

# Desempenho da luz natural em edifícios de escritórios brasileiros

## Daylight performance in Brazilian office buildings

Recibido: mayo 25 / 2020 • Evaluado: septiembre 16 / 2020 • Aceptado: septiembre 30 / 2023

Felipe de Almeida Carpanedo\*

Universidade Vila Velha. Vila Velha (Brasil)  
Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Cidade  
Grupo de Pesquisas Arquitetura e Estudos Ambientais

Érica Coelho Pagel\*\*

Universidade Vila Velha. Vila Velha (Brasil)  
Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Cidade  
Grupo de Pesquisas Arquitetura e Estudos Ambientais

Ricardo Nacari Maioli\*\*\*

Associação Educacional de Vitória. Vitória (Brasil)  
Unidade de Arquitetura e Urbanismo  
Grupo de Pesquisas Arquitetura e Estudos Ambientais

### RESUMO

O desempenho lumínico nos espaços de trabalho está relacionado às transformações das aberturas das fachadas ao longo do tempo. Esta pesquisa objetiva analisar o comportamento da luz natural em modelos de edifícios de escritórios na cidade de Vitória, Espírito Santo, Brasil. A metodologia utilizada são simulações computacionais através do software DIVA em uma sala de trabalho de edifícios representativos de três períodos: de 1950 a 1979, de 1980 a 1999 e de 2000 a 2016. Os resultados sugerem que a tipologia construtiva do período mais antigo apresente melhor resultado quanto à iluminância útil da luz do dia quando comparado às tipologias mais recentes. Com relação ao ofuscamento, os maiores percentuais de horas simuladas dentro da faixa intolerável são registrados no pavimento mais alto, com menor obstrução do céu. De forma geral, a presença do entorno obstruído impacta mais o desempenho dos edifícios contemporâneos.

### Palavras-chave:

edifícios comerciais; fachadas com entorno obstruído; iluminação natural; ofuscamento; simulação computacional

## ABSTRACT

The daylight performance of workspaces is related to the transformation of facade openings over time. This research aimed to analyze the behavior of natural light in models of office buildings in the city of Vitória, Espírito Santo, Brazil. The methodology used was computer simulations through DIVA software in a workspace of buildings representing three periods: from 1950 to 1979, from 1980 to 1999, and from 2000 to 2016. The results suggest that the building typology from the oldest period shows better results in terms of useful daylight illuminance compared to more recent typologies. In terms of glare, the highest percentage of simulated hours in the intolerable range was recorded on the highest floor, with less sky obstruction. In general, the presence of an obstructed environment has a greater impact on the performance of contemporary buildings.

## Keywords:

commercial buildings; obstructed building facades; daylighting; glare; computer simulation

## CÓMO CITAR

de Almeida Carpanedo, F., Coelho Pagel, Érica, y Nacari Maioli, R. (2024). Desempenho da luz natural em edifícios de escritórios brasileiros. *Revista de Arquitectura (Bogotá)*, 26(1) pp. 181-200. <https://doi.org/10.14718/RevArq.2024.26.3371>

- ✦ Graduado em Arquitetura e Urbanismo, Faculdade Multivix. Vitória (Brasil)  
Mestre em Arquitetura e Cidade. Universidade Vila Velha. Vila Velha (Brasil)  
◆ <https://scholar.google.es/citations?user=GzTcz8AAAAAJ&hl=pt-BR>  
📄 <https://orcid.org/0000-0002-9447-2644>  
✉ [facarpanedo@gmail.com](mailto:facarpanedo@gmail.com)
- ✦✦ Graduada em Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal do Espírito Santo. Vitória (Brasil)  
Mestra e doutora em Engenharia Ambiental, Universidade Federal do Espírito Santo. Vitória (Brasil)  
◆ <https://scholar.google.com/citations?hl=en&user=0-Tc1Z1AAAAJ>  
📄 <https://orcid.org/0000-0003-4484-1963>  
✉ [erica.pagel@uvv.br](mailto:erica.pagel@uvv.br)
- ✦✦✦ Graduado em Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal do Espírito Santo. Vitória (Brasil)  
Mestre em Engenharia Civil, Universidade Federal do Espírito Santo. Vitória (Brasil)  
◆ <https://scholar.google.com/citations?user=-QludnoAAAAJ&hl=pt-BR>  
📄 <https://orcid.org/0000-0002-4002-1688>  
✉ [ricardo.nacari@faesa.br](mailto:ricardo.nacari@faesa.br)

## INTRODUÇÃO

A luz tem grande influência nos espaços de trabalho e na vida humana, afetando o seu desempenho através do sistema visual, do ritmo circadiano, do humor e da motivação, sendo o seu efeito na visão o impacto mais óbvio (Turan et al., 2020). De acordo com Boubekri et al. (2014), as pessoas que trabalham em escritórios sob maior exposição à luz natural tendem a ser mais ativas e com melhor sono, por isso sugere-se um ambiente com exposição diurna suficiente a fim de promover a saúde e o bem-estar dos trabalhadores.

Entretanto, a tipologia dessas construções passou por uma transformação ao longo dos anos, de edificações de pequeno porte a edifícios maiores, a partir de 1860, possíveis pela introdução de novos materiais e técnicas construtivas na construção civil. As janelas, e conseqüentemente a presença da luz natural nos ambientes onde elas estão, também acompanharam tal evolução, resultando, a partir dos anos 2000, em uma abertura total da fachada, através das conhecidas “fachadas envidraçadas” (Andrade, 2007).

Edifícios com fachadas de vidro foram largamente difundidos em todo o mundo como símbolo de poder, inspirados no formalismo clean de Mies van der Rohe. Entretanto, essa tipologia implantada no clima tropical pode comprometer o conforto ambiental de seus usuários e a eficiência energética da edificação por não possuir características de adaptação climática e ser altamente dependente de sistemas artificiais (Lamberts et al., 2014). Além disso, com o intuito de amenizar parte dos ganhos energéticos obtidos por essas fachadas envidraçadas, novos elementos translúcidos, em geral representados pelos vidros, foram perdendo propriedades de transmissão luminosa (TL) e ganhando maior capacidade de reflexão e absorção da energia solar incidente. Entre a década de 1960 e 1970, a predominância era do vidro simples incolor (TL em torno de 0,88) que não somente permitia uma alta transmitância luminosa, mas também a passagem de uma alta taxa de radiação solar para dentro do edifício. Posteriormente, nos anos 1980 e início dos anos 1990, a predominância foi do vidro fumê ou bronze e, num período mais recente, passou a predominar os vidros reflexivos, podendo chegar a um TL em torno de 0,12, que absorve mais calor do que o vidro colorido e oferece uma boa refletância da radiação na região do infravermelho, porém com redução da transmitância visível (Li & Tsang, 2008). O tipo de vidro utilizado nas aberturas da envoltória é um fator que influencia no aporte de luz, interferindo também na qualidade da luz e no conforto visual de seus ocupantes (Arsenault et al., 2012; Taleb & Antony, 2020).

Uma vez que a fachada dos edifícios de escritórios e, conseqüentemente, suas aberturas através dos elementos translúcidos das janelas se alterou ao longo do tempo, tem-se que o desempenho lumínico no interior desses ambientes de trabalho também foi alterado.

A orientação e o tamanho das aberturas da fachada podem influenciar significativamente tanto na qualidade da visual do exterior quanto na própria qualidade lumínica do espaço, por isso as janelas e suas configurações são elementos construtivos de bastante interesse nos estudos de luz natural (Lee et al., 2017; Dias et al., 2018; Pilechiha et al., 2020; Yeom et al., 2020).

Outro fator de importância no desempenho da iluminação natural está diretamente ligado à exposição do edifício a maior parcela visível da abóboda celeste, muitas vezes relacionado à presença ou não de obstrução do entorno (Araújo & Cabús, 2007; Pereira et al., 2008; Dias et al., 2018; Chen et al., 2021).

Entre os métodos de maior potencial para a análise do desempenho da iluminação natural, encontra-se a simulação computacional, adotada por muitos autores na avaliação da luz natural em edifícios de escritório, podendo se citar, no Brasil, os estudos de Farkas & Laranja (2019), Laranja et al. (2016) e Maioli et al. (2014).

Conforme Mangkuto et al. (2016), parte das pesquisas utilizam como métricas de avaliação dinâmica, considerando variações das condições do céu ao longo do ano, como a iluminância natural útil (*useful daylight illuminances* [UDI]) e a autonomia de luz natural (*daylight autonomy* [DA]), baseados em valores de iluminância na altura do plano de trabalho. O conceito de UDI, desenvolvido por Nabil & Mardaljevic (2006), é um valor percentual das horas simuladas nas quais as iluminâncias permanecem dentro do intervalo considerado útil para ser aproveitada como fonte de luz. Essa métrica, juntamente com o DA, que trata da porcentagem de horas anuais em que um nível mínimo de iluminância pode ser mantido apenas pela luz natural, é a mais utilizada e difundida.

As métricas de uniformidade e ofuscamento também são amplamente estudadas quando se analisa o conforto do usuário com relação à iluminação natural (Mangkuto et al., 2016; Eltaweel & Yuehong, 2017; Sun et al., 2020). A falta de níveis adequados de uniformidade e de ofuscamento pode causar desconforto, excesso de consumo energético, entre outros fatores. Conforme Ribeiro & Cabús (2019), a uniformidade também se apresenta como um instrumento de avaliação da qualidade de iluminação nos ambientes e a sua forma

de cálculo é definida pela NBR ISO/CIE 8995 (Associação Brasileira de Normas Técnicas [ABNT], 2013). Já para o ofuscamento, segundo Jakubiec & Reinhart (2012), uma das melhores métricas utilizadas é o *daylight glare probability* (DGP), índice que avalia as iluminâncias presentes no plano vertical do campo de visão de um observador para todas as horas do ano.

Posto isso, o presente trabalho tem como objetivo analisar o desempenho da luz natural em uma sala de trabalho, em modelos de edifícios de escritórios representativos de diferentes períodos na cidade de Vitória, Espírito Santo, Brasil. São utilizadas simulações dinâmicas a fim de se avaliarem as métricas de UDI

e DA, a uniformidade e o DGP nas diferentes configurações simuladas.

