XXI ENTAC – Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído
14 a 16 de outubro de 2026 | Goiânia-Brasil
DOI: https://doi.org/10.46421/entac.v21i1.8877

Refletância de superfícies internas e estímulo circadiano: revisão sistemática da literatura

Internal surface reflectance and circadian stimulus: a systematic literature review

Lucas Meiado Souza
UNESP | Bauru | Brasil | lucas.meiado@unesp.br
Maíra Vieira Dias
UNESP | Bauru | Brasil | maira.dias@unesp.br

Resumo

Em ambientes internos, a luz regula o sistema circadiano humano, influenciando funções psicofisiológicas além da formação da imagem visual. Nesse contexto, o projeto de iluminação deve considerar não apenas a iluminância horizontal, mas também os efeitos não visuais associados à incidência no plano vertical. Estudos indicam que a refletância das superfícies, especialmente das paredes, influencia significativamente a iluminância corneana e a estimulação circadiana, destacando o papel das cores e acabamentos internos. Assim, este artigo analisa, por meio de revisão sistemática de literatura, as refletâncias de paredes mais investigadas e seus impactos na visão e na estimulação circadiana. A revisão seguiu o protocolo PRISMA 2020, com busca na Scopus que resultou em 86 artigos, dos quais 14 foram selecionados. Os resultados indicaram que superfícies com maior refletância, geralmente associadas a cores claras e frias, tendem a apresentar níveis mais elevados de EML, enquanto superfícies de menor refletância e cores quentes exibem desempenho inferior. No entanto, tais evidências devem ser interpretadas com cautela, devido à baixa diversidade de cores e materiais analisados.

Palavras-chave: Efeitos não visuais da luz. Projeto de iluminação. Qualidade da iluminação.

Abstract

In indoor environments, light regulates the human circadian system, influencing psychophysiological functions beyond visual image formation. In this context, lighting design must consider not only horizontal illuminance but also the non-visual effects associated with incidence on the vertical plane. Studies indicate that the reflectance of surfaces, especially walls, significantly influences corneal illuminance and circadian stimulation, highlighting the role of interior colors and finishes. Thus, this article analyzes, through a systematic literature review, the most investigated wall reflectances and their impacts on vision and circadian stimulation. The review followed the PRISMA 2020 protocol, with a search in Scopus that resulted in 86 articles, of which 14 were selected. The results indicated that surfaces with higher reflectance, generally associated with light and cool colors, tend to present higher levels of EML, while surfaces with lower reflectance and warm colors exhibit inferior performance. However, such evidence should be interpreted with caution, due to the low diversity of colors and materials analyzed.

Keywords: Non-visual effects of light. Lighting design. Lighting quality.

DOI: https://doi.org/10.46421/entac.v21i1.8877

INTRODUÇÃO

A descoberta, em 2002, da terceira classe de fotorreceptores na retina humana, as células ganglionares retinais intrinsecamente fotossensíveis (ipRGCs), caracterizadas pela presença do fotopigmento melanopsina [1], ampliou significativamente a compreensão das respostas humanas à luz [2; 3]. Além da função visual, a luz atua sobre mecanismos biológicos não visuais - conhecidos como efeitos não formadores de imagens (NFI) - que influenciam o relógio biológico e processos fisiológicos como o ciclo sono-vigília, temperatura corporal, secreção hormonal, desempenho cognitivo e resposta imunológica [2; 3]. Esses efeitos são especialmente sensíveis à luz de comprimento de onda curto (azul), evidenciando a relevância da qualidade espectral da luz para além da visibilidade.

A resposta biológica à luz depende não apenas da sua intensidade, mas também da sua quantidade, distribuição espectral, tempo e duração da exposição. Esses fatores tornam-se particularmente relevantes considerando que os efeitos NFI estão associados à iluminação no plano vertical, na altura do campo visual.

