sombreamento. A avaliação da quantidade de energia solar incidente nas fachadas pode determinar qual orientação necessitará de proteção solar e em qual período, dependendo das necessidades específicas de desempenho de cada edifício.

Os totais diários de radiação solar direta incidente por hora ( $Wh/m^2$ ) na superfície vertical de referência, para o dia 21 de cada mês do ano, são apresentados em um gráfico mensal para demonstrar a variação da incidência solar ao longo do ano. E os valores horários da radiação solar direta incidente ( $Wh/m^2$ ) são mostrados em gráficos dos três “Dias de Referência” com as geometrias solares extremas (solstício - 21/dezembro;

equinócio - 21/março; solstício - 21/junho) para demonstrar a variação horária da incidência solar ao longo do dia (figura 4).

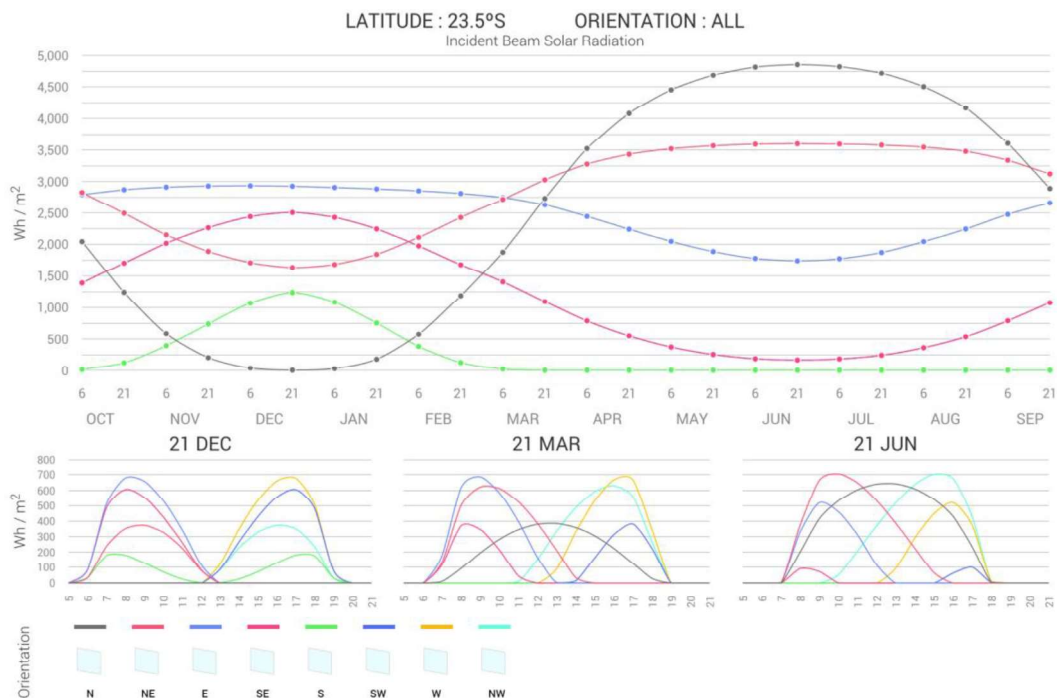


Figura 2. Radiação solar direta incidente para oito orientações (N, NE, E, SE, S, SO, W, NO) sem sombreamento.

No gráfico mensal pode-se observar que, para a latitude da cidade de São Paulo, durante a Primavera e Verão as orientações solares com maior quantidade de radiação solar incidente são: Leste e Oeste, Nordeste e Noroeste, Sudeste e Sudoeste. Durante o outono e inverno as orientações solares com maior quantidade de radiação solar incidente são: Norte, Nordeste e Noroeste, Leste e Oeste. As orientações solares Sul, Sudeste e Sudoeste apresentam baixa quantidade de radiação solar incidente durante o outono e inverno e dependendo da necessidade de eficiência do edifício não precisam de sombreamento neste período. O mesmo vale para as orientações Norte e Sul durante a primavera e verão. As orientações solares Leste e Oeste, Nordeste e Noroeste, Sudeste e Sudoeste, possuem a mesma quantidade de radiação solar incidente durante o ano e por isso suas curvas se sobrepõem no gráfico mensal. A diferença fica por conta do período diário de incidência.