Esta pesquisa trata-se de um estudo de investigação científica exploratória, resultado parcial de uma dissertação de mestrado, defendida na Universidade Vila Velha, Espírito Santo, Brasil. O estudo faz parte do projeto de pesquisa intitulado “Qualidade e sustentabilidade do ambiente construído”, do Grupo de Pesquisas Arquitetura e Estudos Ambientais, Gestão e Desempenho da Qualidade do Ambiente Construído”, que visa investigar o desempenho, a qualidade e a salubridade dos espaços construídos, bem como a produção do edifício e de áreas urbanas mais sustentáveis.

## METODOLOGIA

A metodologia deste trabalho foi dividida em duas partes: 1) construção dos modelos dos edifícios e 2) métricas utilizadas para a avaliação da luz natural.

### Construção dos modelos

O trabalho visou avaliar alguns parâmetros relativos ao conforto visual —iluminância, uniformidade e ofuscamento— num modelo de sala de trabalho, típico de edifícios de escritórios brasileiros. Para tal, foram utilizadas como base na construção dos modelos as características levantadas pela investigação de Maioli et al. (2016) acerca das transformações das fachadas em edifícios de escritórios em diferentes períodos construtivos na cidade de Vitória. Essa cidade, capital do Espírito Santo, localiza-se no sudeste da costa do Brasil (LAT 20° 19' 10" S LONG 40° 20' 16" W), caracterizando-se por um clima tropical litorâneo com temperaturas médias entre 18° C e 26° C, sendo mais elevadas no período do verão, e umidades relativas superiores a 50%. É a quarta cidade mais populosa do estado, com 327.801 habitantes (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística [IBGE], 2010), e tem experimentado um intenso processo de crescimento econômico e urbano nos últimos anos.

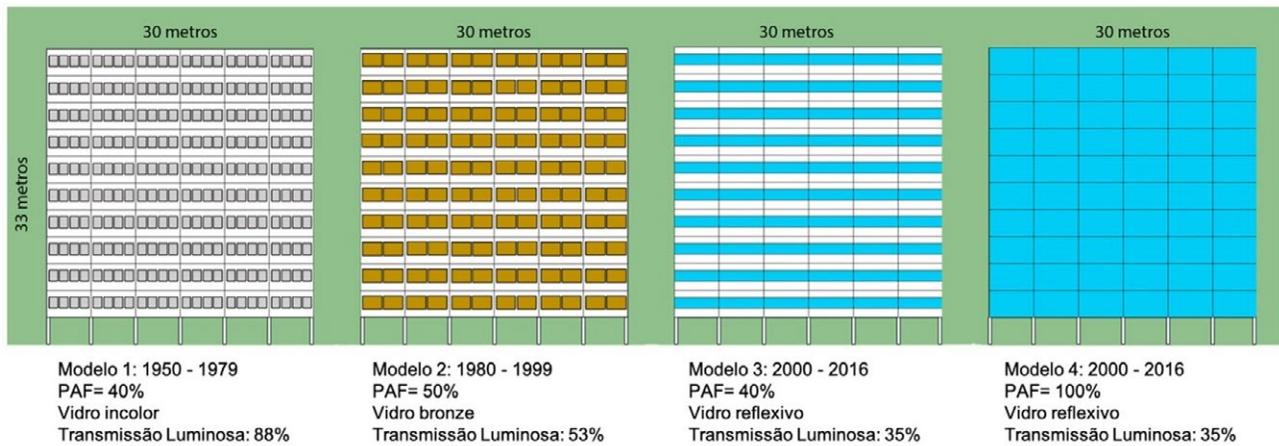
As características construtivas das edificações na cidade, levantadas por Maioli et al. (2016), foram feitas através de um mapeamento dos principais bairros que concentram os edifícios de escritórios de múltiplos pavimentos na região. Foram identificados, nesta pesquisa, 80 edifícios com esse

uso datados de 1950 até o final do levantamento em 2016. Por fim, os edifícios apresentados foram separados em três períodos, cujas características construtivas — número de pavimentos, forma, materiais da envoltória, tipologia de aberturas e outras — se assemelhavam.

O presente trabalho optou para a análise do comportamento da luz natural, a elaboração de quatro modelos de edificações de escritórios, com foco nas características construtivas dos elementos translúcidos que compõem as janelas. Essas características foram definidas pelo percentual de abertura da fachada (PAF) e o índice de transmissão à luz visível do vidro, representativos de cada período levantado pela então bibliografia.

O primeiro modelo (modelo 1) representa o período de 1950 a 1979, caracterizado por um PAF de 40% e utilização de vidro incolor, para o qual se adotou um índice de transmissão de 88%. O segundo período (modelo 2), de 1980 a 1999, é caracterizado por um PAF de 50% e utilização de vidro bronze, adotando-se um índice de transmissão de 53%. Por fim, tem-se os dois últimos modelos referentes ao período de 2000 a 2016, cuja característica principal é o uso do vidro reflexivo, para os quais se adotou um índice de transmissão de 35% (Figura 1). A decisão de se investigar dois modelos referentes a um mesmo período é devido a um equilíbrio entre essas duas soluções construtivas de janelas utilizadas entre 2000 e 2016, sendo que o modelo 3 e o modelo 4 representam o uso de um PAF de 40% e 100%, respectivamente.

**Figura 1.** Modelos de edifícios representativos dos períodos analisados

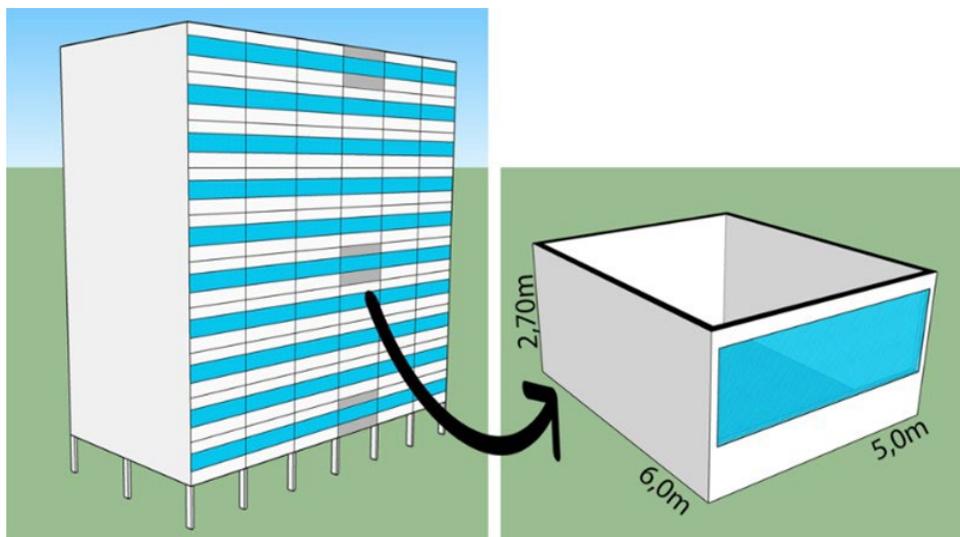


Fonte: elaboração própria (2023).

Com o intuito de explorar mais dados sobre o mesmo objeto de estudo, as características do pavimento-tipo e da sala são as mesmas encontradas em outras pesquisas (Maioli et al., 2014; Mapelli et al., 2018). O edifício modelo possui 10 pavimentos-tipo sobre pilotis e a sala com dimensões de 5,0 x 6,0 x 2,7 m

(Figura 2). As simulações ocorreram considerando quatro orientações diferentes da fachada principal (Norte, Sul, Leste, Oeste). As refletâncias das superfícies internas do teto, das paredes e do piso foram definidas com 70%, 50% e 20%, respectivamente (Brembilla & Mardaljevic, 2019).

**Figura 2.** Edifício modelo 3 com destaque para a sala de estudo no 5º pavimento

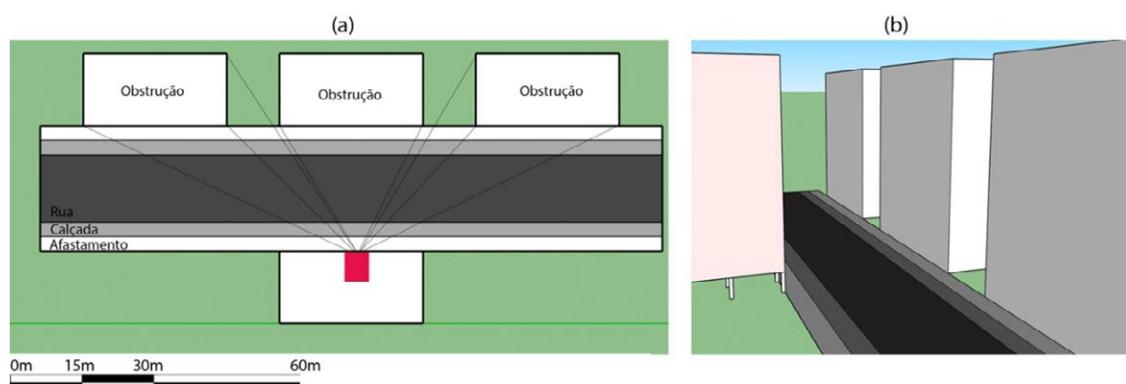


Fonte: elaboração própria (2023).

Dada a importância da caracterização de contexto urbano ou entorno da edificação na disponibilidade de luz natural admitida pela abertura (Petersen et al., 2014; Chen et al., 2021), para se obter uma avaliação mais

abrangente, foi analisada a influência de um entorno obstruído na admissão da luz nos edifícios simulados (Figura 3). A refletância do entorno foi configurada com valor de 40% e do piso exterior, com 20% (Laranja et al., 2016).

**Figura 3.** (a) Implantação do modelo estudado com entorno obstruído, (b) Volumetria do modelo estudado com obstruções do entorno



Fonte: elaboração própria (2023).

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 (Prefeitura Municipal de Vitória, 2018). A fim de avaliar o impacto do entorno, foi definida a localização das salas em três diferentes níveis com relação ao térreo: 1º, 5º e 10º pavimentos-tipo.

O edifício foi modelado no software Google Sketchup, importado para o software Rhinoceros, e a simulação da luz natural foi realizada utilizando o plug-in DIVA-for-Rhino, como em Bardhan & Debnath (2016). Essa ferramenta de simulação utiliza o método dinâmico de simulação de luz do dia do software Daysim, baseado no Radiance e validado por Reinhart & Walkenhorst (2001).

