AVALIAÇÃO ENERGÉTICA, TÉRMICA E LUMÍNICA DE DISPOSITIVOS DE SOMBREAMENTO EM ESCRITÓRIOS[1]

GARCIA, D. L. R., Universidade Federal de Santa Catarina, email: dayan@labcon.ufsc.br;
PEREIRA, F. O. R., Universidade Federal de Santa Catarina, email: ruttkay.pereira@ufsc.br

ABSTRACT

This paper comes to explore some combinations of shading device's properties to balance heat gains, daylight admission, thermal comfort, visual discomfort and energy consumption. These variables were evaluated by EnergyPlus 8.8.0 simulations in a side-lit office model with location in two Brazilian cities with different climatic conditions. Results achieved poor reductions in temperature, but good reductions in cooling energy consumption and daylight glare for those devices that have high reflectance and low transmittance. In other hand, it was observed undesirable reductions in daylight availability and increase in lighting energy consumption.

***Keywords**: Simulation. Roller-Shades. Energy-Efficiency. Thermal Performance. Daylighting.*

1 INTRODUÇÃO

Edifícios comerciais que possuem elevados "Percentuais de Abertura na Fachada" (%PAF) são presentes no contexto brasileiro e são alvos de estudos que buscam eficiência em equilibrar condicionantes térmicas e lumínicas (RAMOS e GHISI, 2010; RUPP, 2011; INMETRO, 2013). Independente do tamanho da abertura, dispositivos internos de controle solar são empregados para auxiliar no desempenho da edificação e no conforto dos ocupantes (TZEMPELIKOS e CHAN, 2016; CHAN). Um destes dispositivos amplamente utilizados em escritórios é a tela translúcida "Roll On" ilustrada na Figura 1.

Figura 1 – Dispositivo de sombreamento tipo "tela translúcida rollon".



Fonte: MRS Móveis (2018)

No âmbito nacional alguns fabricantes não possuem controle sobre as propriedades térmicas e ópticas do produto e carecem de conhecimento prévio à produção. Nesta perspectiva esta investigação se motivou em fornecer análises e recomendações sobre o comportamento destes dispositivos em cidades brasileiras. O objetivo deste trabalho é avaliar valores de transmitância (τ%) e refletância (ρ%) de dispositivos de sombreamento do

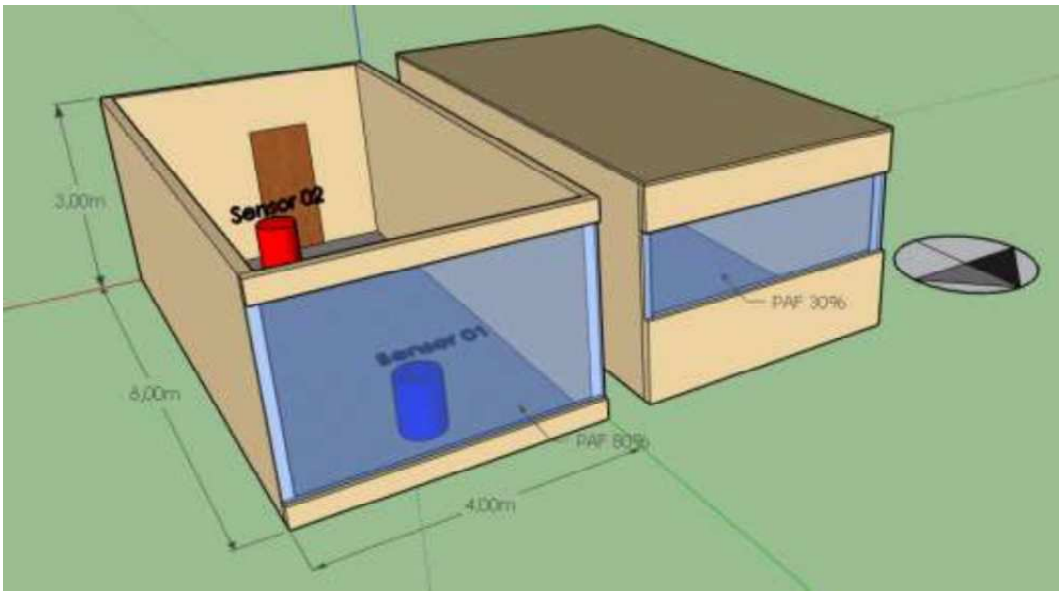
GARCIA, D. L. R., PEREIRA, F. O. R. Avaliação energética, térmica e lumínica de dispositivos de sombreamento em escritórios. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 17, 2018, Foz do Iguaçu. **Anais**... Porto Alegre: ANTAC, 2018.

tipo "Rollon" quanto à eficiência energética e aos desempenhos térmico e lumínico em ambiente de escritórios. Para isso foram determinadas duas localidades com características climáticas diferentes e se utilizou a simulação computacional de um modelo simplificado de escritório como ferramenta metodológica de avaliação.

