



XV ENCAC Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído

XI ELACAC Encontro Latino-Americano de Conforto no Ambiente Construído

JOÃO PESSOA | 18 a 21 de setembro de 2019

ANÁLISE ANUAL DA EXPOSIÇÃO À INCIDÊNCIA SOLAR DIRETA, AO OFUSCAMENTO E AOS NÍVEIS DE ILUMINAÇÃO NATURAL EM AMBIENTE COM PROTEÇÕES SOLARES INTERNAS

Dayan de Loyola R. Garcia (1); Fernando O. R. Pereira (2)

(1) Mestrando em Arquitetura e Urbanismo, Engenheiro Ambiental, dayan@labcon.ufsc.br, Universidade Federal de Santa Catarina, Campus UFSC - Trindade PósARQ/CTC Caixa Postal 476, (47) 99266-0692

(2) Professor Titular do Departamento de Arquitetura e Urbanismo, Engenheiro Civil PhD, rutt kay.pereira@ufsc.br, Universidade Federal de Santa Catarina, Campus UFSC - Trindade PósARQ/CTC Caixa Postal 476, telefone de contato (48) 3721-9797

RESUMO

O artigo possui como objetivo a análise de ocorrências anuais de incidência solar direta, probabilidade de ofuscamento e iluminação natural, em uma edificação de permanência prolongada sob situações sem controle solar e controladas por dispositivos internos de sombreamento. A pesquisa se fundamentou na abordagem da modelagem e simulação da iluminação natural anual-climática. Com base nas condições ambientais de Florianópolis-SC, uma edificação modelo foi submetida à simulação em quatro orientações e se registraram valores horários de indicadores de ofuscamento, incidência solar direta e iluminação natural, considerando ocupação diária de 10h. No modelo sem controle solar foi realizada a análise para o ocupante sentado em três posições ao longo da profundidade do ambiente e com três direções de visão. A partir dos casos com probabilidade de ofuscamento mais crítica, foram operadas telas translúcidas rolô, persianas 0° e persianas 50°, por quatro controles. Cada dispositivo foi configurado em dois conjuntos de propriedades ópticas. Os resultados horários foram transformados em frequências anuais e critérios espaciais-temporais. Foi possível identificar redução satisfatória da probabilidade de ofuscamento com a alteração da direção de visão, mas o afastamento de 2,0 m da janela atingiu redução ineficaz. Na posição mais crítica (1,5 m da janela) o modo sempre 100% fechado e o controle guiado pelo indicador de ofuscamento indicaram a redução eficaz das frequências de ofuscamento, de incidência solar direta e de iluminação excessiva, ao empregarem telas translúcidas claras e persianas 50° claras. Além disso esses casos contribuíram para o aproveitamento de iluminação natural, ao contrário dos dispositivos escuros.

Palavras-chave: iluminação natural, ofuscamento, insolação, simulação computacional climática.

ABSTRACT

This article aimed to analyze annual occurrences of direct sunlight, daylight glare probability and daylighting, in a side-lit room under situations without solar control and controlled by internal shading devices. The research was based on the climate-based building modeling and simulation approach. Based on environmental conditions from Florianópolis-SC, a building model was submitted to daylighting simulation in four orientations and hourly values of glare indicators, direct sunlight and daylighting were recorded, considering 10h daily occupancy. At uncontrolled condition, analysis was performed for occupant sitting in three positions along the depth and with three view directions. From the cases with the most critical daylight glare probability, roller shades, blinds 0° and blinds 50° were operated by four controls. Each device was configured in two sets of optical properties. Hourly results were transformed into annual frequencies and spatial-temporal criteria. It was possible to identify a satisfactory reduction in daylight glare probability with view direction change, but distancing 2.0 m from the window reached an ineffective reduction. In the most critical position (1.5 m of the window), the 'always 100% closed' mode and glare control mode indicated effective reductions of annual daylight glare probability frequencies, direct sunlight and excessive illumination, by using clear roller shades and clear blinds 50° clear. In addition, these cases contributed to daylighting use, as opposed to dark devices. Keywords: Daylighting, daylight glare, direct sunlight, climate-based building simulation.

1. INTRODUÇÃO

O conforto dos ocupantes em ambientes de permanência prolongada está conectado às condições térmicas e lumínicas. Essas condições podem implicar na reação dos ocupantes e comprometer a eficiência-energética da edificação (BAVARESCO; GHISI, 2018). Para conferir maior confiabilidade nas inferências de consumo energético e de desempenho ambiental da edificação, normas técnicas e certificações tem exigido estratégias dinâmicas de controle solar e considerações sobre o comportamento dos usuários (IESNA, 2012; USGBC, 2019).

Elementos internos de controle solar, como persianas e telas translúcidas rolô, são exemplos de dispositivos considerados no comportamento dinâmico das aberturas laterais. Isso decorre do emprego abundante desses dispositivos nas edificações, como apontado Reinhart, Mardaljevic e Rogers (2006).

Diversas razões embasam a utilização desses dispositivos internos de controle solar, sendo privacidade uma das principais. No entanto, é significativamente recorrente o uso desses elementos para adequar condições lumínicas e térmicas desconfortáveis, como iluminação natural excessiva no plano da tarefa, desconforto visual por excesso de brilhos e contrastes (ofuscamento) e incidência solar direta no ocupante (VAN DEN WYMELENBERG, 2012; O'BRIEN; KAPIS; ATHIENTIS, 2013). Todavia, garantir proteção para toda a região do ambiente interno e para todo o tempo de ocupação não é tarefa tão simples, principalmente se a eficiência energética da edificação também deve ser considerada.

Devido a variabilidade da luz natural e às dificuldades de medições temporais e espaciais em campo, a abordagem da modelagem e da simulação computacional climática-anual (dinâmica) têm se destacado como metodologia válida para análise do desempenho lumínico e térmico de edificações (BREMBILLA, 2016). Essa metodologia se embasa na análise espacial e temporal das condições lumínicas e considera as variáveis ambientais de determinada localidade através do arquivo climático, envolvendo a variação na condição de céu. Com isso é possível inferir sobre horas do ano e regiões do espaço em que se faz necessário o controle solar para proteger os ocupantes ou para propiciar uso adequado da iluminação natural.

Os aspectos negativos advindos da luz natural, como probabilidade de ofuscamento, exposição solar excessiva e incidência solar direta são alvos de investigações de campo e consequentemente de recomendações de normas técnicas (IESNA, 2012; CEN, 2017). O atendimento às tolerâncias recomendadas para os aspectos prejudiciais da luz natural, infere proteção aos ocupantes e desempenho eficiente ao projeto. A disponibilidade de iluminação natural em ambientes de permanência prolongada, é um aspecto benéfico e continua atuando como o pilar no desempenho lumínico da edificação por promover a redução do consumo energético e a qualidade ambiental da edificação.