Foi configurada no software uma malha de pontos com distância de 0,5 m entre si, numa altura de 0,75 m em relação ao piso e com uma faixa marginal de 0,5 m das paredes (ABNT, 2013), resultando em um montante de 99 pontos. Para as simulações dinâmicas da luz, o período empregado foi correspondente a um ano inteiro, utilizando o arquivo climático de Vitória, formato EPW (Laboratório de Eficiência Energética em Edificações [LabEEE], 2019), no qual foi avaliado o horário comercial de 8h a 12h e de 14h a 18h, referente a uma jornada de 8h diárias de trabalho, com intervalo no horário de almoço.

### Métricas utilizadas para a avaliação da luz natural

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 num ambiente de trabalho não é proporcionado apenas por essa única característica da iluminação (Dias et al., 2018). Posto isso, para uma avaliação mais abrangente do comportamento e, conseqüentemente, da qualidade da iluminação natural dentro do ambiente modelado, foram utilizados como métricas, além dos níveis de iluminância, a uniformidade e o ofuscamento.

No total, considerando variação de modelos, orientações da fachada principal, altura dos pavimentos e presença ou não do entorno obstruído, neste trabalho, foram realizadas 192 simulações dinâmicas, para a extração dos resultados, além de simulações estáticas para a análise de uniformidade e de ofuscamento.

### Avaliação dos níveis de iluminância

Como método de avaliação dos níveis de iluminância internos, foram utilizados dois conceitos: a UDI e a DA.

A métrica UDI, proposta por de Nabil & Mardaljevic (2006) e amplamente utilizada em pesquisas na área de iluminação e eficiência energética (Maioli et al., 2014; Bardhan & Debnath, 2016; Mangkuto et al., 2016; Mapelli et al., 2018; Sun et al. 2018; Ribeiro & Cabús, 2019), a qual 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.

Algumas pesquisas, como Maioli et al. (2014) e Mapelli et al. (2018), também se utilizam de uma subdivisão 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 luz natural com iluminação artificial, quando os níveis de iluminância estiverem entre 100 e 500 lux.

O 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). Esse fator pode variar bastante em função das condições climáticas, da localização e do horário de ocupação do ambiente analisado, por exemplo. 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.

### Avaliação da uniformidade

De acordo com a NBR ISO/CIE 8995-1 (ABNT, 2013), utilizada para nortear projetos de iluminação artificial em ambientes de trabalho, a uniformidade é calculada pela razão entre a iluminância mínima e a média do ambiente, sendo que o recomendado para ambientes de trabalho com layout flexível é que esse valor não seja inferior a 0,6, mas é considerada aceitável entre 0,5 e 0,6. Entretanto, essa métrica pode ser aplicada também para a avaliação da qualidade da iluminação natural (Mangkuto et al., 2016; Ribeiro & Cabús, 2019). Dessa forma, a uniformidade foi calculada avaliando os valores de iluminância de todos os pontos simulados na sala modelada, dispostos em uma malha horizontal, na altura do plano de trabalho, também a altura de 75 cm do nível do piso.

Uma vez que essa característica também deve ser alterada gradualmente e a área da tarefa deve ser iluminada da forma mais uniforme possível (ABNT, 2013), 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 (Mapelli et al., 2018). Contudo, os índices de uniformidade previstos na referida norma foram citados apenas como parâmetro de comparação com os valores obtidos nos modelos.

Para a avaliação dessa métrica, foram analisados os quatro modelos de edifício, em diferentes orientações (Norte, Sul, Leste e Oeste) e em três dias do ano (equinócio de outono e solstícios de verão e de inverno), através de simulação estática nos horários 8h, 10h, 14h e 16h. Tais horários foram escolhidos para possibilitar a análise do desempenho da luz natural

no período de funcionamento desses espaços comerciais. Para a simulação, foi configurado o céu claro (Commission Internationale de L'Eclairage — Comissão Internacional de Iluminação [CIE] 12), visto que é o que apresenta as maiores variações na uniformidade de um ambiente. Para uma análise média representativa da uniformidade nos modelos propostos, foram analisados apenas os dados das simulações do 5º pavimento. Os dados extraídos foram inseridos em planilhas eletrônicas, nas quais foram identificados os valores médios e mínimos para o cálculo do índice de uniformidade.

### Avaliação do ofuscamento

Nesse método de avaliação de desconforto visual, desenvolvido por Wienold & Christoffersen (2006), são avaliadas as iluminâncias presentes no plano vertical do campo de visão de um observador para todas as horas do ano, através do índice DGP, que é dividido em quatro 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. Essa métrica foi analisada através de simulações dinâmicas, buscando identificar os percentuais de horas anuais em que era observado algum desconforto na comparação entre os modelos, conforme observado em Leal & Leder (2018).

Na investigação do desempenho da luz natural, especificamente nessa métrica, foram analisadas algumas simulações estáticas, a fim de compreender melhor as diferenças entre os resultados obtidos nas simulações dinâmicas. Para isso, foram analisados os horários e as orientações que registraram os maiores índices de desconforto. Dessa forma, foi possível fazer uma comparação entre os modelos, através das imagens de “olho de peixe” referentes a um ponto de visualização da janela a partir do centro do ambiente simulado, a fim de identificar a diferença de desempenho entre eles (Jakubiec & Reinhart, 2012). Os resultados das simulações dinâmicas e estáticas visam compreender a influência do ofuscamento quantitativa e qualitativamente, respectivamente, no ambiente estudado.

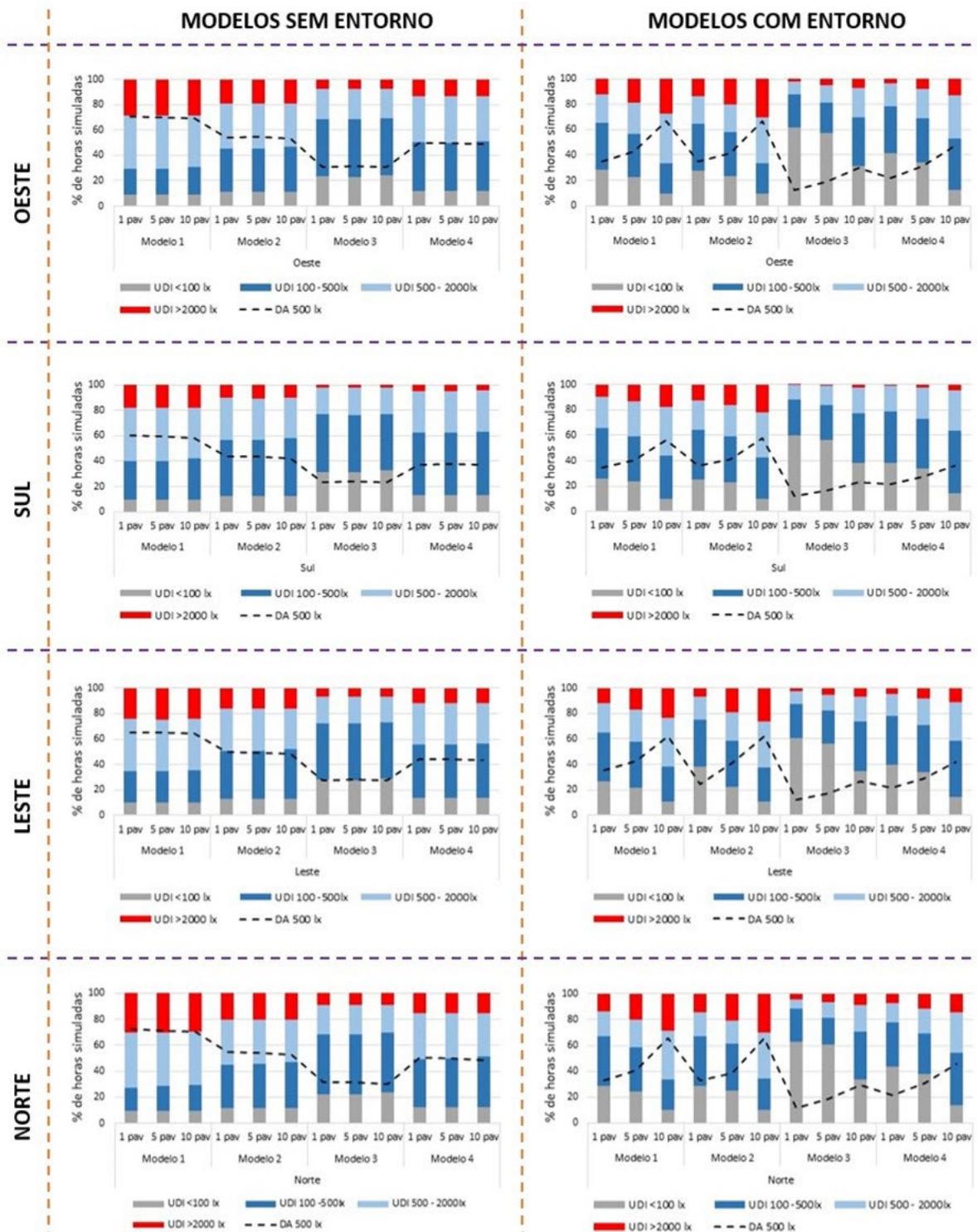
## RESULTADOS

Os resultados extraídos dos dados das simulações foram separados de acordo com as métricas analisadas: níveis de iluminância, uniformidade e ofuscamento.

### Níveis de iluminância

Na Figura 4, é possível analisar os percentuais de horas simulados dentro dos intervalos da UDI para cada modelo, orientação e pavimento analisado, considerando a presença ou não de obstrução do entorno, para todos os dias do ano.

**Figura 4.** Resultados de UDI e DA para os quatro modelos estudados, com e sem a presença do entorno, separados por orientação da fachada principal



Fonte: elaboração própria (2023).

Também foram inseridos nos gráficos os dados referentes ao DA, a fim de facilitar a comparação entre os modelos. É possível observar, por exemplo, que há uma relação entre DA e UDI quando são analisados os dados de iluminâncias excessivas e insuficientes. Quanto maiores os percentuais de iluminâncias acima de 2000 lux, menores os de iluminâncias abaixo de 100 lux e maiores os valores de DA.

