EFEITOS NÃO VISUAIS DA LUZ E VARIÁVEIS DE PROJETO: GEOMETRIA E REFLETÂNCIA

Amanda Camuzato de Quadros (1); Raphaela Walger da Fonseca (2); Fernando Oscar Ruttkay Pereira (3)
(1) Técnica em Edificações, Graduanda em Arquitetura e Urbanismo, amanda.camuzato@grad.ufsc.br
(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
A partir da descoberta de células da retina associadas ao funcionamento do ritmo circadiano conforme o padrão de luz recebido, não tão recente, os estudos acerca dos efeitos da iluminação na saúde vêm ganhando espaço entre os pesquisadores e profissionais no meio arquitetônico e da construção civil. A temática se encontra em uma fase embrionária, e na falta de um conhecimento mais consolidado em relação a realização do projeto luminotécnico com enfoque no ritmo circadiano, há a demanda de estudos acerca dos efeitos da iluminação no estado humano. Através de um estudo de caso, o objetivo foi investigar o efeito da dimensão dos ambientes e refletâncias superficiais no desempenho da iluminação circadiana. O método se divide em duas etapas, partindo da realização de simulações computacionais: avaliar o potencial circadiano das tipologias arquitetônicas referenciadas e verificar o impacto de critérios arquitetônicos no ritmo circadiano. O impacto da luz no ritmo circadiano difere entre os materiais, e com o aumento da profundidade, conforme a cor utilizada nas paredes, há variações nos valores da razão de iluminância melanópica pelos de iluminância fotópica. Além do material ideal ser definido conforme a influência desejada, a geometria e layout do ambiente afetam o impacto da luz natural no estado humano. A exploração destas variáveis fornece critérios que os profissionais da área podem aderir para o projeto de iluminação, visando maior produtividade e qualidade de vida aos seus usuários.

Palavras-chave: iluminação natural, iluminância, simulação computacional.

ABSTRACT
Since the discovery of retinal cells associated with the functioning of the circadian rhythm based on received light patterns, not so recent, studies on the effects of lighting on health have been gaining attention among researchers and professionals in the architectural and construction fields. The topic is still in its early stages, and due to a lack of consolidated knowledge regarding lighting design focused on the circadian rhythm, there is a demand for studies on the effects of lighting on human well-being. Through a case study, the objective was to investigate the effect of room dimensions and surface reflectance on the performance of circadian lighting. The method consists of two stages: conducting computer simulations to assess the circadian potential of referenced architectural typologies and examining the impact of architectural criteria on the circadian rhythm. The impact of light on the circadian rhythm varies among materials, and as the depth increases, there are variations in the values of the melanopic illuminance ratio to photopic illuminance, depending on the color used on the walls. In addition to choosing the ideal material based on the desired influence, the geometry and layout of the space affect the impact of natural light on human well-being. Exploring these variables provides criteria that professionals in the field can adopt for lighting design, aiming for increased productivity and quality of life for users.

Keywords: natural lighting, circadian cycle, design, buildings, computer simulation.

1. INTRODUÇÃO

Os efeitos não visuais da luz têm recebido cada vez mais atenção nas pesquisas, impulsionados pelas descobertas de dois grupos médicos. O primeiro grupo, composto por David Berson, Felice Dunn e Motoharu Takao, estabeleceu a conexão necessária para compreender os mecanismos dos efeitos biológicos controlados pelo ciclo claro e escuro (BERSON; DUNN; TAKAO, 2002). O segundo grupo, formado pelos médicos Jeffrey C. Hall, Michael Rosbash e Michael W. Young, descobriu os mecanismos moleculares que controlam o ritmo circadiano, o que lhes rendeu o Prêmio Nobel de Medicina em 2017 (THE NOBEL PRIZE, 2017). Essas descobertas impulsionaram pesquisas na área de iluminação, nas quais a luz não é vista apenas como um elemento para a visão, mas também como um recurso para regular o sistema circadiano, responsável por variações nas funções biológicas em resposta à alternância de claridade e escuridão. A classe de fotorreceptores descoberta na retina em 2002, chamada de células ganglionares da retina intrinsecamente fotossensíveis (ipRGCs), converte luz em sinais neurais por meio da fotorrecepção intrínseca da melanopsina e da mediação de sinais extrínsecos originados em fotorreceptores clássicos (DAI, HUANG, HAO, LIN, CHEN, 2018). Essas células são mais sensíveis à luz azul visível de comprimento de onda curto em comparação com a visual (ANDERSEN, GOCHENOUR, LOCKLEY, 2013).

A luz que é eficaz para a visão pode ter uma intensidade espectral insuficiente nos comprimentos de onda aos quais o ciclo circadiano é sensível. Conforme apontado por Konis (2019), a exposição insuficiente ou excessiva à luz com características espectrais inadequadas para o horário do dia pode interromper os ritmos circadianos regulares, comprometendo a qualidade do sono, o desempenho, e a saúde a longo prazo, aumentando risco de doenças mais graves, como diabetes, obesidade e câncer (FIGUEIRO, NAGARE, PRICE, 2018). Diante dos impactos da iluminação natural no ciclo circadiano, é necessário reavaliar a abordagem do design de iluminação na prática arquitetônica (CHAVES; MARTAU, 2019). O método tradicional de design de iluminação, que se concentra no desempenho visual das tarefas horizontais, pode ser ineficiente para fornecer uma iluminância circadiana adequada (DAI, HUANG, HAO, LIN, CHEN, 2018). As características do ambiente luminoso, como o comprimento de onda da luz e a intensidade luminosa, afetam a eficiência do trabalho e a estabilidade psicológica dos ocupantes (KIM, CHOI, SUNG, 2018). Ter vistas do exterior pode aumentar o desempenho no trabalho e o bem-estar dos usuários de várias maneiras, mas não se deve presumir que fornecer uma janela em uma sala garanta que os ocupantes sejam expostos a um estímulo de luz eficaz (KONIS, 2018).

