# LUZ E SAÚDE: INTEGRAÇÃO DA ILUMINAÇÃO NATURAL E ELÉTRICA AO PROJETO ARQUITETÔNICO – ANÁLISE DA BIBLIOTECA JOSÉ DE ALENCAR – FACULDADE DE LETRAS – UFRJ

**Patrizia Di Trapano (1); Thamires Nunes de Almeida Pessoa (2) Victória Emmerick Vaccani (3)**

(1) DSc., Arquiteta e Urbanista, professora associada EBA/UFRJ, pesquisadora no grupo LabCA, patrizia@eba.ufrj.br;
(2) Estudante de graduação em Composição de Interior EBA/UFRJ com bolsa CNPQ/PIBIC/UFRJ, thamiresnunes95@gmail.com,
(3) Estudante de graduação em Composição de Interior EBA/UFRJ, vick.emerick@gmail.com
Universidade Federal do Rio de Janeiro, LabCA – Laboratório de Criação e Análise de Ambiências, Escola de Belas Artes – EBA, avenida Pedro Calmon, 550, prédio da Reitoria, Ilha do Fundão, Rio de Janeiro

## RESUMO

Este artigo mostra o estudo de caso desenvolvido na biblioteca José de Alencar – Faculdade de Letras - UFRJ, sobre as condições de iluminação natural e elétrica, tendo como base os princípios da iluminação integrativa e o conforto visual. A metodologia envolveu as seguintes etapas: levantamento físico e fotográfico; medições de iluminâncias; levantamento dos problemas existentes; simulações realizadas com o software Dialux Evo 9.2 para iluminação natural e elétrica; aplicação da metodologia desenvolvida pela certificação WELL-Lux Melanópico Equivalente (EML), para a condição de aproveitamento da luz natural e elétrica (métrica circadiana); análise crítica dos resultados. De acordo com as medições, em conjunto com a análise da simulação, concluímos que as condições da biblioteca atendem à norma de iluminação NBR ISO/CIE 8995 - métrica do sistema visual. A aplicação da metodologia desenvolvida pela certificação WELL-Lux Melanópico Equivalente (EML), mostrou que a biblioteca apresenta potencial melanópico através do aproveitamento da luz natural e elétrica.

Palavras-chave: iluminação integrativa, iluminação natural, iluminação elétrica, simulação computacional.

## ABSTRACT

This article shows a case study developed in the Library José de Alencar – Faculdade de Letras - UFRJ, about the conditions of natural and electric lighting, based on the principles of integrative lighting and visual comfort. The methodology involved the following steps: physical and photographic survey; measurements of illuminances; survey of existing problems; simulations performed with dialux evo 9.2 software for natural and electric lighting; application of the methodology developed by the WELL certification - Equivalent Melanopic Lux (EML), for the condition of using natural and electric light (circadian metric); critical analysis of the results. According to the measurements, together with the simulation analysis, we conclude that the conditions of the library meet the lighting standard NBR ISO/CIE 8995- visual system metric. The application of the methodology developed by the WELL certification showed that the library has melanopic potential through the use of natural and electric light.

Keywords: integrative lighting, natural lighting, electrical lighting, computer simulation.

## 1. INTRODUÇÃO

Diante do cenário atual, numa realidade de pandemia, e na expectativa de como serão as perspectivas para o futuro da arquitetura num mundo pós COVID-19, as questões relacionadas à saúde do homem passaram a ter maior importância nesses novos tempos. A utilização da iluminação natural e artificial, e o significado desta luz na qualidade de vida das pessoas, trazendo saúde e bem-estar, tornaram-se fatores relevantes para o projeto, devendo ser agregados de forma mais incisiva a partir de agora.

Questões relacionadas a saúde e a cronobiologia[1] passaram a ser incorporadas nessa discussão, desde que em 2002, os médicos pesquisadores David Berson, Felice Dunn e Motoharu Takao, da Universidade de Brown – EUA detectaram a relação da luz com a descoberta de um novo tipo de célula fotorreceptora no olho humano que tem relação direta com a radiação emitida e os efeitos psicológicos e biológicos dos seres humanos, influenciando no ritmo circadiano (BERSON, DUNN, MOTAHARU, 2002).

