

Potencial do uso da iluminação natural com *dimmers* e persianas automatizadas: estudo de edifício de pequeno porte com uso comercial para diferentes orientações em clima tropical

Potential of use of daylight with dimmers and automated blinds: study in a low-rise office building for different orientations in tropical climate

Luciana Oliveira Fernandes
Felipe da Silva Duarte Lopes
Daniel Cóstola
Lucila Chebel Labaki

Resumo

O aproveitamento da luz diurna minimiza o consumo de energia com iluminação artificial e proporciona maior qualidade visual para seus usuários. Porém, essa estratégia deve ser estudada com cautela para que não resulte em ganhos térmicos excessivos e ofuscamento. Este artigo demonstra o potencial de economia de energia, qualidade visual e térmica de sistemas de iluminação com controle de potência (*dimmers*) e persianas automatizadas. O estudo se baseia na simulação computacional integrada de um edifício comercial em Campinas. Os programas *Daysim* e *EnergyPlus* foram utilizados para estimar: probabilidade de ocorrência de ofuscamento, consumo de energia e ganhos de calor. Comparados a um sistema de iluminação artificial convencional, ligado durante o dia, os sistemas estudados economizaram até 4% de energia. Apesar da modesta contribuição na economia de energia, obteve-se melhor qualidade visual dos espaços, medida através do índice de probabilidade de ocorrência de ofuscamento, o *useful daylight index* (UDI). Este estudo promove uma discussão acerca da necessidade de se avaliar a eficiência energética de um sistema em conjunto com a qualidade ambiental dos espaços. Ressalta também a importância de se considerar a particularidade de cada caso em função das interações entre o edifício e o meio.

Palavras-chaves: Luz natural. Luz artificial. Eficiência energética.

Abstract

Luciana Oliveira Fernandes
Faculdade Meridional IMED
Passo Fundo - RS - Brasil

Felipe da Silva Duarte Lopes
Universidade Estadual de Campinas
Campinas - SP - Brasil

Daniel Cóstola
Faculdade Meridional IMED
Passo Fundo - RS - Brasil

Lucila Chebel Labaki
Universidade Estadual de Campinas
Campinas - SP - Brasil

Recebido em 09/05/17
Aceito em 13/08/17

The use of daylight in buildings reduces energy consumption with artificial lighting while at the same time provides better visual quality for their occupants. However, this strategy should be applied with caution so that the drawbacks (excessive heat gain and glare) do not outweigh the benefits. This paper demonstrates the potential of energy conservation and the visual/thermal quality of lighting systems with dimmers and automated blinds. The study is based on integrated computer simulation of a commercial building in Campinas, Brazil. The programs Daysim and EnergyPlus were used to estimate: the likely occurrence of glare, the energy consumption and heat gains. Compared to a conventional lighting system active all day, these systems can save up to 4% of the total energy use, while at the same time offering better visual quality. Despite the modest contribution to energy savings, this solution shows better visual quality indoors, quantified by the useful daylight index (UDI). This study promotes a discussion on the need to evaluate the energy efficiency of systems along with environmental quality. It also highlights the importance of considering the singularity of each case with regard to the interactions between the building and the environment.

Keywords: Daylight. Artificial lighting. Energy efficiency.

Introdução

O uso da luz natural em edificações é uma importante estratégia de projeto, capaz de proporcionar conforto visual e minimizar o consumo de energia com iluminação artificial (ALRUBAIIH *et al.*, 2013). É um dos recursos mais comuns em edifícios comerciais de escritório que promovem sustentabilidade e eficiência energética, devendo ser parte integrante de projetos que apresentem esses conceitos (RUSSEL, 2008).

Em ambientes de trabalho, como os escritórios, estudos demonstram que a inserção da luz do dia tem impacto positivo na saúde, bem-estar e produtividade dos usuários (BOYCE; HUNTER; HOWLETT, 2003). Sendo assim, recomenda-se que os projetos de arquitetura permitam um número mínimo de horas de acesso à luz solar (SANTAMOURIS, 2001). Para isso, devem-se levar em conta as características do entorno, pois áreas densamente edificadas podem projetar sombras sobre os edifícios adjacentes por longos períodos do dia. A mesma importância deve ser dada aos fechamentos do edifício: geometria, propriedades dos vidros, posição e geometria das aberturas, além de dispositivos de sombreamento.

O estilo arquitetônico de muitos edifícios de escritório no Brasil segue o de países de climas mais frios, com grandes áreas envidraçadas. Além da questão estética, esse estilo busca oferecer aos seus ocupantes maior contato visual com o exterior devido aos seus efeitos psicológicos favoráveis (GALASIU; VEITCH, 2006). No entanto, os ganhos de calor por radiação solar nas fachadas podem trazer cargas térmicas indesejáveis, que devem ser removidas, por vezes, através de meios artificiais, o que eleva o consumo de energia pelo sistema de condicionamento de ar. Assim, o aproveitamento da luz solar é uma estratégia que deve ser aplicada com cuidado, principalmente em países de clima tropical como o Brasil. Faz-se necessário buscar um equilíbrio entre o uso de luz diurna e os ganhos de calor dela provenientes (CARLO; PEREIRA; LAMBERTS, 2004). No mesmo sentido, Lartigue, Lasternas e Loftness (2014) sugerem que o consumo de energia com resfriamento e iluminação deva ser considerado em projetos com aproveitamento da luz natural. Aliada ao uso de energia, a qualidade visual também deve ser estudada na fase de projeto. Xue, Mak e Huang (2016) propõem que o projeto energeticamente eficiente deva assegurar um nível satisfatório de iluminação natural, e não deva limitar-se à redução do consumo de energia somente.

Além da carga térmica, o ofuscamento é outra resultante da incidência da radiação solar que deve

ser tratada com cuidado. Trata-se de uma condição visual de desconforto ou incapacidade de distinguir detalhes ou objetos, resultado da combinação dos níveis de iluminância e das características visuais do plano de trabalho (como rugosidade e refletividade). Para evitar ofuscamento, cortinas e persianas são utilizadas pelos usuários dos edifícios durante boa parte do dia, e essa falta de contato com a luz natural pode acarretar efeitos psicológicos indesejáveis e queda de produtividade (WEBB, 2006). O controle do ofuscamento através do sombreamento das aberturas tem um efeito complexo no desempenho energético do edifício, pois ao mesmo tempo em que contribui para a redução da carga de resfriamento, aumenta a demanda por iluminação artificial (CARLO; PEREIRA; LAMBERTS, 2004).

Soluções de projeto para o controle da iluminação (sensores de presença, *dimmers*) e elementos de proteção solar (brises, persianas) tendem a trazer resultados satisfatórios. Estudos conduzidos em Hong Kong apontam redução no uso de energia com iluminação entre 14% e 65% com a utilização de *dimmers* (LI *et al.*, 2014). Entretanto, o modo como os usuários operam esses dispositivos é aspecto determinante no desempenho do edifício (SANATI; UTZINGER, 2013). Trabalhos nacionais que exploram os impactos dessas soluções de iluminação e sombreamento apresentaram resultados promissores para diferentes regiões do Brasil.

A partir de um estudo realizado para uma sala de aula em Natal, RN, bons resultados foram obtidos com marquises e prateleiras de luz para redução de ofuscamento (CARVALHO; PEDRINI, 2014). Em um estudo exploratório para ambientes de escritório na cidade de Maceió, AL, Lima e Caram (2015) constataram que, para o caso estudado, o sombreamento das aberturas mostrou-se uma solução mais adequada do que reduzir a transmissão solar dos vidros. As autoras obtiveram redução da demanda de resfriamento em até quase 50%, dependendo da transmissão solar dos vidros e da orientação solar do ambiente. Na pesquisa de Fonseca e Pereira (2017), para o clima de Florianópolis, a combinação de um sistema de iluminação artificial eficiente à luz natural proporcionou economia de 62% no consumo de energia com iluminação. Estudos investigativos são importantes no sentido de demonstrarem o potencial de novas tecnologias e da combinação entre diferentes sistemas. Para que esses estudos se tornem aplicáveis é imprescindível que se façam análises conjuntas dessas estratégias com a legislação vigente em diversas esferas (municipal,

estadual e federal), além das normas técnicas pertinentes.

No Brasil, o Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos (RTQ-C) estabelece requisitos de desempenho da envoltória, sistemas de iluminação e condicionamento de ar para edifícios não residenciais. De acordo com o regulamento, para a classificação do nível de eficiência energética do sistema de iluminação, o projeto deve atender a critérios de potência instalada e de controle de acionamento conforme o nível de eficiência pretendido. Quanto ao uso da luz natural, é sugerido o acionamento independente de circuitos de luminárias próximas às aberturas voltadas para o exterior. Em relação à economia de energia, recomenda-se o uso de sensores ou sistema de desligamento automático da iluminação (INSTITUTO..., 2010).

A partir desses requisitos, dos diversos efeitos decorrentes do uso da luz natural e da complexidade do fenômeno em si, é necessária uma abordagem abrangente para o correto dimensionamento do sistema de iluminação natural. Para facilitar o processo de decisão de projetos, o uso de simulação computacional possibilita avaliar a qualidade de iluminação e a quantidade de energia consumida a partir de diferentes cenários. Existem diversos métodos e ferramentas de análise computacional disponíveis para auxiliar nesse processo.