Nesse âmbito essa pesquisa é motivada pela emergência de metodologias e ferramentas que buscam representar melhor as condições reais na etapa de projeto. As consequências benéficas e prejudiciais que o uso da luz natural pode implicar são consideradas como fundamentais no processo de determinação das estratégias de controle de fachadas dinâmicas. Com isso, se faz importante o avanço na compreensão da relação entre os aspectos envolvidos na iluminação natural e como o usuário pode interferir nesse processo sem comprometer o aproveitamento energético.

2. OBJETIVO

O objetivo da pesquisa é analisar a relação entre as ocorrências anuais de probabilidade de ofuscamento, incidência solar direta e iluminação natural em um ambiente de permanência prolongada, primeiramente sem controle solar e consecutivamente com o uso de dispositivos internos de sombreamento.

3. MÉTODO

Foi utilizado procedimento comparativo e meios quantitativos de tratamento dos dados. Os procedimentos metodológicos foram compreendidos nas etapas de (1) determinação das características do meio externo, do envelope e da ocupação, (2) simulação da probabilidade de ofuscamento, da radiação solar incidente e dos níveis de iluminação natural e por último (3) análise dos resultados.

3.1. Características da envoltória e da ocupação

O modelo de referência adotado, foi proposto por Reinhart, Jakubiec e Ibarra (2013) e se constitui de uma sala com dimensões internas como mostrado na Figura . O modelo possui área de 29,52 m², uma fachada externa com uma abertura envidraçada de 3,0 m de largura por 1,5 m de altura e peitoril de 1,0 m, resultando em 45% de área de abertura na fachada (PAF) e 15,4% de relação entre área de janela e área de piso. Foi admitida ausência de obstrução do entorno edificado para fundamentar uma condição de alta vulnerabilidade.

A sala modelo foi considerada como ambiente de permanência prolongada, para desempenho de tarefas visuais significativas, como ler e escrever. Quanto ao padrão de uso atribuído para a edificação, essa é ocupada diariamente das 8h00min às 18h00min, resultando em 3650 horas ocupadas durante o ano. Foram monitoradas 03 posições para o ocupante ao longo da profundidade do ambiente, distando 1,5 m, 3,5 m e 6,0 m da janela. Essas posições foram escolhidas considerando um espaço de circulação próximo à porta, uma posição próxima à abertura, uma na região intermediária e outra em profundidade maior.

Em cada posição foi estabelecido que o ocupante se encontra sentado e com o direcionamento do seu campo visual para 03 direções, como mostrado na Figura 1. Em ambas as posições, a face do ocupante se localiza à 1,4 m do piso e o plano horizontal da tarefa à 0,8 m do piso.

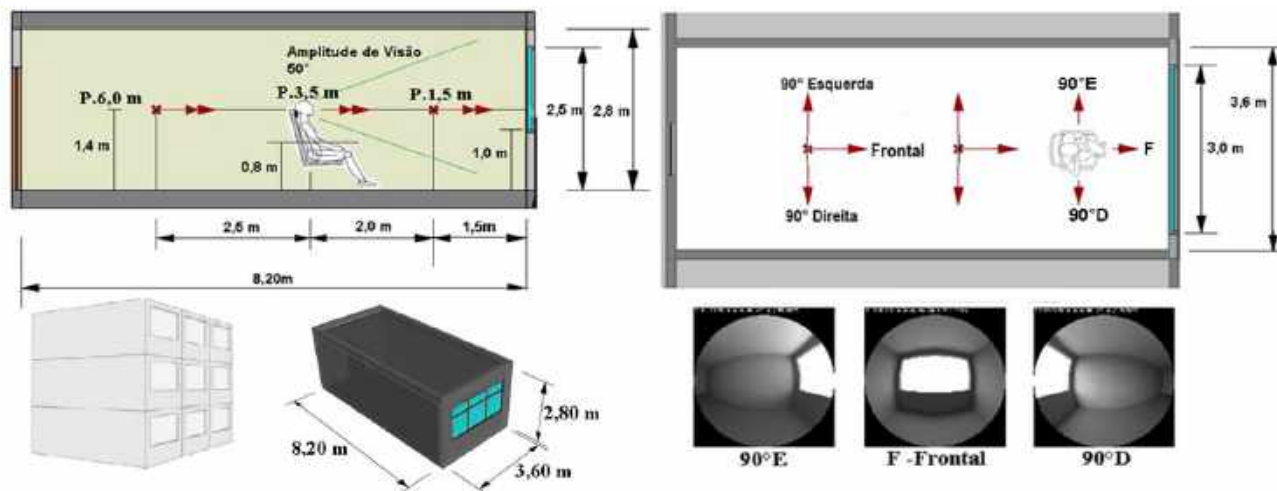


Figura 1 - Dimensões do modelo de referência, posições do ocupante e direções de visão.

Os valores utilizados para as refletâncias do ambiente interno foram semelhantes ao modelo original, porque também são valores prescritos pela norma NBR ISO/CIE 8995 (ABNT, 2013) e pela norma europeia EN: 17.037 (CEN, 2017). Esses valores foram listados na Tabela 1 juntamente com as propriedades do vidro considerado. O vidro simples foi adotado por ser mais comum no Brasil e por conferir maior vulnerabilidade ao ocupante, pois não é considerado controle solar nesse.

Tabela 1 - Propriedades consideradas no modelo lumínico.

Componentes do Envelope	Propriedades ópticas e térmicas
Vidro claro comum 6mm	$t_{vis} = 88\%$; $SGHC = 0,82$; $U-Value = 5,8W/m^2K$
Paredes Internas	50% de refletância, difusa.
Parede Externa	35% de Refletância, difusa.
Teto	80% de refletância, difusa.
Piso	20% de refletância, difusa.
Albedo	20% de refletância, difusa.

Para propor a análise da mitigação dos níveis de ofuscamento com o uso de elementos internos, se designou empregar no interior da edificação, à 5 cm do envidraçamento, persianas de aletas horizontais semelhantes às utilizadas por Reinhart, Jakubiec e Ibarra (2013) e telas translúcidas rolô, como estudadas por Singh, Lazarus e Kishore (2015). Esses elementos foram configurados em duas cores, uma clara e outra escura, variando os valores de refletância e transmitância, como pode se observar nas propriedades ópticas elencadas na Tabela 2.

Tabela 2 - Propriedades ópticas dos dispositivos internos de sombreamento.