Em 2017, os médicos geneticistas e cronobiólogos norte-americanos Jeffrey C. Hall, Michael Rosbash e Michael W. Young ganharam o prêmio Nobel de Medicina e Fisiologia por suas descobertas sobre o ritmo circadiano, o relógio biológico interno dos seres vivos[2]. Os pesquisadores mostraram que o relógio biológico é necessário para antecipar as mudanças que ocorrem durante o dia, e não somente para nos adaptarmos a essas mudanças. Eles perceberam que o corpo dos animais (incluindo o dos seres humanos) desencadeia uma série de ligações que nos preparam para acordar, mesmo antes da luz do dia "nos avisar". Da mesma forma, há uma preparação do organismo para o momento noturno do sono. (LAAKE, LÜSCHER, YOUN, 2017)

Quando se trata de ciclo circadiano, Rea e Figueiro, (2011) descrevem o acoplamento muito forte entre o claro-escuro, padrão do ambiente natural e a ciclicidade do relógio mestre endógeno, ou seja, sem este mecanismo sincronizador, o relógio interno fica fora de sincronia, causando diversos distúrbios biológicos ao homem. A partir deste conhecimento, os estudos se voltaram para entender como diferentes intensidades e cores de fontes luminosas influenciam no círculo circadiano, nas diferentes horas do dia. O espectro de ação da melanopsina nas ipRGCS humanas mostra um pico de sensibilidade à aproximadamente 484 nm, (REA; FIGUERO, 2016) ou seja, coincidem com o espectro de fontes de luz artificial com predominância da luz azul, como as fontes de luz com temperatura de cor elevada ou aquelas baseadas em tecnologia LED.

Para que se alcance uma sincronização positiva, faz-se necessário a presença de luz azul na parte da manhã e luz amarela, de menor intensidade ao final do dia, sendo a luz capaz de responder por diferentes níveis de ativação mental, importantes para o ser humano. É necessário compreender como isso pode ser aplicado, e qual a relação com as necessidades do homem e a tarefa visual desenvolvida.

O conceito de iluminação integrativa foi definido pela CIE na normativa CIE S 017/E:2020. O objetivo da criação desta normativa foi criar o Vocabulário Internacional de Iluminação (ILV) a fim de padronizar a utilização de símbolos e terminologias relacionadas à iluminação. A definição de iluminação integrativa 17-29-028[3] seria a iluminação que integra os efeitos visuais e não visuais, produzindo benefícios fisiológicos e/ou psicológicos para humanos. Algumas notas devem ser consideradas: este termo "iluminação integrativa" se aplica apenas a humanos; a fototerapia não está incluída nesta definição; o termo "Human Centric Lighting" é utilizado com significado semelhante.

A discussão consiste sobre a forma correta de se projetar a iluminação integrativa, uma vez que a maior parte das recomendações atuais sobre iluminação está focada em métricas para desempenho de tarefas visuais. Os projetos de iluminação voltados para o sistema visual são aqueles que se baseiam na quantidade de luz adequada para o desempenho das tarefas visuais, fundamentados no conceito de iluminância, cuja unidade métrica é o Lux, cujos parâmetros de conforto visual são estabelecidos por normas técnicas, como a ABNT NBR ISO/CIE 8995-1 (ABNT, 2013). No contexto científico atual, pesquisadores buscam novas metodologias que ofereçam aos luminotécnicos ferramentas para projetar incluindo o conceito de Iluminação Integrativa, considerando o impacto no sistema não visual humano. Para isso, métricas diferentes daquelas que utilizam a iluminância como variável de projeto estão sendo desenvolvidas e testadas, pois a regulação circadiana é influenciada de uma forma diferente do que a visão pela luz.

---

[1] Cronobiologia estuda fenômenos periódicos que afetam todos os seres humanos, referindo-se aos ciclos do sol e da lua. Franz Halberg da universidade de Minnesota, considerado um dos fundadores da cronobiologia, criou o termo *circadian,* do latim *circa* que significa aproximadamente, e *diem* que significa dia, para descrever um ciclo biológico que dura cerca de um dia. Esses estudos focaram na descrição de mecanismos moleculares que estão envolvidos em ciclos naturais psicológicos dos organismos vivos. Traduzido de (ROSSI, 2019).