Reinhart (2004), por exemplo, propõe um algoritmo para calcular o desempenho energético de escritórios com iluminação acionada manual e automaticamente, e com sistemas de persianas. Esse algoritmo foi incorporado ao programa *Daysim*, utilizado neste estudo. O algoritmo denominado *Lightswitch-2002* utiliza como dados de entrada o perfil anual de ocupação do ambiente pelos usuários e da iluminância disponível pela iluminação natural. A partir desses dados é feita uma estimativa da demanda de energia elétrica necessária para suprir o sistema de iluminação artificial que irá complementar a iluminação natural a fim de atender às necessidades especificadas de iluminância no plano de trabalho. Hviid, Nielsen e Svendsen (2008) apresentam uma ferramenta de simulação computacional, referida ao longo do trabalho como “*simple tool*” – ferramenta simples – ou somente “*tool*” – ferramenta. O programa permite fazer dois tipos de análises: da distribuição da luz natural no ambiente e, em conjunto com uma avaliação térmica, do impacto da luz natural e do sombreamento no consumo de energia de um edifício.

Demais ferramentas de simulação e técnicas de análise computacional são discutidas com maiores detalhes em uma ampla revisão feita por Reinhart e Wienold (2011) sobre os avanços na capacidade computacional para simulação dinâmica da luz diurna. A partir dessa revisão os autores apresentam uma plataforma chamada *Daylighting Dashboard*. Com ela são apresentadas análises integradas de iluminação natural e de cargas térmicas de um ambiente a partir da simulação computacional. Os autores demonstram, através dessa plataforma, que é possível apresentar análises abrangentes e complexas de projetos de espaços iluminados naturalmente para pessoas que não tenham conhecimento de simulação computacional.

A partir de pesquisas de campo, diversos modelos preditivos do comportamento do usuário têm sido desenvolvidos para complementar essas ferramentas de simulação existentes. Reinhart e Voss (2003) avaliaram que os usuários de edifícios de escritórios na Alemanha consistentemente seguem o mesmo padrão de controle para iluminação e persianas. Segundo da Silva, Leal e Andersen (2013), após estudo conduzido em edifícios de escritórios em Portugal, o controle dos sistemas de iluminação e dispositivos de sombreamento é mais influenciado pela dinâmica de ocupação dos espaços do que pela variação das condições ambientais. Bonte, Thellier e Lartigue (2014) avaliaram o impacto do comportamento dos usuários no consumo energético de edifícios de escritório da França a partir do controle de aberturas, persianas, iluminação, ventiladores, da temperatura ambiente e da vestimenta. Ao comparar o estudo com estratégias convencionais de projeto, os autores concluem que o comportamento dos usuários não pode ser desconsiderado, sob o risco de subestimar a demanda energética na fase de projeto.

O uso de *dimmers* com controle automatizado de sombreamento em escritórios de cidades brasileiras pode contribuir para a redução de ofuscamento e melhoria do desempenho energético. Há uma carência de estudos que calculem o potencial desempenho dessa solução, e tais estudos podem contribuir para aprimoramentos do RTQ-C, importante regulamento de eficiência energética no país, que atualmente não leva em consideração o uso de *dimmers* e persianas automatizadas.

O presente trabalho apresenta a simulação computacional integrada de um edifício comercial voltado para diferentes orientações. O objetivo do estudo é investigar o desempenho energético, lumínico e térmico proporcionado por um sistema

de iluminação com *dimmers* e sombreamento com persianas automatizadas.

Método

Características do edifício analisado

O modelo computacional de um edifício foi elaborado com base no parque construído da Universidade Estadual de Campinas (Unicamp); trata-se de um edifício amplamente utilizado no campus e de grande representatividade. O campus da Unicamp se localiza na cidade de Campinas

(Latitude 22° 82' sul e Longitude 47° 06' oeste), uma cidade do interior do estado de São Paulo cuja caracterização climática segundo Köppen é Cwa: clima tropical de altitude, com verão chuvoso e inverno seco (CENTRO..., 2018). Na Figura 1 são apresentados os dados de temperatura e umidade para a cidade, e na Figura 2 a radiação solar incidente total de um ano. As Figuras 1 e 2 foram geradas pelo programa Climate Consultant 6.0 a partir do arquivo de dados climáticos do ano de 2002 utilizado para as simulações obtido em Roriz (2017).

Figura 1 - Clima de Campinas - Dados médios de temperaturas médias máximas e mínimas e umidade relativa

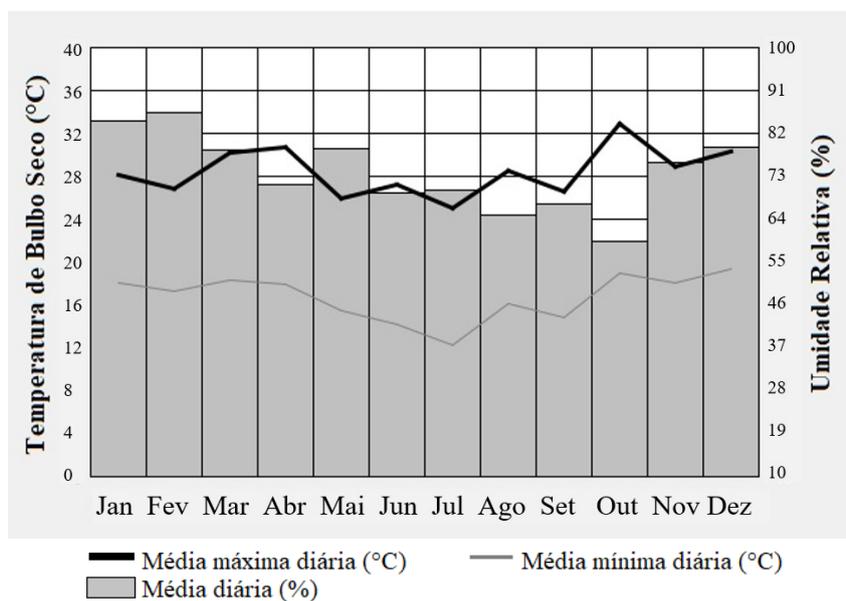
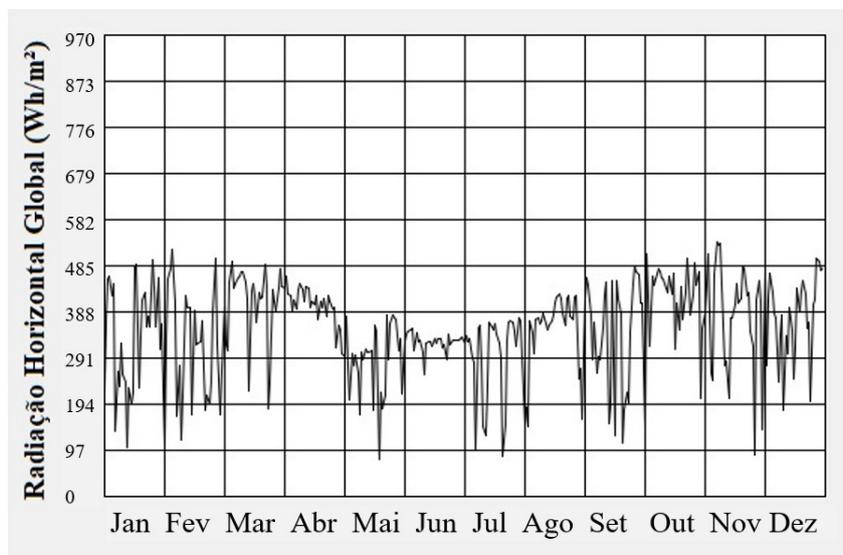


Figura 2 - Clima de Campinas - Radiação solar horizontal global incidente em Campinas



Foram mantidas a geometria e as propriedades da envoltória do edifício: três andares com planta retangular de 10 m por 43 m, dividida em duas alas com porcentagem de área de abertura de 24% e separadas por um volume que abriga os banheiros e a área de circulação. Para o modelo elaborado, cada ala possui duas salas de mesmas dimensões com aberturas envidraçadas voltadas para orientações opostas. A partir desse projeto de edifício foram criados dois modelos de referência para a simulação computacional integrada: o modelo “NS” (Figura 3), cuja área envidraçada é voltada para as orientações norte e sul, e o modelo “LO”, com aberturas voltadas para leste e oeste. O modelo orientado a leste-oeste é igual ao modelo norte-sul, porém rotacionado no sentido anti-horário.

O método de simulação integrada compreendeu o uso de dois programas: *Daysim* e *EnergyPlus*. O *Daysim* foi utilizado para análise do desempenho lumínico e estimativa do aproveitamento da luz natural disponível para os ambientes internos. Com o *EnergyPlus* estimou-se o consumo de energia e os ganhos e perdas de calor sensível dos modelos. Em ambos os programas foi utilizado o arquivo climático da cidade de Campinas. O *Daysim* foi incorporado ao processo de simulação, pois estudos anteriores demonstraram inadequação do algoritmo utilizado pelo *EnergyPlus* ao superestimar as iluminâncias internas (RAMOS; GHISI, 2010; VERSAGE; MELO; LAMBERTS, 2010). Essa metodologia de simulação computacional integrada é a mesma utilizada por Didoné e Pereira (2010). Os procedimentos para integração dos programas serão descritos nas seções a seguir.

