

ANÁLISE DA ILUMINÂNCIA, UNIFORMIDADE E OFUSCAMENTO EM MODELOS DE EDIFÍCIOS COM DIFERENTES CONFIGURAÇÕES DE JANELAS

ANALYSIS OF ILLUMINANCE, UNIFORMITY AND GLARE IN BUILDING MODELS WITH DIFFERENT WINDOW CONFIGURATIONS

 Felipe Almeida Carpanedo ¹

 Érica Coelho Pagel ²

 Ricardo Nacari Maioli ³

¹ Universidade Vila Velha, Vila Velha, ES, Brasil, facarpanedo@gmail.com

² Universidade Vila Velha, Vila Velha, ES, Brasil, erica.pagel@uvv.br

³ Centro Universitário FAESA, Vitória, ES, Brasil, ricardo.nacari@faesa.br

Abstract

O desempenho quanto à luz natural nos ambientes de trabalho é de fundamental importância para o bem-estar dos usuários. A conformação das janelas é um dos fatores que mais impacta o conforto visual. Ao longo do tempo, estes elementos foram sendo ampliados até que se configuraram as conhecidas “peles de vidro”. Este trabalho investigou o desempenho da luz natural no interior de salas de trabalho, em modelos de edifícios localizados em Vitória-ES, com diferentes configurações em relação à altura do pavimento da sala, característica da janela e seu Percentual Abertura de Fachada (PAF). A metodologia utilizou simulações dinâmicas, ao longo do ano, através do software DIVA-for-Rhino, considerando a análise da variação da Transmissão Luminosa do Vidro (TL) e presença ou não de sombreador externo. Os resultados mostram que os brises têm grande influência no conforto visual, aumentando os níveis de uniformidade da luz admitida, reduzindo as iluminâncias excessivas e a ocorrência de ofuscamento intolerável. Entretanto, seu uso deve ser bem planejado, pois pode proporcionar níveis baixos de iluminância, caso seja inserido em fachadas com menor PAF e com vidros com menor transmissão luminosa. Foi possível identificar que os pavimentos mais próximos ao solo sofrem grande influência na admissão de luz em função da obstrução do entorno. Tem-se, portanto, que, não há um modelo ideal que atenda ao melhor desempenho da luz em relação a todas as métricas estudadas, ficando a cargo do projetista a definição das configurações mais adequadas para cada tipo de situação.

Palavras-chave: Luz natural, desempenho lumínico, janelas, simulação dinâmica.

Resumo

Adequate daylighting in work environments is essential for users' health and well-being. Fenestration configuration is one of the factors that impact visual comfort the most, and over time, windows have grown in the area until the “curtain glass facades” became omnipresent. This work investigated the effect of daylight in office spaces in building models located in Vitória, ES, with different configurations concerning the building stories, window characteristics, and the Window-to-Wall Ratio (WWR). The methodology uses dynamic simulations over one year through the DIVA-for-Rhino software and analyzes the light transmission (LT) variation and influence of external shading elements when present. The results show that the brise-soleils greatly influence visual comfort, increasing uniformity of the incoming light and reducing the occurrence of excessive illuminances and intolerable glare. However, their use must be well planned, as they can reduce illuminance if attached to low WWR facades and low light transmission index glazing. The surrounding obstruction impacts the stories closest to the ground. In conclusion, no ideal model addresses the best daylighting performance in relation to all the metrics studied, leaving it to the designer to define the most adequate configurations for the situation at hand.

Keywords: Daylight, lighting performance, windows, dynamic simulation.

Contribuição dos autores:

FAC: Análise formal; Investigação; Redação – rascunho original. **ECP:** Conceituação; Supervisão; Redação – revisão e edição. **RNM:** Metodologia; Redação – revisão e edição

Fomento: Universidade Vila Velha.

Declaração de conflito: nada foi declarado.

Editora Responsável:

Vanessa Gomes da Silva 

How to cite this article:

CARPANEDO, F. A.; PAGEL, E. C.; MAIOLI, R. N. Análise da iluminância, uniformidade e ofuscamento em modelos de edifícios com diferentes configurações de janelas. **PARC Pesq. em Arquit. e Constr.**, Campinas, SP, v. 15, p. e0240xx, 2024. DOI: <https://doi.org/10.20396/parc.v15i00.8667521>

Submitted 10.11.2021 – Approved 29.11.2023 – Published 03.01.2024

e024001-1 | **PARC Pesq. em Arquit. e Constr.**, Campinas, SP, v. 15, p. e024001, 2024, ISSN 1980-6809



Introdução

A luz natural é um recurso sustentável e, quando bem utilizada, proporciona economia de energia e conforto visual. Sendo assim, o adequado conforto lumínico em ambientes de trabalho, além de promover visuais prazerosos do entorno, influencia a produtividade, o bem-estar e, por consequência, saúde ao trabalhador (Boubekri; Cheung; Rid; Wang *et al.*, 2014). A qualidade e quantidade de luz que entra na edificação depende tanto de fatores externos, como a luz refletida a partir da rua e das fachadas das construções do entorno; quanto de fatores internos, tais como as cores das superfícies internas, o formato das salas e as características construtivas das aberturas.

A história das aberturas nas fachadas dos edifícios de escritório, passa primeiramente por salas caracterizadas por janelas individuais e moduladas uniformemente, evoluindo, posteriormente, para janelas maiores até se chegar à abertura total da fachada, através das conhecidas “peles de vidro” (Andrade, 2007).

Se por um lado esse modelo de fachada envidraçada pode proporcionar níveis mais altos de iluminação natural e vista para o exterior, por outro, se faz presente a preocupação com a radiação solar incidente diretamente sobre as superfícies internas, ocasionando desconforto visual por ofuscamento, principalmente em climas tropicais quentes (Albuquerque; Amorim, 2012). Com o intuito de amenizar parte dos ganhos energéticos obtidos por essas fachadas envidraçadas, novos elementos transparentes¹, em geral representados pelos vidros, foram sendo implantados com diferentes propriedades de transmissão luminosa, com maior capacidade de reflexão e/ou absorção da energia solar incidente, como observado nos vidros bronze e reflexivo, por exemplo (Li; Tsang, 2008).

Desta forma cabe ao projetista, com o intuito de planejar uma adequada qualidade lumínica ao espaço, utilizar recursos arquitetônicos que possibilitem receber a luz de forma indireta ou filtrada, refletida ou bloqueada parcialmente, através do planejamento das características construtivas das aberturas das edificações (Corbella; Castanheira, 2001; Berardi; Anaraki, 2015).

Entretanto, percebe-se que na maior parte das vezes, a questão é determinada por fatores estéticos, crescendo o número de edifícios com alto percentual de abertura de fachada nas cidades brasileiras, muitas vezes sem nenhum elemento de proteção solar (Maioli; Barros; Barros; Moça *et al.*, 2018). Neste sentido, além dos benefícios de controle da entrada da radiação solar direta no ambiente interno, contribuindo para o conforto térmico, principalmente em climas tropicais, as proteções solares também têm mostrado benefícios positivos no redirecionamento da iluminação natural (Fang; Zhao; Tian; Lin, 2022).

Por muitos anos, o critério mais utilizado para uma boa iluminação em escritórios foi a iluminância média num plano horizontal na altura da tarefa (Boyce, 2014). Entretanto, o conforto visual em um ambiente de trabalho não é proporcionado apenas por essa única característica da iluminação. Segundo Amorim, Garcia-Hansen, Gentile, Osterhaus *et al.* (2021) alguns indicadores podem ser utilizados para avaliação dos estímulos visuais de um usuário dentro de um ambiente, e a escolha da métrica pode indicar uma opção de ferramenta de avaliação.

Parte dos pesquisadores utilizam como métricas de avaliação lumínica a Iluminância Natural Útil (Useful Daylight Illuminances - UDI), desenvolvida por Nabil e Mardaljevic (2006) e baseada em um valor percentual das horas simuladas, onde as iluminâncias

(1) ¹ Segundo a definição da Comissão Internacional de Iluminação, um material, como o vidro, é considerado “transparente” quando os objetos podem ser vistos claramente através dele (CIE, 2020).

permanecem dentro do intervalo considerado útil para serem aproveitadas como fonte de luz - e a Autonomia de Luz Natural (Daylight Autonomy - DA) que possuem valores mínimos estipulados para o desenvolvimento de atividades e tarefas, assim como indicado pela NBR ISO/CIE 8995 - Iluminação em Ambientes de trabalho (ABNT, 2013).

Além disso, sabe-se que parâmetros, tais como a uniformidade da luz no ambiente e o desconforto ocasionado por ofuscamento, também são de suma importância para o conforto do usuário em relação à iluminação natural (Pereira, 2017; Ribeiro; Cabús, 2019), entretanto, ainda são necessários estudos que explorem a avaliação do desempenho lumínico do espaço considerando o conjunto dessas métricas. Atualmente, são encontrados muitos métodos simplificados e ferramentas avançadas de simulação para avaliação da iluminação natural e conforto visual, permitindo uma abordagem integrada (Kaempfer; Paule; Basurto; Bodart *et al.*, 2016).

Nesse sentido, entre os métodos de maior potencial para a análise do fenômeno da iluminação natural encontra-se a simulação computacional, que vem sendo uma metodologia adotada por muitos autores em todo o mundo (Turan; Chegut; Fink; Reinhart, 2019; Sun; Liu; Qu; Cao *et al.*, 2020; Udhwani; Soni, 2020; Rastegari; Pournaseri; Sanaieian, 2021; Fang; Zhao; Tian; Lin, 2022; Rastegari; Pournaseri; Sanaieian, 2023) na avaliação do desempenho da luz natural em edifícios de escritórios, dada a importância da luz do dia como um recurso eficaz para conforto óptico e redução dos gastos energéticos. No Brasil, pode-se citar os estudos de Albuquerque e Amorim (2012), Maioli, Taufner e Alvarez (2014), Laranja, Ferreira e Alvarez (2016), Fassina (2017), Marcondes Cavaleri, Cunha e Gonçalves (2018), Garcia e Pereira (2020).

Existem dois tipos de simulação computacional: estática e dinâmica. A primeira faz as análises para determinado dia e hora, ao contrário da segunda, que analisa o ano inteiro e no intervalo de hora estipulado. Essa diferença de simulação é fundamental quando se observam os resultados, pois simulações dinâmicas apresentam uma maior gama de resultados ao possibilitar a análise de mais variáveis.

O objetivo deste trabalho foi analisar, por meio de simulações computacionais dinâmicas, o desempenho lumínico – níveis de iluminância, uniformidade e ofuscamento; de salas de trabalho, na cidade de Vitória/ES, considerando modelos de edifícios de escritórios com diferentes configurações construtivas das suas aberturas de janelas. São estas: a disposição e percentual de abertura na fachada, o pavimento de localização da sala, o tipo de vidro - através da variação do índice de transmissão luminosa, e a presença ou não de sombreadores – do tipo *brise-soleil*, externos à fachada.