[2]https://www.publico.pt/2017/10/02/ciencia/noticia/nobel-da-medicina-vai-para-descobertas-sobre-mecanismos-do-ritmo-circadiano-1787380

[3] Traduzido de CIE 17-29-028 INTEGRATIVE LIGHTING**.** Disponível em: https://cie.co.at/eilvterm/17-29-028

Duas métricas se destacam para o desenvolvimento do projeto de iluminação considerando o impacto no sistema não visual humano: Lux Melanópico Equivalente (EML) (IWBI, 2019; LUCAS et al., 2014) e o Estímulo Circadiano (CS) (REA M. S.; FIGUEIRO M. G, 2016). A unidade EML foi desenvolvida pela University of Manchester[4], em Manchester no Reino Unido, utilizando como base a norma alemã DIN SPEC 5031-100:2015 e incorporado ao WELL Standard (IWBI, 2021a). A unidade Estímulo Circadiano (CS), foi desenvolvida pelo Lighting Research Center[5] do Ressenlaer Polytechnic Institute, em Troy nos EUA.

A métrica EML (Equivalent Melanopic Lux) é utilizada pelo novo padrão CIE S026/E:2018, possui uma ferramenta para que, a partir da composição espectral de determinada fonte de luz e a aferição da iluminância na altura do olho (plano vertical), seja possível obter a porção que incide nas ipRGCs (células ganglionares intrinsicamente fotossensíveis), denominado Lux Melanópico.

A métrica do Estímulo Circadiano (CS) é baseada em um modelo matemático que é capaz de prever à supressão noturna da melatonina, expresso através de um índice denominado CS, ou seja, uma ferramenta baseada na composição espectral de fontes de luz e os aspectos de sensibilidade do olho humano, com conceitos completamente diferentes da iluminância. Rea e Figueiro (2016) apresentam o conceito de Luz Circadiana (CLA) e o Estímulo Circadiano (CS). As duas novas métricas indicam a sensibilidade espectral (CLA) e absoluta (CS) do sistema circadiano humano. De acordo com os modelos desenvolvidos, a irradiância espectral na córnea é primeiro convertida em CLA, refletindo a sensibilidade espectral do sistema circadiano e então, em seguida, transformado em CS, refletindo a sensibilidade absoluta do sistema, podendo variar de zero (o limiar para ativação do sistema circadiano) a 0,7 (saturação de resposta).

Entretanto, segundo (CHAVES N. P., MARTAU B., 2019) nenhuma instituição renomada de iluminação, nem nacional nem internacional, chegou a um consenso sobre qual delas (EML ou CS) deve ser utilizada para projetar, portanto ambas são propostas de seus autores, sem uma validação pela comunidade científica nem normas técnicas para sua aplicação.

Muitas das fontes de iluminação elétrica são extremamente eficientes em economia de energia, tais como os LEDs. Entretanto, o espectro de luz azul, maior nesse tipo de fonte luminosa, pode afetar diretamente as funções biológicas, causando a supressão da melatonina, se utilizado à noite e por longos períodos, o que pode transmitir sinais equivocados de que é dia para o fotorreceptor "enganando-o" e alterando o funcionamento do sistema circadiano. A falta de planejamento da iluminação elétrica, e o excesso de luz noturna, relacionados com outros fatores ambientais e históricos de saúde individual, podem estar associados com o aumento do risco potencial de desenvolvimento de diversas doenças.