Simulação da luz natural (*Daysim*)

Os níveis de iluminância proporcionados pela luz natural disponíveis ao longo do ano dentro das salas foram estimados com o programa a partir do arquivo climático de Campinas. Com essa informação, combinada com o perfil de uso e a exigência de iluminância no plano de trabalho, foi

calculada a demanda horária do sistema de iluminação artificial complementar à natural em intervalos horários. Após a simulação o programa gera um arquivo de dados horários para o período de um ano. Nesse arquivo está descrita a potência consumida pelo sistema de iluminação especificado, incluindo as perdas pelo reator e o consumo quando o sistema está em modo de espera (ou *standby*). Esse arquivo é inserido no programa *EnergyPlus* como um cronograma de uso do sistema de iluminação, a partir do qual são calculados o uso final e o consumo total de energia. O modelo simulado no programa pode ser visualizado na Figura 4, e as informações referentes à ocupação e aos requisitos de iluminância dos ambientes estão descritas na Tabela 1.

Com o algoritmo de predição do comportamento do usuário *Lightswitch-2002* foi possível simular, em todos os modelos, uma ocupação variável e passiva. Variável, pois os usuários deixam o ambiente em três intervalos durante o dia: por 30 minutos de manhã, por uma hora ao meio-dia e por mais 30 minutos à tarde (perfil de ocupação estimado pelo algoritmo supracitado e representado pela Figura 5). Passiva, pois os usuários acionam as luzes ao chegar, mas não as apagam ao sair, além de não operarem as persianas, que são automatizadas (quando presentes no modelo). A ocupação passiva foi escolhida para que as soluções estudadas não fossem dependentes do comportamento dos usuários e para que a estimativa fosse feita considerando o pior caso. O sistema de siglas adotadas para nomear os modelos segue o padrão:

- (a) NS: modelo com aberturas orientadas no sentido norte-sul;
- (b) LO: modelo com aberturas orientadas no sentido leste-oeste;
- (c) Di: modelo com dimerização do sistema de iluminação; e
- (d) Pe: modelo com acionamento das persianas.

Figura 3 - Planta das salas do terceiro pavimento do modelo “NS”

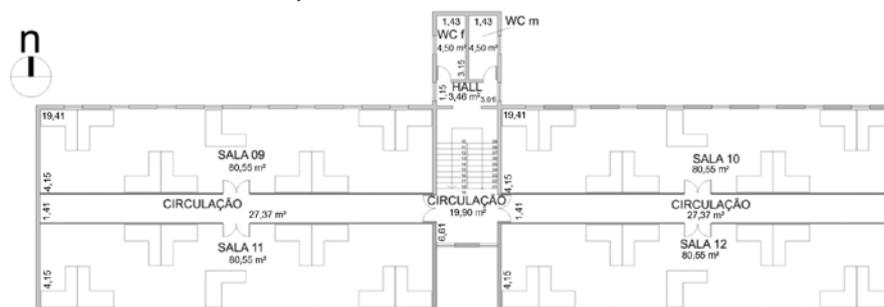


Figura 4 - Modelo simulado no programa Daysim

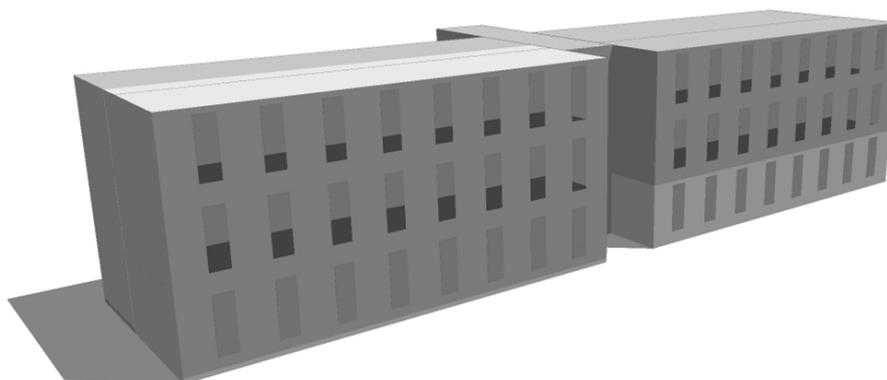
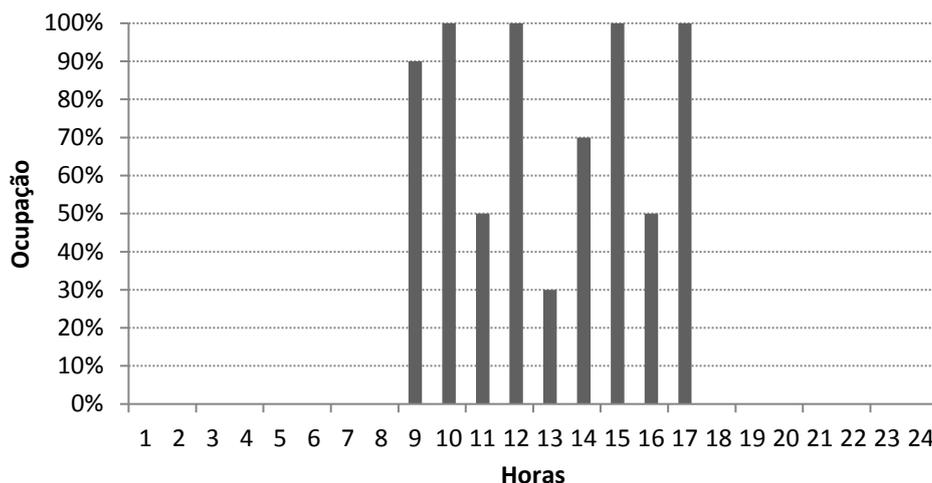


Tabela 1 - Dados de entrada para o Daysim

Uso e ocupação dos ambientes	
Horário de ocupação e uso dos equipamentos e sistemas	Das 8h às 17h
Densidade de potência instalada de iluminação para cada sala	11,2 W/m ²
Nível mínimo de iluminância requerido para o plano de trabalho ¹	500 lx
Usuário	Passivo
Parâmetros de simulação	
Refletância do piso externo	0,2
Altura do plano de trabalho a partir do piso	0,85 m
Malha ortogonal de sensores	16 pontos
Refletância das superfícies	Piso = teto = paredes = 0,654 ²
Parâmetros do radiance	ab 5; ad 1000; as 20; ar 300; aa 0,1; lr 6; st 0,15; sj 1,00; lw 0,004; dj 0,00; ds 0,20; dr 2, dp 512
Perda pelo reator	15%
Consumo em modo “standby” pela fotocélula	2W/m ²

Figura 5 - Perfil de ocupação durante os dias da semana. ‘0%’ significa ausência, e ‘100%’ presença de ocupantes



¹Conforme recomendação da NBR ISO/CIE 8995-1 (ABNT, 2013) para atividades de escritório.

²Valor extraído do trabalho de Dornelles e Roriz (2007) para tinta de cor “Marfim” (nome comercial).

Foram elaboradas e simuladas duas combinações de sistemas de iluminação e proteção solar no programa *Daysim*:

(a) NS-Di e LO-Di: modelo com *dimmers*, sem persianas, responsáveis por controlar a intensidade da corrente elétrica que alimenta o sistema de iluminação. O sistema busca manter a iluminância especificada para o plano de trabalho conforme a disponibilidade de luz natural; e

(b) NS-DiPe e LO-DiPe: idem modelo anterior complementado por persianas automatizadas. As persianas de cada ambiente estão localizadas nas faces internas das janelas e são fechadas automaticamente quando a luz direta incidente em qualquer sensor localizado no plano de trabalho daquela sala for superior a 50 W/m^2 . Essa proteção bloqueia a incidência direta, mas permite a transmissão de 25% da luz difusa.

O sistema de iluminação nos quatro modelos foi configurado com um sensor de presença que desliga as luzes do ambiente após 5 minutos de ausência de ocupantes. Como a proposta do estudo é proceder a uma análise que seja aplicável à fase de projeto, o tipo de sombreamento escolhido foi o simples dinâmico (*simple dynamic shading*), disponível no *Daysim*. Nesse modelo, todo o ambiente é equipado com o mesmo tipo de persianas que funcionam simultaneamente, ou seja, todas as persianas do ambiente se fecham no caso de qualquer sensor detectar ofuscamento. Quando fechadas cobrem toda a janela com palhetas dispostas horizontalmente a 45 graus. Ressalta-se aqui que a simulação da proteção solar é simplificada, na fase inicial de projeto. Sendo assim, as propriedades óticas das persianas não foram especificadas. Entretanto, o programa

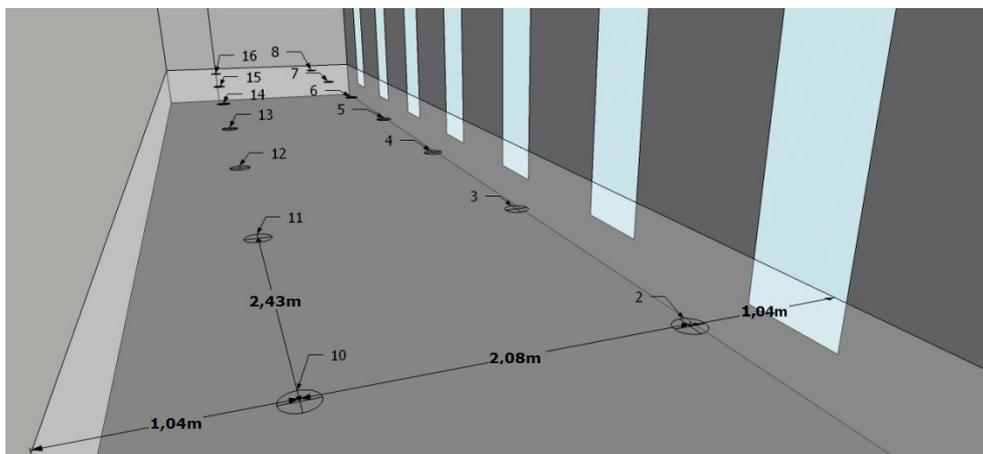
assume que 25% da luz difusa são transmitidos ao ambiente.