2 METODOLOGIA

A metodologia partiu da adoção de um modelo de escritório, semelhante ao trabalhado e validado por Reinhart, Jakubiec e Ibarra (2013). Sendo o modelo um módulo de um pavimento-tipo, este possui 8,0m de comprimento, 3,0m de pé direito e 4,0m de largura. Na fachada orientada para o norte está localizada a área envidraçada, como ilustrado na Figura 2.

Figura 2 – Modelos de escritórios simulados.



Fonte: Autor (2018)

Para avaliar os dispositivos de sombreamento se adotou o software Energy Plus 8.8.0 (US DEPARTMENT OF ENERGY, 2017). Esta ferramenta internacionalmente utilizada nas simulações energéticas, térmicas e lumínicas em edifícios foi adotada pela acessibilidade gratuita ao software e disponibilidade dos dados climáticos das cidades escolhidas.

Os valores listados na Tabela 1 apresentam as propriedades dos materiais adotados como dados de entrada para a simulação e disponíveis na biblioteca do programa.

Tabela 1 – Propriedades e dados de entrada na simulação

Fachada Externa e Paredes Internas					
Propriedade / Material	Gesso	Bloco de Concreto	Pintura	Laje de Concreto	Placa de Gesso
Rugosidade	Médio suave	Médio Suave	Suave	Rugoso	Médio suave

Espessura (m)	0,006	0,15	0,0095	0,1	0,019
Condutividade (W/m-K)	0,58	1,13	0,72	1,75	0,16
Densidade (Kg/m³)	800	800	1856	2300	800
Calor Específico (J/Kg-K)	1090	920	840	1000	1090
Absortância Térmica	0,7	0,9	0,7	0,9	0,7
Absortância Solar e Visível	0,6	0,7	0,6	0,7	0,6

Vidro	
Tipo	Claro 6mm
Espessura (m)	0,006
Transmitância Solar - Incidência Normal	0,775
Refletância Solar - incidência Normal	0,071
Transmitância Visível - Incidência Normal	0,881
Refletância Visível - incidência Normal	0,08
Emissividade Infravermelho Hemisférica	0,84
Condutividade (W/m-K)	0,9

Dispositivos de Sombreamento			
Nome Referência	Alta Refletância Baixa Transmitância	Baixa Refletância Alta Transmitância	Baixa Refletância Baixa Transmitância
Transmitância Solar e Visível	0,1	0,7	0,1
Refletância Solar e Visível	0,8	0,2	0,2
Emissividade Infravermelho Hemisférica	0,9	0,9	0,9
Espessura (m)	0,005	0,005	0,005
Condutividade (W/m-K)	0,1	0,1	0,1
Distância até o vidro (m)	0,03	0,03	0,03

Fonte: Autor (2018)

Foi estipulada uma zona térmica e trocas energéticas apenas pela fachada norte. Esta consideração é uma simplificação imposta para aumentar a significância dos efeitos pelo uso dos dispositivos. O escritório recebeu locação em Florianópolis – SC (26,67º Sul, 48,55º Oeste, Altitude 5m), e em Goiânia – GO (15,37º Sul, 48,78º Oeste, Altitude 770m). 21 de Janeiro é o dia de projeto de verão adotado para ambas as cidades. Foi adotada ocupação por 04 pessoas exercendo atividades de escritório (120 W cada), iniciando às 8h00 e encerrando às 20h00. As demais contribuições na carga interna são 04 lâmpadas (10,1 W/m²) e equipamentos elétricos (08 W/m²).

Foram inseridos dois sensores no ambiente (Sensor1 e Sensor02), localizados respectivamente a 1m da janela e a 1m do fundo da sala, ambos a 0,80m acima do piso. No campo "ShadingDevice:MaterialName" foram variados os tipos de dispositivos com propriedades distintas e na função "WindowProperty:ShagindControl" foi aplicado o tipo interno de

sombreamento sob controle de dois SetPoints (Radiação Solar incidente na fachada <300W/m^2 e Temperatura Operativa <28ºC).