Esse cenário reforça a necessidade de uma abordagem integrada que considere os efeitos visuais e os não visuais da luz. Esse cuidado se intensifica ao considerar que as pessoas permanecem cerca de 90% do tempo em ambientes internos, onde a iluminação é fortemente condicionada pelas características do espaço construído [4]. Fatores como orientação da edificação, dimensões das aberturas, obstruções externas, geometria dos ambientes e propriedades ópticas das superfícies influenciam diretamente a quantidade, distribuição e composição espectral da luz disponível [5].

Nesse sentido, a arquitetura exerce papel central na modulação da iluminação e, consequentemente, no potencial circadiano dos ambientes. A luz que atinge o plano visual resulta não apenas da fonte luminosa, mas também das interações com as superfícies internas, que alteram sua intensidade, direcionalidade e composição espectral [5; 6]. Assim, as propriedades ópticas dos materiais, especialmente a refletância das superfícies, tornam-se determinantes para a configuração do ambiente luminoso e para a eficácia biológica da iluminação [6; 7].

Estudos como [6; 7] evidenciam que a refletância das superfícies internas influencia significativamente a iluminância corneana e os estímulos circadianos. Em alguns casos, seu aumento pode ser mais eficaz para ampliar a iluminância indireta do que o incremento do fluxo luminoso das luminárias, indicando o papel estratégico desse parâmetro no desempenho da iluminação [6; 7].

Apesar dos avanços, ainda há dispersão nas abordagens de análise das propriedades das superfícies internas, especialmente quanto às refletâncias de paredes e seus impactos na iluminação voltada à visão e ao sistema circadiano. Nesse contexto, torna-se relevante sistematizar o conhecimento existente, identificando padrões e tendências de investigação.

Assim, este artigo analisa, por meio de uma revisão sistemática de literatura (RSL), as refletâncias de paredes mais investigadas e seus impactos na visão e na estimulação circadiana, buscando, ainda, identificar lacunas nesse campo.

METODOLOGIA

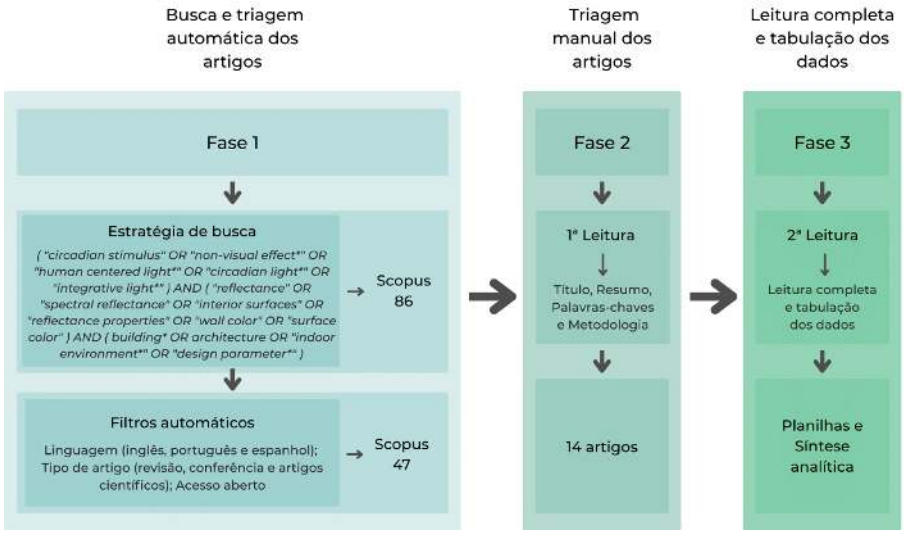
A metodologia seguiu o protocolo PRISMA 2020 (*Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses*) e contemplou três etapas. A primeira, consistiu na elaboração da *string* de busca aplicada na base de dados Scopus, em fevereiro de 2026, e na aplicação de filtros na própria plataforma (Figura 1). A expressão de busca, composta por termos-chave, filtros e operadores booleanos, foi estruturada para abranger diferentes combinações entre os termos.

A busca inicial resultou em 86 artigos, posteriormente reduzidos para 47 após a aplicação de filtros, considerando apenas publicações de acesso aberto, incluindo artigos de revisão, de conferência e artigos científicos, nos idiomas inglês, português e espanhol.