Propriedades	Telas Translúcidas		Propriedades	Persianas	
	Claro	Escuro		Claro	Escuro
Transmissão RGB	0,50	0,10	Reflexão RGB	0,50	0,10
Especularidade	0	0	Especularidade	0	0
Rugosidade	0,08	0,08	Rugosidade	0	0
Transmissividade	0,54	0,11			

A utilização dos dispositivos internos de sombreamento se deu por meio de 04 modos de controle: sempre 100% fechado, sempre 50% fechado, usuário ativo diário guiado pelo $DGP_{\text{intolerável}}$ e usuário ativo diário guiado pela radiação solar direta, maior que 50 W/m^2 , incidente no plano horizontal da tarefa. Os usuários diários acionam os dispositivos quando se atinge a condição indesejada e retraem o dispositivo somente no início da ocupação no dia posterior, como proposto por Reinhart (2004), no modelo “*LightSwitch-2002*”. Esse algoritmo de controle tem sido empregado em programas de simulação e em normas técnicas, como a *LM-83* (IESNA, 2012).

3.2 Condições ambientais consideradas

Para analisar o comportamento da luz solar no interior de um ambiente, são estabelecidas informações da localidade adotada para a edificação. O “*EnergyPlus Weather Format*” (EPW) é uma forma validada para representar as condições climáticas, baseada em médias de séries históricas (DOE, 2018). Também chamado de Arquivo Climático, nesse arquivo vêm listados para cada hora do ano (8760 horas), valores de radiação solar global, direta e difusa, dentre outras variáveis ambientais usadas em simulações lumínicas e térmicas.

Como dados de entrada das condições ambientais foi adotado o arquivo EPW de Florianópolis, elaborado pelo projeto SWERA (DOE, 2018). O arquivo climático dessa cidade é situado na latitude $-27,66^\circ$, longitude $-48,55^\circ$ e altura de 5m em relação ao nível do mar. Com base na norma de Desempenho Térmico de Edificações, NBR 15220 (ABNT, 2005a), a cidade se insere na Zona Bioclimática 3 (ZB3) e possui classificação climática de Koppen como subtropical úmido. Na Figura 2 é possível observar a localização, a carta solar e a variação das médias mensais da radiação solar global, difusa horizontal e direta normal.

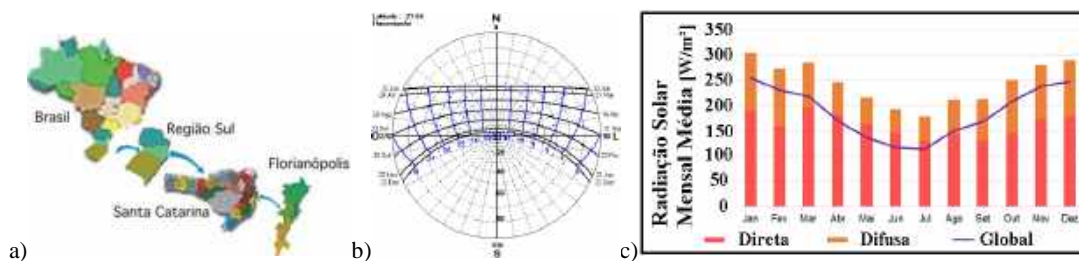


Figura 2 - Florianópolis, Brasil: a) Localização geográfica; b) Carta solar; c) Variação mensal da radiação solar.

3.3 Simulação Computacional Anual-Climática

A partir da edificação modelada no *Rhinoceros 3D 5.0*, se utilizou o *Radiance* e o *DaySim* na interface do *Grasshopper*. Nesse plug-in, através da função do *DIVA 4.0* (SOLEMMA, 2019) chamada “*radiation map*”, foram registrados valores horários de radiação solar direta incidente nas posições (W/m^2).

Objetivando registrar a disponibilidade de iluminação natural no interior do ambiente, o *DIVA* é novamente utilizado na interface do *Grasshopper*, na função “*Annual Daylight*”. Com o plano horizontal estabelecido à altura de 0,8 m e com o grid possuindo espaçamento de 0,5 m, foram registrados 112 sensores ao longo do plano horizontal total. Com relação ao desconforto visual por ofuscamento, o *DGP* (*Daylight Glare Index*) foi escolhido como indicador que representam a probabilidade de ofuscamento (WIENOLD; CHRISTOFFERSEN, 2006; SUK; SCHILER; KENSEK, 2017). A ferramenta “*Point-in-time-Glare*”, presente no *DIVA 4.0* é submetida à rotina de simulação anual de 3650 horas. Essa ferramenta fornece, para cada posicionamento e direção de visão do observador, as visualizações (renderizações), a faixa de desconforto apurada (imperceptível, perceptível, desconfortável e intolerável) e os valores de *DGP*. As 9 combinações possíveis de posição e direção de visão para cada hora de ocupação (3650 horas), em cada uma das quatro orientações escolhidas (Norte, Sul, Leste e Oeste), resultaram em 131.400 visualizações horárias registradas ($3 \times 3 \times 3650 \times 4$). As simulações foram submetidas aos parâmetros padrões do *RADIANCE*, exceto o “*-ab*” que foi alterado para 5 para representar melhor as reflexões internas.

3.4 Análise dos resultados

Após se tabular os dados horários de probabilidade de ofuscamento, radiação solar direta e iluminação natural, foram aplicadas análises das frequências anuais. A ocorrência de radiação solar direta incidente, superior à 50 W/m^2 , foi transformada em frequência anual para se identificar a parcela do tempo de ocupação comprometida com a incidência solar direta. Os casos sem controle solar exerceram a referência para identificar quais casos controlados permitiram eliminar esse aspecto.

As iluminâncias horizontais horárias foram submetidas aos critérios de disponibilidade de iluminação natural e de exposição solar anual excessiva, conforme utilizados por Brembilla (2016) e pela norma LM-83 (IESNA, 2012). Nas posições ocupadas foram aplicados o $UDI_{300-3000lx}$ e o $ASE_{[h]}$. No plano horizontal total se aplicou o $sUDI_{300-3000lx/50\%}$ e o $ASE_{1000lx/250h.ano.}$ Nos casos sem controle solar foi realizado o comparativo do desempenho lumínico de acordo com as posições e orientações solares envolvidas. Nas situações controladas o desempenho foi analisado conforme o uso e o dispositivo.

Com relação à probabilidade de ofuscamento no modelo sem controle solar, as frequências dos níveis intoleráveis e desconfortáveis foram comparadas conforme a direção de visão do ocupante, a posição ocupada e a orientação solar. Nas situações controladas o comparativo foi realizado conforme o dispositivo interno de sombreamento, o controle e a operação. Foi considerada tolerância anual de 5% de ocorrência intolerável (CEN, 2017; KONSTANTZOS; KIM; TZEMPELIKOS, 2018). Com isso foi possível identificar os casos que atingiram redução satisfatória das frequências de $DGP_{intolerável}$.

