USO DO MODELO EM ESCALA REDUZIDA PARA ANÁLISE DE ILUMINÂNCIA MELANÓPICA

Suelem Schier de França (1); Raphaela Walger da Fonseca (2); Fernando Oscar Ruttkay Pereira (3)
(1) Mestranda do Departamento de Arquitetura e Urbanismo, suelem0802@gmail.com
(2) Dr., Pós-Doutoranda do Departamento de Arquitetura e Urbanismo raphaela.walger@ufsc.br
(3) PhD, Professor do Departamento de Arquitetura e Urbanismo, ruttkay.pereira@ufsc.br

RESUMO
Por muito tempo, a iluminação foi vista apenas sob a perspectiva de atender às necessidades de iluminância, eficiência energética e conforto visual. Com a descoberta Ganglionares da Retina intrinsecamente fotossensíveis (ipRGCs) foi comprovado que a iluminação influencia na sincronização do ciclo circadiano humano. Esse corresponde ao período de 24 horas de luz e escuridão que o organismo regula suas funções fisiológicas e comportamentais. Entre os métodos que podem ser utilizados para quantificar a iluminância no espectro não visível, consta o uso de modelos em escala reduzida. Esse artigo busca validar o uso da maquete desenvolvida para representar a sala escolhida como estudo de caso da iluminância melanópica. Para isso foram realizadas medições com o aparelho espectrofotômetro em um ambiente real e outro em escala reduzida, com as mesmas características físicas e de refletâncias. Posteriormente foram comparados os resultados de iluminância melanópica e fotópica de ambos os modelos e verificado sua correlação através do software R Commander. Nos resultados constatou-se uma forte correlação entre ambos os modelos, superiores a 0,9. Isso ressalta o potencial do uso de modelos em escala reduzida para o estudo da iluminância melanópica.
Palavras-chave: ciclo circadiano; modelo em escala reduzida; efeito não visual da luz.

ABSTRACT
For a long time, lighting was seen only from the perspective of meeting illuminance requirements, energy efficiency, and visual comfort. With the discovery of intrinsically photosensitive retinal ganglion cells (ipRGCs), it has been proven that lighting influences the synchronization of the human circadian rhythm. This corresponds to the 24-hour period of light and darkness during which the body regulates its physiological and behavioral functions. Among the methods that can be used to quantify illuminance in the non-visible spectrum, the use of scaled-down models is included. This article seeks to validate the use of a developed scale model to represent the chosen room as a case study for melanopic illuminance. For this purpose, measurements were taken with a spectrophotometer in both a real environment and a scaled-down model with the same physical and reflectance characteristics. Subsequently, the melanopic and photopic illuminance results from both models were compared and their correlation was verified using R Commander software. The results showed a strong correlation between both models, exceeding 0.9. This highlights the potential use of scaled-down models for studying melanopic illuminance.
Keywords: circadian rhythm; reduced-scale model; non-visual effect of light.

1. INTRODUÇÃO

A preocupação com as necessidades visuais humanas já é vista em prática no projeto de iluminação. Fatores como fluxo luminoso, temperatura de cor e potência luminosa são elementos chaves para a escolha de determinada fonte de luz. Além da qualidade e quantidade da luz entrando em um ambiente, outros aspectos como a geometria do espaço, tamanho das aberturas e propriedades dos materiais também apresentam grande impacto na caracterização do ambiente luminoso (POTOČNIK; KOŠIR, 2020)

A iluminação de um ambiente pode ser dividida em duas parcelas: a direta e a indireta. A primeira vem diretamente da fonte, podendo causar ofuscamento em caso de alta intensidade. Já a segunda é ocasionada pelas reflexões das superfícies, que, além de reduzir as chances de ofuscamento, também podem auxiliar na iluminação de parcelas mais afastadas da abertura, no caso da iluminação natural (YAO et al., 2020).

Além do conforto do usuário, cada vez mais busca-se atingir uma construção mais sustentável, visando a redução do consumo energético. Para isso, estratégias de aproveitamento da luz natural são frequentemente adotadas, que, além de diminuir a necessidade da iluminação artificial, ainda apresenta uma preferência pelos usuários do espaço (EDWARDS; TORCELLINI, 2002; MAYHOUB; CARTER, 2011).

Apesar de todos os argumentos citados acima, ainda é pouco explorado o papel da iluminação na saúde humana. Dependendo de suas características espectrais, a luz pode estimular o ciclo circadiano, ajudando a regular o relógio biológico. Houve um perceptível avanço nessa área com a descoberta das Células Ganglionares da Retina intrinsecamente fotossensíveis (ipRGCs), responsáveis pela conversão do estímulo luminoso incidente na retina em sinais elétricos e transmiti-los para o núcleo supraquiasmático do hipotálamo, que, por sua vez, sincroniza várias funções fisiológicas do corpo humano (CAJOCHEN et al., 2000).