As questões que definem a importância da luz natural para o bem-estar dos seres humanos são de grande importância para a compreensão da influência desse elemento no comportamento e desempenho dos usuários nos espaços. Essa interferência ganha maior destaque quando se trata do uso da luz natural nos ambientes de escritórios. Entretanto, a admissão desse recurso nos recintos internos deve ser pautada em diretrizes que garantam uma iluminação equilibrada, e que permita a execução das mais variadas tarefas de forma segura e com conforto, satisfazendo as demandas existentes para cada atividade.

Metodologia

O trabalho avaliou os parâmetros relativos ao conforto visual – Iluminância, uniformidade e ofuscamento, por meio de simulações computacionais, em um modelo de sala de trabalho, na cidade de Vitória – ES (latitude Sul de 20°19' e longitude Oeste de 40°20'), exposto a diferentes configurações construtivas de aberturas de janelas. A

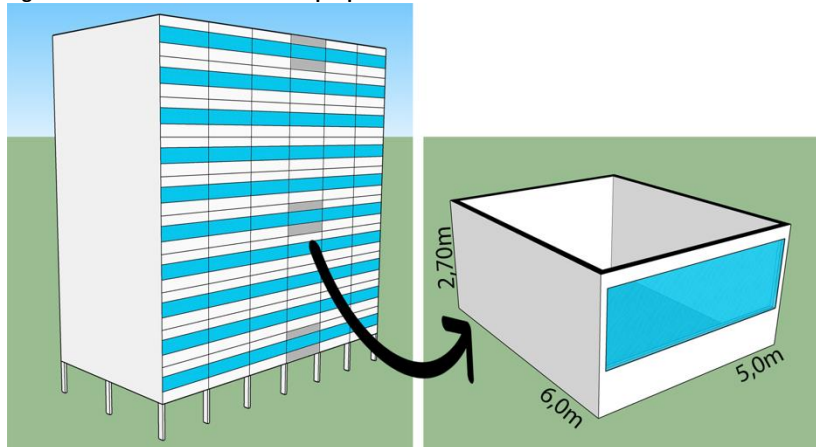
metodologia se deu através da construção dos modelos computacionais a serem avaliados, e da definição dos parâmetros lumínicos a serem considerados na análise dos resultados.

Construção dos modelos

A cidade caracteriza-se por um clima tropical litorâneo, com umidades relativas superiores a 50% e temperaturas médias entre 18°C e 26°C, sendo mais elevadas no período do verão (INPE, 2019). Vitória é a quarta cidade mais populosa do Espírito Santo, integrando uma área geográfica de grande urbanização denominada Região Metropolitana da Grande Vitória – RMGV e apresenta um intenso processo de verticalização nos últimos anos.

Na elaboração dos modelos, foram utilizadas configurações usuais de edifícios de escritório estudadas por diversos autores de pesquisas na região (Maioli; Taufner; Alvarez, 2014; Laranja; Ferreira; Alvarez, 2016; Mapelli; Laranja; Alvarez, 2018). Desta forma, adotou-se modelos de edifícios com 10 pavimentos-tipo sobre *pilotis* e sala de trabalho padrão com dimensões de 5,0 x 6,0 x 2,7m em três alturas diferentes (1º, 5º e 10º pavimento) (Figura 1).

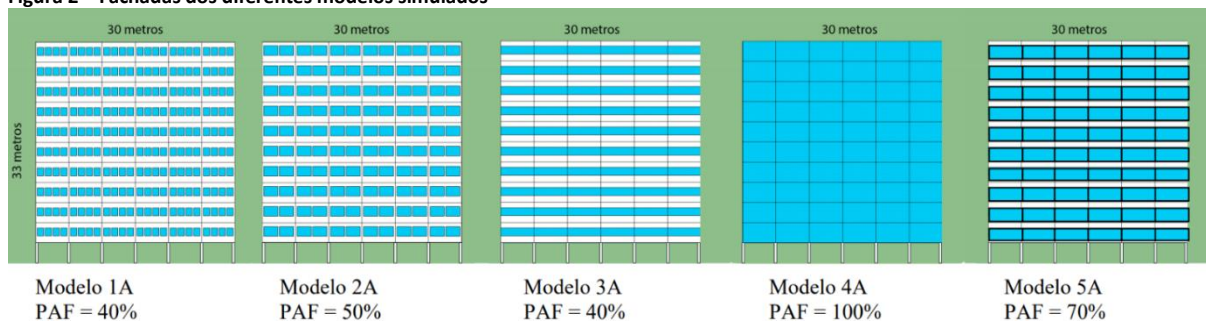
Figura 1 – Modelo base com destaque para sala de trabalho



Fonte: os autores.

A partir de então, foram elaborados cinco modelos para estudo variando a sua configuração em relação à disposição da janela na fachada e sua percentual abertura, sendo estes: Modelo 1A (M1A) com PAF de 40% e janelas individuais, Modelo 2A (M2A) com PAF de 50% e janelas individuais, Modelo 3A (M3A) com PAF de PAF 40% e janelas em fita, Modelo 4A (M4A) com PAF de 100% tipo pele de vidro e Modelo 5A (M5A) com PAF de 70% e janelas individuais (Figura 2).

Figura 2 – Fachadas dos diferentes modelos simulados

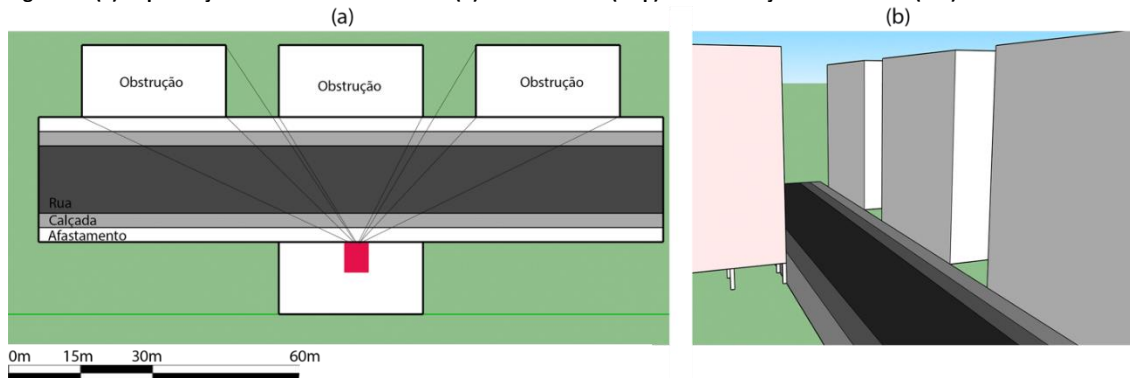


Fonte: os autores.

As simulações foram realizadas considerando a fachada principal com orientação Norte e a presença de outras edificações no entorno do edifício simulado, obstruindo a visualização de parte do céu a partir do ambiente analisado. A escolha pela fachada Norte se deu por ser essa a que recebe maior incidência solar na cidade de estudo, sendo, portanto, a que mais apresenta variações em relação ao desempenho lumínico ao longo do ano.

A configuração do entorno obstruído a partir de um ponto de visualização (Figura 3), também utilizada por Maioli (2014) e Maioli, Taufner e Alvarez (2014) é reflexo da tentativa de representar a realidade dos centros urbanos, cada vez mais verticalizados e com escassez de terrenos vazios, além de indicar um cenário com menor disponibilidade de luz no interior dos edifícios (Leal; Leder, 2018). Visto que essa característica pode influenciar significativamente a admissão de luz no ambiente, optou-se por essa configuração espacial facilitando a comparação com os dados de trabalhos correlatos (Maioli, 2014; Maioli; Taufner; Alvarez, 2014). A refletância do entorno foi configurada com valor de 40% e a do piso exterior com 20%. O afastamento lateral entre as edificações e a largura da rua são configurações possíveis de serem encontradas na região, de acordo com a legislação local (Vitória (ES), 2018).

Figura 1 - (a) Implantação com entorno obstruído. (b) 3D do edifício (esq.) com obstruções do entorno (dir.)

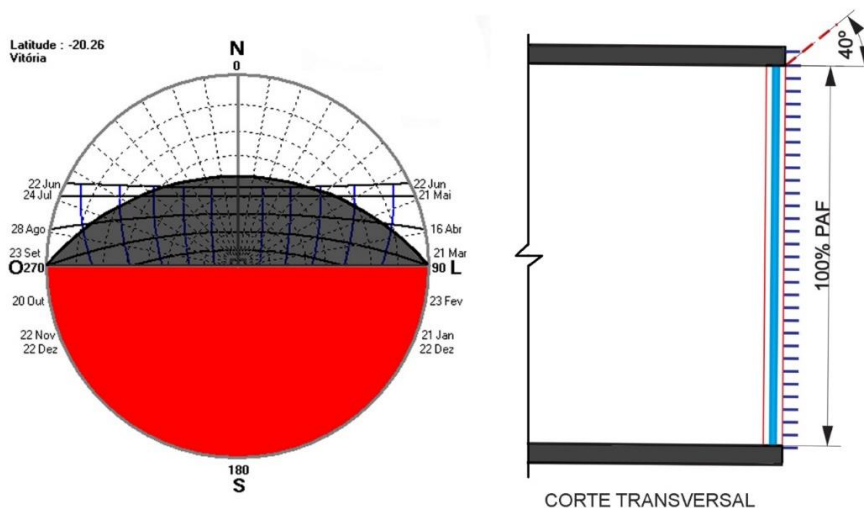


Fonte: os autores.

Ainda a fim de avaliar o impacto de elementos construtivos inerentes às aberturas dos edifícios de escritórios, em todos os modelos estudados, foram simuladas situações, variando o tipo de vidro e a presença ou não de elementos sombreadores externos à fachada. A Transmissão Luminosa (TL) dos vidros escolhidos foi de, respectivamente, TL = 88%, 53% e 35%, representando o vidro simples incolor, colorido bronze e reflexivo, apontados como os mais utilizados em edifícios de escritório (Li; Tsang, 2008) e comuns na região de estudo como apontado no estudo de Maioli, Barros, Barros, Moça *et al.*, (2018) que levantou as principais características das fachadas de edifícios de escritórios na cidade de Vitória - ES. Para avaliar o impacto dos sombreadores foram padronizados modelos com *brises* horizontais dimensionados com ângulo de 40° de proteção (Figura 4), denominados M1B, M2B, M3B, M4B e M5B.

O edifício foi modelado no software Google Sketchup, importado para o Rhinoceros e a simulação de iluminação natural foi realizada utilizando o software DIVA-for-Rhino, como em Bardhan e Debnath (2016), Cartana e Pereira (2016), Marcondes Cavaleri, Cunha e Gonçalvez (2018) e Sun, Liu, Qu, Cao *et al.* (2020). Esta ferramenta de simulação utiliza o método dinâmico de simulação de luz do dia do software Daysim, baseado no Radiance e validado por Reinhart (2006). Sendo assim, considerando todas as variações das configurações, contabilizou-se um total de 90 simulações no trabalho.