As variáveis de saída adotadas foram: Temperatura média do ar da zona, Temperatura média do ar externo, Temperatura Operativa da zona, consumo anual de energia elétrica por arrefecimento e iluminação artificial, iluminância horizontal, luminância da vista e índice de ofuscamento (DGI) para um observador localizado nos sensores 1 e 02 e direcionado para a janela (situação mais crítica). Convergindo as opções de cidades escolhidas (02), percentual de abertura na fachada (02) e tipo do dispositivo de sombreamento (03), totalizaram-se 16 modelos.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

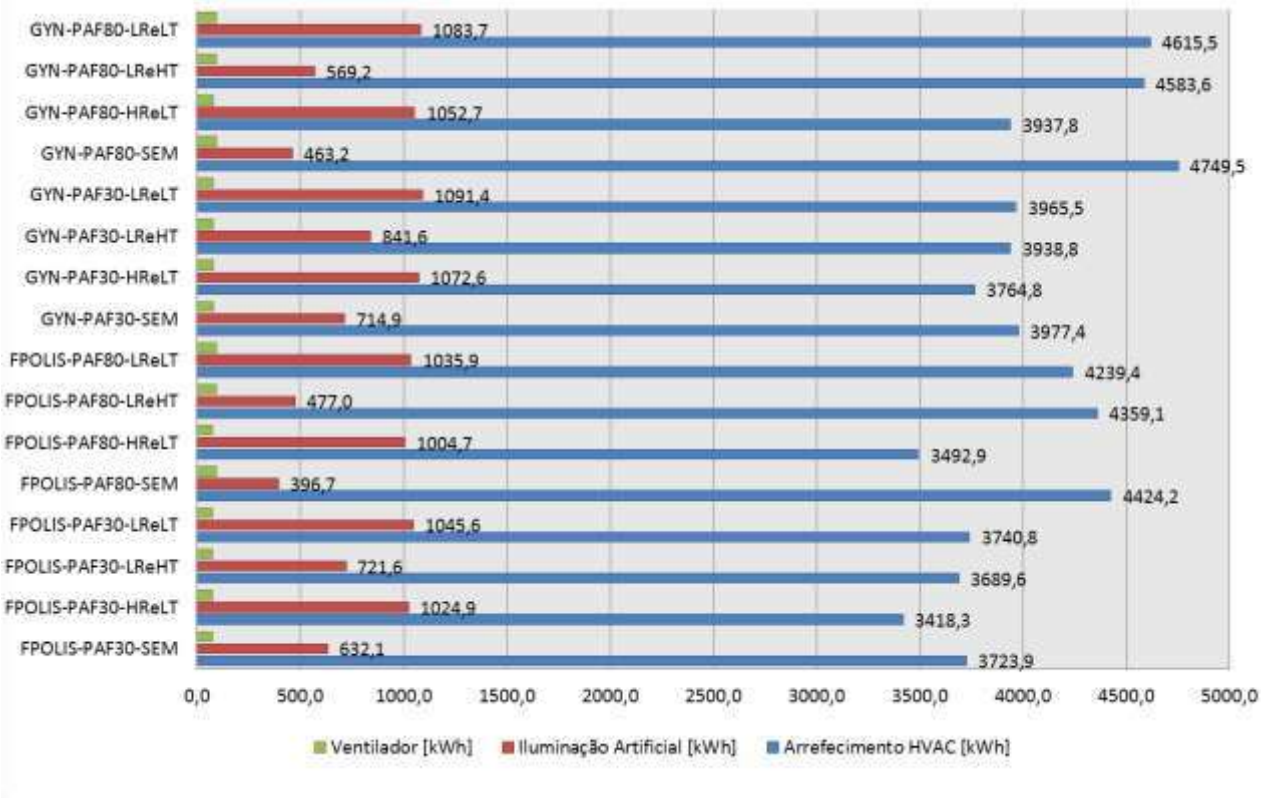
3.1 Avaliação Energética

Quanto ao consumo energético total dos modelos simulados, os modelos sem-sombreamento de PAF30% obtiveram em Florianópolis e Goiânia o menor consumo total (5.647 e 5.986 kWh) e consecutivamente o menor consumo por área (176,5 e 187,1 kWh/m^2). Tanto em Goiânia quanto Florianópolis, os modelos com PAF80% e dispositivo de "baixa-refletância/baixa-transmitância" obtiveram o maior consumo energético total (6.582 e 7.009 kWh) e o maior consumo energético por área (205,7 e 219 kWh/m^2). Estas diferenças de extremos correspondem a uma redução de 14%.