Ao se compararem os dados referentes a diferentes alturas de pavimentos em um mesmo

modelo sem o entorno obstruído, é possível observar que a diferença entre os resultados é pequena. Quando analisados os percentuais referentes ao DA, percebe-se que a diferença média entre o 1º e o 10º pavimento foi inferior a 2,4%. Ou seja, quanto mais alto o pavimento, menores eram os valores registrados acima de 500 lux. Esses dados reforçam a ideia de que, mesmo com uma refletância de apenas 20%, o solo externo contribui para aumentar os níveis de iluminância registrados na altura do plano de trabalho, conforme exemplificado por Araújo & Cabús (2007); esse aporte de luz é

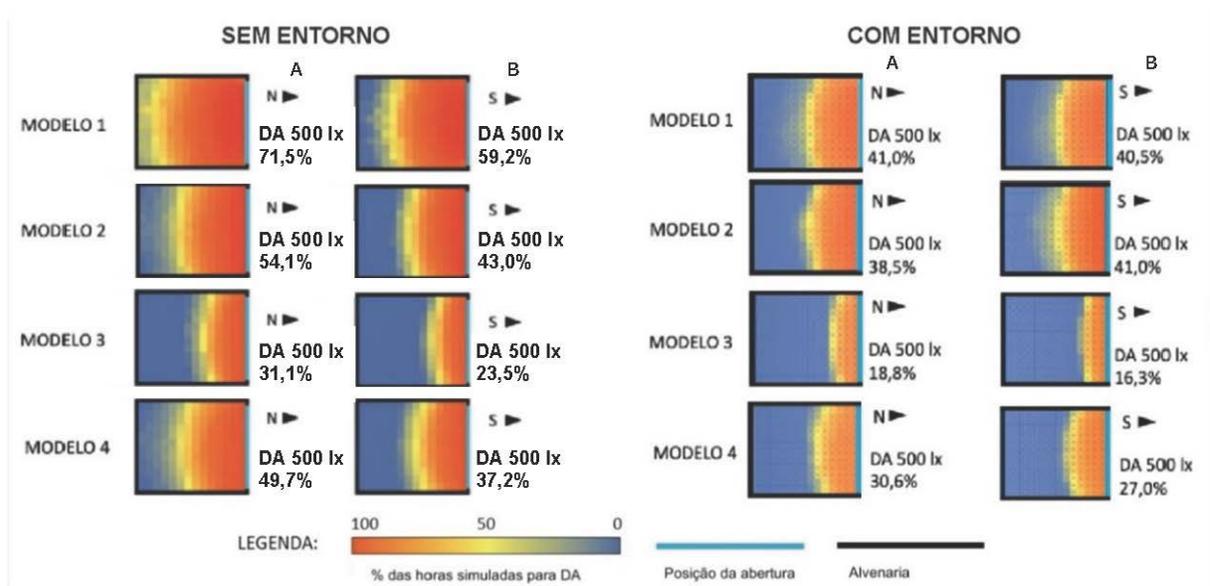
maior nos pavimentos mais próximos do solo. Nesse caso, o modelo menos influenciado pela altura do pavimento foi o modelo 3, representativo do período de 2000 a 2016 com PAF de 40%, que apresentou uma redução de apenas 1,9% dos valores de DA no 10º pavimento, se comparados aos resultados do 1º pavimento.

Todavia, quando simulados os modelos com a presença dos edifícios no entorno, os resultados indicam uma redução média de 49% nos valores de DA quando comparados os dados do 10º com os do 1º pavimento. Os resultados se invertem, com os maiores valores nos pavimentos mais altos, com menor obstrução da parcela visível do céu. O modelo 1, representativo do período de 1950 a 1979, registrou uma redução de 45,2% dos valores de DA, enquanto os modelos 2 e

4 registraram redução de 49% no pavimento mais próximo do nível da rua. O modelo mais influenciado pela presença do entorno nessa métrica foi o modelo 3, que apresentou redução de 55,6% dos valores de DA no 1º pavimento se comparados ao pavimento mais alto.

Para uma visualização mais clara da influência do entorno, estão exemplificados na Figura 5 os percentuais de horas registradas no ano com iluminâncias acima de 500 lux para as simulações com fachadas orientadas para Norte e Sul referentes ao 5º pavimento. Esse andar foi escolhido na análise por representar um nível intermediário entre os pavimentos da tipologia simulada e, assim, seus valores podem se aproximar da média geral, caso fossem avaliados os resultados de todos os pavimentos.

**Figura 5.** Planta baixa esquemática da sala de trabalho simulada com ocorrência anual de DA > 500 lux nas orientações (a) Norte e (b) Sul referente ao 5º pavimento de cada modelo

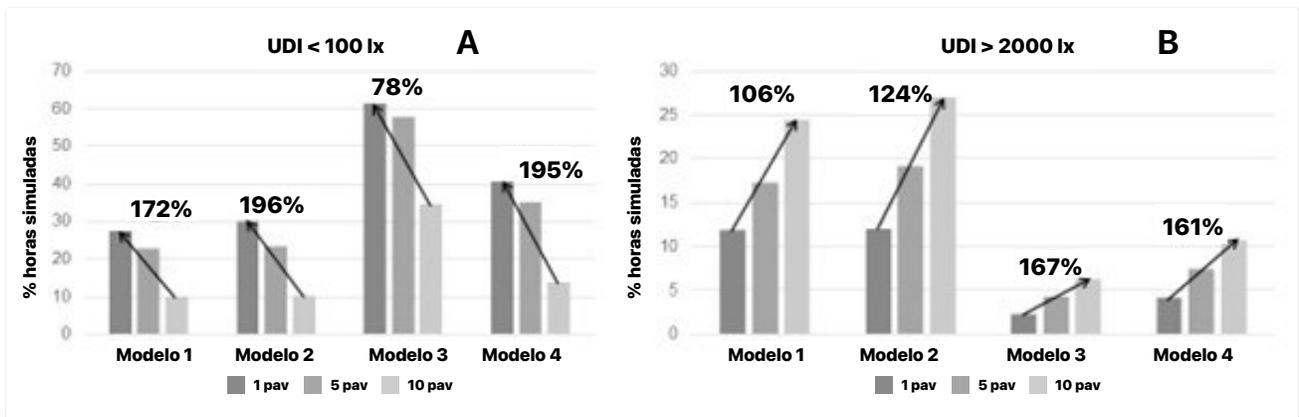


Fonte: elaboração própria (2023).

O modelo 1, representativo do período de 1950 a 1979, orientado para Norte, alcançou a maior quantidade de ocorrências de iluminâncias acima de 500 lux, com 71,5% das horas simuladas. Entretanto, quando simulada a mesma orientação com a presença do entorno, essa métrica decaiu para 41% das horas simuladas. Essa é a combinação de modelo e orientação que foi mais influenciada nos níveis de iluminância interna de seus espaços de trabalho pelo processo de verticalização urbana. Já no modelo 2, representativo de período de 1980 a 2000, orientado para Sul, foi registrado um decréscimo de apenas 2% de DA quando comparados os modelos com e sem entorno.

Destaca-se também o aumento considerável dos horários com iluminâncias abaixo de 100 lux nos pavimentos mais baixos simulados nos modelos com obstrução do entorno. A diferença média observada foi 17% superior, se comparada aos valores de UDI < 100 lux do 5º pavimento, e um aumento de 160% de horários registrados com iluminâncias insuficientes quando comparados os dados do 1º com os do 10º pavimento. O modelo que registrou os maiores valores absolutos nessa faixa de iluminâncias insuficientes, em todos os pavimentos e orientações simulados, foi o modelo 3, representativo do período de 2000 a 2016, com PAF de 40%. Entretanto, essa tipologia arquitetônica foi a que apresentou a menor diferença entre os resultados dos pavimentos (Figura 6).

**Figura 6.** Comparativo entre os resultados de iluminâncias (a) insuficientes e (b) excessivas nos diferentes pavimentos para os quatro modelos estudados com entorno obstruído



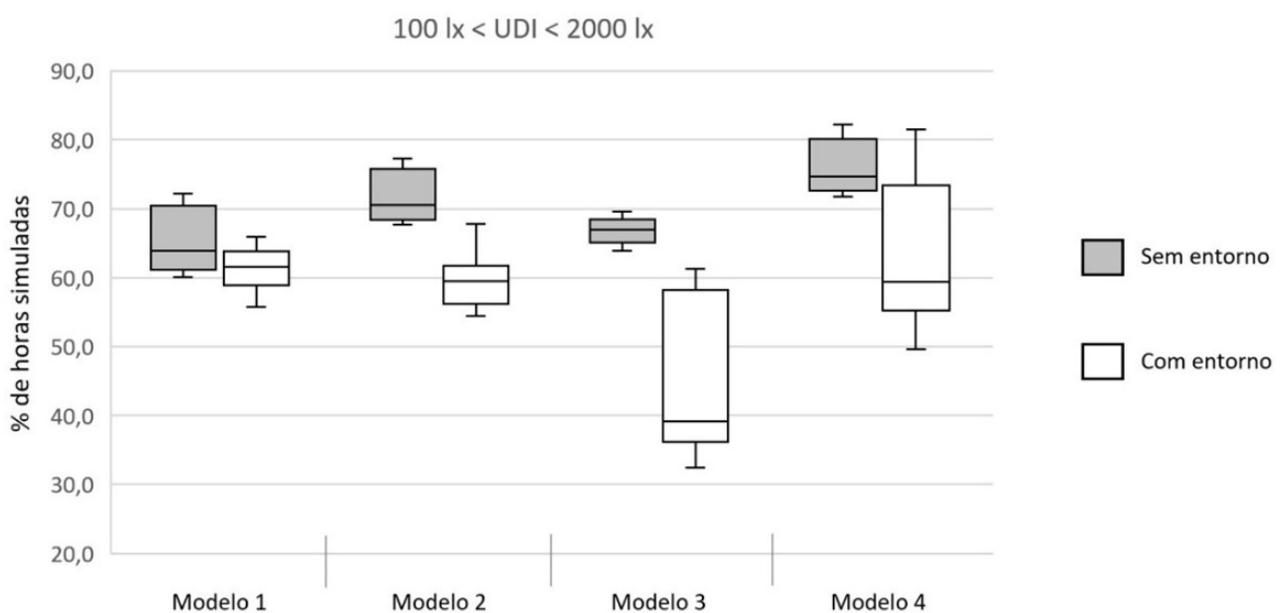
Fonte: elaboração própria (2023).