Figura 4 - Carta solar de Vitória com ângulo de proteção de 40°, à esquerda, e corte esquemático com representação de brises, à direita



Fonte: os autores.

Para análise dos resultados foi configurada uma malha na sala de estudo com pontos distantes de 0,5m entre si, numa altura de 0,75m em relação ao piso e com uma faixa marginal de 0,5m das paredes (ABNT, 2013), cuja disposição no ambiente resultou em 99 pontos. Para as simulações dinâmicas da luz, o período empregado foi correspondente a um ano inteiro, utilizando o arquivo climático de Vitória BRA_ES_Vitoria.868300_INMET, com extensão do Energy Plus Weather (.epw) disponibilizado pelo LABEEE (<https://labeee.ufsc.br/downloads/arquivos-climaticos/inmet2016>), no qual foi avaliado o horário comercial de 8h às 12h e de 14h às 18h, referente a uma jornada de 8h diárias de trabalho, com intervalo no horário de almoço.

Parâmetros lumínicos

Para uma avaliação mais abrangente da qualidade da iluminação natural dentro dos ambientes modelados, foram escolhidos 3 indicadores diferentes, dentre os possíveis (Amorim, Garcia-Hansen, Gentile, Osterhaus *et al.*, 2021). Baseado em investigações similares e nas indicações da NBR ISO/CIE 8995-1 (ABNT, 2013), foram analisados nas simulações níveis de iluminância e uniformidade (Maioli; Taufner; Alvarez, 2014; Lima; Caram, 2015; Mapelli; Laranja; Alvarez, 2018; Rastegari; Pournaseri; Sanaieian, 2021) além do ofuscamento (Leal; Leder, 2018; Garcia; Pereira, 2020; Sun; Liu; Qu; Cao *et al.*, 2020).

Avaliação dos níveis de iluminância

Como método de avaliação dos níveis de iluminância internos foram utilizados dois conceitos: a Autonomia de Luz do Dia (DA - Daylight Autonomy) e a Iluminância Útil de Luz Natural (UDI - Useful Daylight Illuminance). O Daylight Autonomy (DA) é utilizado para avaliar as previsões de iluminância em análises baseadas no clima. Trata-se da porcentagem de horas do ano em que os níveis de iluminância no plano de trabalho alcançam um valor previamente estipulado, apenas através da iluminação natural (NABIL; MARDALJEVIC, 2006). Para esta pesquisa, o nível de iluminância mínimo foi estipulado em 500 lux, visto que é o valor definido pela NBR ISO/CIE 8995 (ABNT, 2013) para atividades propostas em um ambiente de escritórios, como ler, escrever, teclar e processar dados, por exemplo.

A métrica Useful Daylight Illuminance (UDI), proposta por Nabil e Mardaljevic (2006) e amplamente utilizada em pesquisas na área de iluminação e eficiência energética (Lima;

Caram, 2015; Bardhan; Debnath, 2016; Cartana; Pereira, 2016; Laranja; Ferreira; Alvarez, 2016; Leal; Leder, 2018; Mapelli; Laranja; Alvarez, 2018) determina, em percentual de horas ao longo de um ano ou um período simulado, se a iluminância que atinge o plano de trabalho é considerada útil, definida pelo intervalo entre 100 e 2000 lux; - insuficiente, abaixo de 100 lux; - e excessiva, quando acima de 2000 lux. Uma vantagem desse método, que o distingue do DA, é que ele estipula um limite máximo para níveis de iluminância, pois podem acarretar desconfortos visuais, devido ao brilho excessivo de superfícies, e ganhos térmicos indesejáveis. Entretanto, algumas pesquisas como Lima e Caram (2015) e Mapelli, Laranja e Alvarez (2018) também se utilizam de uma divisão na faixa de iluminância útil, a fim de avaliar o percentual de horas em que existe iluminância suficiente para a execução da tarefa, entre 500 e 2000 lux, ou que poderia ser necessária uma complementação à iluminação natural, quando os níveis de iluminância estiverem entre 100 e 500 lux (Nabil; Mardaljevic, 2006). Desta forma, neste trabalho adotou-se a separação das informações a respeito da UDI em faixas, onde menos de 100 lux é considerado insuficiente; entre 100 e 500 lux é considerado aceitável, porém necessária a utilização de luz artificial em alguns momentos; entre 500 e 2000 lux é considerado ideal; e acima de 2000 lux é considerado inaceitável, por configurar a ocorrência de ofuscamento.

Avaliação da uniformidade

De acordo com a NBR ISO/CIE 8995-1 (ABNT, 2013), a uniformidade é calculada pela razão entre a iluminância mínima e a média do ambiente. Entretanto, quando se trata de um ambiente iluminado naturalmente por uma abertura lateral, esse objetivo se torna mais complicado, visto que esse tipo de solução construtiva favorece uma distribuição desigual da luz dentro do ambiente (Baker; Steemers, 2002). Posto isso, foram propostos 2 métodos para avaliação dessa métrica na pesquisa, a fim de comparar o desempenho dos modelos.

O primeiro método, em concordância com a NBR ISO/CIE 8995-1 (ABNT, 2013), calculou a razão entre a iluminância mínima e a média em cada sala, levando em consideração os valores determinados pela legislação de no mínimo 0,6 (ou 60%) para a área de trabalho. Foi utilizada simulação estática, levando em consideração o período do equinócio de outono e dos solstícios de verão e de inverno, para os seguintes horários: 08 h, 10 h, 14 h e 16 h. Tais horários foram selecionados de forma a retratar o desempenho da luz natural ao longo do período de funcionamento das salas comerciais de trabalho. A análise se deu apenas para o céu claro (CIE 12), uma vez que esse modelo de céu é o que apresenta as maiores influências na uniformidade de um ambiente (Mapelli; Laranja; Alvarez, 2018).

A segunda metodologia utilizada foi a análise de uniformidade da métrica de DA, por meio da porcentagem de horas simuladas dessa métrica em função da profundidade da sala - conforme a pesquisa de Li e Tsang (2008) sobre análises de performance de luz natural em edifícios de escritórios; em que se utiliza a métrica de Daylight Factor e DA para análise computacional.

Avaliação do ofuscamento

Para Jakubiec e Reinhart (2012), a métrica Daylight Glare Probability (DGP) que verifica o potencial de risco de ofuscamento ao longo de um ano, a partir de determinado ponto de observação no interior de um ambiente, se apresenta como a mais eficaz para avaliação de ofuscamento em ambientes com a presença da luz natural. Essa métrica é utilizada em pesquisas que avaliam o excesso de brilho ou contraste na visão do usuário do espaço interno (Leal; Leder, 2018; Garcia; Pereira, 2020).

Nesse método de avaliação de desconforto visual, são avaliadas as iluminâncias presentes no plano vertical do campo de visão de um observador para todas as horas do ano, como em imagens de olho de peixe hemisférica, através do índice DGP, que é dividido em 4 intervalos de valores. Esse índice é considerado intolerável quando apresenta valores acima de 0,45, perturbador entre 0,4 e 0,45, perceptível entre 0,4 e 0,35 e imperceptível abaixo deste último valor. Nessa investigação foram explorados os resultados através das simulações dinâmicas ao longo do ano, além de analisadas algumas situações através de simulações estáticas com imagens de olho de peixe referentes a um ponto de visualização da janela a partir do centro do ambiente simulado em um determinado momento.

Resultados

A fim de facilitar a análise dos resultados obtidos por meio das simulações computacionais para uma sala de trabalho - considerando os cinco modelos de edifícios, dividiu-se a discussão dos produtos em análise de iluminância, uniformidade e ofuscamento.

Análise dos níveis de iluminância

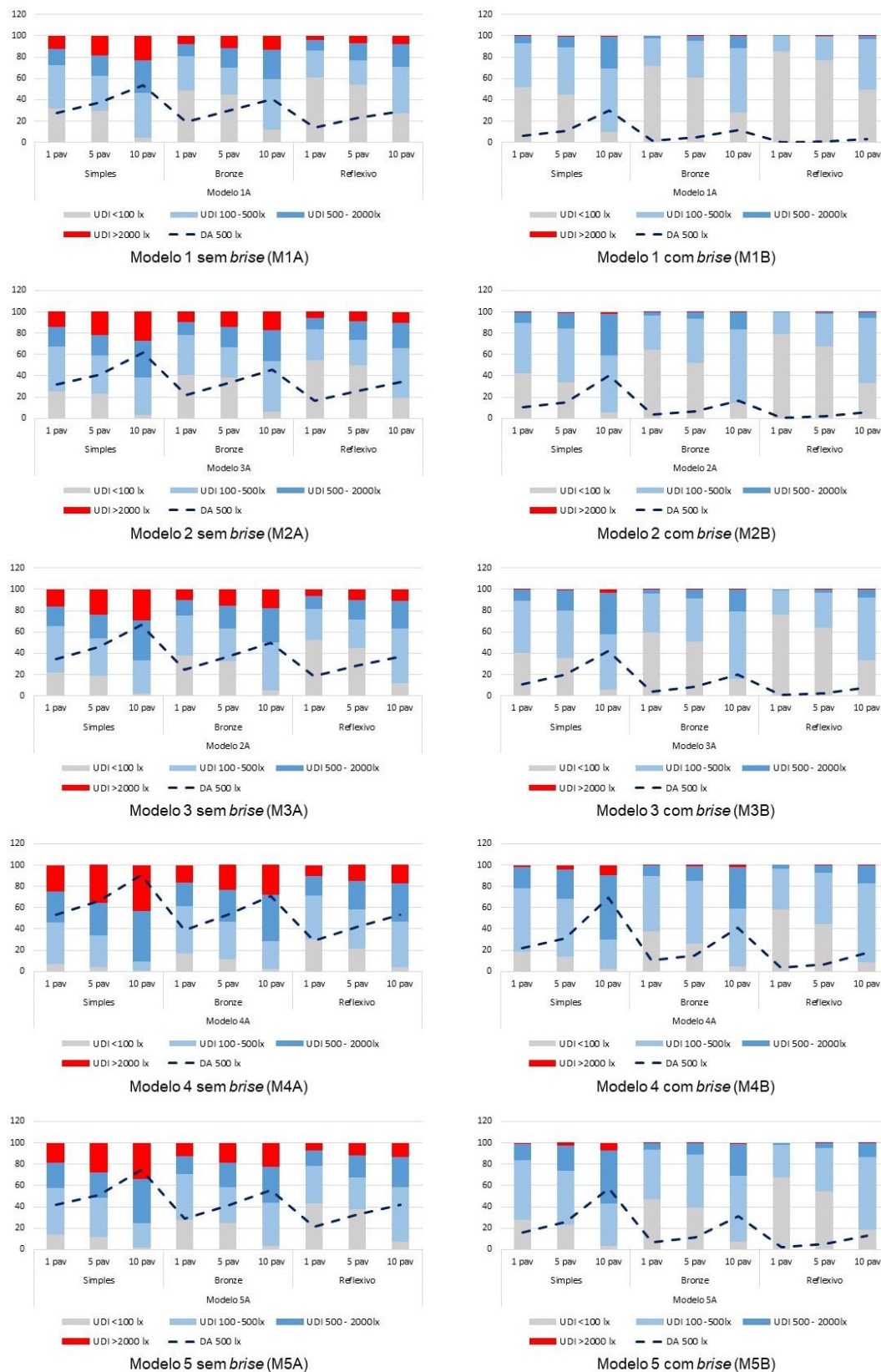
Na análise dos níveis de iluminância, foi realizada uma comparação entre os dados dos modelos simulados com e sem dispositivos de proteção solar, com os 3 tipos de vidro e em 3 pavimentos distintos. Esses dados foram avaliados com a intenção de se observar a diferença de aporte de luz entre os diferentes vidros utilizados na envoltória, a influência dos *brises*, além de observar o impacto disso combinado com diferentes percentuais de obstrução do céu pelo do entorno. Na avaliação dos modelos foi utilizada a média obtida do parâmetro analisado entre os três pavimentos simulados, com o objetivo de se obter um valor representativo de cada modelo e facilitar a comparação entre os dados analisados. A Figura 5 apresenta a porcentagem de horas simuladas dentro das faixas de UDI e DA para os modelos com e sem *brises*. De um modo geral, os resultados das simulações com os diferentes tipos de vidro apresentam coerência com os observados em outras pesquisas, onde a redução da transmissão luminosa do material provoca a redução do aporte e luz, o que ocorreu em todos os modelos e pavimentos simulados.