O maior consumo de energia elétrica com condicionamento de ar foi do modelo de Goiânia "sem-sombreamento" de PAF80% (4.749,5 kWh). Entretanto este resultado está pouco acima do consumo nos modelos de Goiânia com o mesmo PAF que utilizam dispositivos de "baixa-refletância/baixa-transmitância" e "baixa-refletância/alta-transmitância". A diferença entre o maior e o menor consumo por arrefecimento para PAF80%, no caso de Goiânia é 17%, entre "sem-sombreamento" e "alta-refletância/baixa-transmitância" (3.937,8 kWh) e 21% no caso de Florianópolis, demonstrando o papel da baixa transmitância e da alta refletância em barrar e refletir ganhos de calor.

Em relação ao consumo de energia elétrica com iluminação artificial foram registrados maiores valores (~1000 kWh) para os modelos de ambas as cidades que utilizam os dispositivos de "baixa-refletância/baixa-transmitância" e "alta-refletância/baixa-transmitância". Já os menores consumos seguem a lógica dos modelos de maiores áreas envidraçadas e sem sombreamento (396,7 kWh em Florianópolis e 463,2 kWh em Goiânia), seguidos pelos modelos com sombreamento de "baixa-refletância/alta-transmitância".

Figura 3 – Consumo de energia elétrica [kWh] por tipo de uso.



Fonte: Autor (2018)

3.2 Avaliação Térmica

O ganho de calor registrado para os modelos de PAF80% com tela de "alta-refletância/baixa-transmitância" é cerca de três vezes menor que a taxa do modelo sem sombreamento durante o período de pico (12h-15h). Em ambas as cidades o dispositivo de "baixa-refletância/alta-transmitância" obtiveram os resultados mais próximos às taxas de ganho de calor da janela sem sombreamento.

Nos casos averiguados se obtiveram maiores temperaturas operativas e radiantes para os modelos com PAF80% e sem dispositivos de sombreamento, seguido pelos modelos de mesmo PAF com elemento de "baixa-refletância/alta-transmitância". As menores temperaturas foram registradas pelo modelo PAF80% com a utilização do rollon de "alta-refletância/baixa-transmitância". A diferença das temperaturas radiantes e operativas entre os modelos de PAF80% são de no máximo 02ºC. A temperatura média do ar interno em ambos os casos se manteve 24ºC (setpoint) a partir da primeira hora de funcionamento do sistema HVAC nos modelos em Goiânia, e da segunda hora nos modelos em Florianópolis.