O sistema circadiano consiste em um ciclo de em média 24 horas de luz e escuridão em que o organismo realiza suas funções biológicas. A exposição a luz, seja ela natural ou artificial no plano vertical, em contato com a córnea, estimula a produção do fotopigmento das ipRGCs que, consequentemente auxilia na sincronização do relógio biológico (LUCAS et al., 2014). Konis (2019) elenca uma ampla gama de funções comportamentais e fisiológicas reguladas pelo sistema circadiano, como sono e vigília, nível de alerta, humor, supressão e secreção de hormônios e a temperatura corporal central.

Um estímulo não visual adequado contribui com o aumento da frequência cardíaca e temperatura interna corporal, supressão da melatonina pineal (hormônio que regula o sono) e produção de neuro estimulantes (LUCAS et al., 2014). Tais características contribuem com o aumento no estado de alerta e diminuição do tempo de resposta de determinado indivíduo, consequentemente melhorando sua produtividade na realização de alguma tarefa. Dessa forma, a redução no desempenho de tarefas, bem como na saúde e na qualidade do sono podem derivar de uma exposição inadequada a luz. Tais aspectos salientam a importância de se explorar o aspecto não visível da luz no projeto arquitetônico, principalmente no período atual onde se passa a maior parte do dia dentro de edificações.

Cada fonte de luz possui uma composição espectral própria que pode estimular diferentes tipos de fotopigmentos, sejam estes os responsáveis pela resposta visual ou não visual. A luz visível apresenta maior sensibilidade a 555nm (verde) (WYSZECKI; STILES, 2000), enquanto a do não visual apresenta seu pico em um comprimento de onda menor, a 446-477nm (azul), (AL ENEZI et al., 2011). A luz natural é uma das fontes com a composição espectral próxima da faixa de sensibilidade das ipRGCs, no comprimento de onda de 446-477nm, correspondente à faixa azul. Além disso, a luz natural, por vir de aberturas, permite com que a luz chegue mais facilmente na córnea (iluminância vertical) em comparação a fontes artificiais, que normalmente localizam-se no teto (iluminância horizontal).

Nem todas as zonas de um edifício atingem condições de iluminação para o estímulo circadiano, que associados a um período de permanência prolongados, podem ocasionar a desregulação do ciclo (KONIS, 2017). Além de adequar as fontes de luz de forma a fornecer um melhor estímulo circadiano, sejam esses naturais ou artificiais, umas das possibilidades é utilizar da componente refletida da luz.

Dependendo dos revestimentos utilizados em um ambiente, há uma alteração no espectro luminoso, já que as inter-reflexões da luz são diretamente relacionadas ao material usado. Dessa forma, a componente espectral de diferentes superfícies afeta o estímulo das células da retina, e, consequentemente, interferem na regulação do ciclo. Em áreas afastadas de aberturas, a parcela refletida da luz pode representar a única forma da luz atingir o plano ocular. O conhecimento das propriedades reflexivas de diferentes materiais tem o

potencial de maximizar o potencial circadiano do ambiente a ser desenvolvido, criando uma arquitetura mais eficiente.

Cada vez mais revestimentos diferentes surgem no mercado, sejam pinturas, cerâmicas, amadeirados ou pedras. Essas inúmeras opções permitem criar diferentes composições no design de interiores, atendendo a diferentes gostos do usuário. Além do apelo estético, os revestimentos afetam o comportamento luminoso do ambiente, já que a componente refletida do projeto é definida pelas características do material. Este pode apresentar diferentes seletividades dependendo da sua composição espectral. Isso quer dizer que a quantidade de energia refletida que afeta nossa percepção visual pode ser diferente na porção que afeta o ciclo circadiano. Materiais diferentes podem gerar a mesma quantidade de energia refletida na porção visual ou não visual (POTOČNIK; KOŠIR, 2020). Um exemplo desse comportamento seria uma parede azul em comparação com parede vermelha, ambas com a mesmos valores de refletância fotópica (visual), mas com a azul apresentando valores melanópicos mais altos.

Diversas formas de medir o estímulo circadiano foram desenvolvidas, seja por equações (REA et al., 2012; REA; FIGUEIRO, 2018; YAO et al., 2020), por simulação em softwares (CAI et al., 2018a; KONIS, 2019) ou com medições in loco (JUNG; INANICI, 2019; YAO et al., 2020). Destaca-se o trabalho realizado por Yao et al. (2020) que estudou o impacto da componente refletida através de medições em um modelo em escala. Tais modelos foram utilizados para verificar o impacto da iluminação natural no ritmo circadiano dos ocupantes de edifícios. Os modelos em escala utilizados neste estudo permitiram aos autores replicar de forma controlada as condições de iluminação natural em espaços internos, para investigar o impacto na eficiência circadiana da iluminação. Os resultados obtidos a partir dos modelos em escala foram usados para validar a equação proposta pelos autores e destacar a importância da reflectância das superfícies internas dos espaços na eficiência circadiana da iluminação natural.