Como consequência desse fato, é possível afirmar que os vidros reflexivos (TL= 35%) e bronze (TL= 53%) reduziram os percentuais de horas simuladas com iluminância excessiva, acima de 2000 lux, quando comparados ao vidro incolor (TL= 88%). Essa redução foi, em média, de aproximadamente 35,2% com os modelos configurados com o vidro bronze e 60,7% com o vidro reflexivo, quando analisados os dados das simulações sem os elementos de proteção solar. Já nos modelos configurados com os *brises* a redução foi ainda mais expressiva (85,1 e 96,2%, respectivamente), contudo, vale destacar que o percentual de horas registradas na faixa acima de 2000 lux já era muito baixo (com média inferior a 2,4%), mesmo com o vidro incolor.

Entretanto, os modelos configurados com os vidros de menor transmissão luminosa (TL=35%) apresentaram um aumento significativo das horas simuladas com iluminância insuficiente, ou seja, abaixo de 100 lux, sendo esse fato observado em todos os modelos simulados. Quando comparado ao vidro incolor, o vidro bronze provocou um aumento de 76,4% de registros nessa faixa de iluminância e de 159,2% no caso do vidro reflexivo, nas simulações sem os *brises*. O mesmo vale para a análise da métrica de DA, cujo percentual foi reduzido conforme decréscimo da transmissão luminosa, diminuindo, em média, 24,1% quando simulado com o vidro bronze e 42,7% com o vidro reflexivo sem

brise e em 52,7% e 82,3%, respectivamente, no caso das simulações com os elementos de sombreamento.

Figura 5 - Porcentagem de horas simuladas dentro das faixas de UDI e de DA considerando os modelos à esquerda M1A, M2A, M3A, M4A e M5A, sem a presença de brises e modelos à direita M1B, M2B, M3B, M4B e M5B com a presença de brises



Fonte: os autores.

Como já esperado, a combinação de dispositivos de proteção solar com os vidros menos transparentes à luz visível provocou um aumento significativo do registro de horas com iluminâncias insuficientes, sendo que, nos modelos com vidro reflexivo, 54,5% das horas simuladas foram registradas nessa faixa e no caso do vidro bronze, 38,7%, ante 24% nas simulações com vidro transparente. Na comparação entre os modelos configurados com *brises* com o mesmo tipo de vidro, o registro de horas com iluminância insuficiente aumentou em 57%, 64% e 79%, respectivamente.

Posto isso, ainda cabe observar que a opção pelos vidros bronze e reflexivo, de modo geral, não pode ser avaliada como um fator positivo pela métrica da UDI na maioria dos modelos simulados, pois ela contribuiu para a redução das horas analisadas dentro da faixa da iluminância útil, entre 100 e 2000 lux, mesmo nas simulações sem o dispositivo externo de proteção solar. Na comparação entre esses modelos, a opção pelo vidro bronze no lugar do incolor reduziu em média, 2,6% das horas nessa faixa, enquanto o reflexivo, 10,3%. Contudo, os modelos com vidro incolor combinado com os *brises* alcançaram as melhores médias de horas simuladas dentro dessa faixa, aumentando em 18,5% os registros nessa faixa da UDI se comparados aos mesmos modelos, mas sem o elemento sombreador. O destaque negativo observado com o uso dos *brises* fica com o vidro reflexivo que, em geral, piorou o desempenho nessa faixa de iluminâncias em 18,5%, somando apenas 45,4% das horas simuladas dentro dessa faixa de iluminâncias, numa média geral entre os modelos. Foi o pior resultado dentre os tipos de vidros simulados combinados com a proteção solar.

Com relação à essa faixa de iluminância útil, o destaque positivo ficou com o M4B, com vidro simples e dispositivo de sombreamento na fachada, no qual 83,2% das horas simuladas foram registradas entre 100 e 2000 lux. Já o destaque negativo foi o M1B, simulado com vidro reflexivo e *brises*, cujo percentual de horas obtidas na faixa de iluminância útil foi de apenas 29,3%.

Quando analisada a questão da proteção solar na alteração do aporte de luz nos modelos, fica evidente a sua influência quanto à redução de luz em excesso, considerada pela métrica da UDI, em que os pontos cujos níveis de iluminância são registrados acima de 2000 lux, como já mencionado, resultado já evidenciado por Cartana e Pereira (2016). Com relação à faixa de iluminância considerada útil, entre 100 e 2000 lux, as proteções provocaram um aumento médio inferior a 1% de registros nesse intervalo. Entretanto, quando se avalia apenas a faixa de iluminância útil entre 500 e 2000 lux, que não necessita de iluminação complementar, essa redução média foi de 36,6%. Quanto a métrica DA, a redução no aporte de luz provocou uma queda de 47,5% nos modelos de vidro incolor, 67,3% de vidro bronze e 83,9% de vidro reflexivo. Considerando todas as variáveis dos modelos, a redução média foi de 59,4% nos índices de DA quando se optou pelos elementos de proteção nas simulações.

Todos os modelos foram simulados com análise em 3 pavimentos diferentes a fim de se obter uma avaliação mais precisa das condições de iluminação natural num pavimento mais próximo do solo e mais obstruído pelo entorno, um intermediário e em outro menos obstruído. É notório que os pavimentos inferiores registram menor aporte de luz excessiva e maior observação de níveis insuficientes de iluminância provenientes da luz natural. No pavimento mais próximo ao solo, o Modelo 4 com vidro incolor e sem *brises* registrou valores de 24,7% de luz excessiva, enquanto os demais registraram menos de 19% de iluminâncias nessa faixa. Quando analisados os modelos com proteção solar externa, o registro de iluminâncias excessivas nas horas simuladas foi, em média, 0,2% no 1º pavimento e 1,8% no último. Entretanto, o aumento significativo de horas com iluminância insuficiente nos pavimentos mais baixos tende a indicar que as proteções

solares nesses pavimentos podem prejudicar o aporte de luz, quando combinados com vidros menos transparentes à luz.

Ao analisar cada modelo separadamente, é possível observar seus desempenhos com relação aos percentuais de horas simuladas dentro das faixas de UDI e DA e identificar as melhores opções de configuração da envoltória do edifício, dentre os modelos simulados.

Os resultados do modelo M1A, sem *brise* e com PAF de 40%, mostram o maior percentual de horas simuladas dentro da faixa de UDI insuficiente (> 100 lux), apresentando com o vidro simples 22%, com o vidro bronze 35,1% e com o vidro reflexivo 47,7% das horas simuladas dentro dessa faixa. Nota-se que a presença de sombreador reduziu ainda mais o registro de horas nessa faixa, cujos percentuais de horas foram de 35,4%, 53,6% e 70,6%, respectivamente, nas simulações do M1B. Esse também foi o modelo que apresentou os menores valores de iluminâncias excessivas nas simulações com e sem os *brises*.

O mesmo vale para a faixa considerada ideal, que vai de 500 a 2000 lux, no qual M1A alcançou os piores índices na comparação entre os demais, sendo que o vidro simples (TL= 88%) sem a presença dos *brises*, apresentou o melhor desempenho em relação aos outros vidros, com 21,9% das horas simuladas dentro dessa faixa, ao passo que, o vidro bronze (TL= 53%) e reflexivo (TL= 35%) apresenta, respectivamente, valores dentro dessa faixa em 19% e 15,8% das horas simuladas. No caso do modelo M1B, esses valores são ainda mais baixos, registrando 15,2%, 6,1% e 1,4%, respectivamente.

Os resultados do Modelo 2A, caracterizado por um PAF de 50%, mostram que para a faixa de UDI menor do que 100 lux, considerada insuficiente, apresenta significativos valores nas simulações utilizando os vidros de menor transmissão luminosa. Sem os *brises*, os valores percentuais de horas dentro desta faixa de UDI são de 14,2% (TL= 88%); 25,2% (TL= 53%) e 36,4% (TL= 35%). Com a inserção dos elementos sombreadores na fachada (M2B), ocorre um aumento no percentual de horas na faixa de iluminância insuficiente, uma vez que, o interior da sala estudada apresenta uma maior quantidade de sombra ocasionada pelos *brises*. Os valores dentro deste limite chegam a 27,3% (TL= 88%), 43,6% (TL= 53%) e 59,9% (TL= 35%).

Na análise dos percentuais de horas simulados dentro da faixa de UDI de 500 a 2000 lux, para o M2A, a tendência é a mesma observada na mesma configuração para o M1A, onde os percentuais de horas observados dentro dessa faixa aumentam quando se aumenta a transmitância luminosa dos elementos transparentes propostos. O vidro simples, bronze e reflexivo analisados apresentaram 26,2%, 22,6% e 19,2%, respectivamente, de horas dentro dessa faixa de UDI. Porém, com a presença de *brises* na fachada, esses valores caem significativamente, principalmente na utilização de vidros bronze e reflexivo, apresentando 9,0% e 2,9% respectivamente, de horas dentro da faixa de UDI ideal, o que reforça a inadequação da associação entre esses elementos no aproveitamento da luz natural. O vidro simples, com 21,2% de horas dentro da faixa de 500 a 2000 lux, foi o que sofreu o menor impacto com a utilização de dispositivo de sombreamento nesse modelo de estudo.