Nos gráficos horários dos três “dias de referência” representativos pode-se observar que para a orientação Sul, durante o solstício de verão (21/dezembro), o período de incidência da radiação solar é no início da manhã e no final da tarde com baixa intensidade. A orientação Norte possui o período de incidência longo com a alta intensidade de radiação solar durante o solstício de inverno (21/junho). Para Leste e Oeste o período de incidência diário é curto, porém com alto pico de intensidade, principalmente durante o solstício de verão (21/dezembro) chegando a 700 Wh/m<sup>2</sup>. Para Nordeste e Noroeste o período de incidência diário é longo e com intensidade alta, principalmente durante o solstício de inverno (21/junho) chegando a 700 Wh/m<sup>2</sup>. Sudeste e Sudoeste são as orientações solares

em segundo lugar com maior intensidade de radiação solar incidente no solstício de verão (21/dezembro) chegando a  $605 \text{ Wh/m}^2$ .

A avaliação da necessidade de sombreamento de cada orientação depende das demandas de desempenho de cada edifício ao longo do ano. O projetista pode observar os picos de intensidade da radiação solar direta incidente, assim como orientações com altas quantidades de energia incidente devido a períodos longos de incidência. De qualquer maneira o gráfico já apresenta, para uma avaliação inicial, as orientações solares críticas e as com baixa quantidade de energia solar incidente.

### 3.2 Avaliação das proteções solares por orientação

Após estabelecer a quantidade de energia solar incidente por orientação são determinadas as eficiências das proteções solares ao longo do ano por orientação solar para a latitude em estudo. A eficiência dos dispositivos foi determinada em função da sua capacidade de redução da incidência de energia solar na superfície vertical analisada. A curva da radiação solar incidente sem proteção solar por orientação é o máximo de radiação que a fachada pode receber para o período e latitude definidos, e funciona portanto como a linha de base para a avaliação. A redução da insolação pela aplicação dos dispositivos de sombreamento pode ser vista por hora durante os “Dias de Referência” representativos e ao longo do ano com os totais diários por mês de radiação solar direta incidente. Este estudo avaliou o efeito das proteções solares horizontais apenas para as quatro orientações mais críticas com as maiores quantidades de energia solar incidente para a latitude da cidade de São Paulo (N, NE, W).

### 3.3 Norte

Para a orientação solar Norte (figura 5), com maior quantidade de radiação solar incidente durante o outono e inverno, pode-se observar que a Proteção solar “Horizontal” sombreia no pico diário da intensidade de radiação solar (12:00 horas) e é eficiente para esta orientação. Ao aumentar a profundidade da proteção solar horizontal, e consequentemente o ângulo limite de sombreamento alfa ( $\alpha$ ), os dispositivos de sombreamento apresentam maior eficiência. Já ao aumentar a largura e assim o ângulo gama ( $\gamma$ ), esta alteração demonstra maior eficiência para as proteções solares de maior profundidade. Desta maneira, pode-se notar que as proteções solares com  $\alpha:10^\circ$  tem a mesma eficiência com diferentes  $\gamma:0^\circ, 10^\circ, 20^\circ, 30^\circ$ . No gráfico do “Dia de Referência” 21 de junho é possível notar que quanto maior a profundidade da proteção solar horizontal ( $\alpha$ ) mais ela sombreia no pico diário de intensidade de radiação solar, e por isso a grande influência desta variação dimensional na diminuição de energia solar incidente, enquanto a variação na largura do dispositivo de sombreamento influencia no sombreamento no começo da manhã e no final da tarde com intensidades mais baixas.

### 3.4 Nordeste

Para a orientação solar Nordeste (figura 6), com incidência de radiação solar durante todo o ano e maior quantidade durante o outono e inverno, pode-se observar que a Proteção solar “Horizontal” é eficiente durante todo o ano. Ao aumentar a profundidade da proteção solar horizontal, e consequentemente o ângulo limite de sombreamento alfa ( $\alpha$ ), esta alteração demonstra maior eficiência principalmente durante o outono e inverno. Já ao

aumentar a largura da proteção solar e assim o ângulo gama ( $\gamma$ ), esta alteração demonstra maior eficiência durante a primavera e verão. Pode-se notar que 21/dezembro, os dispositivos de sombreamento com  $\alpha:20^\circ$  e  $\gamma:20^\circ$  e  $30^\circ$  são mais eficientes do que a proteção solar com  $\alpha:30^\circ$  e  $\gamma:0^\circ$ , e os dispositivos de sombreamento com  $\alpha:30^\circ$  e  $\gamma:10^\circ$ ,  $20^\circ$  e  $30^\circ$  são mais eficientes do que a proteção solar com  $\alpha:40^\circ$  e  $\gamma:0^\circ$ .