Depois de analisar cada aspecto separadamente, os três aspectos investigados (ofuscamento, incidência solar direta e iluminação natural) foram analisados conjuntamente com o intuito de se identificar a relação existente entre o desempenho alcançado em cada. Com isso foi possível auxiliar na determinação de combinações que protejam os ocupantes do ofuscamento e da incidência solar direta, mas valorize o aproveitamento de iluminação natural.

4. RESULTADOS

Os resultados obtidos permitiram identificar os casos mais críticos com relação à probabilidade de ofuscamento e à incidência solar direta no modelo sem controle solar, bem como, os níveis de iluminação natural nesses. A partir dessas situações, as combinações investigadas de dispositivos internos e modo de controle tiveram seus impactos analisados.

4.1 Probabilidade de Ofuscamento

Os resultados de probabilidade de ofuscamento no modelo sem controle solar permitiram evidenciar como se distribuíram as frequências de $DGP_{intolerável}$ e $DGP_{desconfortável}$ ao longo da profundidade de ambiente e das direções de visão, para indicar quais casos mais ocorreu necessidade de proteção e qual o tempo prejudicado.

4.1.1 Sem controle solar

As frequências apuradas na condição sem controle solar foram comparadas em função da direção de visão, da posição do ocupante e da orientação solar, como demonstrado na Tabela 9. Foi identificada a redução drástica das frequências intoleráveis e desconfortáveis, decorrente da mudança do direcionamento frontal, para o paralelo à abertura ($90^{\circ}E$ e $90^{\circ}D$). A orientação Norte se obteve a maior frequência intolerável na visão frontal (65%), atingiu menos de 1% de frequência de $DGP_{intolerável}$ na direção paralela, registrando redução praticamente total. A mudança da posição 1,5 m para a posição 3,5 m, mantendo a direção de visão frontal, possibilitou redução de até 59%. No entanto, os valores obtidos para $DGP_{intolerável}$ nessa situação não garantiram exposição anual abaixo da tolerância recomendada (5%), exceto na orientação Sul.

Tabela 3 - Variação das frequências de probabilidade de ofuscamento no modelo sem controle solar.

Frequências anuais de probabilidade de ofuscamento			Posição 1,5 m			Posição 3,5 m			Posição 6,0 m		
			Frontal	90°E	90°D	Frontal	90°E	90°D	Frontal	90°E	90°D
Norte	DGP	Desconfortável	11,7%	1,7%	2,7%	14,1%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
		Intolerável	65,2%	0,7%	0,0%	11,5%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
Sul	DGP	Desconfortável	29,1%	0,0%	0,0%	0,2%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
		Intolerável	30,1%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
Leste	DGP	Desconfortável	18,7%	0,9%	0,3%	8,9%	0,0%	0,0%	0,5%	0,0%	0,0%
		Intolerável	54,4%	8,3%	1,5%	9,1%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
Oeste	DGP	Desconfortável	15,6%	3,1%	1,6%	11,3%	0,0%	0,2%	3,4%	0,0%	0,0%
		Intolerável	58,7%	3,3%	11,2%	18,2%	0,0%	2,2%	0,1%	0,0%	0,0%

Legenda: Tolerância excedida Tolerância excedida <Tolerância (5%) Livre de desconforto

Nas orientações Leste e Oeste se evidenciou uma inversão de ocorrência dos níveis intoleráveis entre as visões paralelas. O ocupante direcionado para a direita no ambiente orientado para Leste, se expõe menos ao desconforto visual intolerável, similar ao ocupante direcionado para a esquerda no ambiente orientado para Oeste. Essa inversão é decorrente da incidência solar direta na parede interna. O ocupante em um lay-out que ocorre incidência direta na parede presente em seu campo visual estará mais submetido ao ofuscamento, que no ambiente com incidência solar direta na parede atrás do ocupante.

4.1.2 Condições controladas

Essa etapa se refere ao uso de dispositivos de sombreamento para mitigar o ofuscamento na posição, à 1,5m da janela e visão frontal, apurada como condição mais crítica. São exibidas na Figura 3 as reduções nas frequências intoleráveis e desconfortáveis, de acordo com a orientação, o dispositivo e o modo de uso.