Os critérios de desempenho para uma iluminação circadiana efetiva estão em estágios iniciais de desenvolvimento. Portanto, ao estabelecer um estudo de caso, esta pesquisa tem como objetivo compreender como os elementos arquitetônicos influenciam a qualidade do ambiente luminoso e fornecer aos profissionais da área uma perspectiva de projetação. O foco é na geometria, não apenas na geometria do ambiente, mas também na relação do layout com essa geometria, e na relação das cores e suas refletâncias. Para esse fim, adotou-se como métrica de avaliação do impacto da luz no ciclo circadiano o Lux Melanópico Equivalente (LME) (International Well Building Institute, 2019; LUCAS et al., 2014), que é utilizado na certificação de edifícios pela WELL Building Certification (CHAVES; MARTAU, 2019). Na certificação, a métrica e a sensibilidade espectral do ipRGC [Função de Resposta Melanopsina - Nz(λ)] foram adaptadas para serem empregadas em projetos arquitetônicos. A recomendação estabelecida para a iluminação circadiana indica que valores mínimos de LME devem ser alcançados entre 9h e 13h, sendo reduzidos após as 20h, e a medição da iluminância (lux) deve ser realizada no plano vertical ao nível dos olhos dos ocupantes, simulando a chegada da luz.

2. OBJETIVO

Investigar o efeito da dimensão dos ambientes e refletâncias superficiais no desempenho da iluminação circadiana.

3. MÉTODO

Para alcançar o objetivo proposto, foi adotado como estudo de caso algumas tipologias arquitetônicas que serviram como base para os ábacos do método simplificado, devido ao fato de serem definidas em um contexto

de regulação e possuírem um desempenho visual conhecido, proposto para a nova versão da norma ABNT 15.575 - Desempenho de edificações habitacionais, especificamente no tópico de Desempenho lumínico (ABNT, 2021). Este ábaco consiste em uma ferramenta de avaliação aplicável a grande parte dos ambientes residenciais nacionais (PEREIRA et al., 2020). O método abordado é dividido em duas etapas. A primeira consiste em avaliar o potencial circadiano das tipologias arquitetônicas selecionadas. A segunda etapa visa verificar o impacto dos critérios arquitetônicos no ritmo circadiano, explorando as dimensões do ambiente, sua relação com o layout, a posição do usuário e seu campo de visão, além de considerar a influência das cores utilizadas.

A métrica selecionada para a avaliação do desempenho dos ambientes foi a Iluminância Melanópica Equivalente, e o método adotado para sua estimativa foi a simulação computacional. Para esse fim, utilizou-se o programa ALFA (Adaptive Lighting for Alertness), que possibilita a previsão precisa e de alta resolução espectral da iluminância visual e não visual por meio de simulações. No ALFA, os cálculos de luz são realizados utilizando os métodos propostos por Konis (2019) e Mardaljevic et al. (2013). Esses métodos empregam a curva de sensibilidade espectral recomendada por Lucas et al. (2014) para avaliar as iluminâncias melanópicas ou ipRGC (ALIGHT; JAKUBIEC, 2021).

A fim de realizar uma análise comparativa, foram selecionados quatro materiais para as paredes, previamente cadastrados no ALFA. Esses materiais possuem diferentes cores, mas apresentam a mesma refletância fotópica e diferentes refletâncias melanópicas. Os dados obtidos foram exportados em formato de planilha a partir do ALFA. Os valores de iluminância melanópica e fotópica, assim como a razão M/F, foram utilizados para gerar gráficos com foco na métrica de alerta. Esses gráficos permitiram analisar como a dimensão dos ambientes e as refletâncias superficiais afetam o desempenho da iluminação circadiana.

3.1. Programa e ferramenta aplicados

Conforme relatado pela equipe da Solemma (2022), responsável pelo desenvolvimento do programa, o sistema ALFA foi projetado para contornar a restrição do sistema não visual, que apresenta sensibilidade a comprimentos de onda específicos da luz azul. Essa particularidade impede que sua atividade seja adequadamente descrita pelos canais convencionais de cores Vermelho/Verde/Azul. Para superar esse obstáculo, o ALFA expandiu o mecanismo de iluminação Radiance, um software de rastreamento de raios altamente preciso projetado para computadores, a fim de possibilitar a renderização do ambiente em espectros compostos por 81 cores de alta resolução. Este software de design de iluminação circadiana propicia que profissionais prevejam os estímulos não visuais, seu funcionamento se dá através de uma interface de usuário aprimorada incorporada ao ecossistema Rhinoceros 3D, se caracterizando enquanto um plug-in.

Para realizar simulações precisas do céu diurno, o programa ALFA utiliza cálculos espectrais que se baseiam em uma extensa biblioteca de transferência radiativa denominada libRadtran. Essa biblioteca permite que os usuários do ALFA simulem com precisão física diferentes condições atmosféricas, como céus claros, nebulosos ou nublados, em qualquer local da Terra. Com o intuito de obter resultados realistas e confiáveis, o programa oferece um catálogo abrangente de mais de 500 materiais espectrais medidos. Esses materiais são derivados de medições espectrofotométricas de objetos arquitetônicos reais, garantindo uma representação precisa das propriedades ópticas dos materiais utilizados nas simulações.

O primeiro passo consiste em realizar a modelagem do ambiente utilizando o programa Rhinoceros. Em seguida, na interface do programa ALFA (Figura 1), seleciona-se a localização geográfica da edificação e define-se o mês, dia e horário desejados, além de especificar a condição do céu. Essas etapas são essenciais para obter resultados precisos durante as simulações.