Pesquisas indicam a alta correlação entre modelos em escala e análises de iluminação na faixa de sensibilidade visível (CASTAÑO, 2007; PEREIRA; CASTAÑO, 2012). Além de obter dados representativos de um ambiente real, os modelos em escala reduzida também são uma ferramenta conhecida para a maioria dos arquitetos. Dessa forma, o objetivo desse artigo é validar o uso da maquete desenvolvida para representar a sala escolhida como estudo de caso da iluminância melanópica.

2. OBJETIVO

Validar o uso da maquete desenvolvida para representar a sala escolhida como estudo de caso da iluminância melanópica.

3. MÉTODO

O método desenvolvido consiste na realização de um estudo de caso, onde simultaneamente serão realizadas medições em um ambiente real e em um modelo em escada, com as mesmas refletâncias. O objetivo é verificar se o comportamento da luz no ambiente em escala é representativo do real. O método se divide em 3 etapas:

3.1 escolha de um estudo de caso
3.2 medições do ambiente real e do modelo em escala reduzida
3.3 análises estatística dos dados coletados

3.1. Estudo de Caso

Para o estudo de caso desse trabalho foi escolhida a sala onde se encontra o céu artificial, pertencente ao Laboratório de Conforto Ambiental (LABCON) do Departamento de Arquitetura e Urbanismo, localizado na Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), em Florianópolis. Na Figura 1 é indicada a posição da sala em relação ao andar mezanino. A sala possui três aberturas voltadas para o sudoeste, com 1m de peitoril. Seu formato é de um L, com largura de 4,02 m, comprimento de 4,63 m e altura de 2,95 m, conforme indicado na Figura 2.

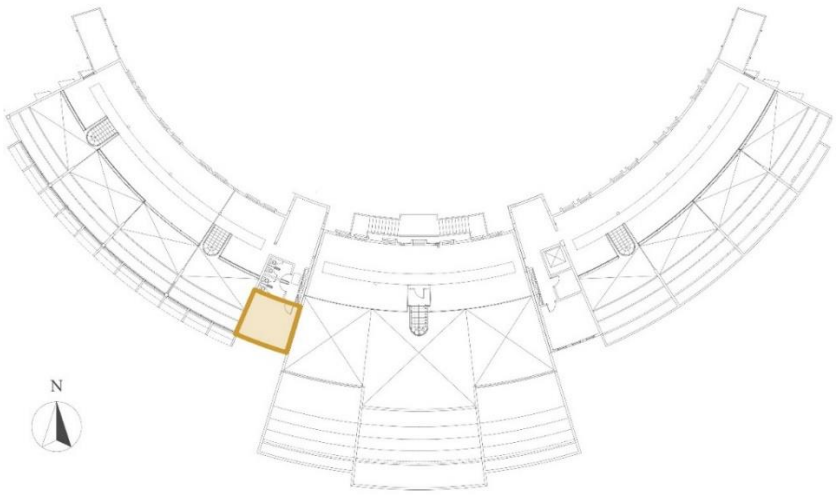

Figura 1 – Localização da sala no Departamento de Arquitetura e Urbanismo (Planta baixa fornecida pelo Departamento de Projetos de Arquitetura e Engenharia (DPAE)).

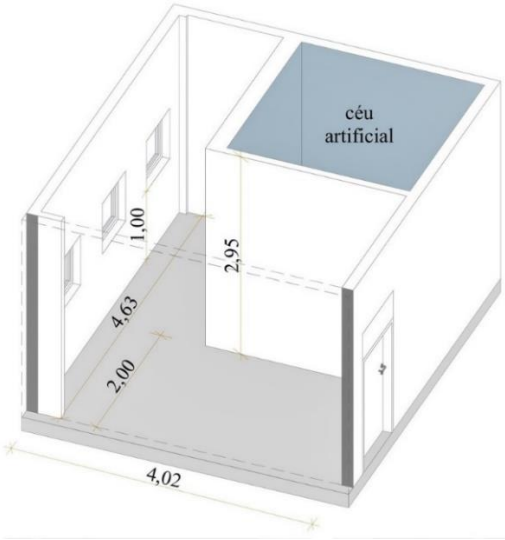

Figura 2 – Isométrica do objeto de estudo (Autora)

Como as refletâncias não eram conhecidas, utilizou-se um método recomendado em literaturas para obter um valor aproximado destas através do uso de um luxímetro digital MLM-1011 (Minipa). A Tabela 1 apresenta os valores de refletância fotópicas (ρf) e melanópicas (ρm) para parede, piso e teto do ambiente. As refletâncias melanópicas foram determinadas utilizando o espectrofotômetro MK350S Premium (UPRTEK, 2010).