### 3.5 Oeste

Para a orientação solar Oeste (figura 7), com incidência de radiação solar durante todo o ano e maior quantidade durante a primavera e verão, pode-se observar que a proteção solar “Horizontal” é eficiente durante todo o ano. Ao aumentar a profundidade da proteção solar horizontal, e conseqüentemente o ângulo limite de sombreamento alfa ( $\alpha$ ), esta alteração demonstra maior eficiência principalmente durante a primavera e verão. Já ao aumentar a largura da proteção solar e assim o ângulo gama ( $\gamma$ ), esta alteração demonstra maior eficiência durante o outono e inverno. Desta maneira pode-se notar que durante a primavera e verão os dispositivos de proteção solar com mesma profundidade e diferentes larguras possuem eficiências parecidas. Pode-se notar também que em 21/junho, os dispositivos de sombreamento com  $\alpha:20^\circ$  e  $\gamma:30^\circ$  são mais eficientes do que a proteção solar com  $\alpha:30^\circ$  e  $\gamma:0^\circ$ , e os dispositivos de sombreamento com  $\alpha:30^\circ$  e  $\gamma:20^\circ$  e  $30^\circ$  são mais eficientes do que a proteção solar com  $\alpha:40^\circ$  e  $\gamma:0^\circ$ .

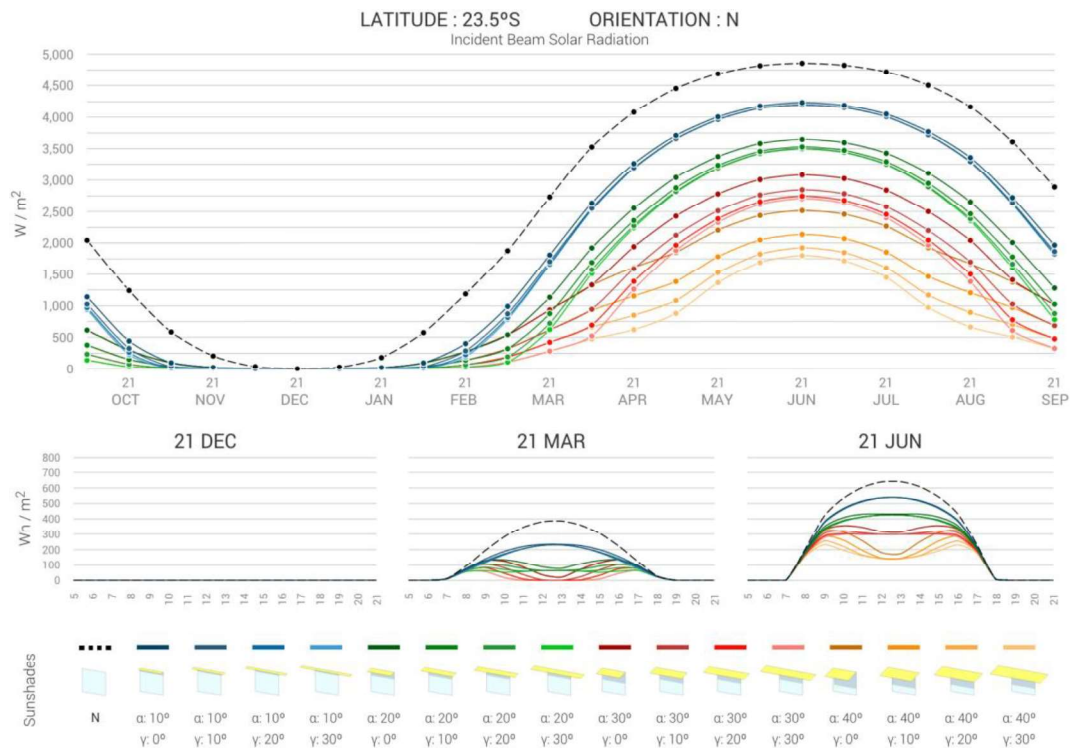


Figura 3. Eficiência das proteções solares horizontais para a orientação norte.