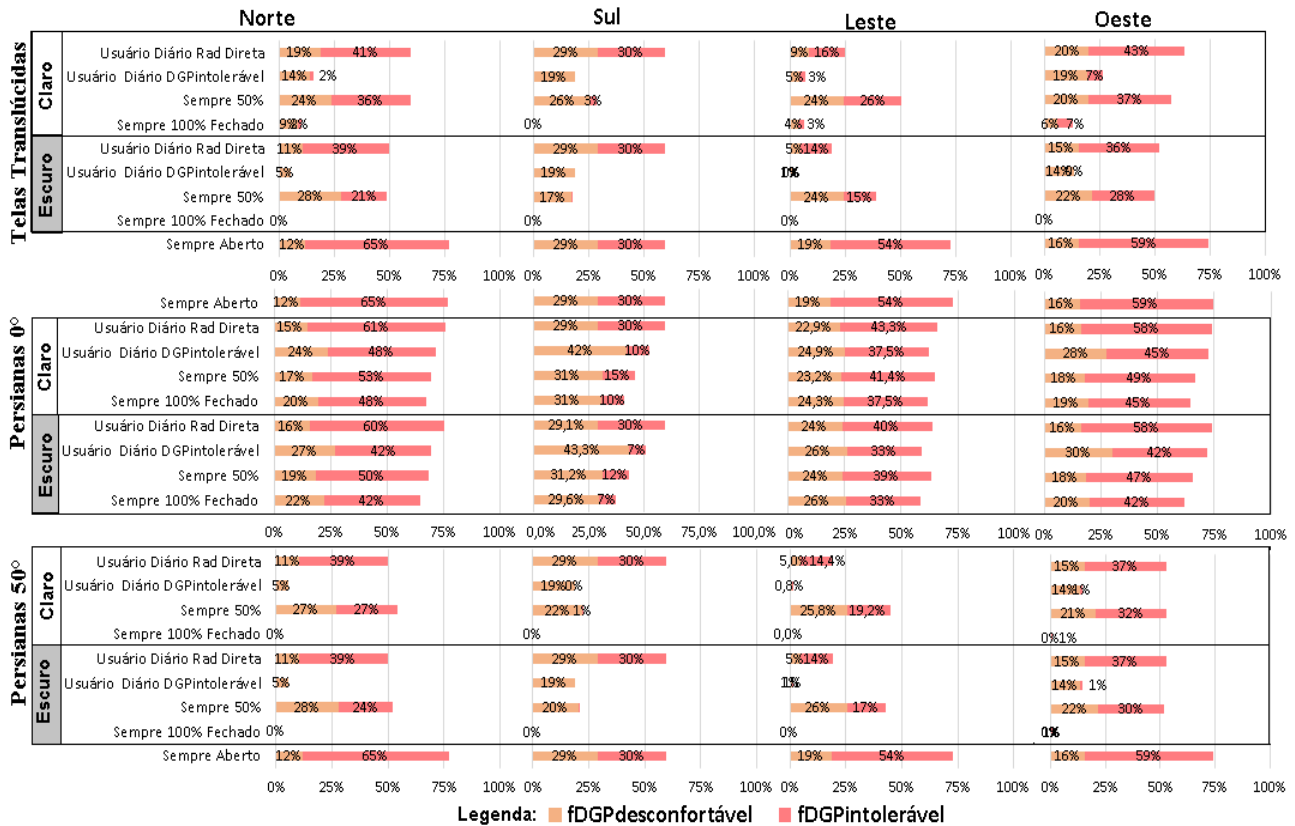


Figura 3 - Efeito dos controles de dispositivos internos nas frequências de probabilidade de ofuscamento.

Com o uso das telas translúcidas claras, aplicadas na orientação Norte pelo modo sempre 100% fechado se reduziu quase toda a frequência anual de $DGP_{intolerável}$, restando 2%. Isso indicou que as propriedades ópticas configuradas não permitiram mitigação total, mas atenderam as recomendações de tolerância conforme EN 17.037 (CEN, 2017). Ao empregar esse elemento de controle, o usuário ativo diário guiado pelo $DGP_{intolerável}$ reduziu eficientemente a frequência intolerável e ainda manteve acesso à vista em 35% do tempo ocupado. A redução da frequência intolerável pelo usuário ativo diário radiação solar direta atingiu valor máximo de 40%, utilizando as telas translúcidas escuras na orientação Leste. Porém, nenhum caso com esse controle implicou em frequência anual intolerável abaixo de 5%.

Com a utilização das persianas 0° claras e escuras na orientação Norte, se evidenciou que não há redução maior que 1/3 do tempo com $DGP_{intolerável}$. Isto demonstra a ineficiência em proteger o ocupante do ofuscamento, independente do modo de uso e da cor do dispositivo. Foi observado na orientação Sul que as persianas 0° claras e escuras reduziram até 2/3 do tempo com $DGP_{intolerável}$, porém ainda indicou frequência anual acima de 5% (7%).

As persianas 50° claras conseguiram reduzir mais as frequências intoleráveis, se comparadas às telas translúcidas claras. Isso é decorrente da característica opaca das persianas e por esse ângulo de inclinação obstruir a janela por aproximadamente 100%, ao contrário das telas translúcidas que permitiram ofuscamento em momentos de sol visível através do elemento ou sob incidência solar direta na fachada. Ambas as persianas 50°, operadas pelo usuário ativo diário $DGP_{intolerável}$, conseguiram manter a frequência de $DGP_{desconfortável}$ dentro da tolerância recomendada (5%). Na orientação Sul as persianas 50° claras, no modo sempre 50% fechadas, mitigaram aproximadamente toda a frequência intolerável.

4.2 Incidência solar direta

Os valores horários de radiação solar direta incidente nas posições ocupadas foram analisados conforme a ocorrência anual de valores superiores à 50 W/m², pois esse foi considerado como indicativo de incidência solar direta indesejável. Os casos controlados permitiram identificar as combinações que reduziram eficientemente esse aspecto indesejável e as combinações que não indicaram redução satisfatória.

4.2.1 Sem controle solar

Para a incidência solar indesejada no modelo sem controle solar, a Tabela 4 expõe a porcentagem de horas comprometidas em cada orientação solar e cada posição. Foi identificado que apenas na posição 1,5 m ocorreu condição considerada excessiva, conforme recomendação de 7%, semelhante à utilizada pelo ASE_{>1000lx/250h.ano}. Nessa posição o tempo comprometido atingiu cerca de 1/5 do tempo total.

Tabela 4 – Comprometimento anual com incidência solar direta nas posições monitoradas.

Frequências anuais de radiação solar direta incidente superior à 50 W/m ²				
Orientação / Posição		Posição 1,5 m	Posição 3,5 m	Posição 6,0 m
Norte	Plano	19%	0%	0%
Sul		0%	0%	0%
Leste	Horizontal Total (0,8m)	11%	0%	0%
Oeste		16%	2,22%	0,25%

Legenda: Exposição Anual acima da tolerância recomendada

Considerando o ocupante localizado à 3,5 m e a 6,0 m da janela, a única orientação solar que implicou em incidência solar direta foi a Oeste. Isso indica a penetração dos raios solares nas últimas horas da ocupação. Ressalta-se a não consideração do entorno, por se basear em condição de maior vulnerabilidade.

4.2.2 Condições controladas

Nas condições controladas por dispositivos internos de sombreamento foi possível identificar os casos que não implicaram em redução satisfatória da frequência anual de incidência solar direta, como mostrado na Tabela 5. É ressaltado que nesse aspecto a cor (propriedades) dos dispositivos não implicaram em diferenças, pois a incidência solar direta é barrada com o uso de qualquer anteparo opaco ou translúcido difusor.

Tabela 5 - Efeito dos dispositivos internos de controle solar na incidência solar direta no ocupante à 1,5m da janela.

Telas Translúcidas									
Usos	Sempre Aberto	Sempre 100% Fechado	Sempre 50% Fechado	Usuário Diário DGPintolerável	Usuário Diário Radiação Solar				
Norte	18,7%	0,0% ✓18,7%	8,4% ✓10,2%	0,9% ✓17,8%	0,0% ✓18,7%				
Sul	0,0%	0,0% ✗0,0%	0,0% ✗0,0%	0,0% ✗0,0%	0,0% ✗0,0%				
Leste	11,3%	0,0% ✓11,3%	6,2% !-5,0%	0,2% ✓11,1%	0,0% ✓11,3%				
Oeste	15,6%	0,0% ✓15,6%	9,2% !-6,4%	0,1% ✓15,5%	0,0% ✓15,6%				
Persianas 0°									
Usos	Sempre Aberto	Sempre 100% Fechado	Sempre 50% Fechado	Usuário Diário DGPintolerável	Usuário Diário Radiação Solar				
Norte	18,7%	8,4% ✓10,2%	8,4% ✓10,2%	8,9% ✓9,8%	8,4% ✓10,2%				
Sul	0,0%	0,0% ✗0,0%	0,0% ✗0,0%	0,0% ✗0,0%	0,0% ✗0,0%				
Leste	11,3%	6,1% !-5,2%	8,9% !-2,4%	6,2% !-5,1%	6,1% !-5,2%				
Oeste	15,6%	10,3% !-5,3%	13,6% !-1,9%	10,3% !-5,3%	10,3% !-5,3%				
Persianas 50°									
Usos	Sempre Aberto	Sempre 100% Fechado	Sempre 50% Fechado	Usuário Diário DGPintolerável	Usuário Diário Radiação Solar				
Norte	18,7%	0,0% ✓18,7%	8,4% ✓10,2%	0,9% ✓17,8%	0,0% ✓18,7%				
Sul	0,0%	0,0% ✗0,0%	0,0% ✗0,0%	0,0% ✗0,0%	0,0% ✗0,0%				
Leste	11,3%	0,0% ✓11,3%	7,5% !-3,8%	0,2% ✓11,1%	0,0% ✓11,3%				
Oeste	15,6%	0,2% ✓15,4%	11,0% !-4,6%	0,2% ✓15,3%	0,2% ✓15,4%				

