

# ANÁLISE ANUAL DO OFUSCAMENTO CAUSADO PELA LUZ DO DIA EM SALAS DE AULA UNIVERSITÁRIAS

ANNUAL ANALYSIS OF GLARE CAUSED BY DAYLIGHT IN UNIVERSITY CLASSROOMS

ANÁLISIS ANUAL DEL DESLUMBRAMIENTO CAUSADO POR LA LUZ DEL DÍA EN AULAS UNIVERSITARIAS

Larissa Arêdes Monteiro<sup>1</sup>, Roberta Vieira Gonçalves de Souza<sup>1</sup>, Maria Luiza Almeida Cunha de Castro<sup>1</sup>

## RESUMO:

A consideração da variabilidade da luz do dia e da direção visual do usuário em análises de ofuscamento são carências dos estudos atuais. O presente estudo buscou então analisar a ocorrência do ofuscamento em salas de aula universitárias, considerando essas variabilidades, e propor medidas de mitigação da ocorrência desse desconforto visual, utilizando como objeto de estudo o Centro de Atividades Didáticas de Ciências Exatas 3, UFMG. Realizou-se simulação da luz natural baseada no clima, através do *plug-in* ClimateStudio para Rhinoceros, considerando a visão de alunos e professores. A análise foi feita conforme exigências normativas e sem e com a presença de película no vidro. Considerou-se o ofuscamento crítico quando *Spatial Disturbing Glare* (sDG)  $\geq 0,38$  em 5% do tempo, em pelo menos 5% das vistas e 25% do piso. Apesar de verificar-se que a película controlou o ofuscamento, foram propostos novos sistemas que permitissem maior qualidade visual. No caso do vidro com película, com janelas fechadas, encontrou-se sDG nulo. Enquanto que, com janelas abertas, encontrou-se sDG de até 6,6%, indicando que a ocorrência de ofuscamento em situações reais de uso dos espaços pode ser maior que aquela indicada normativamente. Constatou-se que novos dispositivos reduziram a probabilidade de ofuscamento de 68% a 98%, com preservação da vista para o exterior. Considera-se que a observação anual da ocorrência do ofuscamento e a variabilidade da direção visual são fundamentais para uma compreensão aprofundada da dinâmica dos espaços iluminados naturalmente, trazendo novas análises para subsidiar o projeto desses espaços com mais qualidade.

**PALAVRAS-CHAVE:** Iluminação natural; Ofuscamento; NBR 15215; Simulação computacional.

<sup>1</sup>Universidade Federal de Minas Gerais. Programa de Pós-Graduação em Ambiente Construído e Patrimônio Sustentável da Escola de Arquitetura da.

**Fonte de Financiamento:**  
FUNDEP e CNPq

**Conflito de Interesse:**  
Não há conflitos de interesse.

**Submetido em:** 22/09/2023  
**Aceito em:** 21/03/2024

How to cite this article:

MONTEIRO, L. A. *et al.* Análise anual do ofuscamento causado pela luz do dia em salas de aula universitárias. *Gestão & Tecnologia de Projetos*. São Carlos, v19, n2, 2024. <https://doi.org/10.11606/gtp.v19i2.216228>



## ABSTRACT:

The consideration of the daylight variability and the user's visual direction in glare analyses are lacking in current studies. The present study aimed then to analyze glare occurrence in university classrooms, taking into account these variables, and to evaluate mitigation strategies to the occurrence of visual discomfort using as the object of study the Center for Didactic Activities of Exact Sciences 3, UFMG. Simulation of natural light based on climate was performed using the ClimateStudio plugin for Rhinoceros, considering the perspectives of both students and teachers. The analysis was conducted as required by regulations, both with and without a film over the glass. Critical obscuration was considered when Spatial Disturbing Glare (sDG)  $\geq 0.38$  for 5% of the time, in at least 5% of the views, and covering 25% of the floor area. Despite finding that the film could control glare, new systems were proposed to enhance visual quality. In the case of glass with a film and closed windows, sDG was found to be zero. However, with windows open, sDG was up to 6.6%, indicating that the occurrence of obscuration in real-life usage may be higher than normatively indicated. New devices were found to reduce the probability of glare from 68% to 98%, while preserving the view to the outside. It is considered crucial to annually observe the occurrence of obscuration and the variability of visual direction for a thorough understanding of naturally lit space dynamics, providing analyses to support the design of these spaces with higher quality.

**KEYWORDS:** Daylight; Glare; NBR 15215; Computer simulation.

## RESUMEN:

La consideración de la variabilidad de la luz del día y de la dirección visual del usuario en estudios acerca del deslumbramiento son deficiencias en estudios actuales. El presente estudio buscó entonces analizar la ocurrencia del deslumbramiento en aulas universitarias, teniendo en cuenta estas variables y proponer la mitigación de su ocurrencia utilizando como objeto de estudio el Centro de Actividades Didácticas de Ciencias Exactas 3, UFMG. Se realizó simulación de luz natural basada en el clima, utilizando el complemento ClimateStudio para Rhinoceros, considerando las perspectivas de estudiantes y profesores. El análisis se realizó tanto sin como con la presencia de película en el vidrio, según lo exige la normativa. Se consideró deslumbramiento crítico cuando el *Spatial Disturbing Glare* (sDG)  $\geq 0,38$  en 5% del tiempo, en al menos 5% de las vistas y 25% del suelo. A pesar que la película controlaba el deslumbramiento, se propusieron nuevos sistemas para mayor calidad visual. En el caso con película y ventanas cerradas, se encontró sDG nulo. Con ventanas abiertas, se encontró sDG de hasta 6,6%, indicando que la ocurrencia de deslumbramiento en situaciones reales de uso puede ser mayor que la indicada normativamente. Se constató que nuevos dispositivos redujeron la probabilidad de deslumbramiento del 68% al 98%, preservando la vista. Se considera fundamental observar anualmente la ocurrencia del deslumbramiento y la variabilidad de la dirección visual para una comprensión profunda de la dinámica de los espacios iluminados naturalmente, aportando análisis para respaldar el diseño de estos espacios con mayor calidad.

**PALABRAS CLAVE:** Luz natural; Deslumbramiento; NBR 15215; Simulación computacional.

## INTRODUÇÃO

No Censo de 2020, foram registradas 2.456 instituições de ensino de graduação, com um total de 8.680.354 estudantes matriculados e 323.376 professores em atuação. No sistema presencial, 1.277.790 pessoas adentraram algum curso de ensino superior em 2020, o que corresponde a um aumento de 36%, em relação aos dez anos anteriores (BRASIL, 2022).

Para criar espaços internos saudáveis, é necessário estabelecer o bem-estar em termos de conforto térmico e luminosidade, uma vez que a falta de conforto em ambientes de ensino pode afetar o desempenho cognitivo tanto de professores quanto de alunos. A luz do dia fornecida com conforto é uma alternativa para melhorar a saúde dos usuários, visto que auxilia na regularização do ciclo circadiano dos indivíduos e melhora aspectos que não se limitam à visão, tais como atividades físicas e mentais, o estado de alerta, o foco mental, além de fornecer conhecimentos visuais. Além disso, o aproveitamento da luz do dia pode promover a redução do consumo de energia nos edifícios (ISLAM, 2021; MIRMORADI, 2021).

Assim, o desconforto visual causado pela luz do dia, dado pela presença de ofuscamento, deve ser controlado através de dispositivos de controle e proteção da luz do dia, sendo que estes dispositivos devem propiciar condições luminosas adequadas, adaptando-se ao caráter dinâmico da luz do dia e à dinâmica das pessoas que usam esses locais, que apresentam necessidades variáveis ao longo do dia (DEROISY, DENEYER, 2017).

A atualização da norma NBR 15215-3 *Iluminação Natural Iluminação natural Parte 3: Procedimentos para avaliação da iluminação natural em ambientes internos*, recomenda o uso de dispositivos de proteção da luz do dia que sejam móveis e que possibilitem ajustes por parte dos usuários, ou dispositivos fixos junto a dispositivos de sombreamento, a fim de prevenir o olhar direto para o sol e seus reflexos, que podem resultar no ofuscamento. Conforme a norma proposta, o ofuscamento pode ter efeitos adversos ou prolongados na saúde das pessoas, como dores de cabeça e cansaço. Além da recomendação de proteção contra o ofuscamento, a revisão da norma propõe ainda a análise da luz nos espaços internos baseada na disponibilidade da luz do dia, na qualidade da vista para o exterior, na avaliação da exposição à luz solar direta máxima e na avaliação de presença de insolação mínima em climas frios (CE-002, 2023).

Este artigo é derivado de dissertação que visou investigar questões relativas ao ofuscamento causado pela luz do dia em salas de aula. O tema partiu da verificação da instalação de películas escuras nas janelas de salas de aula *a posteriori* da construção de edificação de ensino superior com a finalidade de controlar o ofuscamento causado pela luz do dia.

Inicialmente, ao explorar o tema, notou-se a carência de estudos que consideram a variação da luz natural ao longo do dia e do ano na análise da ocorrência do ofuscamento. Observou-se ainda uma carência de estudos que investiguem a dinâmica do campo de visão nas posições vivenciadas pelos usuários em ambientes educacionais, a fim de compreender situações em que o observador experimenta o ofuscamento. O *plug-in* ClimateStudio inovou com essas possibilidades e seu uso ainda é pouco explorado em pesquisas brasileiras. Assim, a pesquisa visa contribuir no preenchimento de tais lacunas, aperfeiçoando as análises para a produção de espaços iluminados pela luz natural de forma quantitativa e qualitativa. Entende-se que é fundamental a análise, de forma dinâmica, e a mitigação do ofuscamento em espaços de educação superior, partindo da ideia de que, nesses ambientes, os usuários possuem limitações na escolha da sua direção visual e sua posição no espaço. Sendo assim, o objetivo do estudo foi compreender a ocorrência do ofuscamento causado pela luz natural em salas de aula universitárias, avaliando possíveis soluções para mitigação do desconforto visual verificado e preservando demais aspectos qualitativos da luz natural.

## REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### CONFORTO LUMINOSO EM AMBIENTES DE EDUCAÇÃO SUPERIOR

A iluminação influencia diretamente na aprendizagem e no desempenho dos usuários em salas de aula. Duas das tarefas cognitivas mais importantes associadas à aprendizagem dos alunos são a memória e a atenção. Atualmente, novas tecnologias e novas metodologias de ensino trouxeram maior variabilidade nas tarefas visuais que ocorrem nesses espaços de ensino, especialmente pela inserção cada vez mais massiva do uso do *datashow*. Por isso, compreender essas atividades visuais e a dinâmica que abarcam, faz-se necessário para proporcionar uma iluminação mais adequada em ambientes de salas de aula (LLINARES *et al.*, 2021).

A Teoria da Restauração da Atenção, dada por Kaplan em 1989, defende que ambientes com luz do dia e vista para o exterior potencializam a função cognitiva e a atenção dos ocupantes, influenciando na capacidade de concentração, atenção e memória (KAPLAN, 1995). Tendo grande impacto no humor e no comportamento do usuário, o acesso à luz do dia e às vistas externas, com conforto visual, contribui para a melhora da fadiga mental (MIRMORADI, 2021).

Além disso, a luz do dia exerce impactos significativos em aspectos físicos da saúde humana, com o ritmo circadiano e a regulação do ciclo biológico humano de 24 horas. A disponibilidade de luz do dia em espaços internos, com conforto visual e sistemas adequados de controle dessa luz, pode melhorar aspectos da saúde, com benefícios para a qualidade do sono e da regulação de hormônios, aumentar o conforto dos usuários e sua conexão com o exterior, contribuindo para a promoção do seu bem-estar com fatores que têm influência direta sobre o rendimento acadêmico e a regularidade dos estudantes. Ademais, em salas de aula, características como qualidade da visão, condição dos dispositivos de controle da luz, o posicionamento do quadro, das mesas e assentos, influenciam no conforto ambiental do usuário e, conseqüentemente, no seu comportamento. (ISLAM, 2021; LOTFABADI, HANÇER, 2023).

O ofuscamento é uma das questões mais importantes na análise do conforto e da qualidade visual, sendo uma das maiores barreiras para o uso da luz natural em espaços internos. No entanto, de acordo com Castilla *et al.* (2018), Jakubiec e Reinhart (2015) e Monteoliva, Garretón e Pattini (2021), uma das limitações no cálculo do ofuscamento até então era a não consideração de efeitos temporais. Ainda de acordo com Vásquez *et al.* (2016), a complexidade da predição do ofuscamento está no estudo do comportamento dinâmico da luz natural, já que essa apresenta variações de cor, intensidade, condição de céu, direção e disponibilidade ao longo do dia e do ano. Além do mais, em muitos espaços, como as salas de aula universitárias, o usuário experimenta múltiplas posições e direções de visualização, dada a variabilidade de atividades visuais em suas tarefas e a falta da consideração dinâmica da direção da visão é uma das principais carências na detecção do ofuscamento.

### DISPONIBILIDADE DE LUZ DO DIA E OFUSCAMENTO

O fornecimento de iluminação do dia está sujeito, antes de tudo, da disponibilidade de luz externa. As condições climáticas e latitude local pré-determinam as condições de iluminação nos ambientes internos, no que diz respeito à disponibilidade de luz e do conforto à visão. Em segundo lugar, condições do entorno do edifício, dos elementos imediatos próximos à abertura, da composição das aberturas e da configuração dos espaços interiores influenciam a iluminação do dia no interior dos espaços (CEN, 2018; VELUX, 2022).

O ofuscamento é um desconforto visual causado por presença de brilho no campo visual, que ocorre quando os níveis de luminância experimentados são maiores do que os que os olhos humanos são acostumados, gerando perturbação visual ou perda de visibilidade (BOYCE,

2003). O ofuscamento pode ocorrer devido ao excesso de radiação solar direta ou da abóbada celeste, ou por reflexões de luz de superfícies internas e externas (ALAQTUM, 2020).

O ofuscamento se divide em dois tipos. O ofuscamento inabilitador ocorre com a perda do desempenho visual, sendo mais frequente em condições de iluminação externa ou com fontes de brilho intensas e pontuais em ambientes internos. O ofuscamento desconfortável acarreta a queda de desempenho visual, apresentando-se como uma perturbação visual e está mais presente em cenas internas (CE-002, 2023; BOMMEL, 2019). O ofuscamento desconfortável pode ainda ocorrer através de dois efeitos. A saturação, que ocorre na presença de brilho excessivo, representado pela luminância fotópica geral no olho. E o contraste, que ocorre devido à níveis variados de luminâncias no campo de visão do usuário (QUEK *et al.*, 2021).

## OCORRÊNCIA DO OFUSCAMENTO NO OLHO HUMANO

O sistema da visão é responsável pelo processamento de imagens que faz uso de recursos fotomecânicos, fotoquímicos e fotoelétricos. Os processos fotomecânicos ocorrem no olho, através da modificação das lentes oculares e das pupilas. Procedimentos fotoelétricos e fotoquímicos ocorrem em células fotorreceptoras, localizadas na retina. Esses procedimentos são essenciais na condução de mensagens fotorreceptoras para a região do cérebro, onde sensações visuais são interpretadas. O prefixo “foto” refere-se ao fato de que esses processos são controlados pela luz, resultando nos efeitos visuais (BOMMEL, 2019; BOYCE, 2003).

O ofuscamento inabilitador acontece na retina, onde as imagens são geradas no olho. Quando o observador olha para uma cena iluminada, a imagem se forma na retina, enquanto a luz se espalha pela córnea, pela lente e pelo globo ocular. Uma parcela dessa luz dispersada é encaminhada para a fóvea, situada na retina, local em que age como brilho velador no campo visual. Esse brilho tem o benefício de melhorar a luminosidade de acomodação do olho, contribuindo para a melhoria da sensibilidade para o contraste. Contudo, ele causa um efeito negativo que é ainda maior, de atenuar o contraste das coisas por meio do mascaramento do brilho, resultando na queda do desempenho do sistema visual (BOMMEL, 2019).

O ofuscamento desconfortável ocorre no processamento das células ganglionares, localizadas na parte de trás da retina, dentro do sistema visual. As células fotorreceptoras são classificadas em dois tipos: cones e bastonetes, com diferentes geometrias e funções. As extremidades das células fotorreceptoras possuem moléculas de fotopigmento, chamadas opsinas, que se conectam com o epitélio pigmentar e têm a responsabilidade de se ligar a moléculas fotossensíveis. Assim que o fotopigmento absorve um fóton, a célula fotorreceptora fica branca e indisponível temporariamente. Se vários fotopigmentos ficam brancos ao mesmo tempo, por causa de elevados níveis de luz, a captação de fótons diminui, resultando na inativação da célula e na queda do desempenho visual. Para reverter esse processo, é necessária a diminuição dos níveis de luz, acarretando numa resposta química contrária, que reativa os fotorreceptores. Contudo, esse é um processo demorado e a acomodação à graus discrepantes de luz é capaz de levar minutos. O êxito na transformação da luz em mensagens para o cérebro está vinculado ao grau de luminosidade ao qual o olho está ajustado (BOMMEL, 2019).

## A EVOLUÇÃO DA ANÁLISE DO OFUSCAMENTO

As métricas para detecção de brilho podem ser calculadas a partir de mapas de luminâncias, podendo ocorrer na forma de imagem HDR (*High Dynamic Range*) ou de renderizações geradas por simulações (QUEK *et al.*, 2021). Os mapas de luminâncias são imagens que mostram a distribuição de luminâncias numa cena. Na detecção do brilho por mapas de luminâncias, através de imagens HDR, imagens de 180° em olho de peixe são criadas, sendo considerado este o campo visual que o usuário vê.

As métricas de ofuscamento têm a função de analisar ao menos um efeito do ofuscamento desconfortável - contraste ou saturação -, mas podem ser híbridas. Quek *et al.* (2021) analisaram 15 métricas utilizadas para detecção do ofuscamento, avaliando a capacidade dessas de prever o ofuscamento em cenários de diferentes níveis de brilho, alto e baixo nível de adaptação. Segundo os autores, métricas híbridas de DGP (*Daylight Glare Probability*) e Ecoogit apresentaram o melhor desempenho. Os autores afirmam que se deve tomar cuidado com o uso de métricas simplificadas e que, com o avanço computacional, a eficiência da simulação luminosa melhora e permite a detecção do ofuscamento considerando efeitos de contraste e saturação simultaneamente, com simulações rápidas e mapas de luminâncias calculados por hora, criando novas perspectivas para cálculo das métricas de brilho anuais.

Em pesquisa realizada para o presente estudo, verificou-se que entre os índices mais utilizados para verificação do ofuscamento causado pela luz do dia estão o *Daylight Glare Index* (DGI) e o *Daylight Glare Probability* (DGP) (ALAQTUM, 2020; BELLIA *et al.*, 2008; ISLAM, 2021; JONES, 2019; MONTEOLIVA *et al.*, 2021; QUEK *et al.*, 2021; REINHART, 2010; SOLEMMMA, 2022).