A distribuição dos sensores de iluminação no plano de trabalho foi feita seguindo a recomendação da norma NBR 15215-4 (ABNT, 2005c), dispostos a 0,85 m do piso. De acordo com a geometria das salas, foi necessário distribuir dezesseis sensores: duas fileiras paralelas à fachada com espaçamento de 2,08 m entre si e 2,43 m entre os sensores (Figura 6).

Para o presente estudo, cada sala foi simulada individualmente, inserida no volume do edifício, a fim de considerar a particularidade inerente a cada orientação geográfica, altura e posição no prédio. Para cada simulação foram inseridas as coordenadas dos dezesseis sensores em um único ambiente. Como o edifício possui doze salas de mesmas dimensões, duas orientações (norte-sul e leste-oeste) e dois sistemas de iluminação e sombreamento (*dimmers* e *dimmers* com persianas automatizadas), o processo de simulação no *Daysim* resultou em 48 modelos. Espera-se encontrar uma diferença mínima entre os níveis de iluminância dos ambientes de diferentes pavimentos e de mesma orientação, e que o sombreamento causado pela caixa de escada tenha uma influência reduzida nas salas de mesma orientação.

A densidade de potência de iluminação definida para as simulações ($11,2 \text{ W/m}^2$) corresponde ao nível B para edifícios de escritório (INSTITUTO..., 2010). Esse valor foi adotado com o objetivo de estudar um edifício com potencial para efficientização do seu sistema de iluminação através do uso da iluminação natural.

Figura 6 - Distribuição dos sensores de iluminação no plano de trabalho



³Este limite de radiação para fechamento da persiana é o padrão adotado pelo programa.

Segundo Xue, Mak e Huang (2016), “conforto lumínico” é um termo cujo significado ainda não é consenso entre a comunidade acadêmica. Portanto, diversos parâmetros têm sido utilizados a fim de qualificá-lo. Para a análise do desempenho lumínico neste estudo, tomou-se como referência o índice UDI (*useful daylight index* ou índice de iluminância natural útil), proposto por Nabil e Mardaljevic (2005). Trata-se de um índice temporal baseado nos níveis de iluminância disponíveis no ambiente pelo período de um ano. Ele já foi aplicado no Brasil, no estudo de Carvalho e Pedrini (2014), com o propósito de analisar a ocorrência de ofuscamento em salas de aula em Natal, RN. O índice é dividido em três faixas, determinadas a partir de experimentos realizados com usuários reais, e os valores resultantes para cada zona são calculados automaticamente pelo *Daysim*, a partir de cada sensor:

- (a) UDI < 100 lux, quando os níveis de iluminância proporcionados pela luz natural disponível no ambiente são considerados insuficientes;
- (b) UDI entre 100 lux e 2000 lux, iluminância útil disponível; e
- (c) UDI acima de 2.000 lux, indicativo de desconforto visual e/ou térmico (probabilidade de ocorrência de ofuscamento).

As análises de conforto visual foram realizadas com base na porcentagem de horas anuais de ocupação em que o índice UDI ficou acima de 2.000 lux.

Simulação termoenergética (*EnergyPlus*)

Com a simulação termoenergética pretende-se analisar o consumo final e total de energia, além do balanço de calor sensível resultante do uso de diferentes sistemas de iluminação e sombreamento

estudados. Para isso foram elaborados dois modelos de referência, um orientado no sentido norte-sul (NS) e outro no sentido leste-oeste (LO). Os modelos não possuem *dimmers* ou persianas e o sistema de iluminação permanece aceso durante o período de ocupação. A partir desses modelos de referência foram desenvolvidos os modelos de estudo NS-Di e LO-Di (cujo sistema de iluminação é controlado por *dimmers*) e NS-DiPe e LO-DiPe (com *dimmers* e persianas automatizadas para controle de ofuscamento). O padrão de uso do sistema de iluminação e de sombreamento foi obtido a partir das simulações com o programa *Daysim*, descritas no item anterior, e utilizado como cronograma em cada zona em intervalos horários. Foram utilizados dois dados de saída dessas simulações: a potência de iluminação artificial utilizada (somada às perdas pelo reator e à energia de *standby* do equipamento) e a porcentagem de área da janela que é sombreada pela persiana.

Na Figura 7 é apresentado o modelo construído no programa *SketchUp* e simulado no *EnergyPlus*. Uma perspectiva da distribuição interna das zonas do primeiro pavimento é apresentada na Figura 8. As propriedades térmicas dos materiais e componentes modelados foram obtidas a partir da ABNT (2005a) e são descritas na Tabela 2. Foi considerada também a massa térmica existente no interior da edificação referente à presença de fechamentos (paredes, lajes, divisórias) e mobiliário. A área das aberturas de cada ambiente desse modelo equivale à soma das áreas das aberturas do modelo elaborado para simulação no *Daysim*. As persianas incorporadas no modelo são compostas de lâminas horizontais de 9 cm de largura inclinadas a 45 graus e com 25% de transmissividade à luz difusa, compatível com o padrão do *Daysim*. Os dados de entrada referente ao uso e ocupação das zonas estão discriminados na Tabela 3.

Figura 7 - Modelo simulado no programa EnergyPlus

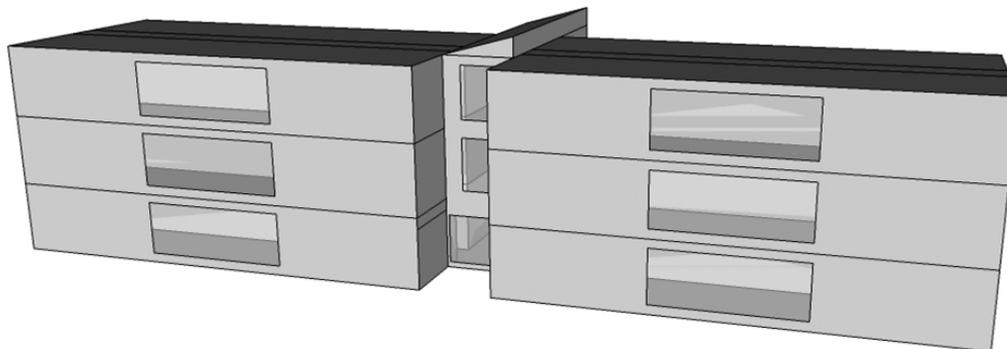


Figura 8 - Distribuição das zonas de permanência prolongada do primeiro pavimento do modelo voltado a norte-sul

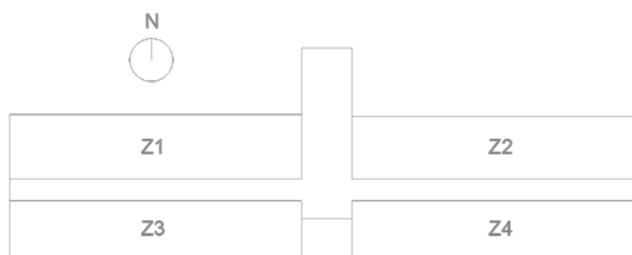


Tabela 2 - Materiais utilizados na elaboração do modelo no programa EnergyPlus

Componente	Materiais	Propriedade Térmica
Cobertura	Laje de concreto, camada de ar e telha fibrocimento.	$U = 1,15 \text{ W/m}^2\text{K}$
Divisórias entre zonas	Madeira compensada.	$U = 1,69 \text{ W/m}^2\text{K}$
Lajes entre pavimentos	Laje de concreto, argamassa e revestimento cerâmico.	$U = 2,12 \text{ W/m}^2\text{K}$
Laje do piso térreo	Laje de concreto, argamassa e revestimento cerâmico.	$U = 1,93 \text{ W/m}^2\text{K}$
Paredes externas	Bloco cerâmico de dois furos de dimensão: 14 cm x 29,5 cm x 19 cm.	$U = 2,45 \text{ W/m}^2\text{K}$ (ABNT, 2005b)
Vidros	Vidro simples 4 mm.	SHGC = 0,825
Persianas	Objeto WindowMaterial:Blind	Condutividade = 150 W/mK

Tabela 3 - Dados de entrada de uso e ocupação do modelo no programa EnergyPlus

Dados gerais	
Tipo de atividade	Escritório
Horário de ocupação e uso dos equipamentos e sistemas (de iluminação e condicionamento de ar)	Das 8h às 17h
Pessoas	
Número de pessoas por zona de permanência prolongada (de 1 a 12)	9 pessoas
Nível de atividade	130 W/pessoa ⁴
Sistema de iluminação	
Densidade de potência instalada nas salas	11,2 W/m ²
Densidade de potência instalada na área de circulação	7,0 W/m ²
Equipamentos	
Densidade de potência instalada nas salas (um computador por pessoa)	95 W/pessoa (AMERICAN..., 2009)
Condicionadores de ar	
Tipo	<i>Ideal Loads System</i> ⁵ com sistema de desumidificação
Temperatura de <i>setpoint</i> para resfriamento	24°C

⁴Valor ajustado para homens e mulheres conforme ABNT (2008) para atividade de escritório moderada.

⁵Sistema de condicionamento de ar simplificado para estudar o desempenho do edifício.

Resultados

O desempenho dos modelos foi analisado do ponto de vista lumínico, energético e térmico. As seções seguintes são dedicadas a cada análise individualmente.