Projetar e construir ambientes que promovam a saúde e bem-estar aos usuários tornou-se um dos pontos mais importantes no contexto atual. A certificação *WELL Building Standard* (IWBI, 2021a), foi desenvolvida para atender esta demanda na busca por qualidade de vida, saúde e produtividade dos usuários aliada à sustentabilidade ambiental dentro dos espaços construídos, e já considera a iluminação circadiana na sua pontuação. Sabe-se que a utilização da luz natural é de grande importância, uma vez que a abóbada celeste do Brasil é muito clara, apresentando baixa nebulosidade, e por estar fartamente disponível no horário de uso dessas edificações. O uso da luz natural, além de garantir níveis de iluminação adequados para as atividades humanas, reduz a necessidade do uso da luz artificial, e traz benefícios biológicos para o homem. Entretanto, este aproveitamento deve considerar o ofuscamento advindo da fonte de luz natural. Contrastes excessivos e quantidade excessiva de luz geram desconforto visual, é deve ser parte integrante do projeto de iluminação.

O brilho tem sido associado a uma série de problemas de saúde que vão desde desconforto visual e fadiga ocular até dores de cabeça e enxaquecas. Estudos têm demonstrado que o brilho pode levar à deficiência visual e ao desconforto que podem causar acidentes no local de trabalho. Indivíduos com menos de 50 anos são mais sensíveis ao brilho. (WOLSKA A, SAWICKI D., 2014). O planejamento do espaço e o projeto de iluminação podem minimizar a quantidade de brilho experimentado pelos indivíduos no espaço. Para iluminação elétrica, a fonte de luz, o tipo de luminárias utilizadas e o layout da iluminação podem levar a um brilho reduzido.

Além disso, a certificação WELL (IWBI, 2021d) também discute a importância que a natureza desempenha no sentido de ajudar a aliviar o estresse e a fadiga mental, incentivando o bem-estar em geral. O aumento do contato com a natureza promove a saúde no local de trabalho. A exposição a plantas e outros elementos naturais está associada à diminuição dos níveis de pressão arterial, depressão e ansiedade; aumento da capacidade de atenção; melhor recuperação do estresse e doença do trabalho; aumento do bem-estar psicológico.

[4] Lucas Group (Faculty of Biology, Medicine and Health - The University of Manchester)
[5] Faculty Details | Graduate Education | Educational Opportunities | LRC (rpi.edu)

## 2. OBJETIVO

O objetivo desse artigo é mostrar o estudo de caso desenvolvido na biblioteca José de Alencar – Faculdade de Letras - UFRJ, sobre as condições de iluminação natural e elétrica, tendo como base os princípios da iluminação integrativa e o conforto visual. A metodologia envolveu as etapas: levantamento físico e fotográfico; medições de iluminâncias; levantamento dos problemas existentes; simulações realizadas com o software Dialux Evo 9.2 para iluminação natural e elétrica; aplicação da metodologia desenvolvida pela certificação WELL-Lux Melanópico Equivalente (EML), para a condição de aproveitamento da luz natural e elétrica (métrica circadiana); análise crítica dos resultados.

## 3. MÉTODO

Nesta fase do trabalho foram estabelecidas as seguintes etapas: levantamento, fotos e análise visual da situação atual, medições prévias de iluminâncias, levantamento dos problemas existentes; maquete eletrônica realizada com o software Dialux Evo 9.2 para simulação da iluminação natural e elétrica, com o objetivo de analisar os primeiros resultados frente a situação atual de projeto; aplicação da metodologia desenvolvida pela certificação WELL-Lux Melanópico Equivalente (EML), para a condição de aproveitamento da luz natural e elétrica (métrica circadiana).

### 3.1. Levantamento, fotos e análise visual da situação atual

A biblioteca situa-se dentro do edifício da faculdade de Letras da UFRJ, e apresenta na sua distribuição dois prismas que contribuem para a iluminação natural do espaço, além de seteiras no perímetro externo do edifício, conforme mostrado na Figura 1. Os dois prismas possuem fachadas noroeste e sudoeste respectivamente, (indicadas em planta através das manchas amarelas). Foi observado que as janelas desses prismas voltadas para noroeste apresentam papéis colados nos vidros como proteção a radiação solar incidente, Figura 2. Isso fez com que a vista da vegetação fosse obstruída, o que se caracteriza como uma perda qualitativa para o espaço, Figura 3.