Já o M3A, com percentual de abertura de 40% com janelas em fita, os resultados das horas simuladas dentro da faixa de UDI ideal (entre 500 e 2000 lux), foram superiores quando comparadas ao M1A, com mesmo PAF, mas com janelas isoladas. Isso ocorreu com os três tipos de vidros, com e sem a presença de sombreadores externos. O M3A obteve 23,8%, 20,1% e 17,5% nos vidros incolor, bronze e reflexivo, respectivamente. Com os elementos de proteção solar, os valores alcançados foram inferiores, registrando 23%, 10,8% e 3,7%, respectivamente. Pode-se observar que, quanto menor a

transmissividade do vidro, mais significativa era a redução de horas registradas nessa faixa da UDI.

O Modelo 4, com 100% de PAF, representando parte dos edifícios de escritórios contemporâneos que adotam a pele de vidro em suas fachadas, registrou os menores valores médios na faixa de UDI < 100 lux e os maiores percentuais de horas registrados na faixa UDI > 2000 lx. O destaque positivo desse modelo está nas maiores médias percentuais de horas registradas na faixa de iluminâncias entre 500 e 2000 lux, tanto para os modelos com proteção solar como para os sem esses dispositivos. Os modelos com vidro incolor obtiveram as melhores médias dessa faixa da UDI, entretanto, as simulações sem *brises* também registraram altos índices de iluminâncias acima de 2000 lux. Posto isso, os modelos com proteção solar ganharam destaque pois reduziram as iluminâncias excessivas e, mesmo assim, registraram 83,2% de horas de iluminância útil, das quais, 35,9% estão dentro da faixa entre 500 e 2000 lux. Já com os vidros bronze e incolor, os percentuais obtidos nessa última faixa foram de 21,1% e 9,1%. Sem os *brises* os valores observados foram de 35,8%, 31,5% e 27,1% para os vidros incolor, bronze e reflexivo, respectivamente.

Ao se analisar os dados obtidos no Modelo 5, com 70% de PAF, percebe-se que essa tipologia também alcançou valores expressivos de UDI entre 100 e 2000 lux na combinação de *brise* com vidro incolor (M5B), registrando 78,3% das horas simuladas nessa faixa, dos quais apenas 29,5% estão entre 500 e 2000 lux. Na faixa de UDI inferior a 100 lux, os percentuais encontrados só não foram inferiores aos do Modelo 4. O mesmo vale para as iluminâncias excessivas, cujos registros superaram os de todos os outros modelos, exceto este último.

Quando se analisa os resultados da métrica de DA em todos os cinco modelos simulados, pode-se perceber que os dados sugerem uma relação com a transmissividade do vidro, com o pavimento simulado e com a presença ou não dos *brises*. Ou seja, quanto maior a transmissividade e quanto mais alto o pavimento e menos obstruído o céu, maiores os percentuais de DA encontrados. O mesmo vale para a presença dos *brises* que foram responsáveis por uma redução média de 62,8% dos valores de DA em comparação com a média dos modelos sem a proteção solar.

Sendo assim, os maiores valores de DA nas simulações sem *brise* foram obtidos nos modelos M4A e M5A, com vidro incolor apresentaram, respectivamente, 70% e 56,2% de horas simuladas registradas acima de 500 lux. Já nos modelos com o dispositivo, M4B e M5B, os resultados encontrados foram 41,1% e 33,1%. Percebe-se que nessas simulações com proteção solar os valores de DA ainda foram compatíveis com os de outros modelos sem o elemento sombreador, porém, apresentaram menor registro de horas com iluminâncias excessivas (5,2% e 3,6%, respectivamente).

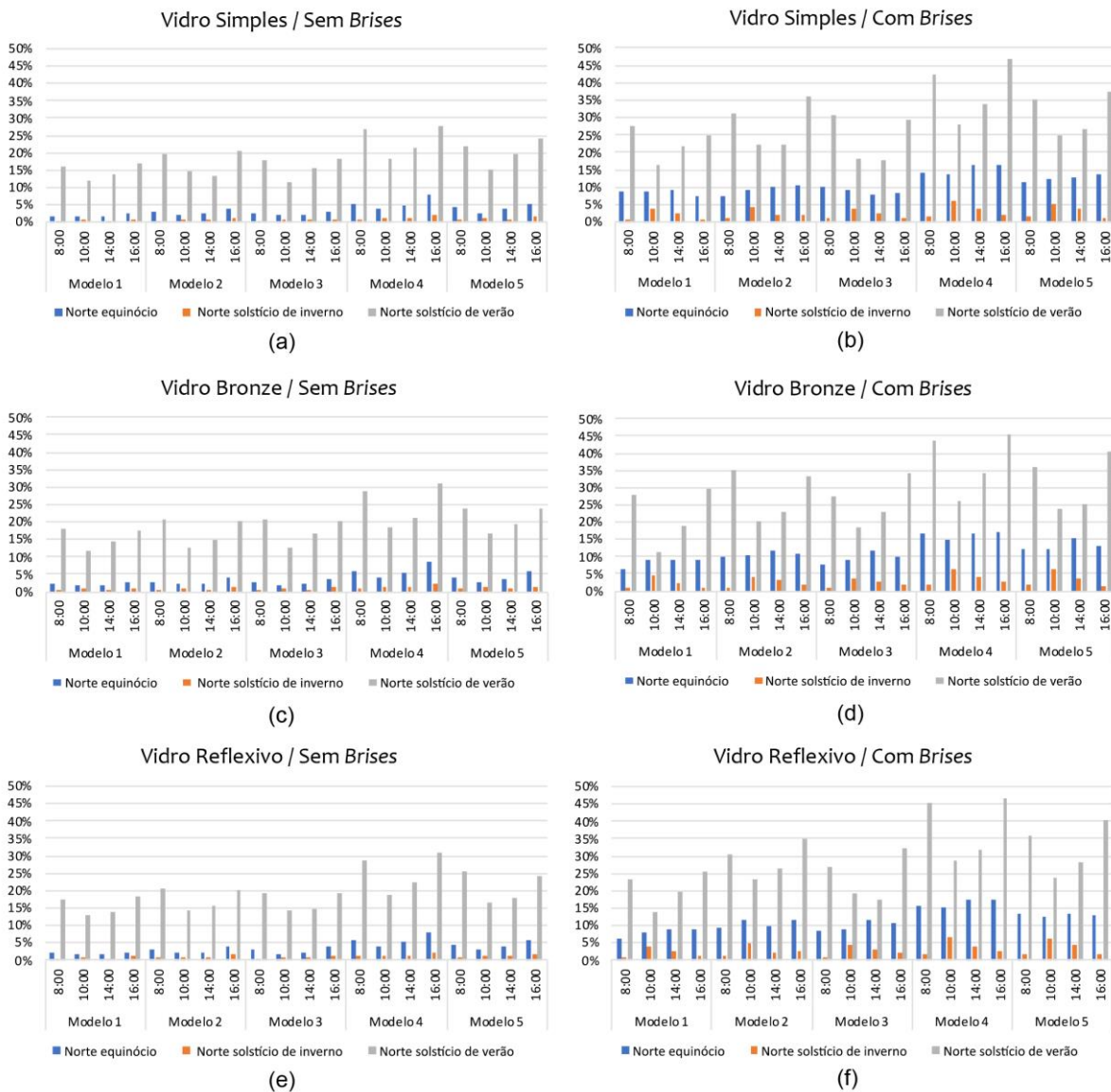
Sendo assim, fica evidente a influência do percentual de abertura e dos *brises* no nível de DA no interior das salas. Na presença de *brises*, quanto menor o PAF, menor é a profundidade alcançada por essa métrica. Foi possível perceber que o Modelo 1 possui menor percentual de DA quando comparado aos outros quatro modelos. Esse valor é ainda menor quando há o elemento sombreador na janela, chegando a uma diferença de 20%, em média. Já o M4B possui os maiores valores e essa mesma tipologia também apresenta maiores percentuais de DA quando simulada sem *brises*, chegando a 70% nas simulações com vidro incolor.

Uniformidade

A análise de uniformidade no ambiente estudado busca avaliar a distribuição da iluminância no espaço. A Figura 6 mostra os valores deste parâmetro lumínico para cada

modelo, em que é possível perceber que a distribuição da iluminância no ambiente não atinge os valores determinados pela NBR ISO/CIE 8995-1 (ABNT, 2013), de no mínimo 0,6 (ou 60%) para a área de trabalho, em nenhuma das configurações estudadas. Entretanto, é importante evidenciar a influência positiva do uso de sombreadores externos no aumento dos níveis de uniformidade.

Figura 6 - Uniformidade média com(a) vidro simples sem brises, (b) vidro simples com brises, (c) vidro bronze sem brises, (d) vidro bronze com brises, (e) vidro reflexivo sem brises, (f) vidro reflexivo com brises



Fonte: os autores.

Observa-se que, nesta etapa de simulações, maiores índices de uniformidade foram atingidos quando simulados no período do solstício de verão, quando a radiação direta não incide na fachada norte pois o Sol faz sua trajetória pela porção sul da abóbada celeste. Isso faz com que a sala receba apenas a radiação proveniente do céu, reduzindo a diferença entre os valores de iluminância, diferentemente dos outros períodos simulados.