Conforto visual

As porcentagens máximas de UDI > 2.000 lux encontradas nos modelos norte-sul e leste-oeste sem persianas (NS e LO) foram 15% e 12%, respectivamente, enquanto nos modelos com persianas (NS-DiPe e LO-DiPe), 5% e 3% (Tabela 4). Esse resultado demonstra uma redução da possibilidade de ofuscamento de 67% e 75% pelo

uso das persianas nos modelos NS-DiPe e LO-DiPe.

Os ambientes com aberturas voltadas a norte e oeste, que recebem maiores níveis de radiação solar ao longo do dia, apresentaram maior probabilidade de ocorrência de ofuscamento (até 15% na fachada norte e 12% na oeste). Nos ambientes voltados a oeste o uso das persianas automatizadas proporcionou redução de até 83% na probabilidade de ofuscamento (a UDI passou de 12% para 2%, como apresentado na Tabela 4). Já a fachada sul, para a latitude estudada, não recebe radiação solar suficiente para elevar a iluminância interna a níveis capazes de causar ofuscamento.

Tabela 4 - Porcentagens de possibilidade de ofuscamento nos modelos LO/LO-Di, LO-DiPe, NS/NS-Di e NS-DiPe por ambiente

				UDI > 2.000 lux				
				Sem persiana (LO/LO-Di)	Com persiana (LO-DiPe)			
Modelo leste-oeste			Andar	Orientação	Zona			
			1º	Oeste	Z1	11%	2%	
					Z2	12%	2%	
				Leste	Z3	9%	3%	
					Z4	9%	3%	
				2º	Oeste	Z5	11%	2%
						Z6	12%	2%
			Leste		Z7	9%	3%	
					Z8	9%	3%	
			3º		Oeste	Z9	12%	2%
						Z10	12%	2%
				Leste	Z11	9%	3%	
					Z12	9%	3%	
			Máx	12% (oeste)	3% (leste)			
Modelo norte-sul			Andar	Orientação	Zona			
			1º	Norte	Z1	14%	4%	
					Z2	13%	4%	
				Sul	Z3	0%	0%	
					Z4	0%	0%	
			2º	Norte	Z5	14%	4%	
					Z6	13%	4%	
				Sul	Z7	0%	0%	
					Z8	0%	0%	
			3º	Norte	Z9	15%	5%	
					Z10	15%	5%	
				Sul	Z11	0%	0%	
					Z12	0%	0%	
			Máx	15% (norte)	5% (norte)			

O desempenho lumínico detalhado de cada modelo, com ou sem persiana, por ambiente, é apresentado na Tabela 4. No modelo LO, sem persiana, os ambientes Z1 e Z5, localizados nos dois primeiros pavimentos e voltados a oeste, apresentam menor porcentagem de horas com probabilidade de ofuscamento do que os ambientes similares, Z2 e Z6. Isso se deve ao fato de suas aberturas estarem sombreadas em alguns momentos do dia pelo bloco onde se encontram os banheiros. Devido à altitude solar, o mesmo não ocorre no terceiro pavimento, onde os ambientes Z9 e Z10 apresentam mesmo desempenho visual. Já os ambientes voltados a leste, cujas aberturas são desobstruídas, apresentam mesmo UDI em todos os pavimentos.

A mesma análise pode ser estendida aos ambientes do modelo de orientação norte-sul voltados a norte. Nesse caso, os ambientes Z1 (localizado no primeiro pavimento) e Z5 (no segundo pavimento) apresentam maior probabilidade de ocorrência de ofuscamento do que Z2 e Z6, protegidos a maior parte do tempo pelo sombreamento do bloco dos banheiros. Essa análise é graficamente representada pela Figura 9, na qual estão demarcadas as sombras horárias durante a ocupação para os dias 22 de junho (a) – solstício de inverno e 22 de março (b) – equinócio de outono.

Desempenho energético

O desempenho energético dos modelos foi analisado pelo uso final de energia e pelo consumo total anual de energia. Cada assunto será explicado, a seguir, separadamente.

Uso final anual de energia

O uso final anual de energia foi separado em três categorias: equipamentos (de uso constante em todos os modelos), iluminação artificial e resfriamento, conforme demonstrado na Figura 10.

Considerando como referência os modelos LO e NS, o uso de *dimmers* proporcionou redução de 11% e 9% no consumo com iluminação nos modelos LO-Di e NS-Di, respectivamente. Em ambos os casos essa redução não afetou proporcionalmente o consumo pelo sistema de resfriamento, mas o reduziu em 3%. O uso de *dimmers* combinado com persianas automatizadas resultou em 7% e 6% de economia de energia com iluminação artificial nos modelos LO-DiPe e NS-DiPe. Nesses casos o consumo com resfriamento aumentou em 1% ou manteve-se constante, respectivamente. Esse aumento no consumo com resfriamento será analisado no item Desempenho térmico.

Analisando-se cada ambiente individualmente (Tabela 5), é possível constatar que a redução com consumo de iluminação pode chegar a 16% (zona 9, orientação norte). Os ambientes com persiana voltados para a orientação norte apresentam menor consumo com iluminação quando comparados com aqueles voltados para as outras orientações. Entretanto, os ambientes de orientação sul são os que mais consomem energia com iluminação, fazendo com que os modelos de orientação norte-sul acabem por consumir mais energia do que os modelos de orientação leste-oeste.

Figura 9 - Sombreamento da fachada norte nos dias 22 de junho - solstício de inverno (a) e 22 de março - equinócio de outono (b)

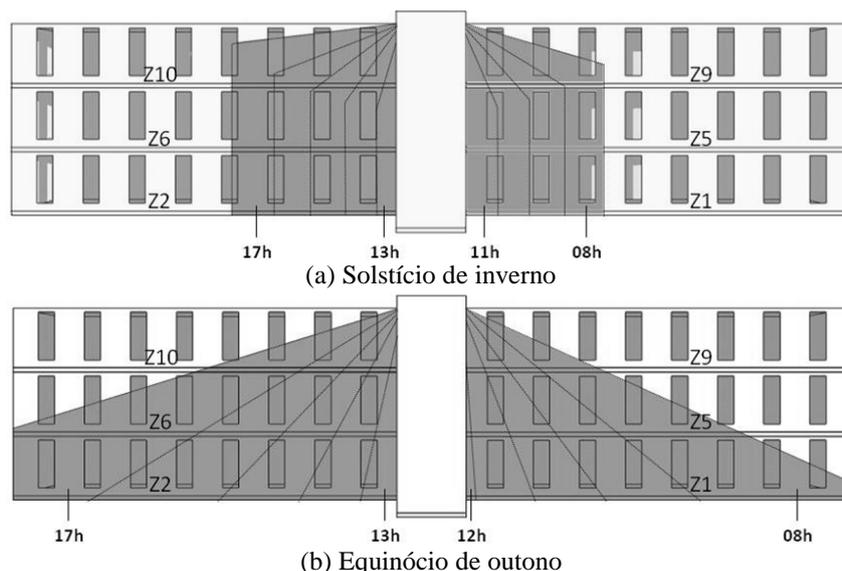


Figura 10 - Uso final anual de energia

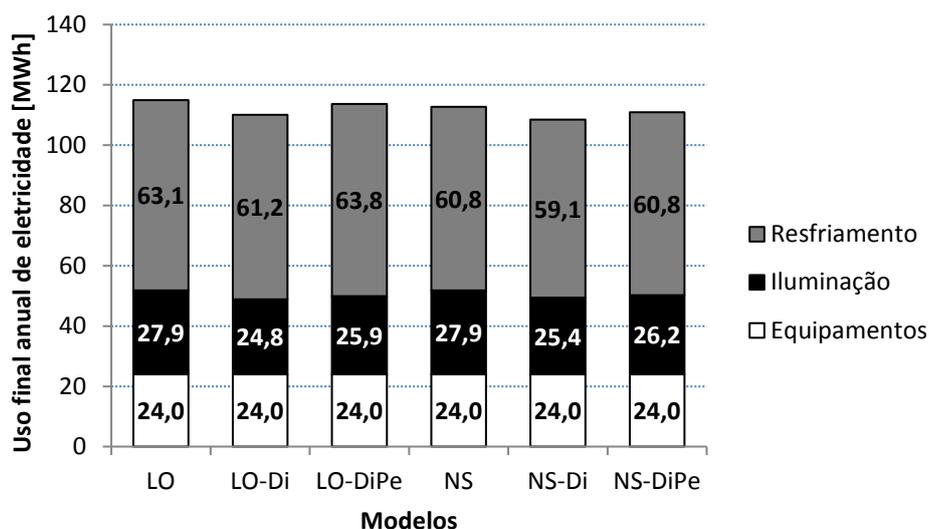


Tabela 5 - Consumo de energia com o sistema de iluminação por sala e por modelo

Orientação	Zona	Referência [MWh]	Dimmer [-Di] [MWh]	Redução* [%]	Dimmer + persiana [-DiPe] [MWh]	Redução* [%]
Oeste	Z1	2.193,4	1.954,66	11	2.063,58	6
	Z2	2.193,4	1.903,95	13	2.026,36	8
	Z5	2.193,4	1.946,22	11	2.057,67	6
	Z5	2.193,4	1.901,88	13	2.023,36	8
	Z9	2.193,4	1.917,26	13	2.037,33	7
	Z10	2.193,4	1.903,48	13	2.025,52	8
	Total	13.160,4	11.527,45	12	12.233,82	7
Leste	Z3	2.193,4	1.960,19	11	2.017,93	8
	Z4	2.193,4	1.960,19	11	2.018,58	8
	Z7	2.193,4	1.960,56	11	2.018,4	8
	Z8	2.193,4	1.962,16	11	2.019,15	8
	Z11	2.193,4	1.960	11	2.017,93	8
	Z12	2.193,4	1.961,69	11	2.018,58	8
	Total	13.160,4	11.764,79	11	12.110,57	8
LO	Total	26.320,8	23.292,24	12	24.344,39	8
Norte	Z1	2.193,4	1.881,64	14	2.002,84	9
	Z2	2.193,4	1.891,2	14	2.012,87	8
	Z5	2.193,4	1.865,61	15	1.991,96	9
	Z5	2.193,4	1.879,39	14	2.003,21	9
	Z9	2.193,4	1.847,61	16	1.979,59	10
	Z10	2.193,4	1.855,39	15	1.984,46	10
	Total	13.160,4	11.220,84	15	11.974,93	9
Sul	Z3	2.193,4	2.111,38	4	2.111,38	4
	Z4	2.193,4	2.111,57	4	2.111,57	4
	Z7	2.193,4	2.111,57	4	2.111,57	4
	Z8	2.193,4	2.111,66	4	2.111,66	4
	Z11	2.193,4	2.111,48	4	2.111,48	4
	Z12	2.193,4	2.111,66	4	2.111,66	4
	Total	13.160,4	12.669,32	4	12.669,32	4
NS	Total	26.320,8	23.890,16	9	24.644,25	6

Nota: *comparação com o respectivo modelo de referência.