Tabela 1 – Refletâncias no ambiente de Estudo

Superfície	**Revestimento**	**Refletância Fotópica (ρ_f)**	**Refletância Melanópica (ρ_m)**
Parede	Pintura Branca	60%	60%
Teto	Concreto Cinza	30%	25%
Piso	Porcelanato Bege	55%	50%

Elaborou-se uma maquete em madeira balsa na escala 1:10, representando o ambiente real, com as mesmas características reflexivas dos materiais indicados na Tabela 1. O acesso ao interior da maquete foi feito através de aberturas do tamanho do equipamento, de 10x4 cm, nas paredes laterais do modelo. Estas foram fechadas por dobradiças e abertas apenas durante as medições, como indicado na Figura 3.

Utilizou-se apenas uma parte da sala, com somente uma abertura, facilitando a análise do comportamento luminoso. O acesso à outra parte do ambiente foi coberto por um tecido blackout branco, com

refletância semelhante às paredes, conforme ilustrado na Figura 4. O mesmo tecido foi aplicado na parede correspondente da maquete, visando uma melhor correlação entre ambos os ambientes. Na outra parte da sala, posicionou-se o modelo em escala reduzida em uma das aberturas, de forma a possibilitar medições simultâneas. O esquema de divisão do ambiente e posicionamento do modelo é indicado na Figura 5.



Figura 3 – Aberturas para Medição



Figura 4 – Blackout dividindo a sala

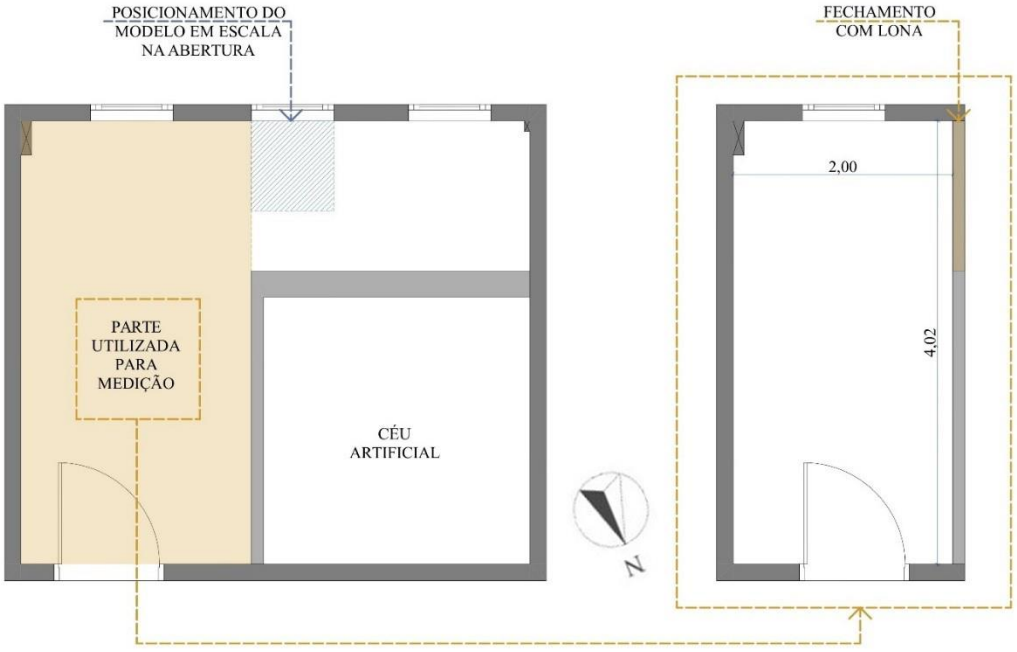

Figura 5 – Nova configuração da sala e posicionamento do modelo em escala

3.2 Protocolo de Medição: Ambiente Real x Modelo em Escala Reduzida

Para as medições tanto no ambiente real quanto no modelo em escala foi utilizado o espectrofotômetro MK350S Premium (UPRTEK, 2010), fornecido pelo Laboratório de Conforto Ambiental da UFSC (Labcon). O aparelho tem 8 cm de largura por 15 cm de comprimento e uma espessura de 3 cm. Um fotosensor de imagem linear CMOS localiza-se na parte frontal, permitindo medições na faixa de comprimento de onda de 380 a 780 nm.