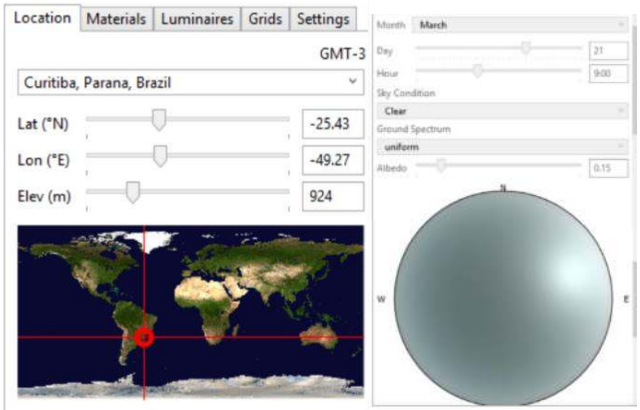

Figura 1 - Abas de configurações de localização, mês, dia, horário e condição do céu para a realização da simulação no ALFA.

Em seguida, os materiais são atribuídos aos layers conforme definido na etapa de modelagem do ambiente. Um plano de referência é selecionado no ambiente para a colocação da grade de sensores. Após a configuração adequada, a simulação é iniciada para obter os resultados das métricas de alerta, conforto visual e iluminância do plano de trabalho. Através da ferramenta foi possível realizar previsões da quantidade de luz absorvida pelos fotorreceptores não visuais do observador, levando em consideração sua localização e direção de visão. O programa oferece uma renderização interativa em 360 graus, permitindo ao usuário girar a câmera e observar as mudanças no espectro de luz e na iluminância melanópica que chega aos olhos do observador. O ALFA utiliza a métrica da Razão M/F, que é a relação entre os valores de iluminância melanópica e fotópica, para quantificar o impacto da luz no ritmo circadiano. Essa métrica espectral é utilizada para avaliar as consequências da luz na saúde a longo prazo, relacionando-se com o bem-estar, os estados de relaxamento, sono ou alerta (MILLER; IRVIN 2019). Para interpretar os resultados, considera-se o estado de alerta quando a Razão M/F é maior que 0,9, o estado de relaxamento quando é menor que 0,35 e o estado neutro quando está entre 0,35 e 0,9.

3.2. Parâmetros adotados nas simulações

O zoneamento geográfico adotado na base de dados do método simplificado proposto na revisão da norma ABNT-NBR 15.575 (ABNT, 2021), consiste em três faixas de latitude que dividem o território nacional, sendo a terceira faixa escolhida para as simulações neste estudo. A cidade selecionada dentro dessa faixa para as simulações foi a capital do Paraná, Curitiba. Devido à influência da inclinação da trajetória solar durante o inverno, optou-se por realizar as simulações nessa estação específica, com céu claro, durante o período da manhã. Foram priorizados ambientes simples, sem sacadas ou marquises, e com uma transmissão visível do vidro acima de 75%. A fim de limitar a quantidade das combinações paramétricas, determinou-se fixar o pé-direito e a altura da verga da janela, considerando a pouca variação desses elementos nas tipologias residenciais. Observou-se um comportamento semelhante nas linhas do ábaco, conforme ilustrado na Figura 2, o que levou à escolha de apenas uma linha para as futuras comparações. Essa linha estabelece os critérios para a modulação dos ambientes nas simulações realizadas no programa.

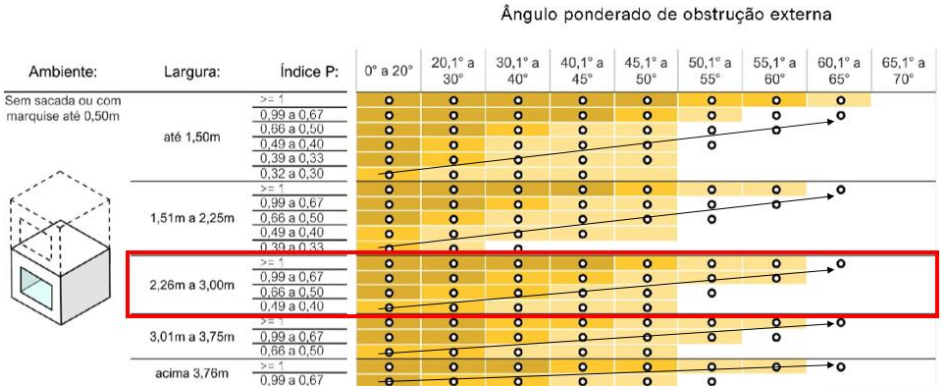

Figura 2 - Linha selecionada da base de dados, que serviu como referência para os ábacos utilizados no método simplificado da norma ABNT-NBR 15.575 (PEREIRA et al., 2020).

As variações arquitetônicas simuladas incluem a variação das dimensões dos ambientes, a utilização de paredes com diferentes cores e a direção de visão do observador. As aberturas foram posicionadas voltadas para o Norte. Como adotado para o ábaco, a área da abertura foi definida como sendo 1/6 da área do piso, enquanto a altura da verga da janela foi fixada em 2,10m em relação ao piso. Na simulação, os sensores foram posicionados para medir a iluminância (lux) no plano vertical, ao nível dos olhos dos ocupantes. As alturas das estações de trabalho foram definidas como 0,75m em relação à superfície do piso, enquanto os planos de visão foram estabelecidos a 1,20m de altura. As especificações detalhadas dos ambientes estão disponíveis na Tabela 1.