A métrica DGI inovou em levar em conta fontes de brilho grandes, como a visualização do céu através de uma janela. A fórmula mais recente de DGI foi desenvolvida por Chauvel, a partir da modificação da fórmula de Cornell, proposta por Hopkinson em 1972. A primeira fórmula de DGI havia sido criada para avaliação do ofuscamento causado por fontes de luz artificiais. A modificação de Chauvel sugeriu a aplicabilidade para análise da luz do dia, investigada em vários estudos, até de caráter subjetivo. A Equação 1 explicita a fórmula de DGI mais recente e a Tabela 1 mostra sua escala de classificação (BELLIA *et al.*, 2008).

$$DGI = 10 \cdot \log \sum_{i=1}^N G_i$$

$$G_i = 0,478 \cdot \left( \frac{L_s^{1,6} \cdot \Omega_i^{0,8}}{L_b + (0,07 \omega^{0,5} \cdot L_w)} \right)$$

Legenda:  
*L<sub>s</sub>*: luminância da fonte  
*L<sub>b</sub>*: luminância média do ambiente  
*L<sub>w</sub>* - luminância média ponderada da janela  
 $\omega$  - ângulo janela [sr];  
 $\Omega$  - ângulo fonte

**Equação 1.** DGI

**Fonte:** Bellia *et al.*, 2008

Grau de brilho	DGI
Perceptível	16 – 18
Aceitável	20
Limite entre conforto e desconforto	22
Desconfortável	24 – 26
Intolerável	28

**Tabela 1.** Escala para consideração do DGI

**Fonte:** Bellia *et al.*, 2008

Jens Christoffersen e Jan Wienold propuseram a métrica DGP em 2005 (Equação 2). O DGP calcula o ofuscamento baseado em dois fenômenos: (1) de saturação, através da iluminância vertical, que indica a quantidade de luz que atinge os olhos; (2) de contraste, através da relação entre as iluminâncias da fonte de luz e do trabalho (MONTEOLIVA *et al.*, 2021).

$$DGP = \underbrace{5,87 \cdot 10^{-5} \cdot E_v}_{\text{Termo de saturação}} + \underbrace{9,18 \cdot 10^{-2} \log_{10} \left( 1 + \sum_{i=1}^n \frac{L_{s,i}^2 \omega_{s,i}}{E_v^{1,87} P_{s,i}^2} \right)}_{\text{Termo de contraste}} + 0,16$$

**Equação 2.** DGP

**Fonte:** Bellia *et al.*, 2008

Legenda: *E<sub>v</sub>* - iluminância vertical (lux); *L<sub>s,i</sub>* - luminância da fonte de brilho (cd/m<sup>2</sup>);  $\omega_{s,i}$  - ângulo sólido da fonte de brilho (esterradianos); *P<sub>s,i</sub>* - índice de posição da fonte de brilho para a *i*-ésima fonte de brilho (QUEK *et al.*, 2021).

Deste modo, DGP aponta a saturação, por meio da iluminância no nível do olho, e o contraste, oferecido por meio de uma fonte que causa o ofuscamento (dependendo da luminância, de seu tamanho e localização no campo visual) e a luminância média de fundo. No entanto, Monteoliva *et al.* (2021) afirmam que uma das restrições do DGP é sua falta de consideração de variações temporais, uma vez que diversos elementos podem afetar a percepção do brilho, tais como a exposição do usuário à luz do dia no decorrer das horas do dia. Mesmo assim, o DGP seria o índice que apresenta melhor desempenho na análise do ofuscamento causado pela luz do dia dentre as métricas disponíveis, sendo a mais utilizada atualmente.

Para classificação de DGP, a Tabela 2 mostra a escala de percepção do ofuscamento, proposta originalmente por Wienold e Christoffersen, em 2005. Porém, estudos atuais utilizam uma escala de classificação mais restritiva, baseada em pesquisas recentes, mostrada abaixo (MONTEOLIVA *et al.*, 2021; QUEK *et al.*, 2021; WIENOLD *et al.*, 2019).

Classes de percepção de brilho	DGP <sup>1</sup> (2005)	DGP <sup>2</sup> (atual)
Brilho imperceptível	< 0,35	DGP < 0,34
Brilho perceptível	0,35 ≤ DGP < 0,40	0,34 ≤ DGP ≤ 0,38
Brilho perturbador	0,40 ≤ DGP < 0,45	0,38 < DGP ≤ 0,45
Brilho intolerável	DGP ≥ 0,45	DGP > 0,45

**Tabela 2.** Escala e classificação de DGP

**Fonte:** WIENOLD *et al.*, 2019

O ofuscamento causado pela luz do dia é abordado na norma europeia EN 17037 (CEN, 2018) e na revisão da norma brasileira NBR 15215-3 (CE-002, 2023). Ambas recomendam a utilização de dispositivos de proteção contra o ofuscamento. De acordo com essas normas é fundamental ter medidas de proteção contra esse desconforto visual em locais onde ocorrem tarefas como escrita, leitura e utilização de telas, especialmente em espaços onde os usuários não podem mudar sua posição visual, como é comum em salas de aula. A revisão da NBR 15215-3 sugere que o ofuscamento seja analisado para ocorrências superiores a 5% do tempo de uso do espaço. Quando se consegue controlar a ocorrência de DGP acima de 0,45, neste intervalo de tempo máximo se obtém um nível mínimo de proteção, sendo que o controle da ocorrência de um DGP de no máximo 0,38 leva a um nível mais alto de proteção e que o ideal de proteção seria a inexistência de DGP acima de 0,34 por mais de 5% do tempo (Tabela 3).

Nível de Proteção contra ofuscamento	DGP <sub>e</sub> < 5 % do tempo	Proteção contra no mínimo:
Nível mínimo de proteção	0,45	Ofuscamento intolerável
Nível médio de proteção	0,38	Ofuscamento perturbador
Nível alto de proteção	0,34	Ofuscamento perceptível

**Tabela 3.** Nível de proteção contra o ofuscamento

**Fonte:** CE-002, 2023

Os cálculos dos índices de ofuscamento eram realizados em avaliações do tipo ponto-no-tempo, em um dia e horário específicos no ano. Para sanar as limitações dos cálculos desses, foram desenvolvidas modelagens de luz natural baseada no clima (*Climate Based Daylight Modeling – CBDM*), que abarcam as condições de iluminação do dia ao longo de todo ano viabilizada através da utilização de *softwares* voltados para simulação.

Assim, em 2021, Wienold e Christofferen propuseram a análise do ofuscamento através da métrica de Ofuscamento Perturbador Espacial (*Spatial Disturbing Glare, sDG*), que calcula valores de DGP<sup>2</sup> (Tabela 2), utilizada pelo Solemma, criador do *plug-in* ClimateStudio. O ClimateStudio calcula sDG como a porcentagem do número de direções de visão da malha de pontos que experimenta DGP superior a 0,38 (perturbador ou intolerável), ao menos 5% do tempo em que o espaço está ocupado no ano. A recomendação máxima de 5% do tempo foi sugerida pela norma europeia EN 17037 (CEN, 2018), bem como pela revisão da NBR 15215 (CE-002, 2023). Os cálculos de sDG são feitos baseados nos valores de DGP a cada hora, para

até oito direções de visão, para todo ponto analisado, considerando a análise da iluminância vertical, além da medição de contraste do disco solar. A altura do campo de visão padrão considerada para um usuário sentado é de 1,20 m e para um usuário de pé é de 1,60m.

A simulação da luz do dia tipo CBDM permite simular um número maior de situações com a variabilidade da luz do dia ao longo do ano. O avanço dos *softwares* de simulação computacional possibilitou processos mais ágeis e amplos na análise do ofuscamento gerado pela luz do dia. Normas e recomendações têm incorporado o método (ALAQTUM, 2020).

Os *softwares* conhecidos de simulação da iluminação do dia utilizam como base o programa Radiance. Elaborado no Lawrence Berkeley National Laboratory, por Greg Ward, o Radiance baseia-se no método de raios traçados, produzindo simulações de iluminâncias internas e de distribuições de luminâncias tanto para superfícies de materiais difusos quanto especulares, sob qualquer condição de céu (REINHART, WALKENHORST, 2001). Dentre os *softwares* utilizados para detecção do ofuscamento ponto-no-tempo, estão o VELUX, o Radiance Rendering e o Evalglare, que trabalham na produção de mapas de luminâncias através de renderizações utilizando o motor do Radiance. O Evalglare, desenvolvido por Wienold e Christoffersen, detecta o ofuscamento através de mapas de luminâncias de 180°. Após a criação dos mapas, ele calcula os índices de ofuscamento das fontes detectadas na cena, através do índice de DGP. Do mesmo modo que o Evalglare, o Radiance Rendering e o VELUX concebem imagens de luminâncias através de renderizações (ALAQTUM, 2020).

Dentre os *softwares* de simulação da probabilidade de ofuscamento pela luz do dia, calculada por simulações CBDM anuais, têm-se o Insight para Revit e o ClimateStudio, que é um *plug-in* do *software* Rhinoceros, nas versões 6 e 7, e que possui motor de simulação do Radiance. Uma característica única do *software* é a capacidade de calcular distribuições de brilho de forma dinâmica, considerando o comportamento anual do desconforto em um espaço ocupado.

O Rhinoceros é um programa de modelagem tridimensional, criado pela Robert McNeel & Associates. Ele possibilita a modelagem geométrica de espaços externos e internos e, junto a outros *plug-ins*, permite análises específicas. O DIVA foi o primeiro *plug-in* de modelagem de ofuscamento da luz do dia tipo CBDM para o *software* Rhinoceros. Ele foi desenvolvido em 2009 na Harvard Graduate School of Design, sendo difundido pela Solemma LCC. O DIVA incorporou modelos de cálculo do Radiance e do Daysim e introduziu o cálculo da probabilidade de ofuscamento causada pela luz do dia ao longo do ano, baseado no índice DGP (MIT, 2022).