Outra característica observada nessa comparação entre pavimentos, nos modelos com entorno obstruído, conforme observado em outras pesquisas (Maioli et al., 2014), é que há um aumento das iluminâncias consideradas excessivas dentro dos ambientes simulados com o aumento do nível do pavimento analisado. Entretanto, nessa investigação, foi possível mensurar seu impacto nessa métrica, através das simulações propostas. Novamente, o modelo 3 foi o que sofreu maior influência, pois apresentou um aumento de 167% dos horários com iluminâncias acima de 2000 lux ao se comparar os dados do 1º pavimento com os do

10º. Entretanto, foi o que apresentou menores valores absolutos desse intervalo de UDI.

Os modelos com a obstrução configurada nas simulações apresentaram uma média de 18,1% a menos de horas dentro do intervalo de iluminação útil. Como observado na Figura 7, comparando-se todos os modelos, o edifício que mais foi impactado com a presença do entorno foi o modelo 4 (com PAF de 100%), que apresentou redução de 33,6%, enquanto no modelo 1 (predominantemente no período de 1950 a 1979), observa-se uma diminuição de apenas 4,8% de horas simuladas dentro do intervalo de iluminação útil.

**Figura 7.** Comparação entre a iluminação útil nos quatro modelos considerando a presença ou não do entorno obstruído



Fonte: elaboração própria (2023).

Na faixa de iluminâncias registradas entre 100 e 500 lux, o modelo 3 apresenta os maiores percentuais na maioria das variações simuladas. A principal exceção, que alcançou os maiores resultados absolutos entre todos os modelos e

as orientações nesse intervalo de iluminâncias, é o modelo 4, com fachada orientada para o Sul, que registrou iluminâncias entre 100 e 500 lux em mais de 49% das horas simuladas nas três alturas de pavimentos analisados.

Outro fato importante é a análise da faixa de iluminância útil que não necessita de iluminação complementar, ou seja, entre 500 e 2000 lux. A tipologia construtiva que apresentou os maiores percentuais de horas simuladas nesse intervalo foi a do modelo 1, em todas as situações simuladas, seja na comparação entre orientações, seja nas tipologias ou altura do pavimento. Na situação oposta, a tipologia referente ao modelo 3 apresentou o pior resultado em todas as variações supracitadas, para esse intervalo de iluminância útil.

### Análise da uniformidade

Na análise dos índices de uniformidade, foi possível observar que os valores indicados pela NBR ISO/CIE 8995-1 (ABNT, 2013) não foram alcançados em nenhuma das situações simuladas, independentemente da orientação, do horário do dia ou do período do ano.

Na análise dos dados, pelo método proposto baseado na referida norma técnica (ABNT, 2013), quando separados por orientações, alguns resultados já esperados foram notados. Na fachada Sul, por exemplo, são observados os maiores índices médios entre as orientações, apresentando percentuais inferiores aos demais apenas no período do verão, cuja trajetória solar na cidade de Vitória se encontra presente na região visível da abóboda celeste a partir dessa fachada. Esse fato é intensificado apenas nos horários simulados em que o Sol está com os menores ângulos de altura solar e num ângulo mais perpendicular à fachada, se comparado aos demais.

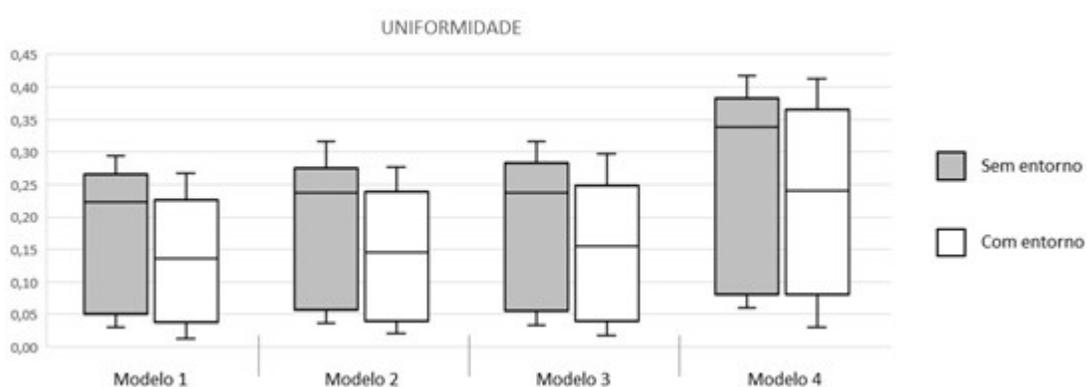
Por motivos similares, a fachada Norte apresentou os maiores valores de uniformi-

dade quando a trajetória do Sol não estava presente na parcela visível do céu a partir da referida fachada, ou seja, no solstício de verão; nesse período, foram observados os maiores valores médios de uniformidade. Assim como já era esperado que as fachadas Leste e Oeste apresentassem maiores valores de uniformidade nos horários em que não há a incidência de radiação solar direta, referentes ao período da tarde e da manhã, respectivamente. Conclusões similares foram indicadas por Maioli et al. (2014), quando os modelos estavam configurados sem elementos de proteção ou redirecionamento de luz nas fachadas.

Quando observados os resultados do conjunto de simulações realizadas, no qual foram contabilizados os dados dos horários, dos meses, das orientações e dos pavimentos simulados com e sem a presença do entorno, é possível constatar que o entorno impactou negativamente no desempenho médio geral dos modelos, com uma redução global de 19,4% nos índices de uniformidade.

Considerando todos os horários simulados, nas simulações das fachadas orientadas para Sul, a média dos índices de uniformidade passou de 0,256 para 0,208, quando configurada a presença do entorno obstruído. Na fachada Norte, o valor médio reduziu de 0,153 para 0,108, enquanto nas orientações Leste e Oeste, a simulação com o entorno diminuiu a média das uniformidades de 0,183 e 0,182 para 0,156 e 0,156, respectivamente. Proporcionalmente, o modelo 4 de edifício, representativo do período de 2000 a 2016 com PAF 100%, foi o menos impactado com relação à uniformidade (Figura 8).

**Figura 8.** Comparação dos níveis de uniformidade entre os modelos representativos



Fonte: elaboração própria (2023).

O modelo 4 obteve os melhores resultados com relação a essa métrica. Um dos fatores que pode ter contribuído para o desempenho superior desse modelo é a altura da abertura, lembrando que esse é o único modelo em que a abertura está alinhada com o teto e

representa toda a largura e a altura daquela vedação vertical. De acordo com Baker et al. (2010), quanto mais altas as janelas, maior o alcance da luz em profundidade no ambiente, contribuindo para uma melhor distribuição da luz.

Os três primeiros modelos alcançaram resultados muito próximos, pois suas janelas possuem dimensões e posições similares, apesar do formato distinto e com a diferença entre os índices de transmissão dos vidros. De todos, o modelo 1, equipado com vidro incolor de índice de transmissão luminosa de 88%, revelou os piores valores médios, seguido do modelo com vidro bronze, representado pelo índice de transmissão luminosa de 53%.

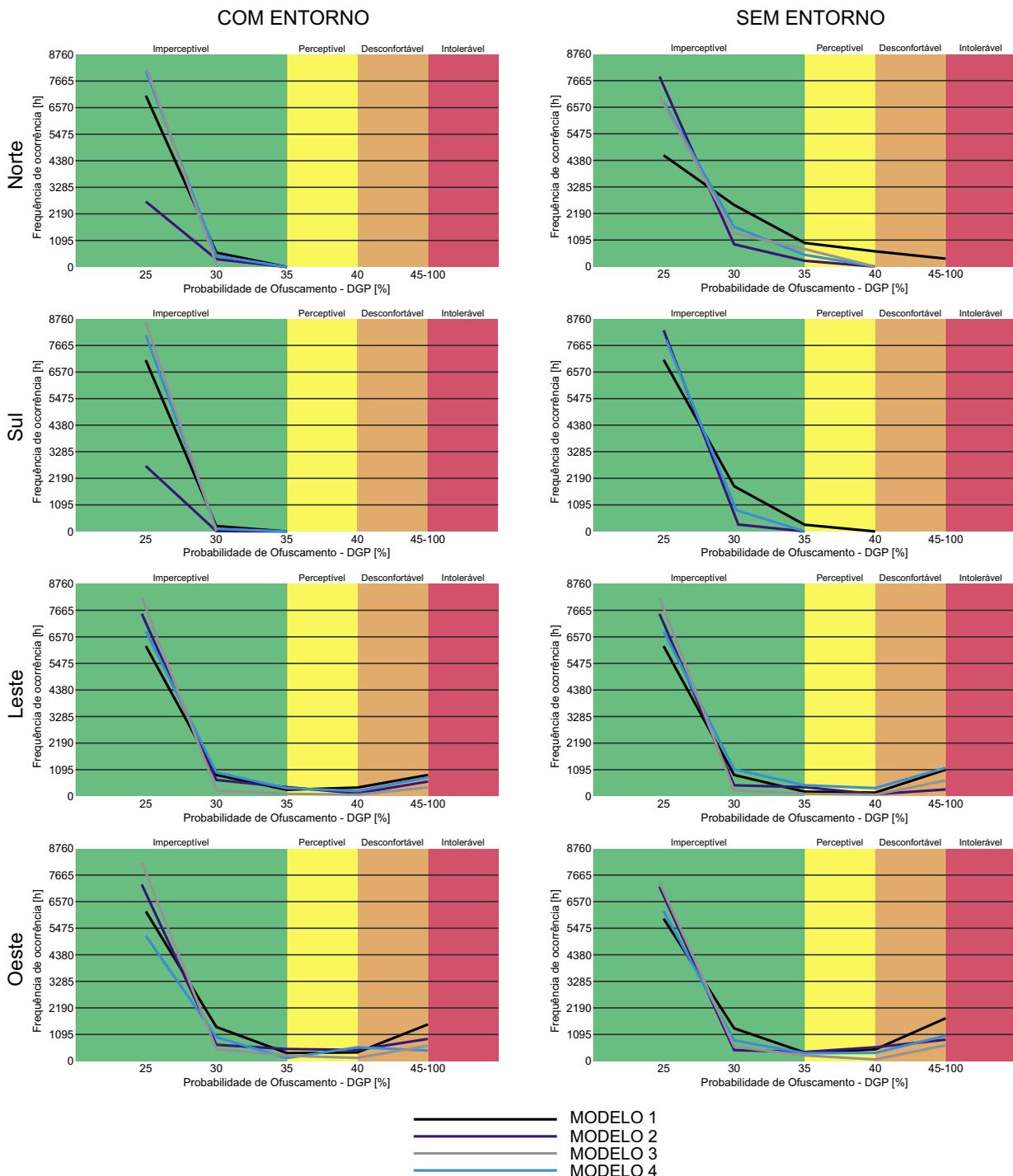
### Análise do ofuscamento

Analisando os resultados das simulações dinâmicas relativas a essa métrica, é possível perceber que, de modo geral, a presença do entorno reduziu as ocorrências de desconforto visual em 63%, o que ocorreu principalmente nas fachadas

Leste e Oeste das situações simuladas, conforme observado na Figura 9. Observação similar, relatando que o aumento da obstrução do entorno reduz a probabilidade de ofuscamento, também é encontrada em Leal & Leder (2018).