Legenda: Incidência Solar Direta anual > Tolerância (7%)

Foi indicada redução eficaz das frequências anuais de incidência solar direta através da utilização de telas translúcidas e persianas 50° no modo sempre 100% fechado e pelos usuários embasados no DGP_{intolerável} e na radiação solar direta. O usuário guiado pela radiação solar direta cumpriu com o propósito do controle, pois opera os dispositivos com base no mesmo valor de radiação solar direta considerada indesejável (> 50w/m²). O usuário guiado pelo DGP_{intolerável} permitiu reduzir eficientemente a incidência solar direta e ainda possibilitou acesso à vista exterior, ao contrário do modo sempre 100% fechado.

As persianas 0° indicaram ineficiência na redução da incidência solar direta. A maior redução proporcionada por essas foi de 10,2% obtida na orientação Norte. Nessa orientação os demais controles reduziram praticamente a mesma porcentagem de horas comprometidas (~10%), demonstrando que independente do controle esse dispositivo não é indicado para reduzir a incidência solar direta.

4.3 Disponibilidade de iluminação natural

As iluminâncias horárias no plano horizontal foram avaliadas conforme critérios espaciais-temporais e em cada posição foram submetidas aos critérios temporais de disponibilidade de iluminação natural e de exposição solar excessiva.

4.3.1 Sem controle solar

Com relação à disponibilidade de iluminação natural e à exposição solar excessiva, a Tabela 6 apresenta os resultados obtidos para as métricas espaciais-temporais de acordo com a orientação solar do modelo. Nota-se que através do $sUDI_{300-3000/50\%}$ ambas orientações atingiram áreas sob disponibilidade de iluminação natural acima do valor recomendado como satisfatório segundo a certificação LEEDv4 (>50%). Todavia, pelo $ASE_{1000lx/250h.ano}$, foram apurados valores indesejados para a parcela da área interna exposta à luz solar excessiva, segundo recomendação do comitê da LM-83 (7%), *Daylight Metrics Committee*. Pelo $ASE_{1000lx/250h.ano}$ foi possível identificar que as parcelas sob excesso luminoso se estenderam até 1/5 da área total, a partir da janela. Com isso até 2,0 m o ocupante estaria suscetível à exposição solar excessiva.

A Tabela 7 exhibe os valores de disponibilidade temporal de iluminação natural e as frequências anuais de exposição solar excessiva registradas para cada posição monitorada. Os valores classificados como ‘muito satisfatório’ (>50%), ‘satisfatório’ (>50%) e ‘excessivos’ (>7%) auxiliam em identificar as profundidades de maior aproveitamento lumínico e melhor prevenção à exposição solar excessiva.

Tabela 6 - Critérios espaciais-temporais de disponibilidade de iluminação natural e exposição solar excessiva.

Orientação / Critério Espacial-Temporal		$sUDI_{300-3000/50\%}$	$ASE_{1000lx/250h.ano}$
Plano de Referência 0,8 m	NORTE	50%	25,0%
	SUL	56%	0,0%
	LESTE	55%	22,3%
	OESTE	58%	24,1%
Legenda:		Satisfatório	Exposição anual > 7%

Tabela 7 - Critérios temporais de disponibilidade de iluminação natural e exposição solar excessiva nas posições monitoradas.

Disponibilidade Temporal		Posição 1,5 m	Posição 3,5 m	Posição 6,0 m	
NORTE	$UDI_{300-3000lx}$	40,4%	90,5%	23,4%	
	$ASE_{[h]}$	20,0%	0,0%	0,0%	
SUL	$UDI_{300-3000lx}$	84,6%	86,1%	0,0%	
	$ASE_{[h]}$	0,0%	0,0%	0,0%	
LESTE	$UDI_{300-3000lx}$	59,4%	86,4%	17,7%	
	$ASE_{[h]}$	16,0%	0,0%	0,0%	
OESTE	$UDI_{300-3000lx}$	51,1%	87,4%	27,2%	
	$ASE_{[h]}$	21,0%	2,3%	0,4%	
Legenda:		Muito Satisfatório	Satisfatório	Insatisfatório	Tempo Excessivo

Na posição 3,5 m foi apurada disponibilidade de iluminação natural por mais de 75% do tempo, conferindo condição muito satisfatória, como recomendado pela certificação LEEDv4. Na posição 6,0 m não foi atingida disponibilidade adequada decorrente da falta de iluminação natural. Na posição 1,5 m os valores de $UDI_{300-3000lx}$ foram inferiores à posição 3,5 m devido ao excesso luminoso, esse causado principalmente pela componente direta da luz solar. Fato indicado com auxílio do $ASE_{[h]}$ (iluminância direta > 1000 lx), o qual indicou comprometimento de até 21% do tempo ocupado (Oeste). Na orientação Sul a posição 1,5 m não é atingida pela iluminância direta e garante 84,6% do tempo com iluminação natural eficaz.

Na posição 3,5 m a ocorrência de iluminância direta (>1000 lx) apontou frequência anual semelhante à ocorrência de radiação solar direta (>50W/m²), mas na posição 1,5 m os valores entre essas frequências atingiram até 5% de diferença (Tabela 4). Isso demonstrou que ocorre iluminância direta acima de 1000 lx sem necessariamente ocorrer radiação solar incidente acima de 50 W/m². Isso se deve à variação da eficácia luminosa da luz solar.

4.3.2 Condições controladas

As situações controladas por dispositivos internos alteraram a disponibilidade de iluminação natural no plano horizontal total e na posição 1,5 m, conforme mostrado na Figura . Com o uso das telas translúcidas claras foi possível aumentar a disponibilidade de iluminação natural na posição e na área total. As persianas 50° claras indicaram o aumento apenas na disponibilidade lumínica na posição (1,5m).