AMBIENTE	LARGURA (m)	PROFUNDIDADE (m)	INDICE P	ÁREA DO PISO (m²)	Ajanela (1/6 Apiso) (m²)	DIMENSÃO JANELA LxH (m)
01	2,26	2,26	1,00	5,11	0,851	1,00 x 0,85
		3,39	0,67	7,66	1,277	1,00 x 1,30
		4,52	0,50	10,22	1,703	1,00 x 1,70
		5,65	0,40	12,77	2,128	1,30 x 1,70
02	2,50	2,50	1,00	6,25	1,04	1,00 x 1,10
		3,75	0,67	9,38	1,563	1,00 x 1,60
		5,00	0,50	12,50	2,083	1,30 x 1,60
		6,25	0,40	15,63	2,604	1,60 x 1,70
03	3,00	3,00	1,00	9,00	1,50	1,00 x 1,50
		4,50	0,67	13,50	2,25	1,40 x 1,70
		6,00	0,50	18,00	3,00	1,70 x 1,80
		7,50	0,40	22,50	3,75	2,00 x 1,90

Tabela 1 - Características aplicadas aos ambientes.

Para categorizar os ambientes de acordo com sua dimensão, foram adotadas numerações específicas. A primeira parte da numeração representa a largura do ambiente, onde o número 01 corresponde a uma largura de 2,26m, o número 02 refere-se a uma largura de 2,5m e o número 03 representa ambientes com largura de 3,0m. A segunda parte da numeração pode variar entre 1, 2, 3 ou 4, por exemplo: 01_1, indicando a profundidade do ambiente. A Figura 3 ilustra essa numeração.

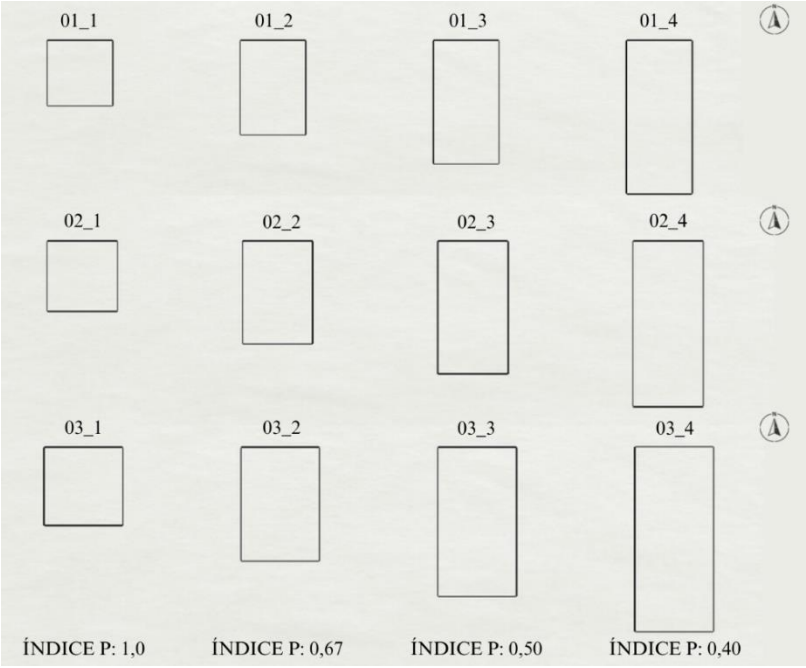

Figura 3 - Vista de cima dos ambientes modelados no Rhinoceros 3D, com respectivas numerações.

A seguir, são apresentados os materiais utilizados nas simulações. O primeiro material, denominado "Light Green Tiles 4cm", foi aplicado no piso, enquanto o segundo material, chamado "White Painted Room Ceiling", foi aplicado no teto. Essas escolhas foram baseadas em suas razões M/F próximas a 1. Para as paredes, foram realizadas variações utilizando os demais materiais listados, com uma refletância fotópica aproximada de 40% e diferentes valores de refletância melanópica. A Figura 4 exibe dois gráficos que representam as características dos materiais. O primeiro gráfico mostra as refletâncias melanópicas e fotópicas, enquanto o segundo gráfico apresenta os valores da razão M/F, uma métrica espectral utilizada para avaliar as consequências da luz no estado humano.

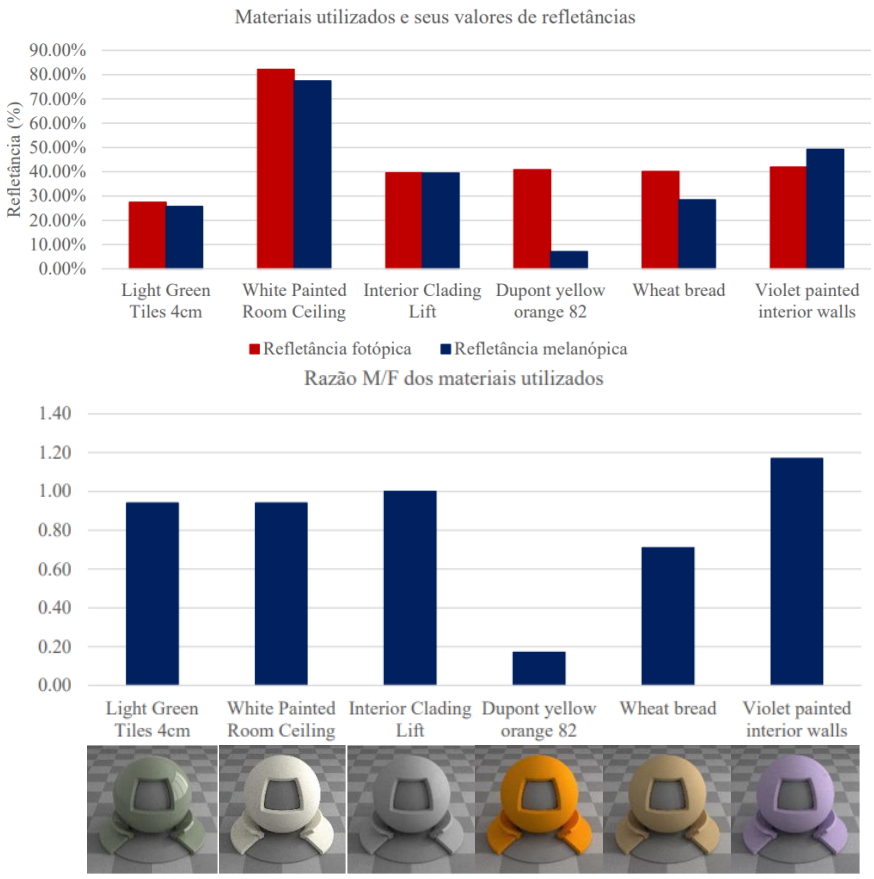

Figura 4 - Características dos materiais utilizados.