Entretanto, no conjunto das simulações analisadas, a maioria das horas simuladas foi identificada com níveis de DGP superiores a 0,35, ou seja, que não se encontram na faixa dos imperceptíveis, em 1,9% e 5,1% das horas simuladas com e sem entorno, respectivamente. Cabe aqui ressaltar que foram contabilizadas todas as 8.760 horas de um ano, ou seja, estão incluídos nesses percentuais os horários em que não há luz natural disponível para provocar ofuscamento, por isso as situações de ofuscamento imperceptível se tornam mais comuns.

**Figura 9.** Gráficos das simulações dos quatro modelos com e sem o entorno, separados por orientação, com apresentação dos índices DGP para o total de horas simuladas



Fonte: elaboração própria (2023).

A tipologia simulada que se destacou negativamente com os maiores valores de DGP foi o modelo 1, que tem como características o vidro incolor e o PAF de 40%. Essa tipologia apresentou os maiores índices de ofuscamento entre todos os modelos em todas as orientações simuladas e nas duas situações, com e sem entorno.

Esse fato se torna facilmente perceptível nas simulações em que os outros modelos quase não apresentaram desconforto por brilho excessivo no campo de visão do observador, como é o caso da orientação Norte sem entorno. Essa fachada é a que recebe a maior carga de radiação ao longo do ano no Hemisfério Sul, por causa da trajetória solar mais presente nessa porção do céu. Nesse caso, foram computados 0,3% e 8,4% de horas simuladas em que foram observados índices DGP superiores a 0,35, referentes aos modelos com e sem entorno, respectivamente, enquanto nas demais tipologias as situações de ofuscamento foram quase nulas.

A tipologia simulada que apresentou o segundo pior desempenho geral com relação ao ofuscamento foi o modelo 4, cujo vidro foi simulado com transmissão luminosa de 35%, porém com PAF de 100%. Essa tipologia também obteve valores expressivos nas situações com orientação Leste e Oeste, principalmente nas simulações sem entorno. Esse modelo obteve os maiores percentuais de horas simuladas com ofuscamento intolerável quando simulados para Leste, com 1,3% e 5,4%, com e sem a presença do entorno, respectivamente.

Outro fato que merece destaque é a influência do entorno no modelo 2, que foi mais significativa que na tipologia representada pelo modelo 3. Nas orientações Leste e Oeste simuladas sem entorno, o modelo 2 apresentava mais horas totais com algum tipo de ofuscamento, em comparação com o modelo 3. Entretanto,

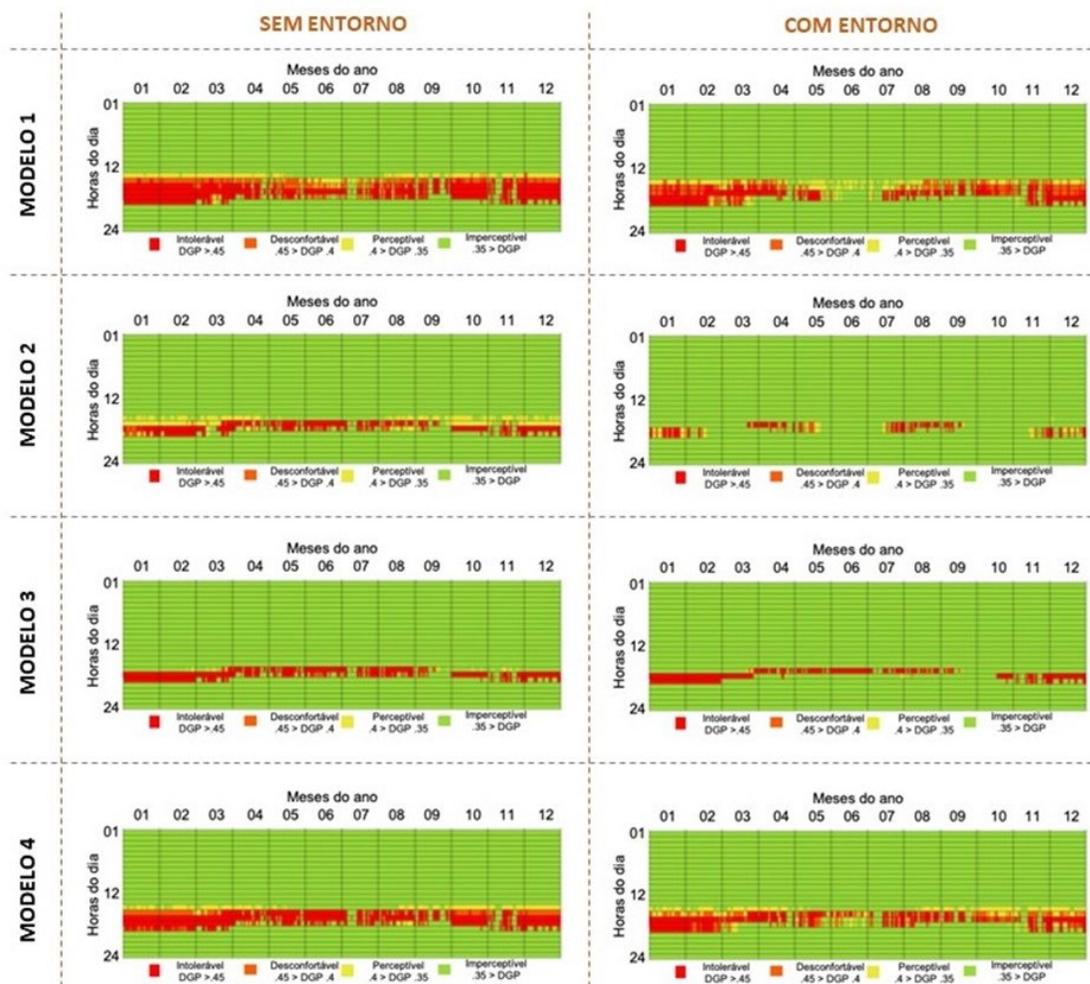
quando simulada com o entorno, a situação se inverteu, ou seja, a presença do entorno teve um impacto mais positivo na avaliação dessa métrica para o modelo 2 nessas orientações, com uma redução média de 87% de registros de DGP acima de 0,35. Nas demais orientações, as duas tipologias não apresentaram horas com registro desse desconforto visual. Entretanto, no cômputo de todas as variações de simulação, o modelo 3 apresentou menos ocorrências de ofuscamento entre todas as tipologias analisadas.

Na orientação Oeste com a presença do entorno, o modelo 1 apresentou resultados similares ao modelo 4, mas ainda destoando dos demais modelos. Quando analisada a fachada Oeste e sem a presença do entorno, a diferença entre o modelo 1 e os demais se torna mais acentuada.

É nessa orientação inclusive que é observada a situação mais crítica de todas as simulações, com 11,2% das horas com ofuscamento intolerável e com 18% de algum tipo de ofuscamento. Desconsiderando os horários em que não há a presença da luz natural, pode-se dizer que esse modelo tenha apresentado ofuscamento em mais de 1/3 das horas de trabalho, com o período da tarde apresentando ofuscamento intolerável em muitos dias ao longo do ano, conforme observado na Figura 10. Essa situação contribui para corroborar o pior desempenho das situações simuladas na análise da métrica proposta.

É possível perceber que a presença do entorno proporcionou a redução da ocorrência de ofuscamento em alguns horários ou até meses do ano, como, por exemplo, no modelo 2, em que esse desconforto se torna imperceptível entre meados de fevereiro e março, além de todos os meses de junho a outubro. Isso se deve ao fato de a presença do entorno obstruir parte da visualização da abóboda celeste que pode abrigar uma parcela da trajetória do Sol, principal responsável pelo ofuscamento.

**Figura 10.** Simulação de DGP com comparativo entre os modelos 1, 2, 3 e 4 com e sem a presença de entorno, orientados para Oeste



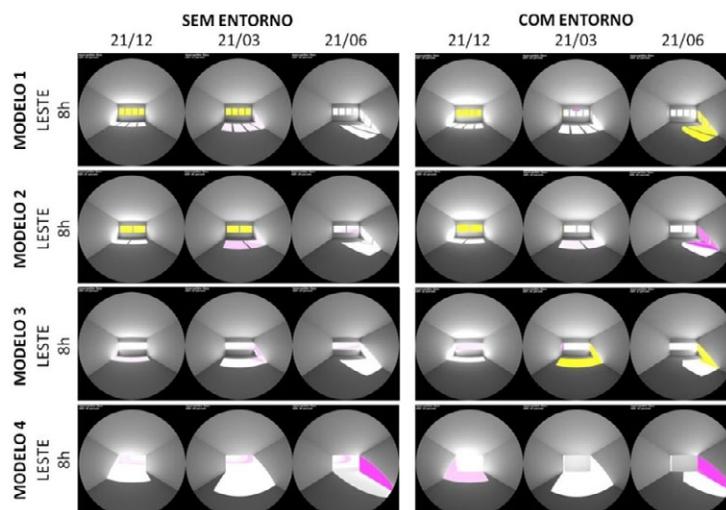
Fonte: elaboração própria (2023).