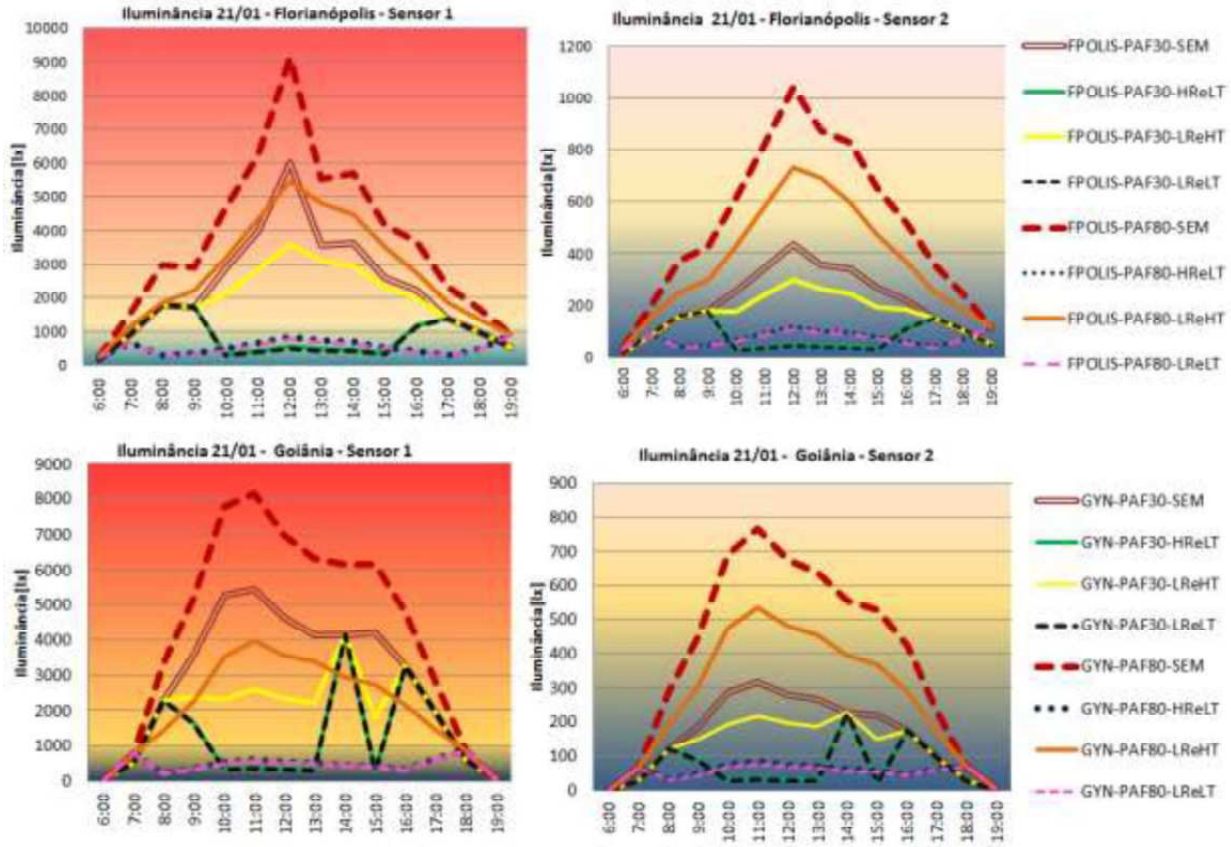
Em relação à fração de tempo de ocupação em que o sombreamento é utilizado, os dispositivos de propriedades distintas nos escritórios de PAF30% em Goiânia desempenharam o mesmo tempo de utilização (55% das horas ocupadas) e os modelos de PAF80% também obtiveram a mesma fração de funcionamento entre si (71%). Entretanto em Florianópolis o dispositivo de "baixa-refletância/alta-transmitância" foi utilizado menos que os demais para ambos os PAF. Este dispositivo é observado como o de menor

desempenho térmico, mas funciona de 10% a 16% menos que os demais dispositivos em Florianópolis. Entre PAF distinto se obtive 12% de diferença no tempo ativo dos mesmos dispositivos em Goiânia e 18% em Florianópolis.

3.3 Avaliação Lumínica

Nos modelos em Goiânia e Florianópolis, telas translúcidas com "alta-refletância/baixa-transmitância" e "baixa-refletância/baixa-transmitância" em escritórios de PAF80%, se obteve iluminâncias para o dia de projeto de verão no sensor1 que tenderam em permanecer na faixa de 500 lx, assim como nos escritórios de PAF30% localizados em Florianópolis. Nos escritórios de PAF30% locados em Goiânia registrou-se uma variação que está ligada a dois momentos que o dispositivo foi desativado devido à baixa radiação solar incidente em determinado horário. No sensor02 os níveis de iluminação se mantiveram razoavelmente adequados apenas para os modelos de PAF80%, sem sombreamento e com persianas de "baixa-refletância/alta-transmitância".

Figura 4 – Iluminâncias nos modelos para o dia de projeto de verão.



Fonte: Autor (2018)

Se tratando da frequência anual dos valores de DGI os modelos sem-sombreamento obtiveram nas duas cidades as maiores frequências "desconfortável" e "intolerável", seguidos pelos modelos de "baixa-refletância/alta-transmitância" de PAF80% e PAF30%, respectivamente. Os níveis mais baixos de desconforto visual foram apresentados pelos modelos

de PAF30% que utilizam dispositivos com baixa-transmitância. Este resultado mostra que a transmitância desempenha o papel primordial no combate ao ofuscamento e que a variação de refletância não agregou mudanças significativas nas frequências.

Referente às frequências anuais de iluminância útil ($UDI_{100lx\text{-}2000lx}$) se observa que altas frequências em ambos os sensores se torna intangível mesmo com o uso dos dispositivos investigados. No sensor1 os elevados níveis de iluminância resultaram UDI insatisfatório. Os modelos com alta-transmitância demonstram a tentativa de equalizar os valores de UDI entre os dois sensores, diminuindo o excesso no sensor1 sem afetar drasticamente o sensor02, mas mesmo assim em nenhum dos modelos trabalhados se atingiu UDI satisfatório simultaneamente.