Na sequência, realizou-se a triagem manual dos artigos, por meio da leitura de títulos, resumos e palavras-chave, selecionando-se aqueles em que a refletância das superfícies internas, especialmente das paredes, foi tratada como variável de estudo. Trabalhos que não apresentavam variação desse parâmetro foram excluídos. Ao final dessa etapa, foram selecionados 14 artigos para a terceira fase da RSL, referente à leitura completa e à tabulação dos dados.

Durante a leitura, buscou-se identificar as refletâncias das superfícies internas, com ênfase nas paredes, considerando os valores analisados e sua aplicação nos estudos selecionados. Os dados foram tabulados e sistematizados para posterior análise e síntese.

Figura 1: Resumo do protocolo da RSL



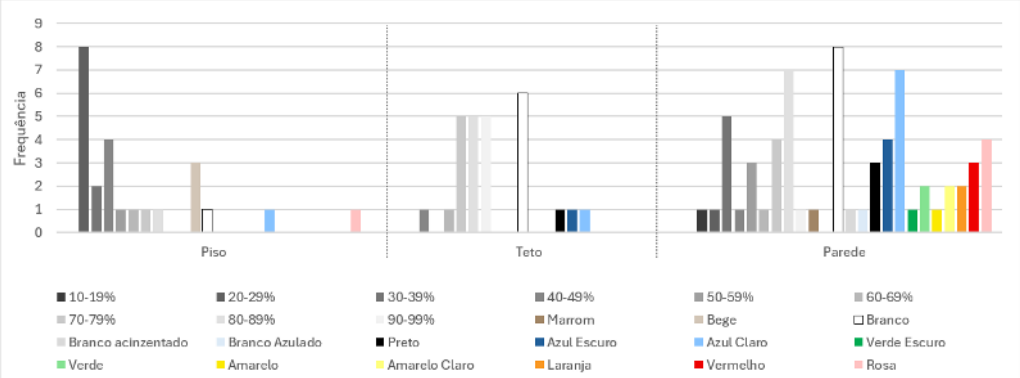
Fonte: os autores.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O Gráfico 1 apresenta a frequência das cores adotadas nas superfícies internas dos ambientes avaliados nos estudos analisados. A sistematização dessas informações oferece uma visão geral dos parâmetros cromáticos considerados pela literatura

selecionada. A seguir, são discutidos os principais resultados relacionados à influência da refletância das superfícies internas e sua interação com outras variáveis do ambiente construído.

Gráfico 1: Cores das superfícies internas investigadas nos estudos analisados



Fonte: os autores.

Em [9], observa-se que a eficácia da iluminação para estímulo circadiano varia conforme a distância das estações de trabalho em relação às janelas. Em posições próximas às aberturas (3 m), refletâncias melanópicas moderadas (Rm > 25,6%) associadas à iluminação natural são suficientes para atingir níveis recomendados de lux melanópico equivalente (EML). Em distâncias maiores (8 m), esse atendimento passa a depender de refletâncias mais elevadas (Rm de 90,7%) e iluminação elétrica complementar. Em cenários mais profundos (13 m), a combinação dessas estratégias mostrou-se insuficiente, evidenciando limitações impostas pela geometria do espaço. Por outro lado, a inclusão de monitores como fonte adicional de luz contribuiu para um incremento médio de 34,87% no estímulo circadiano, indicando o potencial de fontes luminosas no campo visual.

Resultados semelhantes são verificados em [7], que demonstraram que o aumento da relação janela-parede (WWR) não implica, necessariamente, melhor desempenho circadiano, devido à redução das superfícies refletoras. Em alguns casos, menores WWR associadas a maiores refletâncias apresentaram resultados superiores às soluções com grandes áreas envidraçadas. Adicionalmente, sistemas com maior componente indireta tendem a proporcionar níveis mais elevados de iluminância corneana, especialmente quando associados a superfícies de alta refletância, indicando que intervenções como a alteração de cores e acabamentos, configuram estratégias mais viáveis do ponto de vista projetual do que modificações nas dimensões das aberturas.