Para substituir o DIVA, foi criado o ClimateStudio, em 2020 pela Solemma LLC, um grupo de pesquisadores e profissionais ligados à construção civil. É um *plug-in* para Rhinoceros que possui fluxos de trabalho rápidos e precisos. O ClimateStudio inovou trazendo a possibilidade de análise do ofuscamento a partir de diversas posições do usuário, para até oito direções de visualização, calculados para cada hora no ano, baseado em DGP (SOLEMMA, 2022). Tais possibilidades contribuem para o entendimento da análise dinâmica da ocorrência do ofuscamento e da direção visual do observador.

## FERRAMENTAS E MÉTODOS

A pesquisa foi dividida em cinco etapas (Figura 1). A 1ª consistiu na definição do estudo de caso, realizada através de levantamento *in loco*, no qual identificou-se queixas dos usuários pelo ofuscamento causado pela luz do dia nas salas de aula do Centro de Atividades Didáticas 3 (CAD 3) da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), selecionadas para o estudo. Na 2ª etapa foi realizado um levantamento dos espaços internos e do entorno do edifício, e foi feita a modelagem tridimensional do projeto. A 3ª etapa compreendeu a simulação computacional para verificação da probabilidade de ocorrência de ofuscamento nas salas de aula da edificação. Na 4ª etapa se avaliaram opções de dispositivos para mitigação do ofuscamento causado pela

luz do dia, de forma a garantir a autonomia da luz do dia e a vista para o exterior. Na quinta etapa fez-se a análise dos resultados.

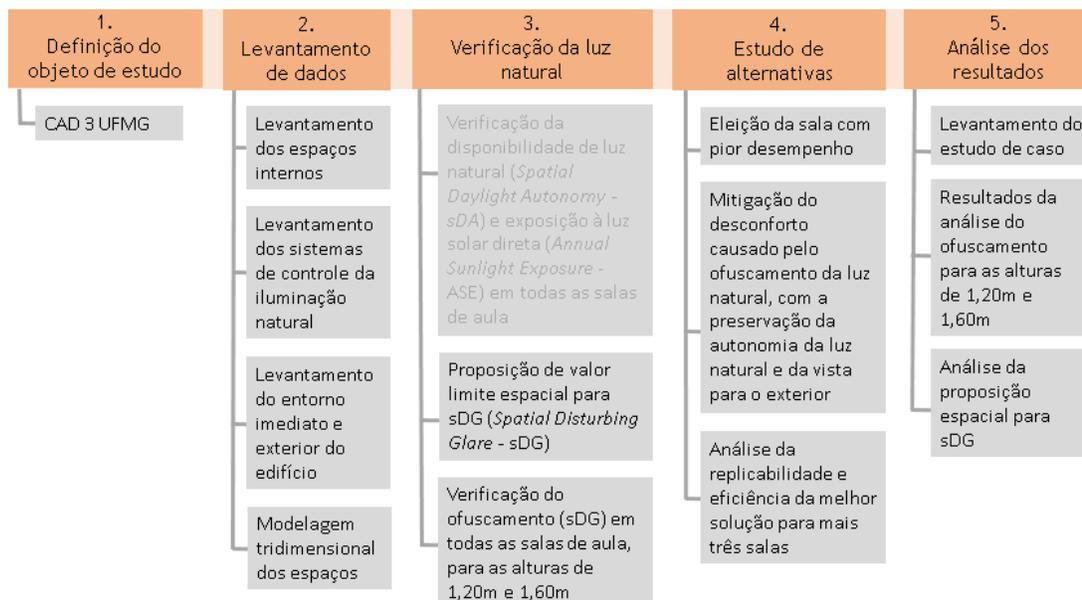


Figura 1. Etapas da pesquisa

Fonte: Autor, 2023

Na Etapa 3, antes da verificação do ofuscamento nos espaços internos, verificou-se a disponibilidade da luz do dia, através da métrica de *Spatial Daylight Autonomy (sDA)* e de exposição à luz solar direta, com a métrica *Annual Sunlight Exposure (ASE)*, entendendo-se que essas são fundamentais para a análise geral da qualidade nos espaços internos. No entanto, essas análises não serão apresentadas aqui, por isso foram representadas em tom mais claro no primeiro quadro da Etapa 3 e podem ser vistas no estudo ampliado (MONTEIRO, 2023).

## OBJETO DE ESTUDO

O Centro de Atividades Didáticas 3 (CAD 3) da UFMG apresentado na Figura 3 localiza-se no *campus* Pampulha, em Belo Horizonte. O edifício, projetado de forma coletiva por seis arquitetos, foi inaugurado em 2018. O CAD 3 se destacou na universidade como um edifício de arquitetura de qualidade, simplificada e com custo econômico. Em 2021, foi um dos sete edifícios brasileiros a concorrer no 12<sup>a</sup> Prêmio *Building of the Year*, promovido pelo ArchDaily, na classe de edifício educacional, dentre oitenta projetos do mundo inteiro (BERZOINI, 2021).

Hoje, o CAD 3 integra o programa de pesquisa e desenvolvimento institucional conhecido como “Projeto OÁSIS – UFMG, que objetiva a redução do consumo de energia elétrica, com análise e promoção de melhorias nas áreas de iluminação, ventilação, e de condicionamento de ar, nos prédios do *campus* Pampulha da UFMG, além de campanhas educativas sobre o uso racional de energia elétrica. Fazem parte das ações do projeto a instalações de usinas fotovoltaicas e de outros sistemas de geração de energia nos edifícios. Além disso o projeto visa melhorar a gestão do uso de energia nas edificações. Para tanto, intervenções nos sistemas de iluminação natural e artificial se mostram necessárias e o presente estudo faz parte das ações desenvolvidas para tal.



**Figuras 2 e 3.** Centro de Atividades Didáticas de Ciências Exatas 3 da UFMG (à esquerda) e planta com indicação dos Blocos 1 e 2 da edificação (à direita)

**Fonte:** (2) BERZOINI, 2020; (3) Autoras, 2023

O edifício possui 10.600 m<sup>2</sup> e é composto por dois blocos interligados por uma passarela coberta. O Bloco 1, objeto desse estudo, é composto por 25 salas de aula e outros ambientes com funções sanitárias, alimentação, administrativas e serviços gerais (Figura 3).

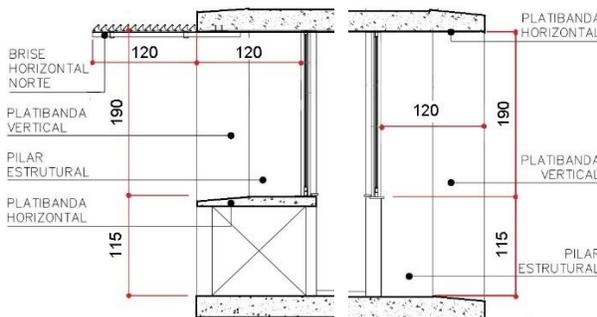
O Bloco 1 possui quatro pavimentos, sendo o primeiro, em maior área, os pilotis do prédio. As salas de aulas se concentram no 2º, 3º e 4º pavimentos, com janelas voltadas para as fachadas norte ou sul, com 3 m de pé-direito. São 3 salas menores com área de 64,5m<sup>2</sup> e 22 salas com áreas variando entre 94,6 e 97,6 m<sup>2</sup>. As salas têm janelas em fita, com folhas de correr e basculantes superiores, sendo que essas aberturas admitem bastante luz do dia, apresentando a relação entre área da abertura e área do piso de 35% a 36% (Figura 4). As Figuras 5 e 6 mostram cortes esquemáticos transversais das esquadrias nas fachadas norte e sul.

**Figura 4 (direita).** Fachada norte do Bloco 1 do CAD 3

**Fonte:** BERZOINI, 2020

**Figuras 5 e 6 (centro e direita).** Corte AA e BB – fachada norte e sul do CAD 3

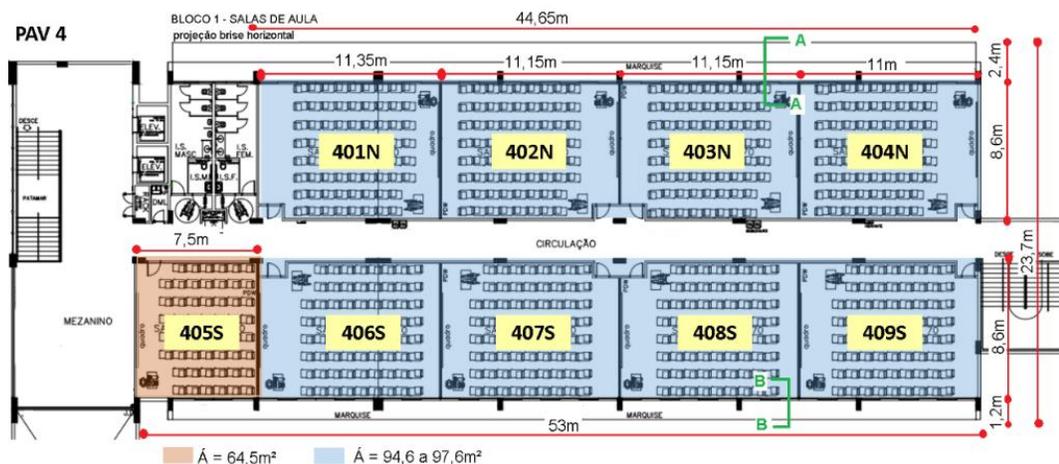
**Fonte:** MONTEIRO, 2023



A Figura 7 mostra a planta-baixa do quarto pavimento, com a localização das salas, que apresentam mesma disposição nos pavimentos 2 e 3.