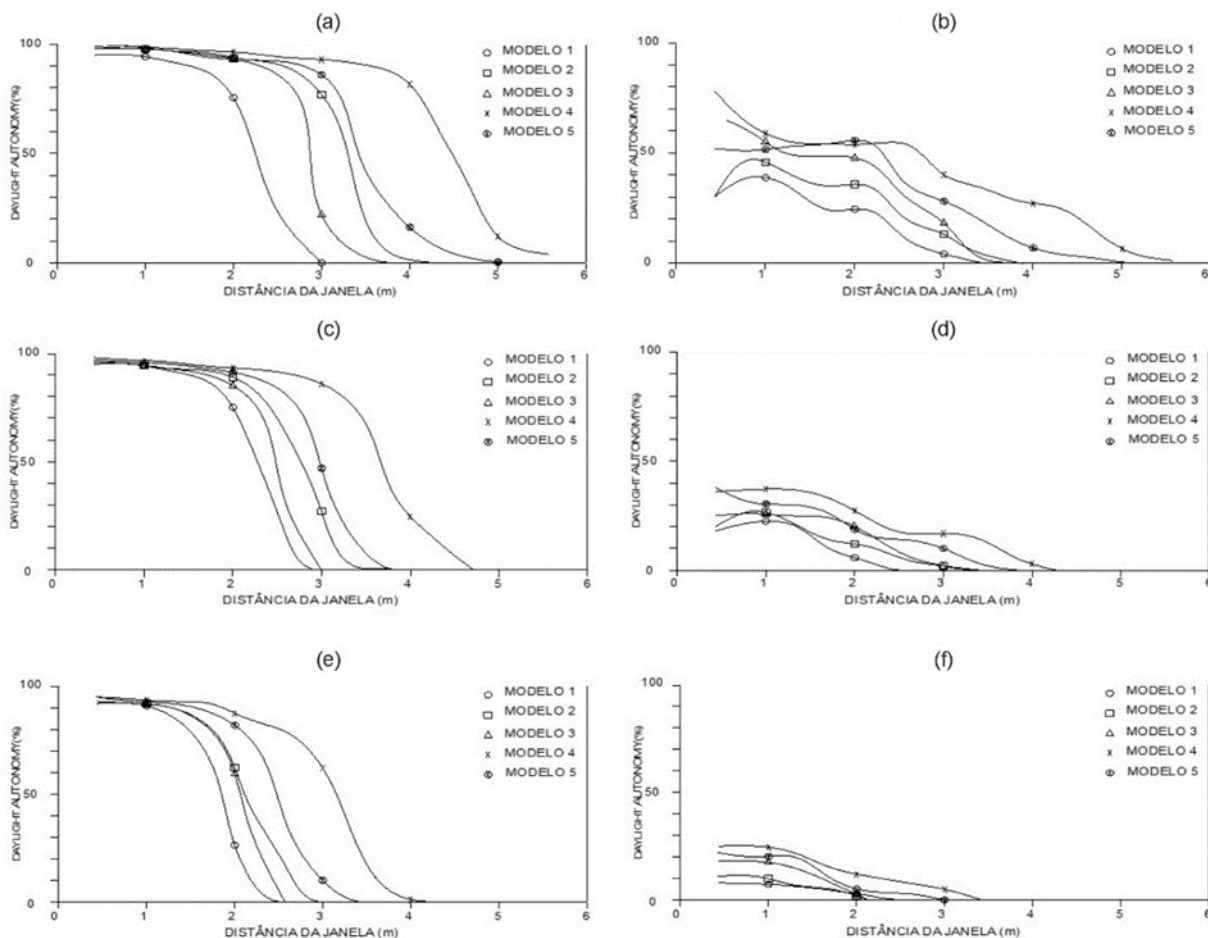
Ao fazer uma análise da variação dos três tipos de vidros utilizados, percebe-se que as maiores porcentagens de uniformidade são apresentadas para o M4B, com a presença de brises, variando entre 29,2% para o vidro simples, 30% para o bronze e 30,5% para o

vidro reflexivo. Sem a presença de brises (M4A), os valores foram de 14,4%, 8,7% e 15,7%, respectivamente. O Modelo 5 se apresenta como o segundo mais uniforme, enquanto os piores resultados foram observados no Modelo 1.

É interessante notar que, nas simulações desenvolvidas nesta pesquisa, o nível de uniformidade se mostrou menor à medida que o PAF também reduzia. Pode-se afirmar então que a caracterização do envelope do modelo simulado impacta na uniformidade observada no interior do ambiente, conforme indicado em outras pesquisas (Lima; Caram, 2015; Cartana; Pereira, 2016). Além disso, é importante lembrar que a presença de sombreadores também influencia na distribuição da luz ao longo do recinto, corroborando os resultados de Fang, Zhao, Tian e Lin (2022). Esses dispositivos funcionam como elementos controladores de insolação direta nas fachadas e como refletores de luz para o interior da sala, fazendo com que a uniformidade por todo o ambiente seja maior.

A outra forma proposta para se avaliar a uniformidade é através da métrica de DA. A Figura 7, mostra no eixo X a distância em relação à janela e no eixo Y a porcentagem de DA. Pode-se, portanto, entender a uniformidade através do comportamento da iluminância, em relação à profundidade do ambiente. De forma geral, a curva de decaimento de DA é menor quando simulada com brises e comparada às simulações sem proteção.

Figura 7 - Uniformidade da métrica de DA no interior da sala orientado para Norte: (a) modelos com vidro simples e sem a presença de brises, (b) modelos com vidro simples e com a presença de brises, (c) modelos com vidro bronze e sem a presença de brises, (d) modelos com vidro bronze e com a presença de brises, (e) modelos com vidro reflexivo e sem a presença de brises, (f) modelos com vidro reflexivos e com a presença de brises



Fonte: os autores.

As simulações com a configuração de vidro reflexivo (TL= 35%) e presença de *brises* diminuem cerca de 80% os níveis de DA, sendo essa a tipologia que mais impacta nessa métrica de desempenho lumínico. O nível de iluminância observado vai diminuindo à medida que o ponto analisado está mais afastado da janela e mais próximo ao fundo da sala, quando comparada às simulações sem *brises*, porém, por possuir menores percentuais de DA, a uniformidade se torna maior, pois as variações dos valores são menores ao se distanciar da janela.

Ofuscamento

Para analisar essa métrica, os dados foram separados por tipos de vidro, a fim de simplificar a comparação entre os modelos. Entretanto, o único tipo de vidro simulado que apresentou dados com a presença relevante do desconforto por ofuscamento foi o vidro incolor, sendo que, nos demais, os resultados foram quase inexpressivos, salvo algumas exceções. Na análise dos resultados, percebeu-se que os índices de ofuscamento predominam no pavimento mais alto em relação ao nível da rua, por possuir menor percentual de obstrução da parcela visível da abóbada celeste, ficando mais suscetível aos níveis excessivos de iluminância, corroborando os resultados obtidos por Leal e Leder (2018). Nenhum dos modelos simulados no 1º pavimento apresentou registro de horas com DGP inaceitável, ou seja, acima de 0,45, enquanto apenas o Modelo 4A, com PAF 100% e vidro incolor, apresentou uma pequena ocorrência de ofuscamento no 5º pavimento.

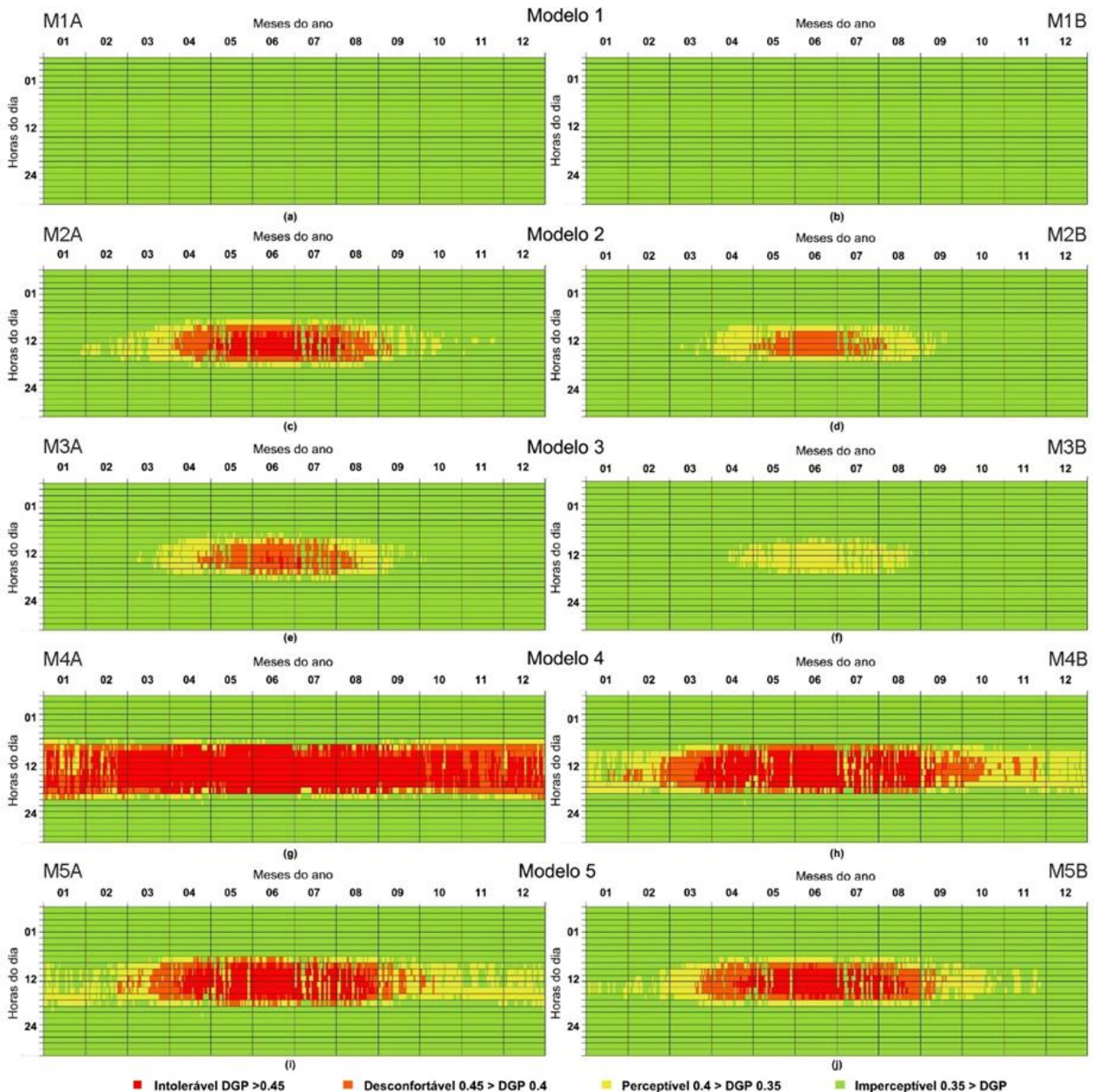
Em relação à influência do PAF, os maiores valores de índices de desconforto por ofuscamento foram encontrados nos modelos com maiores Percentuais de Abertura de Fachada. Sendo assim, o Modelo 4A sem *brises*, com 100% de PAF, apresentou 23,64% das horas simuladas dentro da faixa acima de 0,45 DGP, ofuscamento intolerável, sendo esse o maior índice encontrado nas simulações. Ainda analisando os modelos sem *brises*, o Modelo 5A apresentou 6,99%, enquanto os modelos 2A e 3A registraram cerca de 2,95% e 0,25% de DGP acima de 0,45, respectivamente. Já o primeiro modelo não apresentou esse tipo de ofuscamento, devido percentual às características de suas aberturas.

A Figura 8 apresenta os resultados das simulações do 10º pavimento dos modelos configurados com vidro incolor, sendo que o eixo X representa os meses do ano e o eixo Y as horas do dia. As cores: vermelho, laranja, amarelo e verde indicam a escala de análise de ofuscamento que vai da pior situação (ofuscamento intolerável: $DGP \geq 0,45$) até a melhor situação (ofuscamento imperceptível: $DGP \leq 0,35$).