O equipamento mede tanto a iluminância fotópica quanto a Iluminância Melanópica, unidade em lux melanópico, baseada na Iluminância Melanópica Equivalente estabelecida pelo Lucas et al. (2014) e adotado

pela Certificação WELL (International WELL Building Institute). Além disso, o equipamento também informa a razão entre lux melanópico e fotópico, bem como a iluminância para cada um dos fotopigmentos da retina, incluindo os presentes nos cones e bastonetes. Como a maior parcela do estímulo circadiano é devido ao fotopigmento das ipRGCs (BERSON; DUNN; TAKAO, 2002), as métricas consideradas para posterior análise foram: Iluminância Melanópica (lux_m), Iluminância fotópica (lux_f) e Razão Melanópica (lux_m/lux_f).

Foram estabelecidos dois pontos de medição: um a 1,50 m da abertura e outro a 1,50 m da parede dos fundos, distribuídos a 1 m das paredes laterais. Cada um desses pontos possui quatro sentidos de medição: frente, fundos e as duas paredes laterais, correspondendo a possíveis direções do olhar de um usuário do espaço, como indicado na Figura 6. Tal distribuição ocorreu devido ao tamanho do aparelho (15x8x3 cm), que exige uma distância de pelo menos 15 cm no modelo em escala, que, convertendo à escala 1:10, corresponde a 1,50 m. A altura da medição foi estipulada a 1,20 m do piso, altura da visão de uma pessoa sentada segundo o protocolo de medição estabelecido pelo WELL (International WELL Building Institute). Para suporte do equipamento foi utilizado um tripé tanto no ambiente real quanto no modelo em escala reduzida.

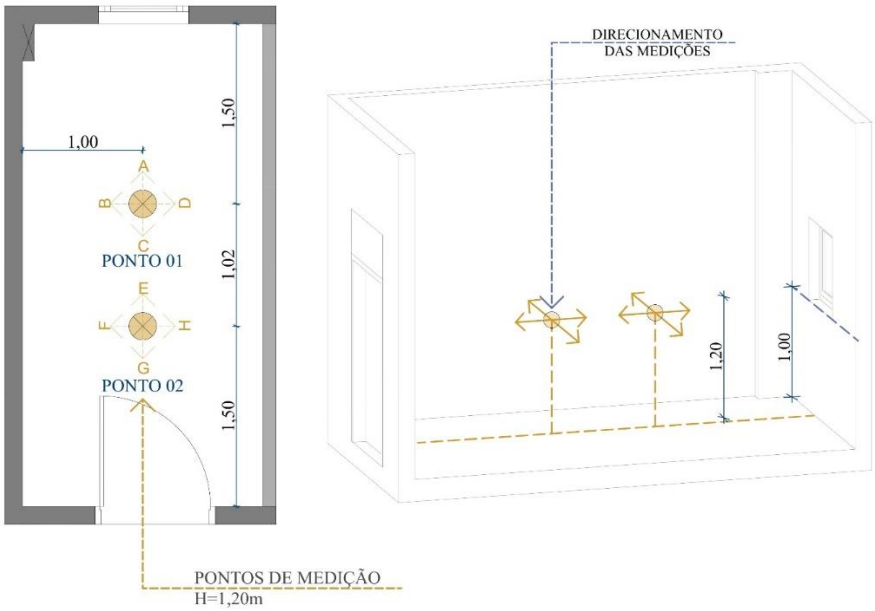

Figura 6 – Pontos de Medição

Como a sala possui 2 m de largura, foram feitas 4 aberturas na maquete, duas em cada uma das laterais, para posicionar o sensor na mesma posição que no ambiente real (1m). Além disso, elas permitiram o manuseio do espectrofotômetro, já que existiu a necessidade de apertar o botão em sua lateral para realizar as medições. Tais aberturas foram fechadas quando não usadas durante a medição, de forma a diminuir o impacto das mesmas nos resultados (Figura 7).