A economia de energia obtida com os sistemas de iluminação e de sombreamento está bem abaixo dos valores encontrados por outros trabalhos para sistemas semelhantes. Os prédios estudados nesses trabalhos foram projetados com o objetivo de aproveitar a luz natural, fazendo uso de grandes aberturas para o exterior. Na Tabela 6 é feito um comparativo entre os resultados obtidos na pesquisa com os de outros autores. Considerou-se o modelo LO-DiPe, que possui *dimmers* e persianas e que obteve menor consumo com iluminação artificial. Soma-se a essas diferenças e semelhanças o fato de que a geometria das aberturas do prédio estudado (estreita e verticalizada) é considerada ineficiente quanto à distribuição da luz natural no interior do ambiente.

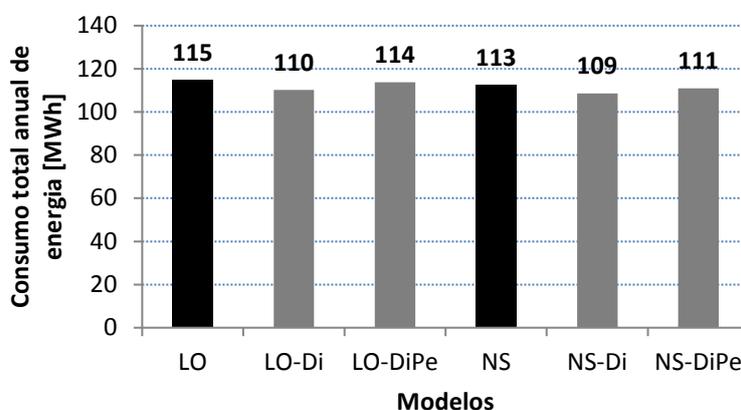
Consumo total anual de energia

O uso de *dimmers*, sem persianas automatizadas, em ambas as orientações proporcionou uma redução de aproximadamente 4% no consumo total de energia (modelos LO-Di e NS-Di). Já a combinação de *dimmers* com persianas resultou em apenas 1% de redução de energia, conforme a Figura 11. Ainda que pequena, obteve-se uma economia de energia aliada a um melhor desempenho visual, como apresentado na seção anterior. Cabe ao projetista, em função da natureza do edifício em questão, avaliar se essa redução tem um bom custo-benefício ou se outras estratégias devem ser priorizadas com relação ao desempenho do edifício.

Tabela 6 - Comparativo entre modelos computacionais e economia de energia obtida com iluminação artificial

	Modelo LO-DiPe	Autor		
		Fernandes <i>et al.</i> (2014)	Li <i>et al.</i> (2014)	Fonseca e Pereira (2016)
Clima	Campinas	Nova Iorque	Hong Kong	Florianópolis
Orientação	Leste-oeste	Oeste	Átrio	Leste
Percentual de Abertura na Fachada	24%	76%	-	80%
Sombreamento	Sim	Sim	Não	Não
<i>Dimmers</i>	Sim	Sim	Sim	Não
Refletâncias	Piso = 0,654 Paredes = 0,654 Teto	-	-	Piso = 0,20 Paredes = 0,40 Teto = 0,80
Iluminância requerida	500 lx	323 lx	100 lx	500 lx
Densidade de Potência Instalada (W/m ²)	11,2	14,0	14,6	9,7
Redução no consumo com iluminação	8%	30%	65%	62%

Figura 11 - Consumo total anual de eletricidade - as barras pretas correspondem aos modelos de referência leste-oeste (LO) e norte-sul (NS) - as barras cinza correspondem aos modelos com *dimmers* (LO-Di e NS-Di) ou *dimmers* e persianas (LO-DiPe e NS-DiPe)



O uso simultâneo de *dimmers* e persianas (modelos LO-DiPe e NS-DiPe) resultou em aumento no consumo de energia total em relação ao uso de *dimmers* somente (modelos LO-Di e NS-Di). O modelo LO-DiPe apresentou 4% de aumento no consumo com iluminação e com resfriamento em relação ao modelo LO-Di, e o modelo NS-DiPe 3% em relação ao NS-Di. Esse resultado pode ser explicado pela carga adicional gerada pelo sistema de iluminação artificial devido à presença das persianas que bloqueiam a entrada de radiação solar, fazendo com que o sistema de iluminação seja acionado para manter o nível de iluminância requerido. Soma-se a isso o fato de que a radiação (de ondas curtas e longas) absorvida pelas persianas é incorporada nos cálculos de balanço de calor da zona térmica.

Segundo o RTQ-C (INSTITUTO..., 2010), a porcentagem de redução no consumo anual em qualquer modelo não é suficiente para que o projeto obtenha bônus pelo método prescritivo de avaliação de eficiência energética PBE/Edifica (que exige uma redução de, no mínimo, 30% no consumo anual).

Desempenho térmico

O desempenho térmico dos modelos foi analisado pelo ganho ou remoção de calor sensível decorrente do uso dos diferentes sistemas de iluminação e de proteção solar. Essa análise complementa a discussão acerca do consumo de energia com resfriamento e iluminação artificial apresentada nas seções precedentes.

A utilização de *dimmers* contribuiu para a redução dos ganhos de calor totais em 1% nos modelos LO-Di e NS-Di (Figura 12). Essa redução se deve principalmente pelo menor ganho de calor originado do sistema de iluminação artificial (Figura 13). Já o uso das persianas automatizadas combinadas aos *dimmers* permitiu a redução de 10% nos ganhos de calor do modelo LO-DiPe e 7% do modelo NS-DiPe (Figura 12).

Os maiores ganhos de calor são provenientes dos vidros. Em ambas as orientações, a área envidraçada responde por mais da metade dos ganhos de calor da edificação, são vidros simples de fator solar 0,825 (Figura 13). Nos modelos com persianas (LO-DiPe e NS-DiPe) constatou-se redução no ganho e na remoção de calor pelos vidros em comparação com os modelos com *dimmers* (LO-Di e NS-Di). As persianas absorvem e transferem calor para o meio, afetando o balanço de calor no ambiente. Esse processo resultou em aumento do consumo com resfriamento nos modelos com persiana (Figuras 13a e 13b).

O uso das persianas no modelo NS-DiPe resultou em redução de 6% nos ganhos de calor pelo sistema de iluminação. No balanço final, o consumo do sistema de resfriamento se manteve igual ao modelo de referência NS. Dessa forma, justifica-se a redução no consumo total do modelo NS-DiPe em relação ao NS, somente pelo menor consumo com iluminação, como apresentado na seção anterior.

Figura 12 - Balanço entre ganhos e perdas totais de calor pelos modelos - as barras pretas correspondem aos modelos de referência leste-oeste (LO) e norte-sul (NS) - as barras cinza correspondem aos modelos com *dimmers* (LO-Di e NS-Di) ou *dimmers* e persianas (LO-DiPe e NS-DiPe)