**Figura 7.** Planta-baixa do pavimento 4

**Fonte:** Adaptado de Departamento de Planejamento Físico e Projetos. Autor, 2023



## SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL DO OFUSCAMENTO CAUSADO PELA LUZ DO DIA

Inicialmente, o edifício e seu entorno foram modelados tridimensionalmente utilizando o *software* Archicad, devido a facilidade para modelagem. Em seguida, o modelo foi transferido para o *software* Rhinoceros 6.0 (Figura 8), que comporta o *plug-in* ClimateStudio, onde foi feita a configuração de materiais e demais parâmetros para realização das simulações. O ClimateStudio foi escolhido por inovar com a possibilidade da simulação anual do ofuscamento e a dinâmica da direção de visão do usuário, bem como a possibilidade de licença educacional.



**Figura 8.** Modelo tridimensional da edificação e de seu entorno.

**Fonte:** MONTEIRO, 2023

Os ambientes internos foram modelados simplificada, sem a inclusão de ocupantes ou mobília, seguindo a proposta de Islam (2021), que defende que os espaços internos sejam modelados como vagos para evitar bloqueios da luz do dia ao adentrar o ambiente e assim revelar as situações mais críticas. Além disso, buscou-se reduzir o tempo de processamento, uma vez que elementos internos fazem com que o arquivo rode mais lentamente. A representação 3D não incluiu as árvores, pois não há árvores próximas à fachada sul e apenas uma árvore de baixa densidade foi observada próxima à fachada norte, durante visita *in-loco*.

As simulações feitas na etapa 3 consideraram três condições, resumidas na Tabela 4: (1) vidro incolor original, sem película, com o uso das folhas e bandeiras das janelas fechadas, como exigido em norma (INI-C, 2021; NBR 15215, 2023); (2) vidros com película, com o uso das bandeiras e folhas das janelas fechadas; (3) vidros com película, com as folhas e bandeiras das janelas abertas, que reflete a situação mais comum das esquadrias, utilizada pelos usuários no dia a dia. O objetivo foi avaliar o desempenho da película na qualidade da luz interna e comparar os resultados do ofuscamento para efeitos normativos com o uso real do prédio.

Condição	Vidro	Janelas	Referência
1	Sem película, Tvis = 81%	Fechadas	NBR 15215 (2023), INI-C (2021)
2	Com película, Tvis = 33%	Fechadas	NBR 15215 (2023), INI-C (2021)
3	Com película, Tvis = 33%	Abertas	Configuração utilizada no dia a dia

**Tabela 4.** Condições das aberturas simuladas

**Fonte:** As autoras, 2023

Na análise de SDG, foram realizadas duas simulações para cada sala: uma com a altura do campo de visão de 1,20 m (CE-002, 2023), padrão para o usuário sentado, considerando os alunos; e uma com a altura do campo de visão de 1,60 m, padrão para o usuário em pé, considerada para o professor (ALAQTUM, 2020).

A atribuição dos parâmetros de entrada seguiu as seguintes etapas: importação do modelo 3D; incorporação do arquivo climático do grupo local, “BRA\_MG\_Belo.Horizonte-Pampulha.AP.868000\_INMET.epw”, de 2018 (PBE Edifica, 2022); atribuição dos materiais ao modelo, com suas propriedades (Tabela 5); escolha da análise desejada, sendo SDG para o campo de visão com altura de 1,20 m e 1,60 m; configuração da malha de pontos, com espaçamento da parede de 0,5 m e razão entre comprimento e largura na faixa de 1,14 a 1,31; determinação do período de análise de 8 às 18 horas (CE-002, 2023); processamento da simulação.

A Tabela 5 resume os materiais e suas propriedades óticas, utilizadas na configuração. Ressalta-se que o *plug-in* ClimateStudio possui uma biblioteca de materiais reais, provenientes de medições com fontes validadas, através de *benchmarks* da DOE (*United States Department of Energy*), padrões ASHRAE (*American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers*) e produtos de envidraçamento do IGDB (*International Glazing Database*).

Material	Propriedade	Fonte
Parede internas	Branco – Refletância = 84,2%	Dornelles (2008)
Parede externa	Cinza – Refletância = 51,5%	LABCCB (2022)
Parede externa	Cinza escuro – Referência 19,85%	Solemma (2022)
Parede externa	Branco – Refletância = 84,2%	Dornelles (2008)
Parede externa	Branco – Refletância = 84,2%	Dornelles (2008)
Parede externa	Amarelo – Refletância = 44,8%	Dornelles (2008)
Parede externa	Amarelo – Refletância = 44,8%	Dornelles (2008)
Telhado edifício	Cerâmico – Refletância = 18,4%	Solemma (2022)
Piso interno	Cinza – Refletância = 42,9%	Pereira <i>et al.</i> (2021)
Piso externo	Cinza – Refletância = 42,9%	Pereira <i>et al.</i> (2021)
Forro interno	Branco – Refletância = 84,2%	Dornelles (2008)
Vidro incolor 6mm	Transmissividade da luz visível = 85%	Lamberts (2016)
Vidro incolor 6mm com película	<i>Insufilm</i> Black 35 – Transmissividade da luz visível = 33%	Polibrako (2022)
<i>Brise</i> existente	Alumínio prata – Refletância = 51% <sup>1</sup>	Solemma (2022)
Vias de asfalto	Asfalto – Refletância = 10%	Souza e Kux (2005)
Gramado	Grama baixa – refletância = 13,84%	Design for Climate and Confort Lab (2022)
Brises e telas	Alumínio cinza – Refletância = 20%	Solemma (2022)

**Tabela 5.** Propriedades óticas dos materiais

**Fonte:** MONTEIRO, 2023

O valor de Transmissividade da Luz Visível da película foi obtido a partir das informações fornecidas pela empresa Black Out Insulfilm, disponíveis no site do fabricante Polibrako. Foi requisitado aos profissionais o laudo técnico da película. No entanto, esses profissionais alegaram não ter conhecimento da existência de um laudo específico. Informações do vidro incolor foram retiradas do projeto do edifício e o valor de Transmissividade da Luz Visível foi definido a partir do banco de dados de vidros reais apresentado pelo *plug-in*. Conforme orienta a proposta de revisão da NBR 15215:2023 (CE-002, 2023) e a INI-C (BRASIL, 2021), aplicou-se o fator de depreciação de 5% nos valores apresentados na Tabela 5 para o vidro das janelas, considerando-se as sujidades. Assim, para o vidro com película foi considerada a transmissividade de 31% e para o vidro incolor, 81%. A configuração dos parâmetros de entrada do Radiance foram: *Ambient bounces* 0,7, para espaços mais complexos, como com dispositivos de proteção da luz do sol (Bissoloti e Pereira, 2019); *Samples per pass* 64; *Max number of passes* 100 (Solemma, 2022); *Weight limit* 0,01 (Reinhart, 2010).

Na Etapa 3 foram realizadas 100 simulações para averiguar a ocorrência do ofuscamento em todas as 25 salas de aula do prédio e, na Etapa 4, foram realizadas mais 22 simulações para analisar o ofuscamento com uso de dispositivos de controle nas 4 salas do edifício diagnosticadas com o pior desempenho para o desconforto visual.

<sup>1</sup> Devido à ausência de informações sobre a refletância por parte do fornecedor Hunter Douglas, foi adotado como referência material disponível na biblioteca do ClimateStudio, descrito como alumínio com dados medidos pelo *Architecture and Sustainable Design da Singapore University of Technology and Design (ASD-UTD)*.

## DIAGNÓSTICO DO OFUSCAMENTO NAS SALAS DE AULA DO EDIFÍCIO

O ClimateStudio calcula a distribuição de ofuscamento anual, baseado na indicação de porcentagem de direções de visão que experimentam ofuscamento perturbador ou intolerável (com DGP  $\geq 0,38$ ), e mostra isso com o limite de 5% do tempo em que o espaço é ocupado anualmente. No entanto, ele carece de referência de valor limite espacial para sua análise como métrica. Para fins de análise, criando um comparativo entre as simulações realizadas, a pesquisa propõe o limite de 5% de direções de visão (número de vistas), para considerar que o ambiente possui adequação ou não ao controle de ofuscamento. Agregada à essa análise de sDG, a partir dos mapas de ofuscamento dados pelo *software*, foi possível quantificar a porcentagem de área da sala que experimenta o DGP de forma crítica e para tal considerou-se que no máximo 25% do espaço deveria ter a presença de direções de visão com probabilidade de ofuscamento perturbador ou intolerável. Esta análise foi feita apenas na etapa 4, a partir do estudo de novos dispositivos de controle do ofuscamento. A Tabela 6 resume as classificações.

Métrica	Valor de referência	Classificação	Fonte
sDG 5% do tempo	< 5% do espaço	Bom	MONTEIRO, 2023
	$\geq 5\%$ do espaço	Crítico	
área do piso com sDG>5	para: DGP $\geq 38\%$	Brilho perturbador e intolerável	SOLEMMMA (2022); CE-002 (2023)
	< 25%	Bom	MONTEIRO, 2023
	> 25%	Crítico	

**Tabela 6.** Classificação proposta para sDG

Fonte: MONTEIRO, 2023

Para o estudo inicial (etapa 3), foram simuladas todas as 25 salas de aula do edifício. A partir do diagnóstico da sala com pior desempenho para o ofuscamento, testaram-se dez dispositivos de controle do ofuscamento para essa sala. A escolha dos dispositivos para controle do ofuscamento baseou-se em outros estudos da área (CARVALHO, PEDRINI, 2014; SRISAMRANRUNGRUANG, HIYAMA, 2020) e na realização de desenhos de sombreamento com máscara e carta solar. Esse estudo pode ser visto no trabalho ampliado (MONTEIRO, 2023). A fim de investigar a efetividade e replicabilidade desses, selecionou-se os dois dispositivos com melhor desempenho na primeira sala, e testou-se esses dois dispositivos em mais três salas com pior desempenho, estando uma em cada pavimento do edifício.