Os controles que melhor propiciaram esse efeito benéfico foi o modo sempre 100% fechado e o usuário ativo diário guiado pelo DGP_{intolerável}. Além de propiciarem o aproveitamento lumínico, auxiliaram na redução do tempo de ocupação e da área total suscetíveis à a ocorrência de exposição solar excessiva. As telas translúcidas escuras e persianas 50° escuras proporcionaram essa proteção, mas falharam em promover disponibilidade adequada de iluminação natural. O modo sempre 50% fechado contribuiu para o aproveitamento lumínico na maioria dos casos, mas permitiu exposição solar excessiva. As persianas 0° claras e escuras também comprovaram a capacidade de admissão de iluminação natural para a posição e para o plano horizontal total, todavia também não permitiram eliminar a ocorrência de ASE_[h] e ASE_{1000lx/250h.ano}.

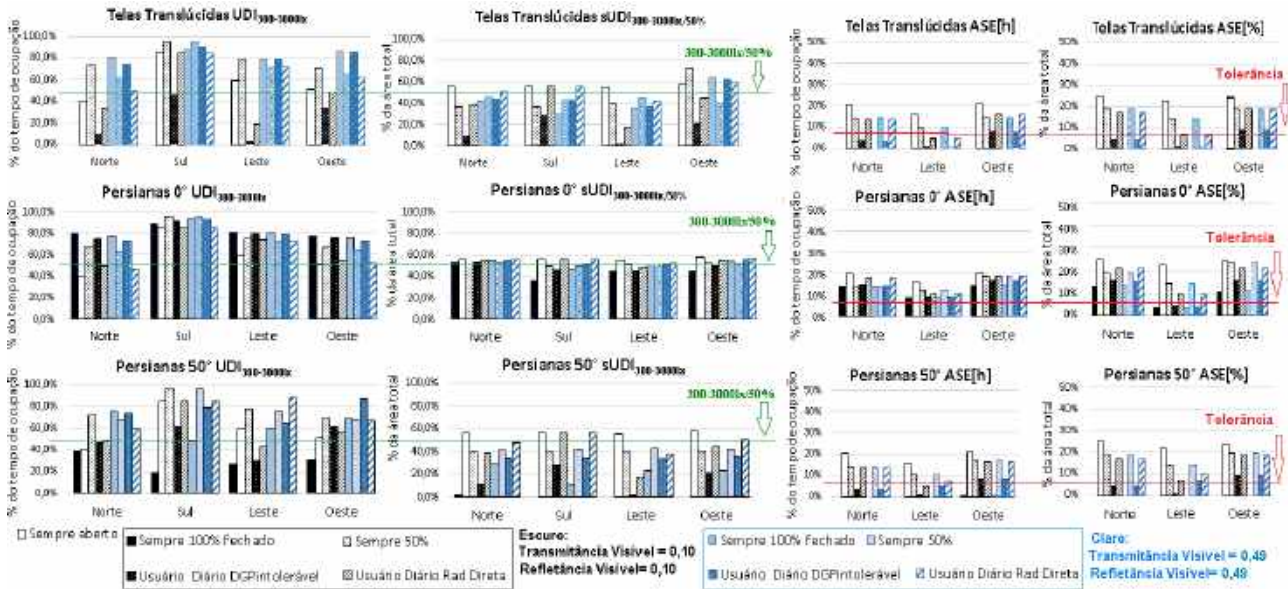


Figura 4 - Efeitos dos controles de dispositivos internos na disponibilidade de iluminação natural e na exposição solar excessiva.

4.4 Relação dos aspectos analisados

Os resultados alcançados por cada combinação de orientação solar, dispositivo interno e controle impactaram nos aspectos benéficos e prejudiciais analisados. Como exibido na Figura 5, a disponibilidade de iluminação natural na posição e no plano foi valorizada pelo usuário diário DGP_{intolerável} e pelo modo sempre 100% fechado ao utilizar telas translúcidas claras e pelas persianas 50° claras, como também as frequências indesejáveis de probabilidade de ofuscamento e de incidência solar direta sofreram redução eficiente.

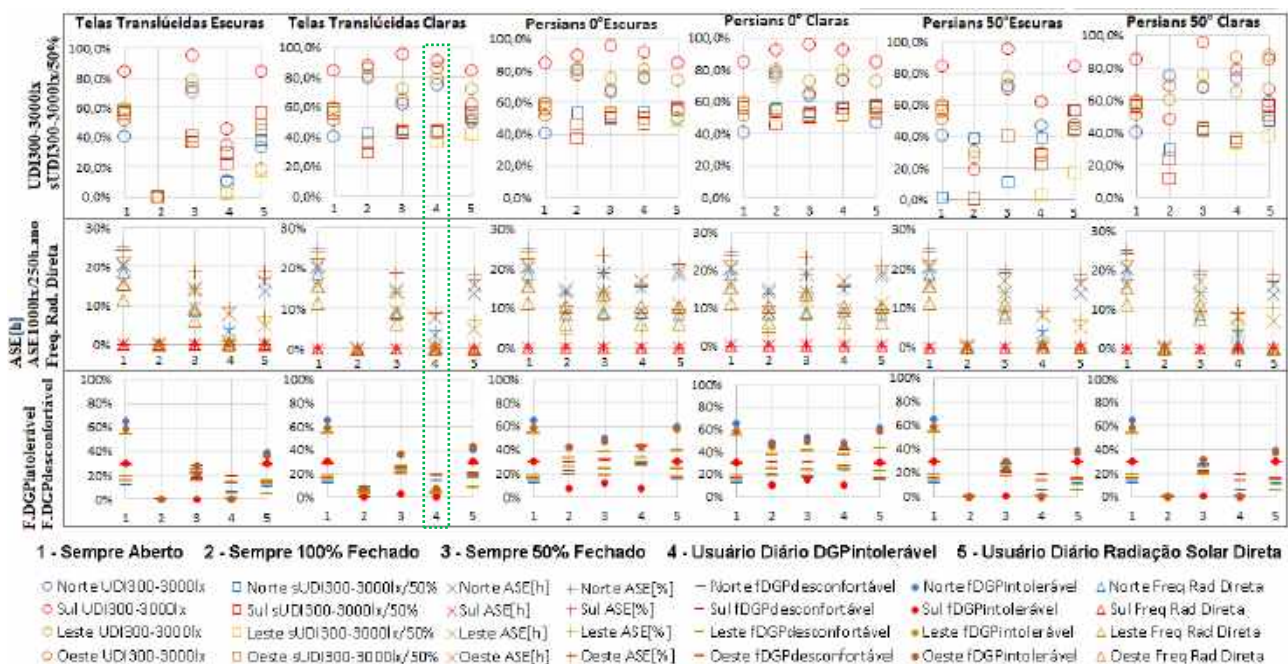


Figura 5 - Comparativo dos impactos das combinações de orientações solares, dispositivos internos e controles.