Uma análise mais aproximada se faz necessária para facilitar a compreensão das ocasiões, através da visualização e da identificação dos períodos e dos horários com maior ocorrência de ofuscamento. Nas simulações dinâmicas de DGP para Leste e Oeste, orientação com maiores índices de desconforto, identificou-se a maior ocorrência de ofuscamento nos quatro modelos no período da manhã e da tarde, respectivamente. Dessa forma, foram escolhidos os horários das 8h e das 16h, nos solstícios e nos equinócios, nos quais se analisou

também qualitativamente o desconforto visual por simulações estáticas nesses horários em que o Sol está numa altura que favoreça a penetração pelas aberturas e, assim, possibilitar a comparação entre os modelos.

No caso das simulações configuradas para as 8h, percebe-se que houve uma maior interferência do entorno no dia 21 de junho, sendo que, nos outros períodos simulados, essa interferência não se apresentou muito significativa (Figura 11).

**Figura 11.** Imagens renderizadas dos modelos, orientados para Leste, simulados no período das 8h dos dias 21/12, 21/3 e 21/6, no 5º pavimento, com e sem a presença de entorno

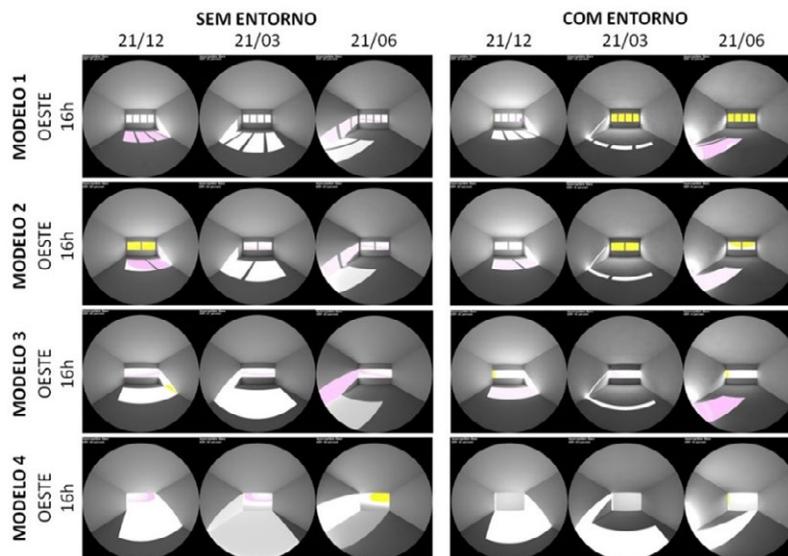


Fonte: elaboração própria (2023).

No caso das fachadas orientadas para Oeste, já se espera a ocorrência desse desconforto visual no período da tarde, quando a radiação solar direta penetra pela abertura, gerando manchas iluminadas no interior do ambiente. Esse fenômeno resulta num brilho excessivo dessas superfícies, cujos níveis de iluminância são muito superiores aos registrados

no entorno, o que acarreta um aumento dos contrastes registrados no campo visual do observador e, conseqüentemente, reduz a uniformidade. A análise qualitativa através das renderizações obtidas pelas simulações estáticas possibilitam identificar o registro dessas ocorrências na comparação entre os modelos simulados na orientação oeste (Figura 12).

**Figura 12.** Imagens renderizadas dos modelos, orientados para Oeste, simulados no horário das 16h dos dias 21/12, 21/3 e 21/6, no 5º pavimento, com e sem a presença de entorno



Fonte: elaboração própria (2023).

Os horários simulados favoreceram a visualização das áreas ensolaradas sobre o piso na comparação entre os modelos simulados nas duas orientações, assim como a obstrução de parte dessas manchas causadas pelos edifícios vizinhos. A identificação das manchas ensolaradas se torna uma tarefa de fácil percepção,

como observado nas imagens geradas dos modelos simulados nas orientações Leste e Oeste, auxiliando na compreensão dos resultados obtidos nas simulações dinâmicas, que apresentavam redução significativa de ofuscamento nos dias próximos aos equinócios e aos solstícios.

## DISCUSSÕES

De forma geral, o modelo de edifício menos influenciado pelo entorno com relação à iluminância excessiva foi o referente ao período mais antigo, de 1950 a 1979. Na média das quatro tipologias construtivas estudadas, os resultados de UDI excessiva (> 2000 lux) do 10º pavimento superaram os do 1º pavimento em 139,6%, quando modelado com a presença de edificações vizinhas. Essa obstrução também provocou uma diminuição da disponibilidade de luz nos pavimentos mais baixos, aumentando o registro de horas com iluminância insuficiente (< 100 lux).

Ao se comparar um mesmo modelo sem a presença de edificações vizinhas com seu similar com entorno obstruído, percebe-se um decaimento nos níveis de iluminância útil. Outra observação é que os edifícios configurados com

vidro de menor transmitância à luz visível, representado pelos modelos do período mais recente, foram os mais influenciados pelo entorno, apresentando também as maiores variações percentuais entre os resultados de uma mesma tipologia. Ou seja, em centros urbanos cada vez mais adensados, essas tipologias podem reduzir de forma significativa o aproveitamento da luz natural.

A tipologia referente ao modelo representativo do período mais antigo — caracterizado por um PAF de 40% e índice de transmissão luminosa do vidro de 88%, alcançou melhor desempenho que os modelos referentes aos períodos mais recentes com relação à iluminância útil. Ou seja, as tipologias adotadas atualmente pela indústria da construção civil não melhoraram o desempenho nesse quesito analisado.

Quanto à uniformidade ao longo da sala, a presença do entorno também impactou de forma significativa os resultados para todos os modelos estudados, apresentando reduções mais abruptas dos valores de DA. Outra característica observada é que a uniformidade se revelou inversamente proporcional à transmitância do vidro.

Nos modelos simulados, as ocasiões mais recorrentes de ofuscamento se concentram nas fachadas Leste e Oeste, como esperado, em virtude dos menores ângulos de altura

## CONCLUSÕES

Ao analisar as diferentes tipologias propostas na pesquisa, não foi possível identificar apenas uma que tenha desempenho superior em 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 com a 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 e às métricas avaliadas em cada modelo, e que qualquer modificação de um desses itens pode alterar os resultados encontrados.

Os modelos representativos do período mais recente, de 2000 a 2016, obtiveram maiores percentuais de horas simuladas com iluminâncias insuficientes, ou seja, essas tipologias são marcadas por uma maior dependência de sistemas de iluminação artificial, o que pode contribuir para uma redução na eficiência energética da edificação. Esse fato se intensifica com a presença do entorno obstruindo parte da visualização da abóbada celeste. Além disso, foram os modelos que apresentaram os menores registros de iluminâncias excessivas, que podem provocar ofuscamento nos usuários das salas. Contudo, a luz em excesso pode ser amenizada com uma cortina controlada pelo usuário da sala, por exemplo, enquanto a luz insuficiente será resolvida com o acionamento de sistema artificial de iluminação, consumindo energia.

A tipologia construtiva representativa do período mais remoto, ou seja entre 1950 e 1979, o modelo 1, foi a que apresentou o melhor desempenho médio quando analisada a faixa de iluminâncias que não necessita de iluminação complementar, entre 500 e 2000 lux, e o modelo 3 obteve os piores resultados médios na avaliação desse intervalo de UDI. Dessa forma, entende-se que o mercado local está produzindo atualmente edifícios com desempenho inferior, com relação à UDI, do que era praticado na construção há algumas décadas.

solar para a localidade estudada, corroborando a indicação amplamente difundida na literatura sobre a preferência pelas orientações Norte e Sul de aberturas para edificações desse uso. No mesmo sentido, as simulações orientadas para o Sul, região da abóbada celeste com a menor presença de horas com trajetória solar na latitude simulada, não registraram situações de ofuscamento. Cabe destacar que a presença do entorno proporcionou redução das horas registradas com o desconforto visual nas simulações.

Como os modelos simulados só apresentam aberturas nas fachadas, favorecendo uma distribuição desuniforme da luz, os maiores percentuais de uniformidade foram encontrados nos momentos em que a trajetória do Sol não estava presente na parcela visível do céu, como já esperado. Quando simulada a presença o entorno, observou-se uma redução de até 22% da uniformidade nos modelos propostos. A transmitância do vidro também parece desempenhar forte influência na uniformidade da luz para essas tipologias de edifícios, visto que o modelo configurado com percentual de abertura menor e vidro transparente alcançou o pior desempenho nessa métrica.

De acordo com os dados obtidos, as situações de ofuscamento se mostraram reduzidas na presença do entorno simulado, com a redução de até 96,6% de sua ocorrência, variando com o modelo e a orientação analisados. As simulações orientadas para a fachada Sul não apresentaram esse tipo de desconforto em nenhum dos modelos. Todavia, o entorno simulado reduziu as ocorrências de ofuscamento principalmente nas orientações Oeste e Leste, sendo esta última a mais impactada pela presença de edificações vizinhas, com redução média, entre todos os modelos, de 66,9% dos registros com índices de DGP acima de 0,35.

De um modo geral, com a presença do entorno os modelos com aberturas menores e menos transparentes à luz obtiveram melhores resultados na métrica de ofuscamento, sendo que o modelo 3 alcançou os menores índices de desconforto sem entorno obstruído. O resultado mostra que a transmissividade do vidro obteve maior relevância que o tamanho da abertura para esse desconforto visual.

O conjunto de resultados observados nesta investigação indica que os modelos representativos das tipologias mais utilizadas na atualidade estão, em geral, obtendo resultados inferiores, em algumas métricas e situações, se comparadas às tipologias de períodos anteriores. Desse modo, destaca-se a importância das simulações

para a avaliação do desempenho das edificações no aproveitamento da luz natural em condições de entorno obstruído. É preciso repensar as tipologias construtivas de edifícios verticais nos

centros urbanos adensados a fim de reduzir a diferença entre os pavimentos nos registros de iluminância útil, contribuindo para a redução do consumo energético com iluminação artificial.

## CONTRIBUIÇÕES E AGRADECIMENTOS

Este artigo é resultado de pesquisas realizadas na Universidade Vila Velha pelo Grupo de Pesquisas Arquitetura e Estudos Ambientais, no âmbito da linha de pesquisa “gestão e desempenho da qualidade do ambiente construído”.