A refletância das superfícies internas destaca-se como um dos fatores principais para o desempenho da iluminação voltada aos efeitos NFI. Em [10], embora o foco esteja na avaliação da WWR e da posição das aberturas em Unidades de Terapia Intensiva (UTIs), os resultados indicam que superfícies com maior refletância estão associadas a melhores respostas circadianas, enquanto valores reduzidos podem comprometer o desempenho para cerca de 20% a 25% em relação a cenários mais favoráveis. De forma complementar, em [11], superfícies brancas apresentaram maiores valores de EML, seguidas por superfícies azuis e vermelhas.

Essa tendência é reforçada em [13], que demonstram que o aumento da refletância de 30% para 70% eleva significativamente tanto do estímulo circadiano (CS) quanto da luz do dia equivalente melanópica (mel-EDI), a depender da fotometria e da temperatura de cor correlata (CCT) da fonte luminosa, apontando uma relação direta entre refletância e estímulo circadiano.

Em [18], a luz natural mostra-se determinante para o atendimento aos níveis recomendados [20; 21], variando conforme orientação das aberturas e período do ano. Superfícies com refletâncias entre 12% e 70% apresentam níveis reduzidos de mel-EDI sob iluminação exclusivamente elétrica, enquanto refletâncias entre 82% e 85% aproximam-se dos valores recomendados. Ainda assim, mesmo em ambientes com alta refletância, a iluminação elétrica isoladamente raramente atendeu plenamente aos requisitos de estímulo circadiano.

A literatura também evidencia a relação entre cores de superfície e resposta circadiana, associada ao comportamento espectral da luz refletida. Em [8], tons frios, como azul e verde, apresentaram maior potencial de estímulo circadiano em comparação com cores quentes, como o laranja, devido à maior refletância na faixa espectral associada à melanopsina. Em contrapartida, superfícies escuras apresentam pior desempenho.

Resultados semelhantes são observados em [12; 15; 17], com maior estímulo circadiano em superfícies brancas e azul claro sob CCT mais elevadas (~6.000 K). O azul, apesar da baixa refletância (~11%), possui elevada eficácia melanópica (mel-DER até 0,89), contribuindo significativamente para o estímulo circadiano. Em contraste, cores como vermelho, rosa e preto tiveram menor desempenho, com reduções significativas nos níveis de mel-EDI, especialmente em CCT mais baixas (~3.000 k).

Ao comparar diferentes cores em ambientes educacionais em Phoenix e em Seattle, [16] encontraram que o azul claro apresentou maior porcentagem de pontos de visão atingindo o limite de 275 EML, seguido pelo verde claro e branco neutro, enquanto o amarelo claro apresentou o menor desempenho. O impacto das refletâncias foi mais significativo em Phoenix, possivelmente devido à maior disponibilidade de luz natural.

A eficácia circadiana depende da interação entre refletância, tipo de luminária, distribuição da luz e CCT. Em [6], sistemas com iluminação indireta tiveram melhor desempenho em iluminância corneana quando comparados à iluminação direta, além de resultados mais favoráveis em EML e luz circadiana (CLA) para CCT entre 4.000 K e 8.000 K. De modo complementar, [13] evidencia que a combinação entre refletância e fotometria da luminária pode gerar variações significativas no desempenho circadiano.

O estudo [14] analisa a percepção visual dos ocupantes, considerando brilho, contraste, distribuição da luz e satisfação com a vista. Os resultados indicam que a percepção visual não depende exclusivamente da refletância, mas também das propriedades materiais e da configuração luminosa.

Além das variáveis ambientais, [19] destacam a influência de fatores fisiológicos, indicando que indivíduos idosos necessitam de níveis mais elevados de iluminação

para atingir estímulos circadianos equivalentes, devido à redução da transmitância do cristalino.