É possível observar que as maiores ocorrências de ofuscamento na fachada simulada (Norte), mesmo os considerados desconfortáveis ou perceptíveis, ocorrem nos meses próximos ao solstício de inverno, quando o Sol faz sua trajetória com menores ângulos de altura solar. Quando considerada a presença de *brises* nas aberturas, as ocorrências de ofuscamento intolerável foram muito reduzidas ou até anuladas, comprovando que a utilização do dispositivo diminui a possibilidade de ofuscamento no interior dos edifícios. Esse fato fica mais evidente na análise dos dados do Modelo 4A, que apresenta ofuscamento intolerável em todos os meses do ano quando simulado sem a presença de *brises* e com vidro simples. Porém, quando adicionado esse elemento, no período próximo ao solstício de verão, o registro de ofuscamento intolerável só é observado em 9,7% das horas simuladas, sendo o maior índice dentre os modelos simulados com *brises*. Este modelo também apresentou esse tipo de desconforto em 3,1% das horas, com DGP acima de 0,45, na simulação do 10º pavimento, com vidro bronze e sem o dispositivo de proteção. Nas demais configurações simuladas, o registro de horas com ofuscamento intolerável foi insignificante ou inexistente. Tal benefício também foi constatado por

Fang, Zhao, Tian e Lin (2022) ao analisar a distribuição lumínica no plano de trabalho sob diferentes estratégias de angulação de brises dinâmicos em escritórios de grandes profundidades. Esses autores encontraram resultados positivos do uso destes dispositivos nas fachadas em relação à iluminação útil da luz do dia (UDI) e na redução das taxas de ofuscamento.

Figura 8 - Simulação de DGP para todos os cinco modelos utilizando vidro incolor com TL=88%: (a) M1A, (b) M1B, (c) M2A, (d) M2B, (e) M3A, (f) M3B, (g) M4A, (h) M4B, (i) M5A, (j) M5B



Fonte: os autores.

A respeito do ofuscamento, entende-se que o aumento do PAF impacta nos níveis de DGP, elevando-os significativamente. Entretanto, em se tratando da fachada Norte, quando há o acréscimo de brises, os valores reduzem, pois, esses elementos funcionam também como bloqueadores para a incidência direta dos raios solares no interior da edificação. Da mesma forma, em relação ao tipo de vidro, percebe-se que quanto maior o percentual de TL, maiores são os níveis de ofuscamento. Assim, chegar a uma relação

entre o percentual de abertura das fachadas e um modelo de vidro ideal é de extrema importância para o bem-estar dos usuários.

Síntese dos resultados

A partir dos resultados obtidos, é possível verificar que, em geral, uma composição entre altos valores de PAF e vidros com baixos percentuais de TL proporcionam melhor equilíbrio entre os valores de UDI, DA, Uniformidade e Ofuscamento, entretanto, percebe-se que não existe uma composição ideal que atenda a todas as métricas, ao mesmo tempo. O Quadro 1 apresenta quais combinações estudadas resultaram no melhor desempenho para cada métrica analisada, separadas por pavimento.

Quadro 1- Síntese das configurações estudadas que resultaram no melhor desempenho para cada métrica analisada

	UDI				DA	UN	OF
	<100 lx	100 -500lx	500 - 2000lx	>2000 lx	500 lx		
1º PAV	MOD. 4A VS SEM BRISE 	MOD. 4A VS COM BRISE 	MOD. 4A VS SEM BRISE 	MOD. 4A VR COM BRISE 	MOD. 4A VS SEM BRISE 	MOD. 4A VR COM BRISE 	MOD. 1A VR COM BRISE
5º PAV	MOD. 4A VB SEM BRISE 	MOD. 4A VB COM BRISE 	MOD. 4A VS SEM BRISE 	MOD. 2A VR COM BRISE 	MOD. 4A VS SEM BRISE 	MOD. 4A VR COM BRISE 	MOD. 1A VR COM BRISE
10º PAV	MOD. 4A VS SEM BRISE 	MOD. 4A VR COM BRISE 	MOD. 4A VS COM BRISE 	MOD. 3A VR COM BRISE 	MOD. 4A VS SEM BRISE 	MOD. 4A VR COM BRISE 	MOD. 1A VR COM BRISE

Nota: VS= Vidro Simples (TL: 88%) / VB= Vidro Bronze (TL: 53%) / VR= Vidro Reflexivo (TL: 35%) / UN = uniformidade e OF= ofuscamento. Fonte: Os autores.

Com relação às métricas DA, uniformidade e ofuscamento, é possível identificar um modelo diferente para cada uma destas que apresentou os melhores resultados nos 3 pavimentos estudados. Em função do maior PAF e do alto percentual de transmissão luminosa, o Modelo 4A sem brise e vidro incolor alcançou os maiores percentuais de horas com iluminância acima de 500 lux. Já em relação à uniformidade, o Modelo 4A com brise e vidro reflexivo obteve os maiores índices dessa métrica nos pavimentos analisados. Entretanto, com relação ao ofuscamento, o Modelo 1A com brise e vidro reflexivo apresentou o menor percentual de ocorrências desse desconforto. Esses fatos indicam que os resultados dessas métricas de avaliação são influenciados pelas diferentes composições do envelope do edifício. Quando se avaliam os resultados obtidos para as diferentes faixas da UDI, percebe-se que não houve uma composição que alcançasse os melhores valores nos 3 pavimentos.

Constata-se que o vidro com TL=53%, representando os vidros coloridos, é o modelo que possui menores resultados ideais entre todas as métricas estudadas. Já o vidro incolor, com TL=88%, no geral, possui melhor desempenho, visto que aparece com melhores percentuais em grande maioria das métricas e dos modelos simulados. Nas faixas de

UDI < 100 e UDI > 2000, os modelos simulados apresentados no Quadro 1 apresentam menores percentuais nesta faixa, sendo este um resultado interessante, uma vez que simulações com UDI inferior a 100 lux são consideradas insuficientes e acima de 2000 lux são consideradas excessivas.

Devido ao alto percentual de transmissão luminosa, o modelo com TL= 88%, apresenta resultados mais expressivos no pavimento mais próximo à rua, uma vez que permite maior absorção de luminosidade dentro do ambiente, minimizando a influência dos edifícios vizinhos. Em contrapartida, o uso desse modelo de vidro apresenta pouca uniformidade nas salas, gerando áreas intensamente iluminadas próximas a janela e outras com menor intensidade, dentro de um único ambiente.

No pavimento intermediário (5º pavimento), há uma maior variedade de configurações de PAF, vidros com presença ou não de *brises*, que obtiveram melhores resultados nas métricas estudadas. Percebe-se, porém, que o modelo de vidro com TL=88%, com 100% de PAF, sem a presença de *brises*, mantém-se com a maior porcentagem de horas simuladas dentro da métrica de DA, pois essa configuração permite uma maior incidência de iluminação. Pode-se perceber que, nos modelos 1A e 2A, a uniformidade se mantém quando simulados com os vidros representando o colorido e o vidro reflexivo, ao contrário do que acontece nos resultados das simulações com a presença de sombreadores, em que há um aumento do percentual de uniformidade no ambiente com o vidro de TL=88%.

Conclusões

Ao analisar as diferentes tipologias propostas na pesquisa, não foi possível identificar apenas uma que tenha o melhor desempenho considerando todas as métricas analisadas. Entretanto, o trabalho pode contribuir para as investigações das tipologias mais adequadas para cada situação, de acordo com a orientação e presença do entorno, o que reforça a ideia de se utilizar a simulação computacional como ferramenta de análise e aperfeiçoamento de soluções de projeto. Cabe ressaltar que os dados apresentados são referentes às características e variáveis simuladas, às métricas avaliadas em cada modelo, e que qualquer modificação de um desses itens pode alterar significativamente os resultados encontrados.

Este estudo procurou entender o comportamento da luz natural em ambientes de trabalho, utilizando as métricas de UDI, DA, uniformidade e ofuscamento, em modelos com diferentes disposições e PAF, tipo de vidro e presença ou não de *brises* horizontais na fachada. Os resultados mostram que para a métrica de UDI inferior a 100 lux, ou seja, UDI insuficiente, o vidro simples (com TL= 88%) apresenta o melhor desempenho em relação aos demais tipos de vidro, uma vez que a maior quantidade de horas simuladas com essa tipologia se encontra com UDI acima de 100 lux. Para a faixa de UDI entre 100 e 500 lux, os Modelos contemporâneos 4 e 5, com PAF de 100% e 70%, apresentaram os melhores resultados também com o vidro simples de TL= 88%. Ainda considerando esses modelos com maior PAF, o intervalo de UDI entre 500 e 2000 lux - cuja faixa de UDI é considerada a mais adequada em ambientes internos, dispensando a complementação de luz artificial, o vidro simples estudado apresentou também os resultados mais significativos, tanto com e sem a presença de *brises* nas fachadas, quando comparado às outras tipologias de vidro avaliadas.

O vidro simples (com TL= 88%) apresentou também, no geral, maiores porcentagens de horas simuladas dentro da faixa estipulada para DA, sendo este modelo de vidro o que apresenta melhor desempenho também nessa métrica. Pode-se dizer também, que considerando os resultados para o pavimento intermediário estudado (5º pavimento),

em relação aos níveis de iluminância (500 a 2000 lux) no interior do ambiente, o melhor desempenho foi para a composição de modelos com um maior percentual de abertura de fachada (PAF= 100%), vidro simples (TL= 88%) e sem a presença de *brises*. Entretanto, observa-se que o uso de *brises* horizontais, além de ser uma estratégia benéfica para a redução da radiação direta incidente na fachada Norte, principalmente em climas tropicais, melhora significativamente o desempenho em relação à uniformidade da luz na sala de trabalho e reduz o incômodo ocasionado pelo ofuscamento.

A presença dos *brises* no modelo com PAF=100% e vidro incolor (TL= 88%) proporcionou uma redução de 41% das horas com DGP inaceitável. Em geral, os *brises* contribuem para melhoria da uniformidade e da distribuição da luz no interior do ambiente, minimizando a ocorrência do desconforto por ofuscamento. Conclusões similares foram encontradas por Jakubiec e Reinhart (2012), Konstantzos, Tzempelikos e Chan (2015) e Cartana e Pereira (2016), indicando que elementos de controle solar melhoram o desempenho lumínico dos ambientes. Situação similar também ocorre com a redução da transmissão luminosa do vidro, entretanto, diferentemente dos elementos sombreadores, sua contribuição para o equilíbrio de iluminâncias no espaço é muito pequena.

Esse fato reforça a constatação de que não há um modelo ideal que atenda ao melhor desempenho da luz em relação a todas as métricas estudadas, ficando a cargo do projetista a definição das estratégias construtivas mais adequadas a cada edificação a ser construída.

Referências

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO/CIE 8995-1**. Iluminação de ambientes de trabalho. Parte 1: interior. Rio de Janeiro: ABNT, 2013.

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**, v. 12, n. 2, p. 37-57, jun. 2012. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1678-86212012000200004>.

AMORIM, C. N. D.; GARCIA-HANSEN, V.; GENTILE, N.; OSTERHAUS, W. PHAM, K. (ed.). **Evaluating integrated lighting projects: A Procedure to Post-Occupancy Evaluation of Daylight and Electrical Lighting Integrated Projects**, 2021. Cedar: SHC, 2021. Disponível em: <https://task61.iea-shc.org/Data/Sites/1/publications/IEA-SHC-Task61-Technical-Report-D2-Evaluating-integrated-lighting-projects.pdf>. Acesso em: 20 ago. 2023.