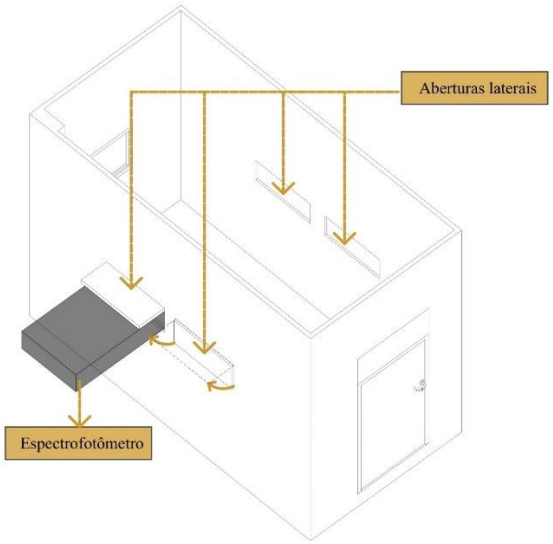

Figura 7 – Pontos de Medição

As medições ocorreram no intervalo de duas semanas, entre o período das 8:00 às 18:00 hrs, correspondente ao período de reset e de alerta do ciclo circadiano (ANDERSEN; MARDALJEVIC; LOCKLEY, 2012). Estas foram realizadas com a janela aberta, já que dificilmente seria possível replicar as características do vidro no modelo em escala reduzida. A iluminância do céu, bem como o seu espectro foram medidos no início e no fim de cada intervalo de medição. As condições de céu variaram de encoberto para céu claro durante os dias dentro do intervalo de medição. Como o objetivo dessa etapa foi verificar a correlação entre modelo em escala e real, a relevância maior encontrava-se em manter as condições de céu iguais apenas no intervalo entre duas medições equivalentes, ou seja, no mesmo período de 2 horas em que uma sequência de medições estava ocorrendo.

Durante o processo, primeiramente eram medidos as iluminâncias verticais fotópicas e melanópicas dos quatro pontos frontais do ambiente real para depois medir os quatro pontos frontais do modelo em escala reduzida (a, b, c, d). Posteriormente eram medidos os 4 pontos do fundo no ambiente real, e os correspondentes na maquete (f, g, h, i). Tal abordagem foi adotada para minimizar a diferença entre os pontos de medição equivalentes de ambos os modelos. O intervalo entre a medição entre o ambiente real e a maquete foi de 4 minutos.

3.3 Análise dos resultados

Os dados obtidos após esse levantamento foram organizados em uma planilha onde são indicados:

a) A data e hora em que ocorreram as medições;
b) A iluminância do céu inicial e final;
c) O ponto e a direção de cada medição;
d) A iluminância vertical fotópica (LuxF);
e) A iluminância vertical melanópica (LuxM);
f) A razão melanópica (LuxM / LuxF);

Com os dados levantados, utilizou-se o software R 4.2.1 para Windows (R, 2022) para análise de correlação através do pacote R Commander. Primeiramente, foi executado um diagrama de dispersão tanto para a iluminância fotópica quanto para a melanópica, onde foi possível verificar se os dados possuem correlação e qual a sua direção (correlação negativa ou positiva).

Posteriormente, foi calculada a força da correlação através da Correlação Linear de Pearson (MUKAKA, 2012), representado pela seguinte equação:

$$r = \frac{n \, x \sum_{i=1}^{n}(x_i \, x \, y_i) - \sum_{i=1}^{n} x_i \; x \; \sum_{i=1}^{n} y_i}{\sqrt{\left[n \, x \; \sum_{i=1}^{n}(x_i^2) - (\sum_{i=1}^{n} x_i)^2 \, x \sqrt{n \, x \; \sum_{i=1}^{n}(y_i^2) - (\sum_{i=1}^{n} y_i)^2}\right]}}$$

Equação 01

Onde:
r = coeficiente de correlação linear de Pearson;
n = número de pares de observação;
x = variável independente;
y = variável dependente.

Considerou-se como a variável x independente os valores de iluminância vertical do ambiente real, e como a variável y dependente os valores de iluminância no modelo em escala. Para os valores de correlação, foram adotados os parâmetros estabelecidos por Mukaka (MUKAKA, 2012), descritos na Tabela 2.

Tabela 2 – Força da Correlação Linear

Força da Correlação	Interpretação
0,9 a 1,00	Correlação muito forte
0,7 a 0,9	Correlação forte
0,5 a 0,7	Correlação moderada
0,3 a 0,5	Correlação baixa
0,0 a 0,3	Correlação desprezível

4. RESULTADOS

Os dados obtidos através de medições com o espectrofotômetro MK350S Premium (UPRTEK, 2010), tanto para o ambiente real quanto para o modelo em escala, foram analisados e filtrados. Foram escolhidos dois dias representativos para a análise, cujos valores de iluminância do início e do final das medições contam na Tabela 3.

Tabela 3 – Dados de medição analisados

Dia 14/07 – 24 pontos de medição		**Horário**
Iluminância inicial	5193,5 lx	13:59
Iluminância final	1591lx	15:51
Dia 21/07 – 40 pontos de medição		**Horário**
Iluminância inicial	22063,7	09:30
Iluminância final	25705,6	11:30

Os diagramas de dispersão e o índice de correlação tanto a iluminância fotópica (lux F) quanto para melanópica (lux M) para o dia 14 e 21, estão representados nas Figuras 8 e 9, respectivamente.