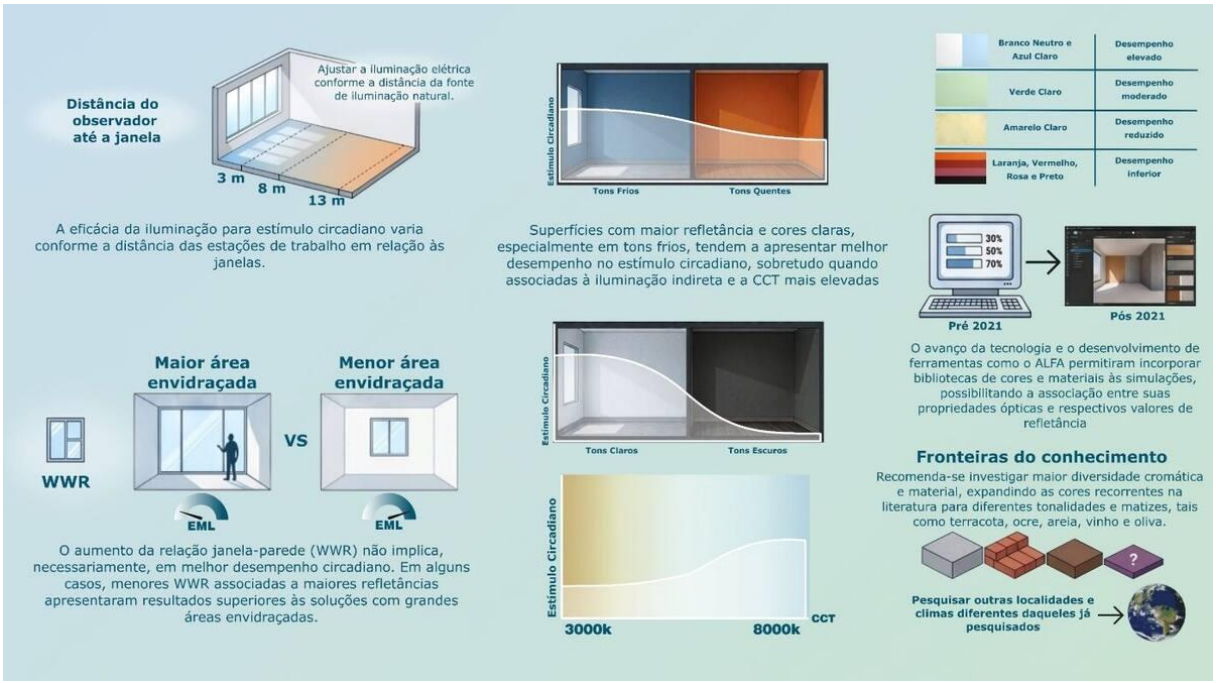
Observa-se, ainda, uma mudança na representação das refletâncias. Até aproximadamente 2021, os valores não eram associados a cores ou materiais, como em [7]. Em trabalhos posteriores [8; 9; 11; 12; 15-17], passa-se a vincular as refletâncias a cores específicas, aproximando os modelos das condições reais de projeto e facilitando a interpretação dos resultados. Esse avanço relaciona-se ao desenvolvimento de ferramentas computacionais mais robustas, como o *plug-in* ALFA *Adaptive Lighting for Alertness* [22], que amplia a biblioteca de materiais e cores, possibilitando simulações mais realistas.

De forma geral, superfícies com maior refletância e cores claras, especialmente em tons frios, apresentam melhor desempenho para estímulo circadiano, particularmente quando combinadas com iluminação indireta e CCT elevadas.

Entretanto, verifica-se uma limitação nos materiais e cores investigados, com predominância de branco, azul, vermelho e amarelo. Tonalidades como roxo, rosa, marrom e bege são pouco exploradas, assim como materiais construtivos aparentes, como tijolo e concreto.

Os resultados evidenciam um consenso quanto à influência da refletância das superfícies internas no desempenho da iluminação voltada aos efeitos NFI, especialmente em associação com geometria do ambiente, características espectrais da luz e propriedades dos materiais. Ainda assim, persistem lacunas relacionadas à diversidade de materiais investigados e à contextualização dos estudos, indicando oportunidades para pesquisas futuras mais alinhadas a condições reais de projeto (Figura 2).