ANDRADE, C. M. **A história do ambiente de trabalho em edifícios de escritórios: um século de transformações**. São Paulo: C4, 2007. 96 p.

BAKER, M.; STEEMERS, K. **Daylight Design of buildings**. London: James & James, 2002. 250 p.

BARDHAN, R.; DEBNATH, R. Towards daylight inclusive bye-law: Daylight as an energy saving route for affordable housing in India. **Energy for Sustainable Development**, n. 34, p. 1–9, Oct. 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.esd.2016.06.005>.

BERARDI, U.; ANARAKI, H. K. Analysis of the Impacts of Light Shelves on the Useful Daylight Illuminance in Office Buildings in Toronto. **Energy Procedia**, v. 78, p.1793-1798, Nov. 2015. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2015.11.310>.

BOUBEKRI, M.; CHEUNG, I. N.; REID, K. J.; WANG, C.; ZEE, P. C. Impact of Windows and Daylight Exposure on Overall Health and Sleep Quality of Office Workers: a case-control pilot study. **Journal of Clinical Sleep Medicine**, v. 10, n. 6, p. 603–611, June 2014. DOI: <https://doi.org/10.5664/jcsm.3780>.

BOYCE, P. R. **Human Factors in Lighting**. 3rd ed. New York: Taylor & Francis, 2014. 703 p.

CARTANA, R. P.; PEREIRA, F. O. R. Elementos de controle solar desenvolvidos com modelagem paramétrica e algoritmos evolutivos. **PARC Pesquisa em Arquitetura e Construção**, Campinas, SP, v. 7, n. 3, fev. 2016. DOI: <https://doi.org/10.20396/parc.v7i3.8647516>.

CIE. COMMISSION INTERNATIONALE DE L'ECLAIRAGE. **CIE S 017/E.: 2020**. IVL International lighting vocabulary. 2nd ed. Vienna: CIE, 2020.

CORBELLA, O. D. E; CASTANHEIRA, R. G. Sobre a necessidade de proteção da radiação solar incidente nas fachadas Sul, para edifícios situados entre as latitudes 10° e 35°. In: ENCONTRO NACIONAL, 6.; ENCONTRO LATINO-AMERICANO SOBRE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 3., 2001, São Pedro. **Anais [...]**. Porto Alegre: ANTAC, 2001.

FANG, J.; ZHAO, Y.; TIAN, Z.; LIN P. Analysis of dynamic louver control with prism redirecting fenestrations for office daylighting optimization. **Energy and Buildings**, v. 262, p. 112019, May 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2022.112019>.

FASSINA, S. P. **Qualificação dos dispositivos de fachada quanto à disponibilidade de luz natural: o caso do Instituto Federal do Espírito Santo Campus Colatina**. 2017. 207 f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) - Centro de Artes, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2017. Disponível em: <http://repositorio.ufes.br/handle/10/10057>. Acesso em: 10 jun. 2023.

GARCIA, D. L. R.; PEREIRA, F. O. R. Análise da exposição ao ofuscamento e à insolação em ambiente de uso prolongado. **PARC Pesquisa em Arquitetura e Construção**, Campinas, SP, v. 11, p. e020004, mar. 2020. DOI: <https://doi.org/10.20396/parc.v11i0.8654565>.

INPE. INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. **Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos**. 2019. Disponível em: <http://bancodedados.cptec.inpe.br/>. Acesso em: 22 de agosto de 2019.

JAKUBIEC, J. A.; REINHART, C. F. The 'adaptive zone' – A concept for assessing discomfort glare throughout daylight spaces. **Lighting Research and Technology**, n. 44, n. 2, p.149- 170, Oct. 2012. DOI: <https://doi.org/10.1177/147715351142009>.

KAEMPF, J.; PAULE, B.; BASURTO, C.; BODART, M.; BOER, J.; BUENO B.; DUBOIS, M.; GEISLER-MORODER D.; FUSCO M.; HEGI M.; JORGENSEN, M.; ROY N.; WIENOLD, J. **Methods and tools for lighting retrofits: State of the art review: A Technical Report of IEA SHC Task 50 - Advanced Lighting Solutions for Retrofitting Buildings**. Lausanne: LESO-PB, 2016. Disponível em: https://task50.iea-shc.org/data/sites/1/publications/Technical_Report_T50_C2_final.pdf. Acesso em: 20 jan. 2023.

KONSTANTZOS, I.; TZEMPELIKOS, A.; CHAN, Y-C. Experimental and simulation analysis of daylight glare probability in offices with dynamic window shades. **Building and Environment**, v. 87, p. 244–254, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2015.02.007>.

LARANJA, A. C.; FERREIRA, N. S.; ALVAREZ, C. E. Análise da influência da variação das superfícies refletoras na disponibilidade de iluminação natural no ambiente interno e na extensão de sua profundidade. **Labor & Engenho**, v.10, n.1, p. 31-45, mar. 2016. DOI: <https://doi.org/10.20396/lobore.v10i1.8639501>.

LEAL, L. Q.; LEDER, S. M. Iluminação natural e ofuscamento: estudo de caso em edifícios residenciais multipavimentos. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 18, n. 4, p. 97-117, out./dez. 2018. DOI: <https://doi.org/10.1590/s1678-86212018000400296>.

LI, D. H. W.; TSANG, E. K. W. An analysis of daylighting performance for office buildings in Hong Kong. **Building and Environment**, v. 43, n. 9, p. 1446–1458, Sept. 2008. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2007.07.002>

LIMA, K. M.; 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, set. 2015. DOI: <https://doi.org/10.1590/s1678-86212015000300030>.

MAIOLI, R. N. **Avaliação da influência do dispositivo prateleira de luz no conforto visual em edificação comercial com entorno obstruído**. 2014. 133 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2014. Disponível em: <http://repositorio.ufes.br/handle/10/3982>. Acesso em: 20 fev. 2023.

MAIOLI, R. N.; BARROS, M. C. S. L. S. B.; BARROS, J. D. P.; MOÇA, I. F. F.; CONINCK, I. M.; PAGEL, E. C. A transformação da fachada na tipologia construtiva de edifícios comerciais verticais em Vitória - ES e sua relação com o conforto ambiental. In: Marcia Regina Werner Schneider Abdala (org.). **Complementaridade: Arquitetura, Engenharia e Construção**. Ponta Grossa: Atena, 2018. p. 1-17.

MAIOLI, R. N.; TAUFNER, M. D.; ALVAREZ, C. E. A Influência das prateleiras de luz no aproveitamento da luz natural sob obstrução externa. **Revista de Arquitectura**, n.16, p. 105–113, dic. 2014. Disponível em: <https://revistadearquitectura.ucatolica.edu.co/article/view/63/141>. Acesso em: 20 jan. 2023.

MAPELLI, Y. R.; LARANJA, A. C.; ALVAREZ, C. E. Avaliação de desempenho entre as tipologias de aberturas zenital e lateral no quesito iluminação natural de ambientes internos. **Cadernos Proarq**, n. 31, p. 83–99, nov. 2018.

MARCONDES CAVALERI, M. P.; CUNHA, G. R. M.; GONÇALVES, J. C. S. Iluminação natural em edifícios de escritórios: avaliação dinâmica de desempenho para São Paulo. **PARC Pesquisa em Arquitetura e Construção**, Campinas, SP, v. 9, n. 1, p. 19-34, mar. 2018. DOI: <https://doi.org/10.20396/parc.v9i1.8650725>.

NABIL, A.; MARDALJEVIC, J. Useful daylight illuminances: a replacement for daylight factors. **Energy and Buildings**, v. 38, n. 7, p. 905-913, July 2006. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2006.03.013>.

PEREIRA, D. C. L. **Iluminação Natural em Edifícios de Escritório: metodologia para a avaliação do desempenho luminoso**. 2017. 263 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil), Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo. São Paulo, São Paulo, 2017. DOI: <https://doi.org/10.11606/T.16.2018.tde-22062017-155747>.

RASTEGARI, M.; POURNASERI, S.; SANAEIAN, H. Analysis of daylight metrics based on the daylight autonomy (DLA) and lux illuminance in a real office building atrium in Tehran. **Energy**, v. 263, Part B, p. 125707, Jan. 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2022.125707>.

RASTEGARI, M.; POURNASERI, S.; SANAEIAN, H. Daylight optimization through architectural aspects in an office building atrium in Tehran. **Journal of Building Engineering**, v. 33, p. 1-29, Jan. 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2020.101718>.

REINHART, C. F. **Tutorial on the Use of Daysim Simulations for Sustainable Design**. Ottawa: Institute for research in Construction, National Research Council Canada, 2006.

RIBEIRO, P. V. S.; CABÚS, R. C. Análise da influência da malha de pontos em índices de avaliação de desempenho da luz natural. **Ambiente Construído**, v.19, n. 4, p. 317-333, Oct.-Dec. 2019. DOI: <https://doi.org/10.1590/s1678-86212019000400358>.

SUN, Y.; LIU, X.; QU, W.; CAO, G.; ZOU, N. Analysis of daylight glare and optimal lighting design for comfortable office lighting. **Optik**, v. 206, p. 164291, Mar. 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijleo.2020.164291>.

TURAN, I.; CHEGUT, A.; FINK, D.; REINHART, C. The value of daylight in office spaces. **Building and Environment**, v. 168, p. 1-39, Jan. 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2019.106503>.

UDHWANI, L.; SONI, A. Evaluation of daylighting performance in an office building: A case study. **Materials today proceedings**, v. 46, part 11, p. 5626-5631., 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.09.518>.

VITÓRIA (ES). **Lei nº9.271/2018 de 22 de maio de 2018**. Aprova o Plano Diretor Urbano do Município de Vitória e dá outras providências. Diário Oficial do Município de Vitória. 2018. Disponível em: <https://www.vitoria.es.gov.br/download.php?tipo=1&id=1914>. Acesso em: 15 de março de 2019.

1 Felipe Almeida Carpanedo

Arquiteto e Urbanista. Mestre em Arquitetura e Cidade. Pesquisador do Grupo de Pesquisas Arquitetura e Estudos Ambientais. Endereço postal: Avenida Comissário José Dantas de Melo, 21 - Boa Vista II, Vila Velha - ES, Brasil. CEP 29102-920.

2 Érica Coelho Pagel

Arquiteta e Urbanista. Mestre e doutora em Engenharia Ambiental. Professora do Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Cidade da Universidade Vila Velha. Líder do Grupo de Pesquisas Arquitetura e Estudos Ambientais. Endereço postal: Avenida Comissário José Dantas de Melo, 21 - Boa Vista II, Vila Velha - ES, Brasil. CEP 29102-920.

3 Ricardo Nacari Maioli

Arquiteto e Urbanista. Mestre em Engenharia Civil. Professor do Centro Universitário FAESA. Pesquisador do Grupo de Pesquisas Arquitetura e Estudos Ambientais. Endereço postal: Avenida Vitória, 2220 - Monte Belo, Vitória - ES, Brasil. CEP 29053-360.