De acordo com a classificação adotada pelo ALFA, com base nas características mencionadas, observa-se que apenas o material "Dupont Yellow Orange 82" tende a induzir o estado de relaxamento nos usuários. Por sua vez, a cor "Wheat Bread" proporciona um estado neutro, diferenciando-se dos demais materiais, cujas razões M/F variam entre 0,90 e 1,20, sugerindo o estado de alerta.

4. RESULTADOS

Ao analisar a relação entre a profundidade dos ambientes, considerando apenas os valores obtidos durante a manhã de inverno com céu claro e com paredes revestidas com o material "Interior Clading Lift", observa-se na Figura 5 que o ambiente de menor área apresentou iluminância média mais elevada. Há uma tendência de diminuição desses valores à medida que a profundidade aumenta até atingir o índice 0,67. A partir desse ponto, cada tipologia de ambiente apresentou um padrão de comportamento distinto. A relação entre as médias de iluminância fotópica e melanópica nos ambientes de diferentes larguras demonstra um comportamento semelhante, com variações proporcionais entre si. Além disso, observa-se uma proximidade entre as iluminâncias, o que está de acordo com as propriedades do material das paredes.

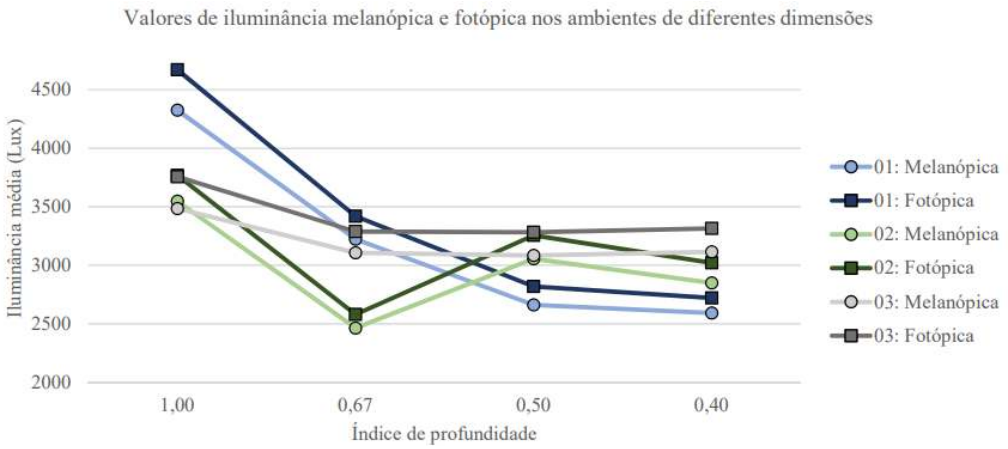

Figura 5 - Iluminância média nos ambientes com diferentes dimensões e paredes no material "Interior Clading Lift".

Na figura 5, é observado que o ambiente de menor largura (01) e menor profundidade apresenta iluminâncias mais altas, enquanto que essas iluminâncias diminuem à medida que a profundidade aumenta. O ambiente de maior largura (03) exibe uma distribuição mais uniforme das iluminâncias à medida que a profundidade aumenta. No caso do ambiente 02 (verde), observa-se um aumento nos valores de iluminância quando o índice de profundidade atinge 0,50, antes de diminuir novamente. Ao comparar os ambientes 01, 02 e 03, nota-se que, com as variações de largura, o ambiente 01 (azul) deixa de ter as maiores iluminâncias (índice de profundidade igual a 1,00) e passa a apresentar as menores iluminâncias com maior profundidade (menor índice de profundidade). As altas iluminâncias próximas às aberturas podem resultar na necessidade de utilizar persianas internas, o que reduz o aproveitamento da iluminação natural e pode afetar negativamente o ritmo circadiano. Isso pode levar a prejuízos no estado de alerta dos ocupantes dos edifícios e, a longo prazo, causar danos à saúde (FIGUEIREDO, 2022).

A Figura 6 apresenta os resultados da métrica de alerta em dois ambientes específicos: 01_1 (2,26m x 2,26m) e 01_4 (2,26m x 5,7m). No contexto do ALFA, o estado de alerta é representado por uma razão M/F maior que 0.9 (cor azul), enquanto o estado de relaxamento é indicado por uma razão M/F menor que 0.35 (cor laranja). Valores entre 0.35 e 0.9 são mostrados na cor cinza, representando o estado neutro, onde o espectro e a quantidade de luz não afetam o ritmo circadiano. A direção da visão é representada por padrão em oito posições distintas, indicadas por um círculo subdividido.