5 CONCLUSÕES

Assim como ressalva Tzempelikos e Shen (2013) e Konstantzos e Tzempelikos (2017), os dispositivos internos de sombreamento são inevitavelmente utilizados em ambientes de escritório para promover desempenho térmico e lumínico e conforto aos ocupantes. Nesse sentido as ferramentas computacionais de simulação tem permitido cruzar os dados climáticos locais com as informações de projeto do edifício para determinar as melhores configurações e propriedades dos dispositivos. (SHEN e TZEMPELIKOS, 2012; SINGH, LAZARUS e KISHORE, 2015) Neste contexto, o trabalho buscou encontrar especificações de dispositivos de sombreamento para garantir melhor desempenho de variáveis térmicas, lumínicas e energéticas.

Inserindo os dados de entrada do modelo referência através da simulação no EnergyPlus 8.8.0, foram analisados valores de transmitância e refletância dos elementos de sombreamento e suas influências nos fenômenos abordados. O procedimento permitiu evidenciar o efeito causado em cada variável para assim embasar a visão conjunta sobre as soluções investigadas. Obteve-se melhor desempenho térmico e energético dos dispositivos com alta refletância (ρ>80%) e baixa transmitância (τ<20%). Este tipo de dispositivo demonstrou atuar melhor como solução para excesso de iluminância nos postos de trabalho próximos à fachada e prevenir o ofuscamento, embora comprometa a admissão de luz natural. Os resultados encontrados nos evidenciam que as especificações e a fabricação de telas translúcidas rollon deve agregar a refletância como característica tão importante quanto à transmitância. Ressalva-se como limitação do trabalho e como recomendação de trabalhos futuros a combinação dos elementos de controle investigados com vidros especializados e diferentes rotinas (algoritmos) de operação.

REFERÊNCIAS

INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA NORMALIZAÇÃO E QUALIDADE INDUSTRIAL (INMETRO). Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência

Energética de Edificações Comerciais, de Serviço e Público **(RTQ-C).** Portaria n. 372/3013. Rio de Janeiro, 2013.

KONSTANTZOS, I.; TZEMPELIKOS, A. Daylight glare evaluation with the sun in the field of view through window shades. **Building e. Environment**. ed.113, 2017, p. 65 - 77

MRS MÓVEIS, Móveis de Escritório. **Persiana Rolô**. Homepage da empresa. Rio de Janeiro, 2018. Disponível em: < http://www.mrsmoveis.com.br/persiana-rolo/ >. Acesso em: 20 mar. 2018.

RAMOS, G.; GHISI, E. Analysis of daylight calculated using the EnergyPlus programme. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**. ed.14, p. 1948-1958, 2010.

REINHART, C.; JAKUBIEC, A.; IBARRA, D. **MIT Reference Office**. 2013. Disponível em: <http://web.mit.edu/sustainabledesignlab/projects/ReferenceOffice/index.html>. Acesso em: 20 março. 2018.

REINHART, C.; JAKUBIEC, A.; IBARRA, D.; Definition of a reference office for standardized evaluations of dynamic façade and lighting technologies. **Proceedings of BS2013:** 13th Conference of International Building Performance Simulation Association, Chambéry, France, 2013.

RUPP, R. F. Dimensionamento de área de janela em edificações comerciais: integração da iluminação natural com a artificial e utilização de ventilação híbrida. **Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil –** Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2011.

SHEN, H.; TZEMPELIKOS, A. Daylighting and energy analysis of private offices with automated interior roller shades. **Solar Energy**. ed.86, 2012, pg. 681–704.

SINGH, R.; LAZARUS, I.J.; KISHORE, V.V.N. Effect of internal woven roller shade and glazing on the energy and daylighting performances of an office building in the cold climate of Shillong. **Applied Energy**. ed.159, 2015, pg.317–333.

TZEMPELIKOS A.; CHAN, Y. C. Estimating detailed optical properties of window roller shades from basic available data and modeling implications on daylighting and visual comfort. **Energy e Buildings**. n. 126, 2016, p. 396-407.

TZEMPELIKOS, A.; SHEN, H. Comparative control strategies for roller shades with respect to daylighting and energy performance. **Building and Environment**. ed.67, 2013, p. 179-192.

US Department of Energy, Energyplus Engineering Reference. **The Reference to EnergyPlus Calculations**, Lawrence Berkeley National Laboratory, 2017.