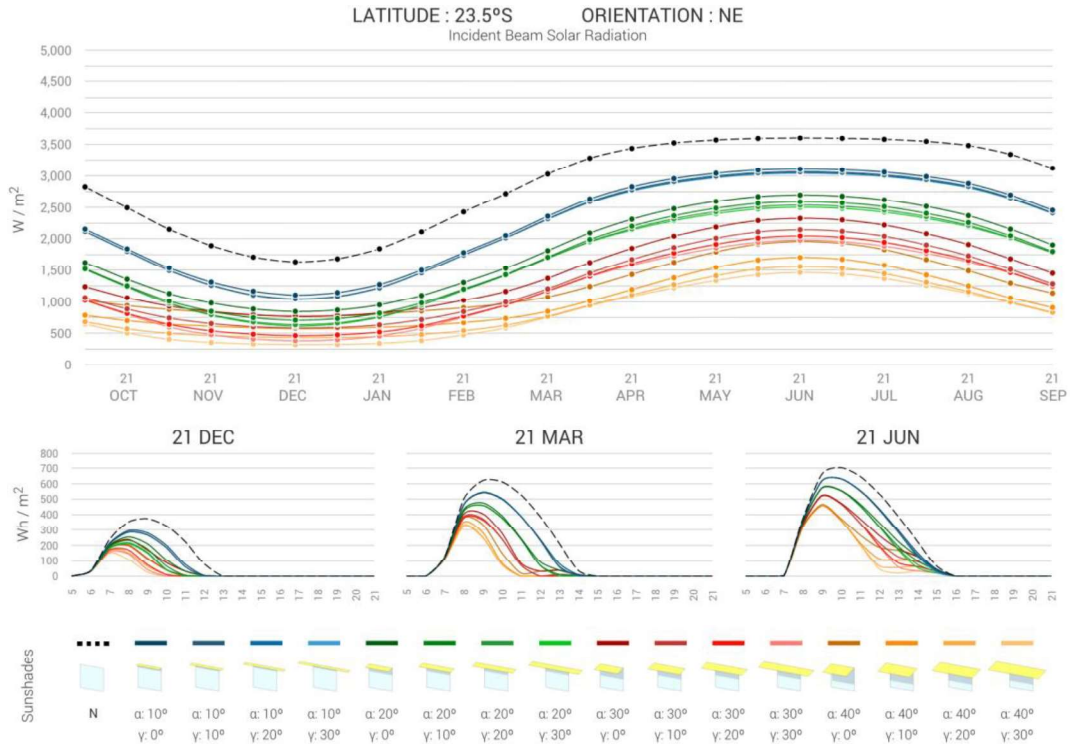


Figura 4. Eficiência das proteções solares horizontais para a orientação nordeste.