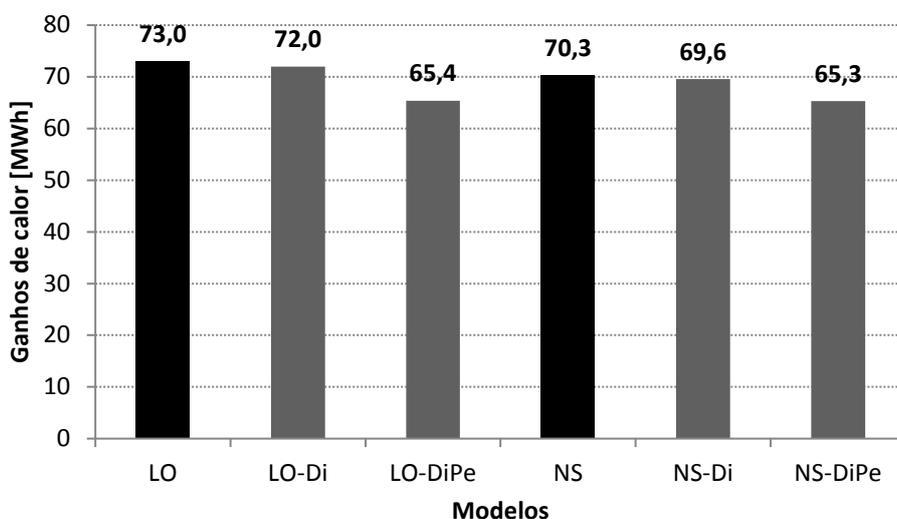
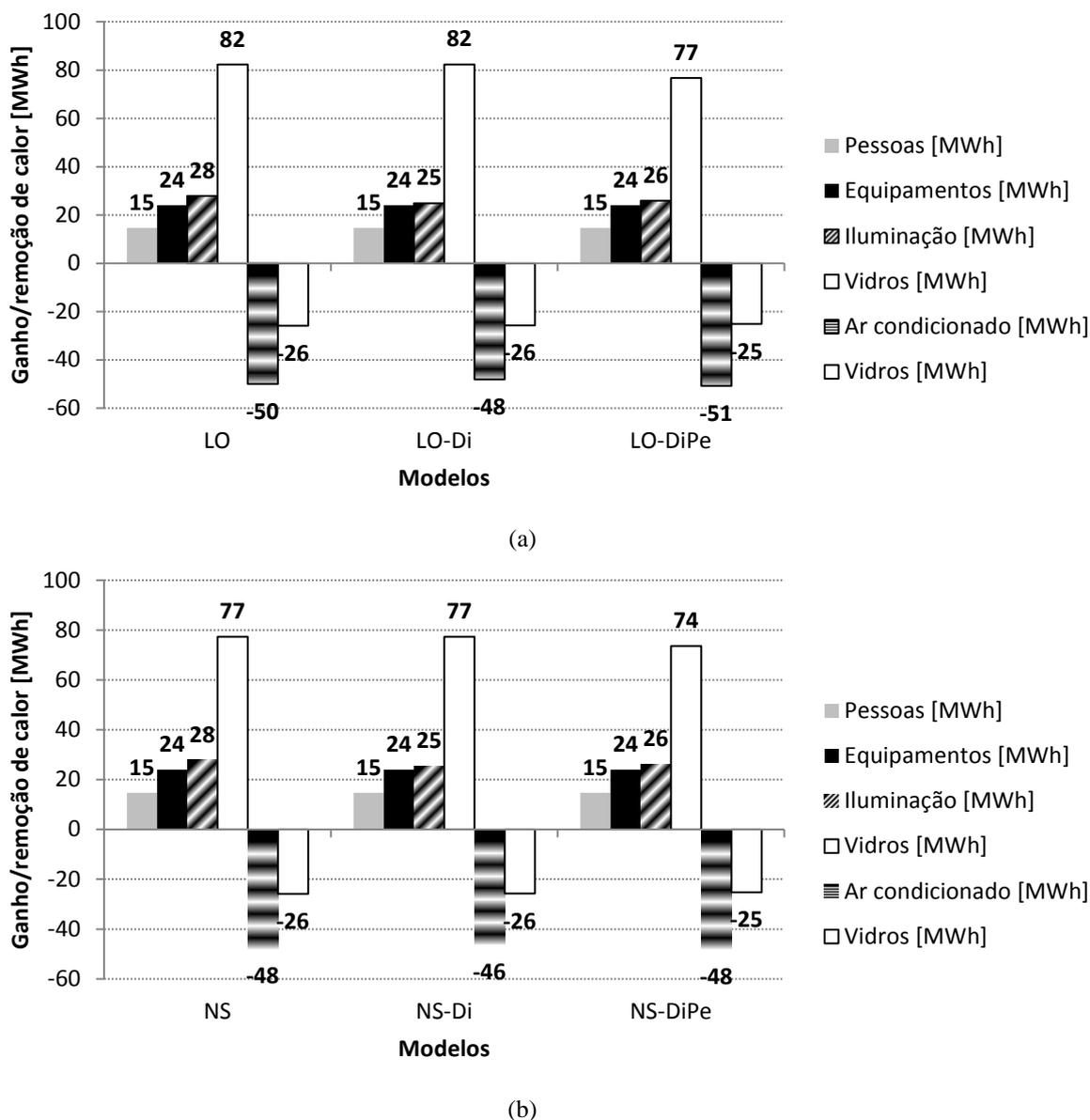


Figura 13 - Ganho e remoção de calor pelos componentes dos modelos orientados a leste-oeste (a) e a norte-sul (b) - os itens da legenda correspondem, de cima para baixo, às colunas da esquerda para a direita para cada modelo apresentado no gráfico



De maneira geral, o aproveitamento da luz natural através do uso de *dimmers* ou da associação destes às persianas automatizadas resultou em economia de energia em relação aos modelos de referência. O uso das persianas acarreta ligeiro aumento no consumo de energia quando a estratégia é comparada ao uso de *dimmers* somente. Entretanto, ao considerar a qualidade de iluminação resultante no ambiente com persianas (eliminação da possibilidade de ofuscamento), pode-se afirmar que a estratégia tem uma modesta, porém clara, eficiência. As persianas estão parcial ou totalmente fechadas durante 26% das horas de

ocupação nos ambientes de orientação oeste e 24% nos de orientação norte (em média) e 14% nos ambientes de orientação leste. As persianas das aberturas voltadas para o sul ficam fechadas em apenas 0,3% das horas de ocupação. Com isso, pode-se afirmar que a visão do exterior não é comprometida em demasia. A Tabela 7 resume os efeitos observados a partir do uso das diferentes estratégias de iluminação e sombreamento. Dentre os modelos de mesma orientação, ressaltou-se (em negrito) os melhores resultados em comparação com seus respectivos modelos de referência.

Tabela 7 - Resumo dos principais resultados obtidos

Modelo	Desempenho visual	Consumo de energia (MWh)			Ganhos térmicos (MWh)	
	UDI > 2.000 lux	Resfriamento	Iluminação	Total	Iluminação	Vidros
NS (ref)	15%	60,8	27,9	113	28	77
NS-Di	15%	59,1	25,4	109	25	77
NS-DiPe	5%	60,8	26,2	111	26	74
LO (ref)	12%	63,1	27,9	115	28	82
LO-Di	12%	61,2	24,8	110	25	82
LO-DiPe	3%	63,8	25,9	114	26	77

Os resultados obtidos, apesar de restritos ao estudo de caso, indicam que existe um potencial de economia de energia a ser explorado utilizando os sistemas de iluminação e sombreamento estudados. Essa economia de energia aliada à manutenção ou melhoria do conforto ambiental é um resultado desejável para mantenedores e usuários do ambiente construído. Assim como propuseram Albuquerque e Amorim (2012), seria interessante incorporar esses aspectos à bonificação do RTQ-C.

Conclusão

Este trabalho teve como objetivo avaliar, por meio de simulação computacional, os benefícios trazidos por diferentes sistemas de iluminação e de sombreamento no que se refere à eficiência energética e conforto lumínico e desempenho térmico para um edifício comercial localizado em Campinas, SP. Foram estudados: um sistema de iluminação artificial aceso o dia todo (modelo de referência), um sistema com *dimmers* e sensores de presença e um sistema de sombreamento com persianas automatizadas para diferentes orientações (norte-sul e leste-oeste). O estudo realizado permitiu identificar a dependência entre as variáveis de consumo de cada caso (iluminação, sombreamento e resfriamento). Ainda permitiu uma análise qualitativa dos ambientes conforme o índice de conforto lumínico UDI.

O uso de *dimmers* e de sensores de presença não proporcionou redução significativa do consumo total de energia. Foi obtido até 4% de redução no consumo de energia total dos modelos ao compará-los aos modelos de referência (com sistema de iluminação convencional, aceso o dia todo, sem persianas). A combinação de *dimmers* com persianas automatizadas resultou em uma redução de apenas 1%. Apesar do pequeno impacto do uso de *dimmers* e persianas no consumo de energia ou nos ganhos de calor, o uso das persianas contribuiu positivamente para a qualidade visual dos espaços. Sua associação ao uso dos *dimmers* resultou em um consumo menor de energia do que um sistema que fica aceso o dia todo, ao mesmo tempo

proporcionando horas de vista para o exterior sem ocorrência de ofuscamento.

Conforme discutido anteriormente, a redução obtida no consumo anual de energia com os sistemas analisados não é o bastante para obtenção de bônus pelo método prescritivo do RTQ-C. Entretanto, a eficiência energética do sistema de iluminação artificial não deve ser avaliada isoladamente.

Neste estudo foi demonstrada a relação entre os sistemas de iluminação, resfriamento e sombreamento, comprovado o aumento da qualidade visual pela redução na probabilidade de ocorrência de ofuscamento e a melhoria do desempenho térmico e energético pela eficiência desses sistemas. Dessa forma, sugerem-se, como trabalhos futuros, estudos sobre o desenvolvimento de critérios a serem adotados para avaliar a validade do método de comprovação de economia de energia quando do uso da iluminação natural para obter bonificações no RTQ-C. Isso possibilitaria a obtenção de bonificações, desde que fosse comprovada a eficientização do sistema de iluminação sem prejuízos significativos à qualidade visual do espaço e ao desempenho térmico. Ressalta-se aqui a importância de se realizar uma análise conjunta do consumo de energia, ganhos de calor e qualidade da iluminação. Esse tipo de procedimento pode ser de grande auxílio no processo de decisão de projeto.