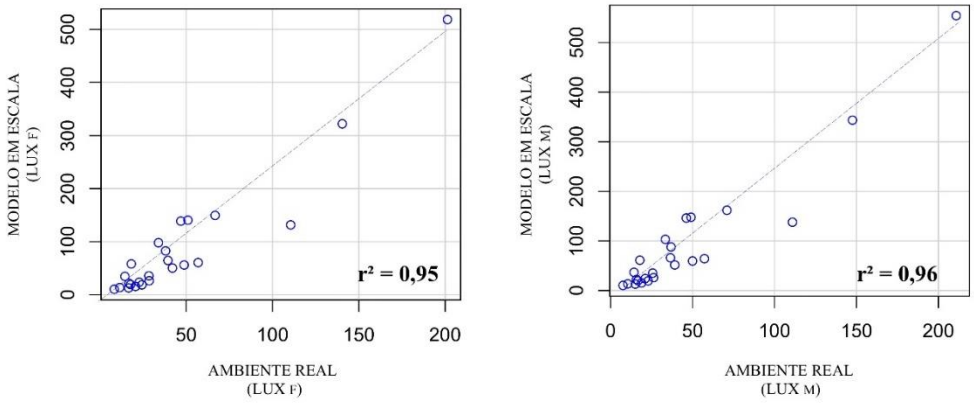

Figura 8 - Gráficos de dispersão do dia 14/07

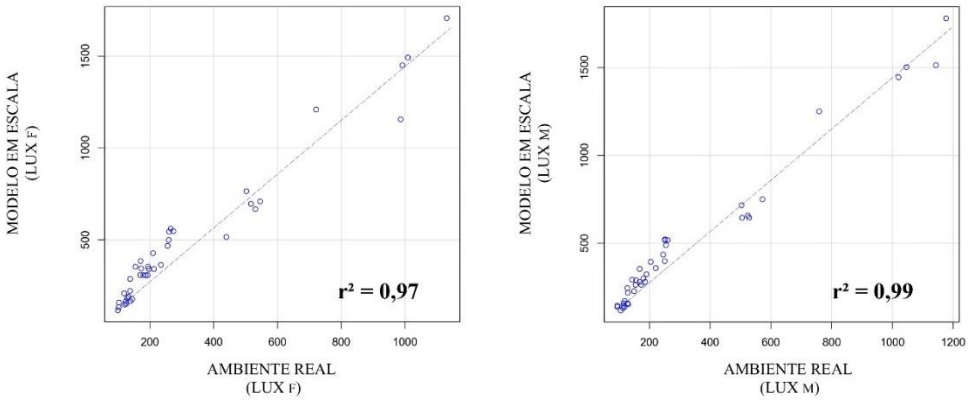

Figura 9 - Gráficos de dispersão do dia 21/07

Tanto na Figura 8 como na 9 os valores de coeficiente de correlação entre o ambiente real com o do modelo em escala deram superiores a 0,9, o que indica uma correlação muito forte. No dia 21 de julho, tanto os valores de correlação da iluminância melanópica quanto os da fotópica deram melhores do que os do dia 14, o que pode decorrer de uma maior amostra (40 pontos no dia 21 e 24 pontos no dia 14).

Ao avaliar os dados obtidos através das medições pode se concluir que o modelo em escala superestima os valores de iluminância tanto melanópica quanto fotópica. Entre os fatores que podem explicar essa diferença é o efeito da escala, onde o equipamento usado (espectrofotômetro) e seu respectivo sensor possui um tamanho significativo quando posicionado na maquete. Outros motivos poderiam ser nas diferenças entre os materiais reais (parede rebocada e piso cerâmico) com os utilizados na maquete (pintura da madeira), mesmo que se tenha tentado aproximar o máximo possível das características reflexivas reais.

Apesar dessa superestimação, os valores de correlação obtidos no R Commander indicam que o modelo em escala reduzida é representativo de um ambiente real, desde que seja aplicado um fator de correção.

5. CONCLUSÕES

O objetivo desse trabalho foi validar o uso da maquete desenvolvida para representar a sala escolhida como estudo de caso da iluminância melanópica.

Como método adotado optou-se pela utilização de medições da iluminância melanópica em um modelo em escala. Primeiramente foi analisada a correlação entre este e o ambiente real, verificando se o comportamento da luz na maquete é representativo da sala escolhida. Tais medições ocorreram de forma simultânea e verificaram tanto a iluminância fotópica como melanópica.

Nos resultados constatou-se uma forte correlação entre ambos os modelos, superiores a 0,9. Isso mostra que, mesmo a maquete tendo valores de iluminância relativamente maiores que o ambiente real, esta ainda é representativa do ambiente real, desde que seja aplicado um fator de ajuste. Vale ressaltar que só se utilizou um ambiente, sendo necessário uma maior análise em outros estudos de caso para validar o uso de maquetes para análise de estimulo circadiano.

Entre os possíveis motivos para esses valores de iluminância maiores consta a diferença dos revestimentos reais e da maquete, que, mesmo com refletâncias próximas, não são os mesmos. Além disso, também vale ressaltar o tamanho do sensor, o tamanho do aparelho de medição e a esquadria da janela (ausente no modelo em escala).