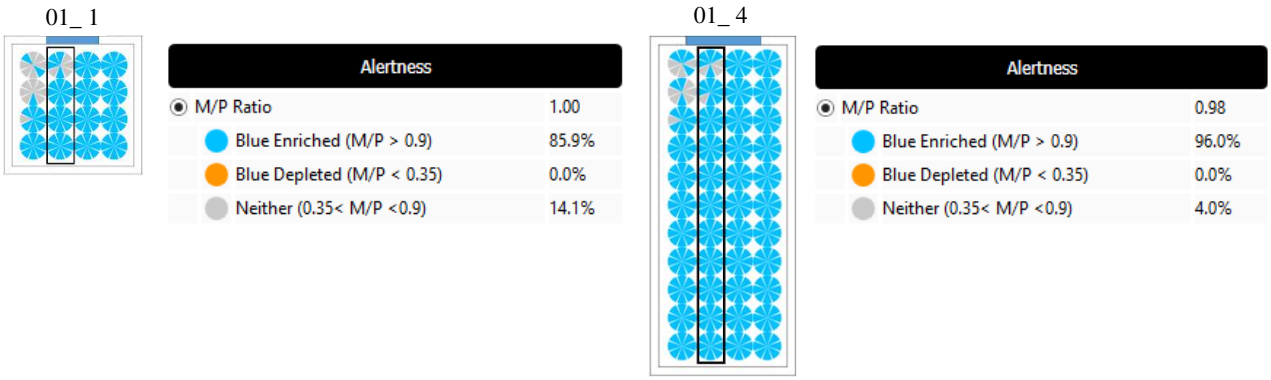

Figura 6 - Variação da razão M/F nos ambientes 01_1 e 01_4 e paredes no material "Interior Clading Lift".

Na Figura 6, estão representadas as plantas dos sensores utilizados, com destaque para a abertura (em azul), juntamente com as colunas selecionadas para análise. À esquerda, temos o ambiente 01_1, e ao lado direito, o ambiente 01_4. Ao lado de cada planta são apresentados os resultados em porcentagem do estado de alerta a ser influenciado em cada ambiente. No ambiente 01_1, o estado de alerta é obtido em 85,9% da área total, o que é semelhante ao comportamento observado no ambiente de maior profundidade, onde o estado de alerta é alcançado em 96% da área. Essa uniformidade na razão M/F ao longo do ambiente é resultado das características do material utilizado, que possui refletâncias melanópicas e fotópicas próximas.

A ferramenta permite analisar o estímulo luminoso ao qual cada indivíduo está exposto. A razão M/F é calculada conforme a direção da visão dos usuários da edificação, permitindo estimar seu comportamento e bem-estar. O gráfico da Figura 7 compara a variação da razão M/F entre os ambientes, considerando a orientação dos sensores voltados para a abertura ou para os fundos. Essa análise ajuda a avaliar o impacto das escolhas de layout no campo visual de uma pessoa sentada.

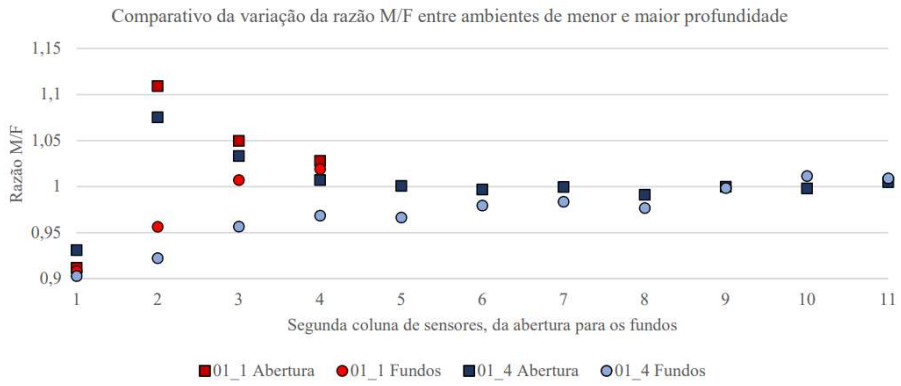

Figura 7 - Comparativo da variação da razão M/F nos ambientes 01_1 e 01_4 e paredes no material "Interior Clading Lift".

Ao analisar a Figura 7, observa-se que o material "Interior Clading Lift" nas paredes mantém a razão M/F acima de 0,9 em todos os sensores selecionados, indicando o estado de alerta. A razão M/F é maior nos sensores direcionados para as aberturas, aspecto relevante a ser considerado na fase de projeto. Além disso, é importante observar que a variação da razão M/F entre os usuários direcionados aos fundos ou à abertura do ambiente é menos significativa à medida que se afastam da abertura.

A figura 8 apresenta a análise da razão M/F em relação à profundidade do ambiente, considerando diferentes cores de parede. Os materiais "Interior Clading Lift" e "Violet Painted Interior Walls" proporcionam de forma mais uniforme o estado de alerta, sendo adequados para ambientes de estudo e trabalho. O material "Wheat Bread" apresenta maior variação na distribuição do estado de alerta com o aumento da profundidade, mas ainda mantém o estado neutro. No entanto, o material "Dupont Yellow Orange 82" mostra uma variação significativa na razão M/F, não fornecendo mais o estado neutro (0,35 a 0,9), como no ambiente de menor profundidade, induzindo ao estado de relaxamento nos ambientes mais profundos.

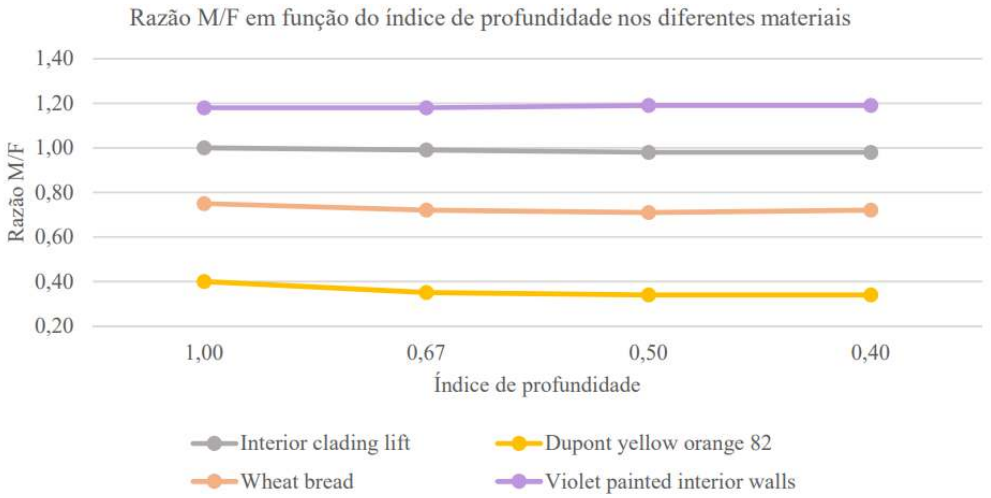

Figura 8 - Razão M/F dos diferentes materiais.