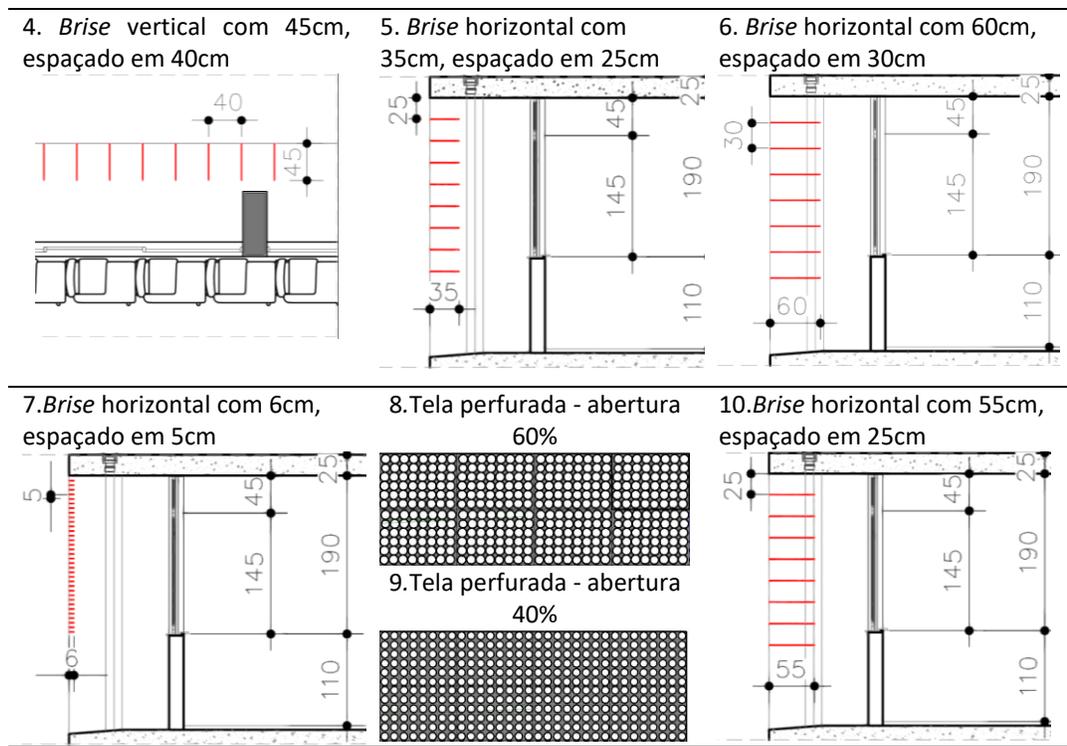
## PROPOSIÇÃO DE MEDIDAS DE MITIGAÇÃO DO OFUSCAMENTO E SDG

Na análise de dispositivos de controle para mitigação do ofuscamento, a pesquisa desenhou e testou dez dispositivos, entre *brises* horizontais e verticais e telas perfuradas. A Tabela 7 mostra os elementos analisados compostos de aletas verticais ou horizontais em 8 das soluções e por telas com furação variadas em 2 opções. As máscaras solares dos dispositivos podem ser conferidas na íntegra no estudo ampliado que originou a pesquisa (MONTEIRO, 2023).



**Tabela 7.** Elementos de controle de ofuscamento testados

Fonte: MONTEIRO, 2023



### MENSURAÇÃO DA EFETIVIDADE DAS MEDIDAS PROPOSTAS E SDG PROPOSTO

Os desempenhos dos dispositivos de controle do ofuscamento foram confrontados entre si. Comparou-se os produtos das simulações e os resultados para a métrica de referência de SDG (*Spatial Disturbing Glare*), apresentada na Tabela 6, e analisou-se ainda os mapas gráficos gerados através do programa, onde em planta-baixa é possível identificar e quantificar as direções de visualização mais incômodas, e em imagens olho de peixe é possível mapear as iluminâncias verticais em determinada direção de visualização.

Na análise de novos dispositivos de controle do ofuscamento, calculou-se o percentual da área do ambiente afetado pelo ofuscamento. A partir do mapa gráfico de ofuscamento resultado do *software*, levantou-se a porcentagem de vistas na sala que experimentavam um SDG crítico. Além disso, mais um parâmetro de análise foi a admissão da ocorrência de ofuscamento em, no máximo, 25% da área do espaço.

## RESULTADOS

### PROBABILIDADE DE OCORRÊNCIA DE OFUSCAMENTO NAS SALAS DE AULA

A Tabela 8 mostra os resultados de SDG em todas as salas de aula, classificados conforme parâmetros base do estudo, apontados na Tabela 6 para a primeira fase de simulações. Foram avaliadas a altura de visão de alunos a 1,2 m e do professor a 1,6 m, para janelas fechadas sem e com a presença de película, (Condições 1 e 2) e abertas com película (Condição 3).

Sala	Condição 1 - Janelas fechadas sem película		Condição 2 - Janelas fechadas com película		Condição 3 - Janelas abertas com película	
	sDG 1,2m (%)	sDG 1,6m (%)	sDG 1,2m (%)	sDG 1,6m (%)	sDG 1,2m (%)	sDG 1,6m (%)
201N	7,74	5,96	0	0	4,03	2,43
202N	8,44	6,49	0	0	3,26	2,25
203N	8,77	6,7	0	0	4,17	3,01
204N	7,3	5,85	0	0	2,82	2,06
205S	0,1	0,16	0	0	0,16	0,21
206S	0,65	0,76	0	0	0,47	0,33
207S	1,7	2,14	0	0	0,69	0,91
208S	4,49	5,04	0	0	1,34	1,56
209S	5,96	6,65	0	0	2,46	2,78
301N	9,81	8,5	0	0	5,2	4,22
302N	10,29	9,35	0	0	4,28	3,91
303N	11,05	9,42	0	0	5,76	4,86
304N	9,36	8,24	0	0	3,36	3,18
305S	4,15	5,65	0	0	1,32	2,19
306S	6,09	8,12	0	0	1,85	2,72
307S	7,48	9,43	0	0	2,71	3,83
401N	11,01	9,85	0	0	5,89	5,09
402N	11,67	10,47	0	0	5,25	4,24
403N	12,25	10,65	0,04	0	6,63	5,51
404N	11,34	9,72	0	0	4,44	3,97
405S	1,61	2,03	0	0	0,68	0,83
406S	4,25	4,58	0	0	1,45	1,49
407S	6,09	6,81	0	0	1,63	2,32
408S	8,22	9,17	0	0	2,68	3,33
409S	8,82	10,77	0	0	3,72	4,88

<b>LEGENDA:</b>	sDG <sub>5,5</sub> < 5%	Bom	sDG <sub>5,5</sub> ≥ 5%	Crítico
-----------------	-------------------------	-----	-------------------------	---------

**Tabela 8.** Resultados das simulações de Spatial Daylighting Glare (sDG) para todas as salas de aula

Fonte: MONTEIRO, 2023

Na condição original da edificação, sem uso de películas nos vidros, com janelas fechadas (Condição 1), constatou-se que o ofuscamento era perturbador ou intolerável em 88% das salas, com valores de sDG de até 12,25%. Já com o uso da película nos vidros, com janelas fechadas (Condição 2), não é identificada ocorrência de ofuscamento perturbador ou intolerável, com sDG sempre nulo, mas esse assume valores de desconforto por ofuscamento nos espaços quando janelas estão abertas (Condição 3), com sDG ultrapassando 5% em três salas - 301N, 303N e 402N - para o usuário sentado, e em duas salas - 401N e 403N - para o usuário sentado e em pé. Tal fato demonstra que, embora a película seja eficaz na redução do ofuscamento com as janelas fechadas (Condição 2), conforme exigido por normas, ela não se mostra eficaz na prática, quando as janelas estão abertas, no uso diários dos ocupantes (Condição 3), e pode resultar em um aumento de contrastes. Além disso, essa situação também afeta a visão do ambiente externo, uma vez que, quando as janelas estão abertas, com os vidros em sobreposição, a transmissão total dos vidros reduz pela metade, o que leva a um aumento do contraste na cena, confirmada por observação visual *in loco*, conforme apresenta a Figura 9.