Em futuros estudos também será trabalhado com refletâncias diferentes da real, verificando o impacto que estas têm na iluminância melanópica. Dessa forma, será possível criar uma listagem das características de diferentes acabamentos adotados no mercado atual em relação a sua faixa de sensibilidade espectral para o estímulo não visual. Isso possibilita o melhor entendimento sobre a influência que diferentes refletâncias têm tanto na percepção visual humana quanto em seu ciclo circadiano.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AL ENEZI, J. et al. A "melanopic" spectral efficiency function predicts the sensitivity of melanopsin photoreceptors to polychromatic lights. **Journal of Biological Rhythms**, v. 26, n. 4, p. 314–323, ago. 2011.

ANDERSEN, M.; MARDALJEVIC, J.; LOCKLEY, S. W. **A framework for predicting the non-visual effects of daylight-Part I: Photobiology-based model**. Lighting Research and Technology. **Anais**...SAGE Publications Ltd, 2012.

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

CAI, W. et al. 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, 15 ago. 2018a.

CAJOCHEN, C. et al. Dose-response relationship for light intensity and ocular and electroencephalographic correlates of human alertness. **Behavioural Brain Research**, v.115, n. 1, p.75-83, 2000.

CASTAÑO, A. G. **Avaliação e Calibração de um Céu Artificial para Estudos de Iluminação Natural com Modelos Físicos em Escala Reduzida**. Dissertação—Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, 2007.

EDWARDS, L.; TORCELLINI, P. **A Literature Review of the Effects of Natural Light on Building Occupants**. Renewable Energy Lab, Estados Unidos, 2002.

FIGUEIRO, M. G.; NAGARE, R.; PRICE, L. L. A. Non-visual effects of light: How to use light to promote circadian entrainment and elicit alertness. **Lighting Research and Technology**, v. 50, n. 1, p. 38–62, 1 jan. 2018.

JUNG, B.; INANICI, M. Measuring circadian lighting through high dynamic range photography. **Lighting Research and Technology**, v. 51, n. 5, p. 742–763, 1 ago. 2019.

KONIS, K. A novel circadian daylight metric for building design and evaluation. **Building and Environment**, v. 113, p. 22–38, 15 fev. 2017.

KONIS, K. A circadian design assist tool to evaluate daylight access in buildings for human biological lighting needs. **Solar Energy**, v. 191, p. 449–458, 1 out. 2019.

LUCAS, R. J. et al. Measuring and using light in the melanopsin age. **Trends in Neurosciences**, v. 37, n.1, p. 1-9, jan. 2014.

MAYHOUB, M. S.; CARTER, D. J. The costs and benefits of using daylight guidance to light office buildings. **Building and Environment**, v. 46, n. 3, p. 698–710, mar. 2011.

MUKAKA, M. M. Statistics Corner: A guide to appropriate use of Correlation coefficient in medical research. **Malawi Medical Journal**, v.24, n.3, p. 69-71, 2012.

PEREIRA, F. O. R.; CASTAÑO, A. G. Quão confiáveis podem ser os modelos físicos em escala reduzida para avaliar a iluminação natural em edifícios? **Ambiente Construído**, v. 12, n. 1, p. 131–147, 2012.

POTOČNIK, J.; KOŠIR, M. Influence of commercial glazing and wall colours on the resulting non-visual daylight conditions of an office. **Building and Environment**, v. 171, 15 mar. 2020.

REA, M. S. et al. Modelling the spectral sensitivity of the human circadian system. **Lighting Research and Technology**, v. 44, n. 4, p. 386–396, 2012.

REA, M. S.; FIGUEIRO, M. G. Light as a circadian stimulus for architectural lighting. **Lighting Research and Technology**, v. 50, n. 4, p. 497–510, 1 jun. 2018.

UPRTEK. United Power Research and Technology. **Espectrofotometro MK350S Premium**. Taiwan, 2010.

WELL. Circadian Lighting Design. V2, 2022. Disponível em: < https://v2.wellcertified.com/en/wellv2/light/feature/3>. Acesso em: 07 de junho 2022.

WYSZECKI, G.; STILES, W. **Color Science: Concepts and Methods, Quantitative Data and Formulae, 2nd Edition**. John Wiley and Sons, Nova York, 2000.

YAO, Q. et al. Efficient circadian daylighting: A proposed equation, experimental validation, and the consequent importance of room surface reflectance. **Energy and Buildings**, v. 210, 1 mar. 2020.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à CAPES/PNPD a ao CNPq (Bolsista do CNPq - Brasil 88887.644646/2021-00, bolsista do CNPq – Brasil 152080/2022-8 e bolsista do CNPq – Brasil 309394/2020-1) pelos recursos financeiros aplicados no financiamento do projeto.