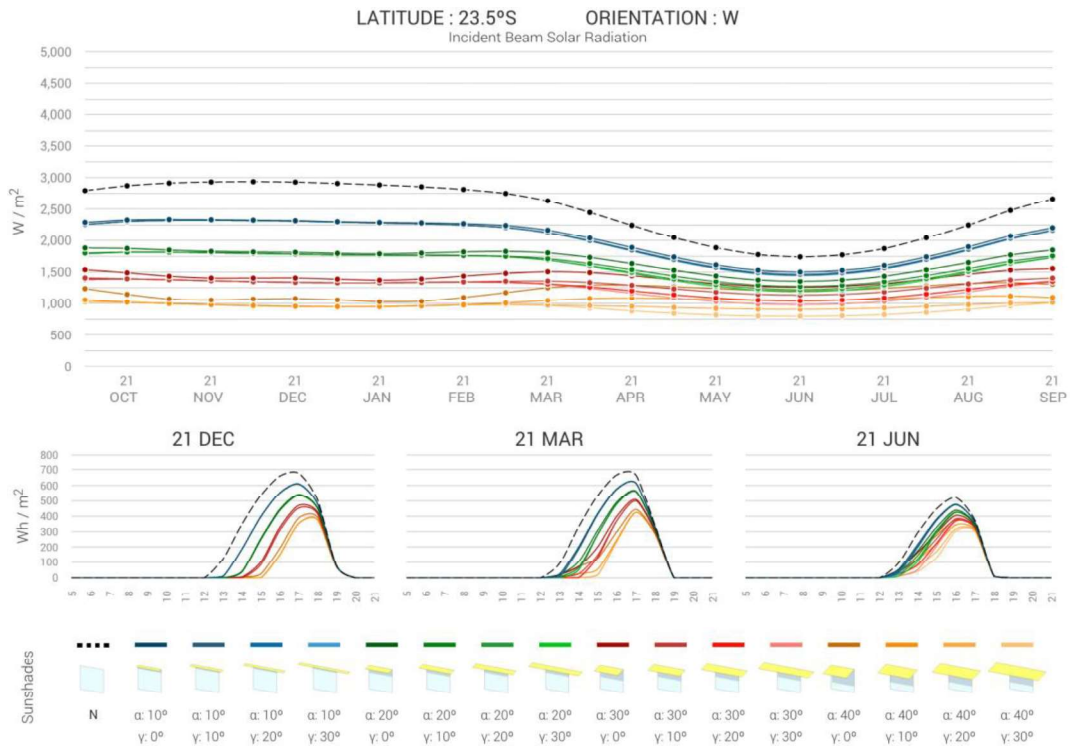


Figura 7. Eficiência das proteções solares horizontais para a orientação oeste.

#### 4. CONCLUSÕES

Na avaliação das proteções solares horizontais externas para da cidade de São Paulo pode-se observar que este dispositivo de sombreamento é eficiente para as três orientações solares, com as maiores quantidades de radiação solar incidente (N, NE, W). Os resultados demonstram o padrão de sombreamento deste modelo de proteção solar e a eficiência de acordo com as alterações nas dimensões do dispositivo, ao aumentar a profundidade e largura e consequentemente os ângulos limites de sombreamento alfa ( $\alpha$ ) e gama ( $\gamma$ ) respectivamente.

Além dos resultados da eficiência dos dispositivos de sombreamento para cada orientação ao longo do ano destaca-se também, dentre as conclusões obtidas, que dispositivos de sombreamento com ângulos limites de sombreamento idênticos, apesar de divididos em mais aletas demonstram a mesma eficiência ao longo do ano. Assim o comportamento do sombreamento das 16 variações dimensionais analisadas representa uma série de outras possibilidades de projetos de proteções solares que respeitem os mesmo ângulos limites de sombreamento. Pode-se observar também que a eficiência das proteções solares na alteração da sua largura é mais perceptível quando a profundidade da mesma é maior.

O método apresentado permite determinar a eficiência dos dispositivos de sombreamento ao longo do ano para cada orientação da fachada, não somente em função do período de sombreamento mas principalmente em função da quantidade de energia que a proteção solar impede de incidir sobre a superfície. A partir da comparação da eficiência horária e ao longo do ano da proteção solar e suas variações dimensionais é possível compreender a influência de cada alteração no sombreamento para as variações da geometria solar. Dessa maneira o projetista tem a disposição uma ferramenta prática que, associada as demandas específicas de desempenho de cada edifício ao longo do ano, auxilia na avaliação e no projeto de dispositivos de sombreamento, fundamentais para o desempenho térmico, o conforto dos usuários e para a eficiência energética de edifícios.

#### REFERÊNCIAS

- ASHRAE. 2009. Ashrae climatic design conditions 2009/2013. Disponível em: <<http://ashrae-meteo.info/>> (15 de junho de 2016)
- Cho, J. Yoo, C. Kim, Y. 2014. Viability of exterior shading devices for high-rise residential buildings: Case study for cooling energy saving and economic feasibility analysis. *Energy and Buildings* 82: 771-785.
- Datta, G. 2001. Effect of fixed horizontal louver shading devices on thermal performance of building by TRNSYS simulation. *Renewable Energy*, 23: 497-507.
- Florides, G.A. Tassou, S.A. Kalogirou, S.A. Wrobel, L.C. 2002. Measures used to lower building energy consumption and their cost effectiveness, *Applied Energy*, 73: 299-328.
- Gupta, R. Ralegaonkar, Rv. 2004. Performance analysis of static sunshades using shading mask approach. *Journal of Energy and Fuel Users Association of India*. p. 39-43
- Palmero-Marrero, A.I., Oliveira, A.C. 2010. Effect of louver shading devices on building energy requirements. *Applied Energy*, 87: 2040-2049.
- Tzempelikos, A. Athienitis, A.K. 2007. The impact of shading design and control on building cooling and lighting demand, *Solar Energy*, 81: 369-82.