Os autores deste trabalho fizeram as contribuições a seguir. Felipe Almeida Carpanedo: investigação, software, visualização, redação

do rascunho original; Érica Coelho Pagel: concepção do estudo, delineamento experimental, curadoria dos dados, administração do projeto, recursos, supervisão, redação, revisão e edição; Ricardo Nacari Maioli: análise dos dados, metodologia, validação, visualização, redação, revisão e edição. Os autores declaram não ter conflitos de interesse relevantes com relação à pesquisa apresentada.



## REFERÊNCIAS

- Associação Brasileira de Normas Técnicas. (2013). NBR ISO 8995-1 — *Iluminação de ambientes de trabalho*. Associação Brasileira de Normas Técnicas.
- Andrade, C. M. (2007). *A história do ambiente de trabalho em edifícios de escritórios: um século de transformações*. C4.
- Araújo, I. Á. L. de & Cabús, R. C. (2007, 8-10 ago.). Influência da luz natural refletida pelo entorno na iluminação de edifícios em câions urbanos no trópico úmido. *Proceedings...ENCAC 2007 — IX Encontro Nacional e V Latino-Americano de Conforto no Ambiente Construído*, (1), 86-95. Ouro Preto.
- Arsenault, H., Hébert, M. & Dubois, M. C. (2012). Effects of glazing colour type on perception of daylight quality, arousal, and switch-on patterns of electric light in office rooms. *Building and Environment*, 56, 223-231. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2012.02.032>
- Baker, N. V., Fanchiotti, A. & Steemers, K. (2010). *Daylighting in Architecture: A European reference book*. <https://doi.org/10.4324/9781315067223>
- Bardhan, R. & Debnath, R. (2016). Towards daylight inclusive bye-law: Daylight as an energy saving route for affordable housing in India. *Energy for Sustainable Development*, 34, 1-9. <https://doi.org/10.1016/j.esd.2016.06.005>
- Boubekri, M., Cheung, I. N., Reid, K. J., Wang, C.-H. & Zee, P. C. (2014). Impact of windows and daylight exposure on overall health and sleep quality of office workers. *Journal of Clinical Sleep Medicine*, 10(6), 603-611. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.5664/jcsm.3780>
- Boyce, P. R. (2014). *Human Factors in Lighting* (3 ed.). Taylor & Francis Group.
- Brembilla, E. & Mardaljevic, J. (2019). Climate-based daylight modelling for compliance verification: Benchmarking multiple state-of-the-art methods. *Building and Environment*, 158(maio), 151-164. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2019.04.051>
- Chen, W., Li, D. H. W., Li, S. & Lou, S. (2021). Predicting diffuse solar irradiance on obstructed building façades under irregular skyline patterns for various ISO/CIE standard skies. *Journal of Building Engineering*, 40, 102370. <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2021.102370>
- Dias, A. R. D., Carvalho, J. P. V., Hazboun, V. D. & Pedrini, A. (2018). Influência de métricas dinâmicas na avaliação do aproveitamento da luz natural em clima tropical. *Ambiente Construído*, 18(3), 29-47. <https://doi.org/10.1590/s1678-86212018000300266>
- Eltaweel, A. & Yuehong, S. (2017). Using integrated parametric control to achieve better daylighting uniformity in an office room: A multi-step comparison study. *Energy and Buildings*, 152, 137-148. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2017.07.033>
- Farkas, A. B. & Laranja, A. C. (2019). Análise da influência do pé-direito na disponibilidade de iluminação natural no ambiente interno. *Cadernos de Arquitetura e Urbanismo*, 25(37), 189. <https://doi.org/10.5752/p.2316-1752.2018v25n37p189>
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. (2010). *Senso 2010*. [www.ibge.gov.br](http://www.ibge.gov.br)
- Jakubiec, J. A. & Reinhart, C. F. (2012). The “adaptive zone”: A concept for assessing discomfort glare throughout daylight spaces. *Lighting Research and Technology*, 44(2), 149-170. <https://doi.org/10.1177/1477153511420097>
- Lamberts, R., Dutra, L. & Pereira, F. O. R. (2014). *Eficiência energética na arquitetura* (3 ed.). Eletrobras/Procel.
- Laranja, A. C., Ferreira, N. S. & Alvarez, C. E. de. (2016). Análise das relações entre a geometria urbana e orientação das aberturas na disponibilidade de iluminação natural no ambiente interno. *Labor & Engenho*, 10(1), 31-45.
- Laboratório de Eficiência Energética em Edificações. (2019). *Seção downloads*. *Arquivos climáticos em formato EPW*. <http://www.labeee.ufsc.br/downloads>

- Leal, L. de Q. & Leder, S. M. (2018). Iluminação natural e ofuscamento: estudo de caso em edifícios residenciais multipavimentos. *Ambiente Construído*, 18(4), 97-117. <https://doi.org/10.1590/s1678-86212018000400296>
- Lee, K. S., Han, K. J. & Lee, J. W. (2017). The impact of shading type and azimuth orientation on the daylighting in a classroom-focusing on effectiveness of façade shading, comparing the results of DA and UDI. *Energies*, 10(5). <https://doi.org/10.3390/en10050635>
- Li, D. H. W. & Tsang, E. K. W. (2008). An analysis of daylighting performance for office buildings in Hong Kong. *Building and Environment*, 43(9), 1446-1458. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2007.07.002>
- Mangkuto, R. A., Rohmah, M. & Asri, A. D. (2016). Design optimisation for window size, orientation, and wall reflectance with regard to various daylight metrics and lighting energy demand: A case study of buildings in the tropics. *Applied Energy*, 164, 211-219. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2015.11.046>
- Maioli, R. N., Barros, M. C. de S. L. S. B., Barros, J. D. P. de, Igor, I. F. F. M., Coninck, I. M. & Pagel, É. C. (2016, 21-23 set.). A transformação da fachada na tipologia construtiva de edifícios comerciais verticais em Vitória-ES e sua relação com o conforto ambiental. Em *XVI Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído: desafios e perspectivas da internacionalização da construção* (pp. 1220-1232). [https://www.researchgate.net/publication/341525202\\_A\\_TRANSFORMACAO\\_DA\\_FACHADA\\_NA\\_TIPOLOGIA\\_CONSTRUTIVA\\_DE\\_EDIFICIOS\\_COMERCIAIS\\_VERTICAIS\\_EM\\_VITORIA-ES\\_E\\_SUA\\_RELACAO\\_COM\\_O\\_CONFORTO\\_AMBIENTAL](https://www.researchgate.net/publication/341525202_A_TRANSFORMACAO_DA_FACHADA_NA_TIPOLOGIA_CONSTRUTIVA_DE_EDIFICIOS_COMERCIAIS_VERTICAIS_EM_VITORIA-ES_E_SUA_RELACAO_COM_O_CONFORTO_AMBIENTAL)
- Maioli, R. N., Taufner, M. D. & Alvarez, C. E. de. (2014). A influência das prateleiras de luz no aproveitamento da luz natural sob obstrução externa. *Revista de Arquitetura*, 16, 105-113. <https://doi.org/10.14718/revarq.2014.16.12>
- Mapelli, Y. R., Laranja, A., Coelho & Alvarez, C. E. de. (2018). Avaliação de desempenho entre as tipologias de aberturas zenital e lateral no quesito iluminação natural de ambientes internos. *Cadernos Proarq*, 31, 83-99. <http://lpp.ufes.br/sites/lpp.ufes.br/files/field/anexo/cadernos-proarq31.pdf>
- Nabil, A. & Mardaljevic, J. (2006). Useful daylight illuminances: A replacement for daylight factors. *Energy and Buildings*, 38(7), 905-913. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2006.03.013>
- Pereira, R. C., Pereira, F. O. R. & Claro, A. (2008). Caracterização da contribuição do entorno na avaliação da iluminação natural em edificações. *Ambiente Construído*, 8(4), 103-116.
- Petersen, S., Momme, A. J. & Hviid, C. A. (2014). A simple tool to evaluate the effect of the urban canyon on daylight level and energy demand in the early stages of building design. *Solar Energy*, 108, 61-68. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2014.06.026>
- Pilechiha, P., Mahdavejad, M., Pour Rahimian, F., Carnemolla, P. & Seyedzadeh, S. (2020). Multi-objective optimisation framework for designing office windows: Quality of view, daylight and energy efficiency. *Applied Energy*, 261, 114356. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2019.114356>
- Prefeitura Municipal de Vitória. (2018). *Plano Diretor Urbano do Município de Vitória*. <https://www.vitoria.es.gov.br/prefeitura/plano-diretor-urbano>
- Reinhart, C. F. & Walkenhorst, O. (2001). Validation of dynamic RADIANCE-based daylight simulations for a test office with external blinds. *Energy and Buildings*, 33(7), 683-697. [https://doi.org/10.1016/S0378-7788\(01\)00058-5](https://doi.org/10.1016/S0378-7788(01)00058-5)
- Ribeiro, P. V. S. & Cabús, R. C. (2019). Análise da influência da malha de pontos em índices de avaliação de desempenho da luz natural. *Ambiente Construído*, 19(4), 317-333. <https://doi.org/10.1590/s1678-86212019000400358>
- Sun, Yanyi, Liang, R., Wu, Y., Wilson, R. & Rutherford, P. (2018). Glazing systems with Parallel Slats Transparent Insulation Material (PS-TIM): Evaluation of building energy and daylight performance. *Energy and Buildings*, 159, 213-227. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2017.10.026>
- Sun, Yue, Liu, X., Qu, W., Cao, G. & Zou, N. (2020). Analysis of daylight glare and optimal lighting design for comfortable office lighting. *Optik*, 206, 164291. <https://doi.org/10.1016/j.ijleo.2020.164291>

- Taleb, H. M. & Antony, A. G. (2020). Assessing different glazing to achieve better lighting performance of office buildings in the United Arab Emirates (UAE). *Journal of Building Engineering*, 28, 101034. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2019.101034>
- Turan, I., Chegut, A., Fink, D. & Reinhart, C. (2020). The value of daylight in office spaces. *Building and Environment*, 168, 106503. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2019.106503>
- Wienold, J. & Christoffersen, J. (2006). Evaluation methods and development of new glare prediction model for daylight environments with the use of CCD cameras and RADIANCE. *Energy and Buildings*, 38(743-757). <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2006.03.017>
- Yeom, S., Kim, H., Hong, T. & Lee, M. (2020). Determining the optimal window size of office buildings considering the workers' task performance and the building's energy consumption. *Building and Environment*, 177, 106872. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2020.106872>