5. CONCLUSÕES

Há décadas a análise do desempenho lumínico de projetos e edificações é exigida pelo setor da construção, por certificações e normas técnicas (ABNT, 2005b), mas a abordagem espacial-temporal tem aumentado sua importância por considerar melhor a variabilidade da luz natural, comparada às avaliações estáticas e pontuais (IESNA, 2012; CEN, 2017). Devido à essa variabilidade, fachadas dinâmicas são investigadas e utilizadas para promover o desempenho lumínico da edificação. Persianas e telas translúcidas rolô, são elementos internos de controle solar abundantemente empregados nas edificações e considerados em investigações científicas envolvendo fachadas dinâmicas. Nesse âmbito o artigo se objetivou em identificar a relação da ocorrência de probabilidade de ofuscamento, incidência solar direta e iluminação natural, em um ambiente de permanência prolongada sob situações sem controle solar e controladas por dispositivos internos. Pela abordagem da modelagem e simulação lumínica anual-climática, foram registrados valores horários dos aspectos abordados e os submetem às análises de frequências anuais.

Nas orientações Norte e Oeste o ocupante à 1,5 m da janela na condição sem controle solar foi submetido à incidência solar direta e à exposição solar excessiva por cerca de 1/5 do tempo ocupado (16%~25%) e exposto ao DGP_{intolerável} por cerca de 2/3 (59%~65%) na direção frontal e até 11% nas direções paralelas. No entanto, nas orientações Oeste e Leste a disponibilidade de iluminação natural na posição 1,5 m permaneceu satisfatória nas orientações mesmo com o indicativo de exposição solar excessiva. Na posição 3,5 m ocorreu mais de 75% do tempo ocupado com disponibilidade lumínica adequada e frequência de DGP_{intolerável} até 18% na visão frontal. Tanto na posição 1,5 m, quando na posição 3,5 m as direções paralelas à janela (90°E e 90°E) permitiram atender à recomendação de tolerância anual (5%) de frequência de DGP_{intolerável} (CEN, 2017). Todavia, a mudança entre essas posições, mantendo a visão frontal, não implicou em redução eficiente da probabilidade de ofuscamento, exceto na orientação Sul.

Na posição 1,5 m e visão frontal o aproveitamento lumínico foi valorizado e os demais aspectos foram solucionados com a utilização das telas translúcidas claras e persianas 50° claras pelo usuário ativo diário DGP_{intolerável} e pelo modo sempre 100% fechado. As telas translúcidas claras auxiliaram mais a iluminação natural no espaço total, se comparadas às persianas 50° claras. Todavia, essas propiciaram redução total das horas com DGP_{intolerável}, ao contrário daquelas que ainda permitiram a ocorrência do nível intolerável em 2% do tempo ocupado. Isso demonstrou que as propriedades atribuídas atendem as recomendações de normas técnicas, porém podem ser otimizadas para garantir proteção ao ofuscamento e iluminação natural.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575**: Edificações habitacionais – Desempenho. Parte 1 e 4. Rio de Janeiro, 2005b.
- _____. **NBR 15220**: Desempenho térmico de edificações. Parte 1 - 3. Rio de Janeiro, 2005a.
- _____. **NBR ISO/CIE 8995**: Iluminação em ambientes de trabalho: Parte 1 - Interior. Rio de Janeiro, 2013.
- BAVARESCO, Mateus Vinícius; GHISI, Enedir. Influence of user interaction with internal blinds on the energy efficiency of office buildings. **Energy and Buildings**, v. 166, p.538-549, maio 2018.
- BREMBILLA, E. Applicability of climate-based daylight modelling. Young Lighter of the Year 2016, LuxLive, 2016, 10 p.
- DEPARTMENT OF ENERGY (DOE). **Weather Data- EnergyPlus**. Disponível em: <https://energyplus.net/weather> Acesso: 07/19.
- EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION (CEN, 2017) - **Daylight**. European Normative Draft. Denmark: 2017.
- ILLUMINATING ENGINEERING SOCIETY OF NORTH AMERICA IESNA – Daylight Metrics Committee. 2012. **Lighting Measurement #83**, spatial Daylight Autonomy (sDA) and Annual Sunlight Exposure (ASE). New York, 2012.
- KONSTANTZOS, I.; KIM, M.; TZEMPELIKOS, A. An integrated method and web tool to assess visual environment in spaces with window shades. **Science and Technology for the Built Environment**, v. 24, n. 5, p. 470–482, 2018.
- REINHART, C. F. Lightswitch-2002: A model for manual and automated control of electric lighting and blinds. **Solar Energy**, v. 77, n. 1, p. 15–28, 2004.
- REINHART, C. F.; JAKUBIEC, J. A.; IBARRA, D. Definition Of A Reference Office For Standardized Evaluations Of Dynamic Façade And Lighting Technologies. **13th Conference of IBPSA**, p. 3645–3652, 2013.
- REINHART, C. F.; MARDALJEVIC, J.; ROGERS, Z. Dynamic daylight performance metrics for sustainable building design. **LEUKOS - Journal of Illuminating Engineering Society of North America**, v. 3, n. 1, p. 7–31, 2006.
- O'BRIEN, W.; KAPSIS, K.; ATHIENITIS, A. K. Manually-operated window shade patterns in office buildings: A critical review. **Building and Environment**, v. 60, p. 319–338, 2013.
- 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**, v. 159, p. 317–333, 2015.
- SOLEMA LLC. **DIVA for Rhino**. Disponível em: <<https://www.solemma.com/>>. Acesso em: 07 maio. 2019.
- SUK, J. Y.; SCHILER, M.; KENSEK, K. Investigation of existing discomfort glare indices using human subject study data. **Build. and Env.**, v. 113, p. 121–130, 2017.
- USGBC. **LEED Certification**. Disponível em: <<https://new.usgbc.org/leed>>. Acesso em: 07 maio. 2018.
- VAN DEN WYMELENBERG, K. Patterns of occupant interaction with window blinds: A literature review. **Energy and Buildings**, v. 51, n. 2012, p. 165–176, 2012.
- WIENOLD, J.; CHRISTOFFERSEN, J. Evaluation methods and development of a new glare prediction model for daylight environments with the use of CCD cameras. **Energy and Buildings**, v. 38, n. 7, p. 743–757, 2006.