Figura 2: Síntese dos principais resultados da RSL



Fonte: os autores.

CONCLUSÃO

Em síntese, os estudos analisados nesta RSL indicam que a refletância das superfícies internas exerce papel relevante tanto na distribuição da luz no ambiente quanto na potencialização dos efeitos não visuais da iluminação. De modo geral, superfícies mais refletoras tendem a favorecer níveis mais elevados de iluminância melanópica, sobretudo quando associadas a cores claras e frias, contribuindo para uma melhor resposta circadiana. Contudo, esses efeitos não se manifestam de forma isolada, estando condicionados a outras variáveis do ambiente, como geometria do espaço, disponibilidade de luz natural, distribuição da iluminação e espectro das fontes luminosas. Assim, a refletância configura-se como um parâmetro relevante, porém, dependente de uma abordagem integrada no projeto de iluminação.

Verifica-se, ainda, uma recorrência nas cores investigadas, com predominância de branco, azul, vermelho e amarelo. Mesmo quando há ampliação do conjunto analisado, os estudos tendem a explorar variações de luminosidade dentro dessas mesmas tonalidades. Essa limitação reduz a representatividade dos resultados frente à diversidade de materiais e soluções cromáticas presentes na prática projetual contemporânea, evidenciando a necessidade de ampliar as investigações para incluir maior variedade de cores e materiais, especialmente aqueles recorrentes em ambientes construídos, como superfícies texturizadas ou materiais aparentes.

Por fim, destaca-se a predominância de pesquisas conduzidas em contextos internacionais, o que reforça a necessidade de investigações que considerem práticas projetuais e repertórios cromáticos mais próximos da realidade brasileira. Avanços nesse sentido podem contribuir para a ampliação do conhecimento aplicado, aproximando os achados científicos das demandas do projeto arquitetônico e das especificidades do ambiente construído.

DECLARAÇÃO

Durante a preparação deste artigo, os autores utilizaram o ChatGPT para correção ortográfica e gramatical e para melhoria da coesão do texto. O Google NotebookLM e o Google Gemini foram usados para a geração de imagens. Após a utilização das ferramentas, os autores revisaram e editaram o conteúdo conforme necessário e assumem total responsabilidade pelo conteúdo do artigo publicado.

REFERÊNCIAS

[1] BERSON, D. M.; DUNN, F. A.; TAKAO, M. Phototransduction by retinal ganglion cells that set the circadian clock. **Science**, v.295, n.5557, p.1070-1073, 2002.

[2] COMMISSION INTERNATIONALE DE L'ECLAIRAGE (CIE). **Ocular lighting effects on human physiology and behaviour**. CIE Technical Report 158. Vienna: CIE, 2004.

[3] ILLUMINATING ENGINEERING SOCIETY OF NORTH AMERICA (IES). **IES TM18-08 Light and Human Health**: An Overview of the Impact of Optical Radiation on Visual, Circadian, Neuroendocrine and Neurobehavioral Responses. 1. ed. New York: IES, 2008.

[4] BOYCE, P. R.; VEITCH, J. A.; NEWSHAM, G. R.; JONES, C. C.; HEERWAGEN, J.; MYER, M.; HUNTER, C. M. Lighting quality and office work: two field simulation experiments. **Lighting Research and Technology**, v.3, n.38, p.191-223, 2006.

[5] BELLIA, L.; FRAGLIASSO, F. Good Places to Live and Sleep Well: A Literature Review About the Role of Architecture in Determining Non-Visual Effects of Light. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, v.18, n.3, p.1002, 2021.

[6] DAI, Q.; HUANG, Y.; HAO, L.; LIN, Y.; CHEN, K. Spatial and spectral illumination design for energy-efficient circadian lighting. **Building and Environment**, v.146, p.216-225, 2018.

[7] CAI, W.; YUE, J.; DAI, Q.; HAO, L.; LIN, Y.; SHI, W.; HUANG, Y.; WEI, M. The impact of room surface reflectance on corneal illuminance and rule-of-thumb equations for circadian lighting design. **Building and Environment**, v.141, p.288-297, 2018.