Na figura 9, é apresentada uma comparação dos valores obtidos no ambiente 01_1, considerando a direção dos sensores na segunda coluna dos pontos de leitura. Essa análise permite observar a variação da métrica espectral e avaliar as consequências da luz no estado humano com os diferentes materiais. Os marcadores quadrados representam a razão M/F dos sensores direcionados às aberturas, enquanto os marcadores circulares representam os sensores voltados para os fundos do ambiente.

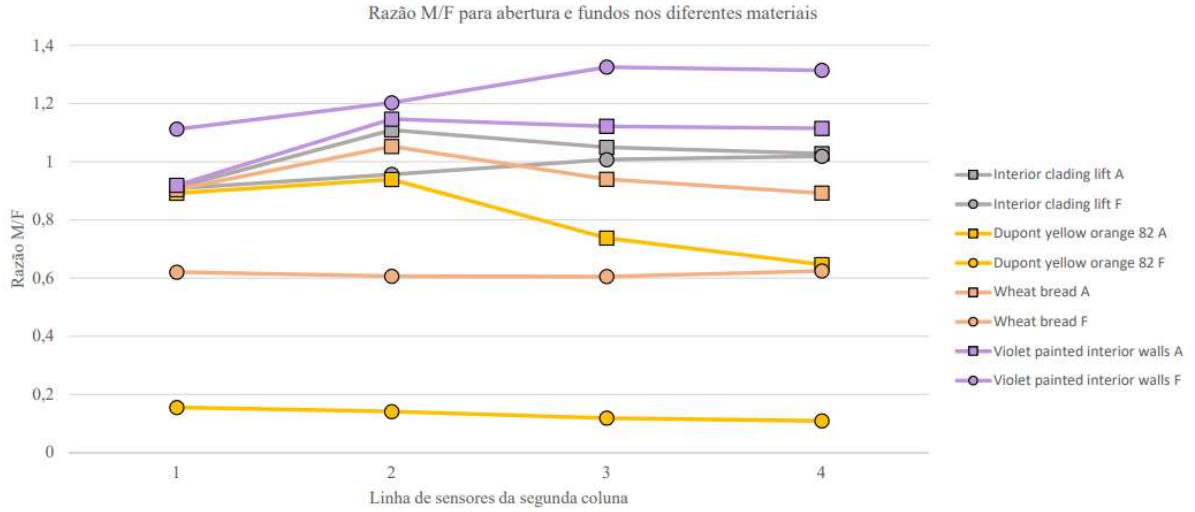

Figura 9 - Comparativo da variação da razão M/F entre diferentes materiais.

Observa-se que, com exceção das paredes em "Violet Painted Interior Walls", os valores dos sensores voltados para os fundos do ambiente são inferiores aos sensores direcionados para a abertura. O material "Violet Painted Interior Walls" apresenta um aumento nos valores de razão M/F à medida que se afasta da abertura, devido à sua maior refletância melanópica em relação à refletância fotópica. Isso indica uma maior

influência nos aspectos não visuais. Nesse contexto, para atividades que requerem estímulo ao estado de alerta, é recomendado alocar o usuário mais ao fundo do ambiente e direcionado aos fundos.

O material "Interior Clading Lift" demonstra pouca variação nos diferentes sentidos, como esperado. Por outro lado, o ambiente com material "Wheat Bread" exibe variações nas consequências da luz no ciclo circadiano, dependendo da direção do sensor. Este proporciona o estado de alerta para os sensores direcionados para a abertura e o estado neutro para os sensores voltados para os fundos. Portanto, o layout deve ser projetado de forma a posicionar o usuário voltado para a abertura ao realizar atividades que exigem produtividade.

A diferença nas razões dos sensores direcionados para a abertura e para os fundos no ambiente com o material "Dupont Yellow Orange 82" é devida às propriedades desse material, que apresenta menor refletância melanópica em relação à refletância fotópica, o que resulta em um aumento na iluminância fotópica no interior do ambiente. Somente nos dois primeiros sensores direcionados à abertura é possível obter o estado de alerta. Como resultado, os usuários voltados para a abertura experimentam estados neutro e de alerta, dependendo da localização, enquanto os usuários voltados para os fundos experimentam o estado de relaxamento. Portanto, esse material seria indicado para quartos ou espaços de relaxamento.

5. CONCLUSÕES

A norma atual, que se concentra na suficiência de luz, estabelece o desempenho mínimo de iluminação natural que pode ou não proporcionar o estado de alerta para os usuários, dependendo das características das superfícies, pois as propriedades dos materiais têm um impacto significativo devido à sua refletância visual e não visual. Um projeto que considera a iluminação circadiana deve selecionar o acabamento interno com base no estado desejado para a atividade a ser realizada no ambiente, levando em conta não apenas a refletância fotópica, mas também a refletância melanópica. A posição e a direção do usuário também afetam os valores da iluminância melanópica, ou seja, o impacto da luz no ciclo circadiano. A influência da mudança na direção de visão e na localização do usuário indica o potencial de um layout interno planejado com base nessas informações.