O estudo descrito no presente artigo envolve diversas simulações de custo proibitivo para a grande maioria dos projetistas de edificações em nosso país. Os resultados apresentados aqui salientam que a complexa interação entre edifício, clima e sistemas de controle não pode ser facilmente descrita com base em dados gerais de economia de energia para uma dada solução, ou seja, a economia depende do caso e não apenas da solução adotada (neste caso, persianas automatizadas e *dimmers*). É, contudo, do interesse da comunidade científica e de profissionais da área que o desempenho de um maior número de edifícios seja analisado em profundidade e com rigor científico como neste artigo, de forma a

ampliar nosso conhecimento sobre os edifícios de nosso país.

Referências

- ALBUQUERQUE, M. S. C.; AMORIM, C. N. D. Iluminação Natural: indicações de profundidade-limite de ambientes para iluminação natural no Regulamento Técnico da Qualidade do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Residenciais – RTQ-R. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 12, n. 2, p. 37-57, abr./jun. 2012.
- ALRUBAIH, M. S. *et al.* Research and Development on Aspects of Daylighting Fundamentals. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 21, p. 494-505, 2013.
- AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR CONDITIONING ENGINEERS. **Handbook of Fundamentals**. Atlanta, 2009.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15215-4**: iluminação natural. parte 4: verificação experimental das condições de iluminação interna de edificações: método de medição. Rio de Janeiro, 2005c.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220-2**: desempenho térmico de edificações Parte 2: Método de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator solar de elementos e componentes de edificações. Rio de Janeiro, 2005a.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220-3**: desempenho térmico de edificações Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social. Rio de Janeiro, 2005b.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16401-1**: instalações de ar-condicionado: sistemas centrais e unitários: parte 1: projetos das instalações. Rio de Janeiro, 2008.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO/CIE 8995-1**: iluminação de ambientes de trabalho: parte 1: interior. Rio de Janeiro, 2013.
- BONTE, M.; THELLIER, F.; LARTIGUE, B. Impact of Occupant's Actions on Energy Building Performance and Thermal Sensation. **Energy and Buildings**, v. 76, p. 219-227, 2014.
- BOYCE, P.; HUNTER, C.; HOWLETT, O. **The Benefits of Daylight through Windows**. Lighting Research Center, Rensselaer Polytechnic Institute, 2003.
- CARLO, J. C.; PEREIRA, F. O. R.; LAMBERTS, R. Iluminação Natural Para Redução do Consumo de Energia de Edificações de Escritório Aplicando Propostas de Eficiência Energética Para o Código de Obras do Recife. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 10., São Paulo, 2004. **Anais...** São Paulo: ANTAC, 2004.
- CARVALHO, J.; PEDRINI, A. Análise da Ocorrência de Ofuscamento no Uso da Luz Natural em Edificações Escolares Para Natal-RN, Por Simulação. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 15., Maceió, 2014. **Anais...** Maceió: ANTAC, 2014.
- CENTRO DE PESQUISAS METEOROLÓGICAS CLIMÁTICAS APLICADAS À AGRICULTURA. **Clima de Campinas**. 2018. Disponível em: <<http://www.cpa.unicamp.br/outras-informacoes/clima-de-campinas.html>>. Acesso em: 08 jan. 2018.
- DIDONÉ, E.; PEREIRA, F. O. R. Simulação Computacional Integrada Para a Consideração da Luz Natural na Avaliação do Desempenho Energético de Edificações. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 10, n. 4, p. 139-154, out./dez. 2010.
- DORNELLES, K. A.; RORIZ, M. Influência das Tintas Imobiliárias Sobre o Desempenho Térmico e Energético de Edificações. In: CONGRESSO INTERNACIONAL DE TINTAS, 10., São Paulo, 2007. **Anais...** São Paulo, 2007.
- FERNANDES, L. L. *et al.* Monitored Lighting Energy Savings From Dimmable Lighting Controls in The New York Times Headquarters Building. **Energy and Buildings**, v. 68, p. 498–514, jan. 2014.
- FONSECA, R. W, da; PEREIRA, F. O. R. Sequência Metodológica Para a Estimativa da Iluminação Natural e Suas Implicações em Sistemas de Avaliação de Desempenho de Edificações. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 17, n. 1, p. 55-68, jan./mar. 2017.
- GALASIU, A. D.; VEITCH, J. A. Occupant Preferences and Satisfaction With the Luminous environment and control systems in daylit offices: a literature review. **Energy and Buildings**, v. 38, n. 7, p. 728-742, jul. 2006.
- HVIID, C. A.; NIELSEN, T. R.; SVENDSEN, S. Simple Tool to Evaluate the Impact of Daylight on Building Energy Consumption. **Solar Energy**, v. 82, p. 787-798, 2008.

INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, NORMALIZAÇÃO E QUALIDADE INDUSTRIAL. **Portaria 372, de 17 de setembro de 2010. Requisitos Técnicos da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos.** Rio de Janeiro, 2010.

LARTIGUE, B.; LASTERNAS, B.; LOFTNESS, V. Multi-Objective Optimization of Building Envelope For Energy Consumption and Daylight. **Indoor Built Environment**, v. 23, n. 1, p. 70-80, 2014.

LI, D. H. W. *et al.* Study of Daylight Data and Lighting Energy Savings for Atrium Corridors With Lighting Dimming Controls. **Energy and Buildings**, v. 72, p. 457-464, abr. 2014.

LIMA, K. M. de; CARAM, R. M. Avaliação de Sistemas de Janela Para Suporte a Decisões de Projeto Quanto ao Equilíbrio de Ganhos de Luz e Calor. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 15, n. 3, p. 117-133, jul./set. 2015.

NABIL, A.; MARDALJEVIC, J. Useful Daylight Illuminance: a new paradigm for assessing daylight in buildings. **Lighting Research and Technology**, v. 37, n. 1, p. 41-59, mar. 2005.

RAMOS, G.; GHISI, E. Avaliação do Cálculo da Iluminação Natural Realizada Pelo Programa EnergyPlus. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 10, n. 2, p. 159-169, abr./jun. 2010.

REINHART, C. F. Lightswitch-2002: a model for manual and automated control of electric lighting and blinds. **Solar Energy**, v. 77, p. 15-28, 2004.

REINHART, C. F.; VOSS, K. Monitoring Manual Control of Electric Lighting and Blinds. **Lighting Research & Technology**, v. 35, p. 243-260, 2003.

REINHART, C. F.; WIENOLD, J. The Daylighting Dashboard: a simulation-based design analysis for daylight spaces. **Building and Environment**, v. 46, p. 386-396, 2011.

RORIZ ENGENHARIA BIOCLIMÁTICA S/S LTDA. **Roriz Bioclimática: conforto térmico e eficiência energética.** 2017. Disponível em: <http://www.roriz.eng.br/epw_9.html>. Acesso em: 15 dez. 2017.

RUSSEL, S. **The Architecture of Light.** La Jolla: Conceptnine, 2008.

SANATI, L.; UTZINGER, M. The Effect of Window Shading Design on Occupant Use of Blinds and Electric Lighting. **Building and Environment**, v. 64, p. 67-76, 2013.

SANTAMOURIS, M. **Energy and Climate in the Urban Built Environment.** London: James & James, 2001.

SILVA, P. C. da; LEAL, V.; ANDERSEN, M. Occupants Interaction With Electric Lighting and Shading Systems in Real Single-Occupied Offices: results from a monitoring campaign. **Building and Environment**, v. 64, p. 152-168, 2013.

VERSAGE, R. de S.; MELO, A. P.; LAMBERTS, R. Impact of Different Daylighting Simulation Results on the Prediction of Total Energy Consumption. In: Fourth National Conference of IBPSA, New York, 2010. **Anais...** New York, 2010.

WEBB, A. R. Considerations for Lighting in the Built Environment: non-visual effects of light. **Energy and Buildings**, v. 38, n. 7, p. 721-727, jul. 2006.

XUE, P.; MAK, C. M.; HUANG, Y. Quantification of Luminous Comfort With Dynamic Daylight Metrics in Residential Buildings. **Energy and Buildings**, v. 117, p. 99-108, 2016.

Agradecimentos

Os autores agradecem o apoio das agências de fomento Fapesp, Capes e CNPQ e da Fundação Meridional.

Luciana Oliveira Fernandes

Escola Politécnica de Engenharia Civil | Faculdade Meridional IMED | Rua Senador Pinheiro, 304, Bairro Rodrigues | Passo Fundo - RS - Brasil | CEP 99070-220 | Tel.: (54) 3045-6100 | E-mail: luciana.fernandes@imed.edu.br

Felipe da Silva Duarte Lopes

Departamento de Construção Civil, Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo | Universidade Estadual de Campinas | Rua Saturnino de Brito, 224, Cidade Universitária | Campinas - SP - Brasil | CEP 13083-889 | Tel.: (19) 3521-2064 | E-mail: felipelopes.arq@gmail.com

Daniel Cóstola

Escola Politécnica de Engenharia Civil | Faculdade Meridional IMED | E-mail: daniel.costola@gmail.com

Lucila Chebel Labaki

Departamento de Arquitetura e Construção, Departamento de Arquitetura e Construção | Universidade Estadual de Campinas | Cidade Universitária Zeferino Vaz, Barão Geraldo | Campinas - SP - Brasil | Caixa Postal 6021 | CEP 13084-971 | Tel.: (19) 3521-2384 | E-mail: llabaki@gmail.com

Revista Ambiente Construído

Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído

Av. Osvaldo Aranha, 99 - 3º andar, Centro

Porto Alegre - RS - Brasil

CEP 90035-190

Telefone: +55 (51) 3308-4084

Fax: +55 (51) 3308-4054

www.seer.ufrgs.br/ambienteconstruido

E-mail: ambienteconstruido@ufrgs.br



This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License.