Através de visita ao prédio, em 29 de setembro de 2022, foram registradas imagens do interior de uma sala de aula do 4º pavimento, com aberturas para a fachada sul, às 14 horas. A Figura 9 ilustra vistas das janelas na sala, com folhas fechadas e abertas. A partir destas imagens pode-se verificar que a introdução de películas tornou o ambiente mais sombrio quando as janelas

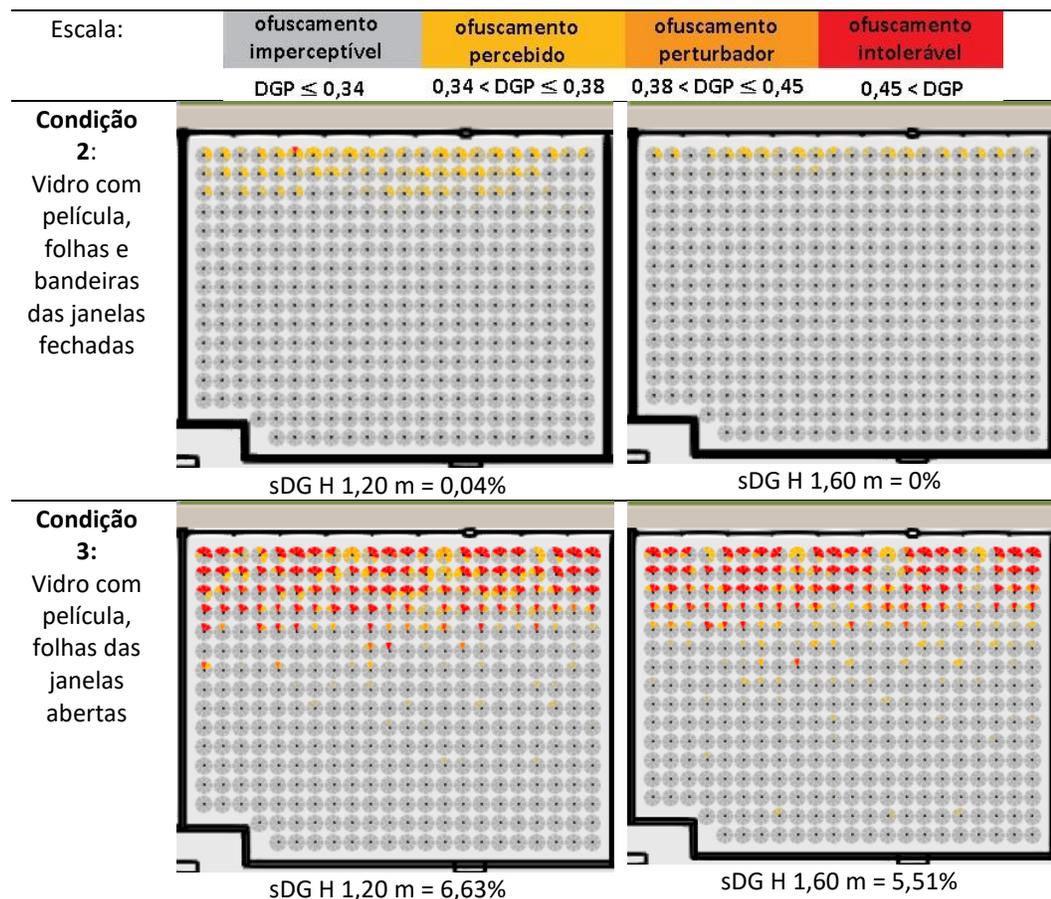
estão fechadas e que quando as janelas estão abertas há aumento de contraste entre as áreas onde há entrada de luz do dia sem obstrução e as áreas onde há sobreposição das folhas de vidro, aumentando o desconforto na visualização do ambiente externo.



**Figura 9.** Vista para o exterior da sala de aula 407S de fachada sul com janelas fechadas (à esquerda) e abertas (à direita)

**Fonte:** MONTEIRO, 2023

Com o mapeamento do ofuscamento, qualificado por sDG, compreendeu-se que as direções de visão mais incômodas são as visões orientadas às janelas, como pode ser visto na Tabela 9. Esta figura mostra os resultados gráficos da probabilidade de ofuscamento para a sala 403N, diagnosticada com o pior desempenho para ofuscamento no edifício. De forma geral, o comportamento observado na sala 403N repete-se nas demais salas do edifício.



**Tabela 9.** Visualização da probabilidade de ocorrência de ofuscamento para a sala com pior desempenho no edifício com vidro com película

**Fonte:** MONTEIRO, 2023

Verificou-se resultados de sDG mais altos para o campo visual do aluno sentado (H=1,20 m), sendo que, em 35% dos casos, os valores de sDG para o observador sentado ultrapassa o observador em pé de 5% a 40% e que a probabilidade de ocorrer o ofuscamento perturbador ou intolerável é maior em direções de visão para as aberturas, percebido em até 30% das posições do usuário no espaço da sala. Já nas direções de visão mais habituais aos alunos,

voltada para o professor e o quadro à frente da sala, o ofuscamento tem caráter imperceptível ou percebido, com ofuscamento perturbador ou intolerável ocorrendo em até 3% das posições no espaço da sala. Considerando a posição do professor, em pé (H=1,60 m), o fenômeno de ofuscamento também ocorre nas linhas de visão que se dirigem para a janela, talvez no momento em que o professor foca sua atenção nos alunos que estão próximos das aberturas. Contudo, entendeu-se que o professor é mais limitado em alternativas, quando se trata de direcionar sua visão para mais conforto, visto que esse está constantemente alternando sua visão no espaço, sendo o usuário mais perturbado pelo ofuscamento causado pela luz do dia, fato endossado por ter sido esse usuário quem mais reclamou do desconforto visual nesses espaços, segundo conversa informal com a Administradora do edifício.

As salas de aula do CAD 3 têm área significativamente grande. O Código de Edificações de Belo Horizonte exige que as aberturas possuam 17% de área em relação ao piso do ambiente, sendo que as salas estudadas possuem aberturas com essa relação de 35% a 36%. Mesmo com os dispositivos de proteção já instalados no edifício, especialmente quando as janelas estão abertas, ainda se observa a ocorrência de níveis críticos de ofuscamento em 20% das salas.

### SGD APÓS MEDIDAS DE MITIGAÇÃO DO OFUSCAMENTO

Através das simulações (Tabela 10), concluiu-se que a sala que apresentou o pior desempenho para o ofuscamento foi a 403N, por isso selecionada para o estudo de dispositivos de controle do ofuscamento (etapa 4). Nessa etapa, a película nos vidros foi retirada, após constatação de que ela pode agravar o ofuscamento e bloquear a vista externa, a fim também de se encontrar dispositivos mais eficientes. Apenas nesse estudo, foi simulada uma quarta condição da sala, para comparação com os novos dispositivos: considerou-se a sala 403N com o vidro incolor original, com janelas abertas, conforme usado pelos usuários. Em azul, foram delineadas as medidas com melhor desempenho, considerando as duas alturas do olho do observador.

	sDG h.1,20m	área do piso	sDG h.1,60m	área do piso
Condiç. 4 - Janelas abertas, sem película	17,2%	56%	15,1%	50%
M.1-Brise horizontal 35cm, espaç. 30cm	10,3%	42%	10,1%	34%
M.2-Brise horizontal 55cm, espaç. 30cm	2,1%	16%	6,2%	27%
M.3-Brise vertical 25cm, espaç. 30cm	12,5%	45%	10,3%	38%
M.4-Brise vertical 45cm, espaç. 40cm	10,9%	33%	8,9%	34%
M.5-Brise horizontal 35cm, espaç. 25cm	7,3%	36%	8,8%	33%
M.6-Brise horizontal 60cm, espaç. 30cm	1,1%	10%	4,8%	24%
M.7-Brise horizontal 6cm, espaç. 5cm	8,2%	37%	9,1%	32%
M.8-Tela perfurada trans. 60%	0,9%	14%	0,1%	3%
M.9-Tela perfurada trans. 40%	0%	7%	0%	0%
M.10-Brise horizontal 55cm, espaç. 25cm	0,3%	4%	3,7%	21%

**Tabela 10.** Resultados de sDG e percentual de área com DGP  $\geq 0,38$  para diversos dispositivos de controle para sala 403N

**Fonte:** MONTEIRO, 2023

No geral, os *brises* demonstraram altos níveis de ofuscamento, mesmo com máscaras que bloqueavam uma parte significativa da visão direta do céu, o que enfatiza que o desconforto visual não se limita apenas à exposição direta aos raios solares, mas também à exposição a altos níveis de contrastes e reflexões de brilho de superfícies nos espaços internos.

Os *brises* horizontais com 60 cm de largura e um espaçamento de 30 cm entre as lâminas (modelo M.6) e de 55 cm de largura e um espaçamento de 25 cm entre as lâminas (modelo M.10) demonstraram um desempenho satisfatório em relação ao ofuscamento, bem como as telas perfuradas (modelos M.8 e M.9). As telas perfuradas diminuíram o desconforto visual de 95% a 100%, mas reduziram em até 74% a vista para o exterior, fato que pode ser visto no estudo mais ampliado (MONTEIRO, 2023). Já os *brises* verticais reduziram a ocorrência do

ofuscamento de 32% a 41%, mas ainda apresentaram ofuscamento crítico e prejudicaram a vista para o exterior em até 77% (MONTEIRO, 2023). Por isso, as medidas de controle mais eficazes contra o ofuscamento foram determinadas como sendo os *brises* M.6 e M.10. Esses representaram uma redução na ocorrência do ofuscamento de 68% a 98% com preservação da vista para o exterior com qualidade. Por isso, a adoção das medidas (*brises* M.6 e M.10) nas salas 203N, 303N e 409S foi considerada, conforme mostra a Tabela 11.

		sDG h=1,2 m (%)	área do piso (%)	sDG h=1,6 m (%)	área do piso (%)
203N	Condição 4	20,1	56	16,2	50
	M.6	0,04	2	0,83	10
	M.10	0	0	0,43	5
303N	Condição 4	21,8	60	17,8	55
	M.6	0,65	5	4,42	23
	M.10	0,07	1	3,41	19
409S	Condição 4	9,2	34	10,5	40
	M.6	0	0	2,71	19
	M.10	0	0	2,35	17

**Tabela 11.** Resultados do estudo de dispositivos de controle para demais salas: sDG e área de piso com DGP ≥ 0,38

**Fonte:** MONTEIRO, 2023

Os resultados dos dois *brises* (M.6 e M.10), para sDG e área do piso, mostraram-se satisfatórios também para as três salas, reduzindo a ocorrência do ofuscamento de 74% a 100% nessas salas, e com preservação da vista para o exterior.