Há materiais que apresentam maior variação na distribuição do estado de alerta com o aumento da profundidade, e as consequências da luz no ciclo circadiano variam de acordo com a direção de visão do usuário. Além disso, a geometria do ambiente também pode influenciar o estado resultante. A análise da métrica espectral revela que as consequências da luz no impacto do ciclo circadiano variam entre os materiais, confirmando que ter uma janela não garante que os ocupantes sejam expostos a um estímulo de luz eficaz. Ao analisar a razão M/F em relação à profundidade do ambiente e às diferentes cores das paredes, é possível compreender o comportamento de refletância desses materiais e estabelecer expectativas para o projeto. Compreendendo a influência desses elementos arquitetônicos na qualidade do ambiente luminoso, foi possível obter uma perspectiva para a elaboração de projeto.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALIGHT, Athina; JAKUBIEC, J. Alstan. Evaluating the use of photobiology-driven alertness and health measures for circadian lighting design. **Building Simulation**, University of Toronto, Ontario, Canada, p. 00, 3 set. 2021. DOI http://dx.doi.org/10.26868/25222708.2021.30463.

ANDERSEN; GOCHENOUR; LOCKLEY. Modelling 'non-visual' effects of daylighting in a residential environment. **Building and Environment**. v. 70, 2013, p. 138-149, ISSN 0360-1323. DOI: 10.1016/j.buildenv.2013.08.018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15.575 – Desempenho de edificações habitacionais**. Rio de Janeiro, 2021.

BERSON, David M; DUNN, Felice A; TAKAO, Motoharu. Phototransduction by retinal ganglion cells that set the circadian clock. **Science**, 2002. DOI: 10.1126/science.1067262.

CHAVES, Nathali Pimentel; MARTAU, Betina Tschiedel. Repensando o Projeto de Iluminação: avaliação de métricas de luz circadiana. **VI Simpósio Brasileiro de Qualidade do Projeto no Ambiente Construído**, 2019. DOI:10.14393/sbqp19050.

DAI; HUANG, HAO; LIN; CHEN. Spatial and spectral illumination design for energy-efficient circadian lighting. **Building and Environment**, v. 146, 2018, p. 216-225, ISSN 0360-1323. DOI: 10.1016/j.buildenv.2018.10.004.

FIGUEIREDO, Erika Ciconelli de. Abordagem do ritmo circadiano no projeto de iluminação natural em edifícios de escritórios. **Sítio Novo**, [s. l.], v. 6, n. 2594-7036, ed. Edição Especial, p. 83-98, 7 mar. 2022.

FIGUEIRO M; NAGARE R; PRICE L. Non-visual effects of light: How to use light to promote circadian entrainment and elicit alertness. **Lighting Research & Technology**. 2018;50(1):38-62. DOI:10.1177/1477153517721598.

LUCAS, R. J. et al. Measuring and using light in the melanopsin age. **Trends in Neurosciences**, [s. l.], v. 37, n. 1, p. 1–9, 2014.

MARDELJAVIC, J.; ANDERSON, M.; ROY, N.; CHRISTOFFERSEN, J.. A framework for predicting the non-visual effects of daylight – Part II: the simulation model. **Lighting Research and Technology 46**, 2013. DOI:10.1177/1477153513491873

KIM; CHOI; SUNG. Accuracy evaluation of a calculation tool based on the spectral colour property of indoor luminous environments. **Building and Environment**, v. 139, 2018, p. 157-169, ISSN 0360-1323. DOI: 10.1016/j.buildenv.2018.05.028.

KONIS, Kyle. A circadian design assist tool to evaluate daylight access in buildings for human biological lighting needs. **Solar Energy**, v. 191, 2019, p. 449-458, ISSN 0038-092X. DOI: 10.1016/j.solener.2019.09.020.

KONIS, Kyle. Field evaluation of the circadian stimulus potential of daylit and non-daylit spaces in dementia care facilities. **Building and Environment**, v. 135, 2018, p. 112-123, ISSN 0360-1323. DOI: 10.1016/j.buildenv.2018.03.007.

MILLER, N.J.; IRVIN, A.L. M/P ratios – Can we agree on how to calculate them? **IES: Illuminating Engineering Society**, [S.I.], 2019. Disponível em: https://bit.ly/2RmXqIF. Acesso em: 15 de julho de 2022.

PEREIRA, Fernando O. R.; FONSECA, Raphaela W.; GIRALDO, Natália V.; SCALCO, Veridiana A.; MARIANO, Pedro O. P.; QUEIROZ, Natália; ROSA, Franciele F. Ferramenta simplificada para a estimativa do desempenho da iluminação natural em edificações residenciais. **ENTAC2020** – Porto Alegre, Brasil, 2020.

REA, M. S.; FIGUEIRO, M. G. Light as a circadian stimulus for architectural lighting. **Lighting Research & Technology**, [s. l.], v. 50, n. 4, p. 497–510, 2018.

REPPERT, Steven; WEAVER, David. Coordination of circadian timing in mammals. **Nature**, 2002. DOI: 10.1038/nature00965.

RHINOCEROS. **Features**. 2022. Disponível em: https://www.rhino3d.com/features/. Acesso em: 20 de março de 2022.

SOLEMMA. **ALFA video**, 2022. Disponível em: https://www.solemma.com/alfa/#ALFAvideo. Acesso em: 18 de novembro de 2022.

THE NOBEL PRIZE. **Press Release**. Disponível em: https://www.nobelprize.org/prizes/medicine/2017/press-release/. Acesso em: 20 de fevereiro de 2022.

AGRADECIMENTOS

Á CAPES/PNPD e ao CNPq (Bolsista do CNPq - Brasil 118745/2022-0, bolsista do CNPq – Brasil 152080/2022-8 e bolsista do CNPq – Brasil 309394/2020-1) pelos recursos financeiros aplicados no financiamento do projeto.