[8] GRZEGORZEWSKA-GRYGLEWICZ, M.; KACZMAREK, A. Office Spaces in a Cool Temperate Climate: Impact of Architectural Solutions on Daylight Quality in Interiors, in the Context of User Well-Being and Circadian Rhythm. **Sustainability**, v.17, n.24, p.11062, 2025.

[9] DIANAGRI, A. T.; GOCER, O.; HU, W. Integrating monitors into circadian lighting strategies for offices. **Journal of Building Engineering**, v.110, p.113051, 2025.

[10] CAMPANO, M. Á.; GARCÍA-MARTÍN, G.; ACOSTA, I.; BUSTAMANTE, P. Designing intensive care unit windows in a Mediterranean climate: Efficiency, daylighting, and circadian response. **Applied Sciences**, v.14, n.21, p.9798, 2024.

[11] ESCOBAR, I.; ORDUNA-HOSPITAL, E.; APORTA, J.; SANCHEZ-CANO, A. Efficient Daylighting: The Importance of Glazing Transmittance and Room Surface Reflectance. **Buildings**, v.14, n.10, p.3108, 2024.

[12] BELLIA, L.; BŁASZCZAK, U.; DIGLIO, F.; FRAGLIASSO, F. Light-environment interactions and integrative lighting design: Connecting visual, non-visual and energy requirements in a case study experiment. **Building and Environment**, v.253, p.111323, 2024.

[13] BELLIA, L.; FRAGLIASSO, F.; SERACENI, M.; SODANO, G. Integrative lighting design: how to optimize visual and non-visual effects in a cell office. **Journal of Daylighting**, v.10, n.2, p.192-203, 2023.

[14] MIRDAMADI, M. S.; ZOMORODIAN, Z. S.; TAHSILDOOST, M. Evaluation of occupants' visual perception in day lit scenes: a virtual reality experiment. **Journal of Daylighting**, v.10, n.1, p.45-59, 2023.

[15] BELLIA, L.; BŁASZCZAK, U.; DIGLIO, F.; FRAGLIASSO, F. Assessment of melanopsin-based quantities: Comparison of selected design tools and validation against on-field measurements. **Building and Environment**, v.232, p.110037, 2023.

[16] FANI, M.; SHARP, N.; ANARAKI, M.; SHAHVERDI, A. F. Evaluation of the influence of interior design parameters on circadian daylighting of design-studio classrooms. *In*: BUILDING SIMULATION CONFERENCE, 18., Shanghai, 2023. **Proceedings** [...]. Canada: IBPSA, 2023, p.221-229.

[17] BELLIA, L.; DIGLIO, F.; FRAGLIASSO, F. Simplified modelling methods to design integrative lighting. *In*: BUILDING SIMULATION CONFERENCE, 18., Shanghai, 2023. **Proceedings** [...]. Canada: IBPSA, 2023, p.16-22.

[18] EZPELETA, S.; ORDUNA-HOSPITAL, E.; SOLANA, T.; APORTA, J.; PINILLA, I.; SANCHEZ-CANO, A. Analysis of photopic and melanopic lighting in teaching environments. **Buildings**, v.11, n.10, p.439, 2021.

[19] SÁNCHEZ-CANO, A.; APORTA, J. Optimization of lighting projects including photopic and circadian criteria: A simplified action protocol. **Applied Sciences**, v.10, n.22, p.8068, 2020.

[20] COMMISSION INTERNATIONALE DE L'ECLAIRAGE (CIE). **CIE Position Statement on Non-Visual Effects of Light:** Recommending Proper Light and the Proper Time. 2nd edition, Vienna, Austria: CIE, 2019.

[21] INTERNATIONAL WELL BUILDING INSTITUTE. **The WELL Building Standard**. WELL v2, Q2 2025, 2025. Disponível em: https://v2.wellcertified.com/en/wellv2/light/feature/3. Acesso em: 10 mar. 2025.

[22] SOLEMMA. **ALFA**. Adaptive Lighting for Alertness. Massachusetts: Solemma, @2026.