## CONCLUSÕES FINAIS

Contribuindo para a lacuna de estudos experimentais sobre a ocorrência do ofuscamento de forma dinâmica em salas de aula universitárias no Brasil, o estudo compreendeu que é fundamental analisar a ocorrência do ofuscamento não só em resultados métricos, mas também de forma gráfica, o que amplia o entendimento de como as possibilidades de posição e direção de visão dos usuários é influenciada pela dinâmica desse desconforto visual, e propicia ferramentas mais eficientes no projeto desses espaços.

Compreendeu-se que as condições das aberturas exigidas em normas, para análise da qualidade da luz, não refletem o uso mais comum do prédio, sendo importante considerar a análise das situações de uso diário das janelas no edifício, não só para a análise de níveis de iluminação nos espaços, mas principalmente no estudo de sistemas de controle mais eficientes.

Notou-se que o usuário faz adaptações no edifício para mitigar seu desconforto visual, mas essas podem ser soluções inadequadas para o espaço, como no uso da película que, na situação mais usual, com janelas abertas, agrava a ocorrência do contraste e bloqueia a vista para o exterior, reduzindo também a disponibilidade de luz do dia interna. Essas medidas podem ocasionar no uso desmedido da luz artificial, como única opção de luz nos espaços internos.

A entrada abundante de luz do dia nas áreas internas resulta em um nível considerável de ofuscamento, que necessita ser mitigado por meio de dispositivos de controle eficazes. Para o estudo de caso, *brises* horizontais foram as melhores medidas na redução do ofuscamento, com preservação da vista para o exterior com qualidade, comparado aos *brises* verticais e telas perfuradas. Apesar dos *brises* verticais reduzirem a ocorrência do ofuscamento, o desconforto visual ainda foi crítico, e a vista para o exterior foi prejudicada. Já as telas perfuradas diminuíram o desconforto visual de forma satisfatória, mas reduziram a vista para o exterior. Tendo compreendido que a película agrava a ocorrência do ofuscamento, para direções de visualização da janela, e comparando a ocorrência do ofuscamento sem a película nos vidros, pode-se dizer que a incorporação de *brises* horizontais reduziu em até 98% a incidência de

ofuscamento. Isso foi alcançado garantindo luz do dia satisfatória e a visão do exterior, independentemente das janelas estarem abertas ou fechadas.

Entendeu-se que mais estudos são necessários para verificação da aplicabilidade de sDG, com o valor espacial limite proposto de 5%. No entanto, a implementação de dispositivos de controle eficientes se mostrou adequada para satisfazer essa exigência no contexto do estudo, dados os resultados para a ocorrência de ofuscamento, junto à autonomia da luz natural disponível e vista para o exterior. O avanço dos *softwares* pode trazer mais compreensões ao projeto e contribuições para a análise das métricas, como foi na análise espacial do percentual de vistas do espaço, através dos mapas em planta-baixa, agregado ao estudo e a avaliação de sDG propostos. O valor de 5%, em  $sDG \geq 0,38$  em 5% do tempo em 5% das vistas, pode ser um indicador útil para avaliar a questão do ofuscamento.

## **Agradecimentos**

À UFMG e ao Projeto Oásis pela cessão de dados e pelo fomento à pesquisa. Agradecimentos ao CNPq por concessão de bolsa Produtividade em Desenvolvimento Tecnológico e Extensão.

## **Referências Bibliográficas**

ALAQTUM, Tasbeeh Musa. A methodology to assess and mitigate daylight discomfort glare and provide views in daylight learning environments. (Dissertation) - University of Arizona, 2020. p. 21-41.

BERZOINI, Juliana. CAD 3 Center/DPFP UFMG. **ArchDaily**, 2020. Disponível em: <https://www.archdaily.com/940259/cad-3-center-dpfp-ufmg>. Acesso em 23 mar. 2021.

BISSOLOTTI, Kaila; PEREIRA, Fernando Oscar Ruttkay. Metodologia para análise de iluminação natural zenital em quadras poliesportivas. XV ENCAC - Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído, 2019, João Pessoa. **Anais...** p. 2845-2855.

BOMMEL, Wout Van. **Interior Lighting**. Fundamentals, Technology and Application. Cap 1-4. Springer Nature, Switzerland, 2019, p. 3-136.

BRASIL. INSTITUTO NACIONAL DE ESTUDOS E PESQUISAS EDUCACIONAIS ANÍSIO TEIXEIRA - INEP. **Censo da Educação Superior, 2020**. Brasília: MEC, 2022.

BOYCE, Peter. **Human Factors in Lighting**. 2nd ed. London: Taylor & Francis, 2003.

CASTILLA, Nuria; LLINARES, Carmen; BISEGNAC, Fabio; GIMÉNEZA, Vicente Blanca-. Affective evaluation of the luminous environment in university classrooms. **Journal of Environmental Psychology**, 58, p. 52-62, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jenvp.2018.07.010>

CE-002:135.002 - ABNT. **NBR 15215-3**: Iluminação natural - Parte 3: Procedimentos para avaliação da iluminação natural em ambientes internos. Versão 19. Rio de Janeiro: ABNT, 2023.

CEN - European Committee for Standardization. **EN 17037**: Daylight in buildings. Brussels, 2018.

DEROISY, B; DENEYER, A. A new standard for daylight: Towards a daylight revolution? In: **LUX Europa**. Liubliana, sep. 2017.

ISLAM, Md Fahad. The Impacts of Adjustable Light Shelf Heights over the Daylight Illuminance in Classrooms in Dhaka. **Asian Journal of Applied Science and Engineering**, v. 10, issue 1, p. 53-57, 2021. DOI: 10.18034/ajase.v10i1.24

JAKUBIEC, J. Alstan; REINHART, Christoph F. A concept for predicting occupants' long-term visual comfort within daylit spaces. **LEUKOS: The Journal of the Illuminating Engineering Society of North America**, v. 12, 4, p. 185-202, nov. 2015. DOI:10.1080/15502724.2015.1090880

JONES, Nathaniel. Fast Climate-Based Glare Analysis and Spatial Mapping. In Proceedings of Building Simulation 2019: **16th Conference of International Building Performance Simulation Association**. Rome: sep. 2019. DOI: 10.26868/25222708.2019.210267

KAPLAN, Stephen. The restorative benefits of nature: Toward an integrative framework. **Elsevier: Journal of Environmental Psychology**, v. 15, p. 169-182, sep. 1995. DOI: [https://doi.org/10.1016/0272-4944\(95\)90001-2](https://doi.org/10.1016/0272-4944(95)90001-2)

LLINARES, Carmen; CASTILLA, Nuria; TRUJILLO, Juan Luis Higuera-. Do Attention and Memory Tasks Require the Same Lighting? A Study in University Classrooms. **Sustainability**, 2021, 13, 8374. DOI: <https://doi.org/10.3390/su13158374>

LOTFABADI, Pooya; HANÇER, Polat. Optimization of visual comfort: Building openings. **Elsevier: Journal of Building Engineering**, v. 72, issue 1, apr. 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2023.106598>

MIRMORAD, Seyedeh Somayeh. The Effect of the Relationship between Indoor Architectural Design Studios and Outdoor Landscape on Increasing Students' Satisfaction Level. **International Journal of Built Environment and Sustainability**, v. 8, 1, p. 47-56, 2021. DOI: <https://doi.org/10.11113/ijbes.v8.n1.585>

MIT - Massachusetts Institute of Technology. Decision Support Tools. **MIT Sustainable Design Lab**, 2022. Available at: <https://web.mit.edu/sustainabledesignlab/software.html>. Access in: 19 mar. 22.

MONTEIRO, Larissa Arêdes. **Iluminação natural em salas de aula – análise por novos parâmetros normativos**. 2023. Dissertação (Programa de Pós Graduação em Ambiente Construído e Patrimônio Sustentável) - Escola de Arquitetura, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2023.

MONTEOLIVA, Juan Manuel; GARRETÓN, Julieta A. Yamín; PATTINI, Andrea E. Comparative Investigation of Daylight Glare Probability (DGP) Comfort Classes in Clear Sky Condition. **Journal of Daylighting**, vol. 8, p. 284-293, Mendoza, 2021. DOI: 10.15627/jd.2021.22

REINHART, Christoph F. The Use of Glare Metrics in the Design of Daylit Spaces: Recommendations for Practice, 2010. **9th International Radiance Workshop**, sep. 2010.

RHINOCEROS. About McNeel. **Rhinoceros**. Seattle, USA. Available at: <https://www.rhino3d.com/mcneel/about/>. Access in: 15 sep. 2022.

SOLEMMA LLC. **Climate Studio**. Minneapolis, 2022. Available at: <https://www.solemma.com/climatestudio>. Access in: 20 mar. 2022.

VELUX. Parameters influencing daylighting performance. **Velux**. Hørsholm, Denmark, 2022. Available at: <https://www.velux.com/>. Access in: 17 mar. 2022.

WIENOLD, J.; IWATA, T.; KHANIE, M.; ERELL, E.; KAFTAN, E.; RODRIGUEZ, R.; GARRETÓN, J.; TZEMPELIKOS, T.; KONSTANTZOS, I.; CHRISTOFFERSEN, j.; KUHN, T.; PIERSON, C.; ANDERSEN, M. Cross-validation and robustness of daylight glare metrics. **Lighting Research & Technology**, v. 51, issue 7, p. 983-1013, mar. 2019. DOI: <https://doi.org/10.1177/1477153519826003>

Larissa Arêdes Monteiro  
[lam2019@ufmg.br](mailto:lam2019@ufmg.br)

Roberta Vieira Gonçalves  
de Souza  
[robertavgs@ufmg.br](mailto:robertavgs@ufmg.br)

Maria Luiza Almeida  
Cunha de Castro  
[luizadecastro@ufmg.br](mailto:luizadecastro@ufmg.br)