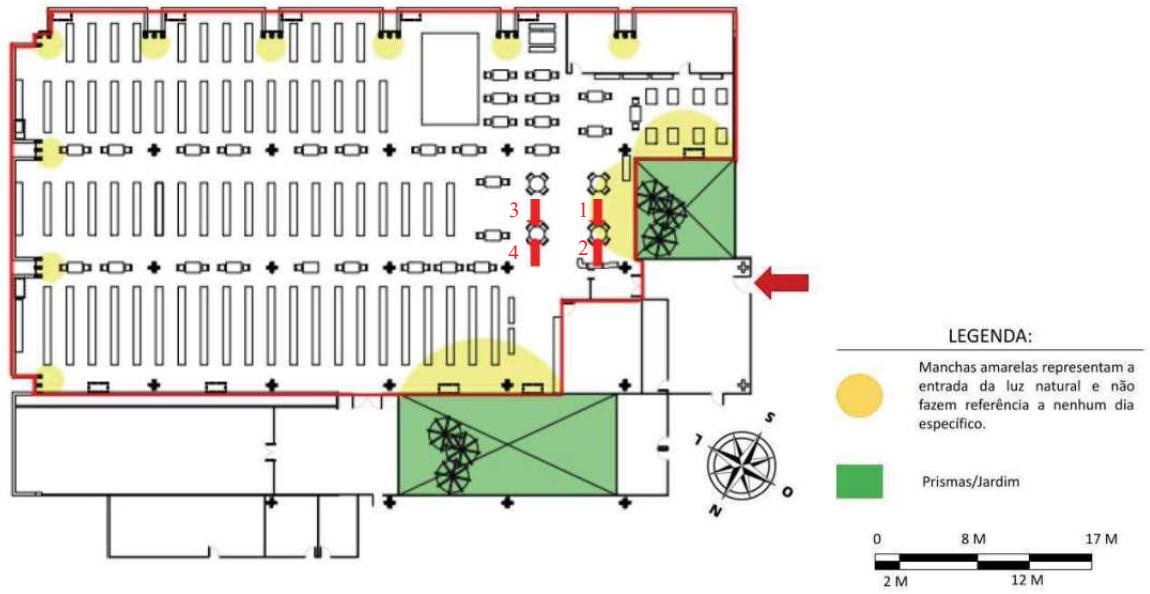



Figura 1 – Planta baixa esquemática da biblioteca



Figura 2 – Obstruções no prisma – Noroeste



Figura 3 – Vista do prisma



Figura 4 – O layout e as luminárias Fonte: Autoras

A biblioteca apresenta tecnologia de iluminação elétrica com lâmpadas fluorescentes tubulares, sendo a maior parte de 2x32W com temperatura de cor em torno de 5.000K. As luminárias existentes são calhas brancas, sem nenhuma proteção de ofuscamento, Figura 5. Observamos que algumas lâmpadas apresentam temperatura de cor menor, talvez por um problema de manutenção da própria universidade, Figura 6.

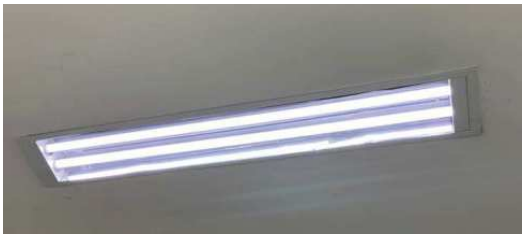


Figura 5 – Luminárias existentes



Figura 6 – Mistura de temperaturas de cor

O layout da biblioteca encontra-se no sentido transversal as luminárias. O horário de funcionamento da biblioteca é das 9:00 às 17:00.

### 3.2. Simulações com o software Dialux Evo e Medições prévias de iluminâncias

Foi utilizado o software DialuxEvo 9.2 para simulação da iluminação natural e elétrica, com o objetivo de analisar os primeiros resultados frente a situação atual de projeto. O céu escolhido para essa primeira simulação no programa DIALux evo 8 foi o céu intermediário. Os tipos de céu utilizados pelo DIALux evo são os três modelos descritos na CIE 110-1994: céu encoberto, céu médio e céu claro. O céu intermediário (IGAWA, NAKAMURA, MATSUURA, 1997) é um tipo de céu encontrado entre os céus claros e nublados, variando amplamente de acordo com o aparecimento do sol, a forma e quantidade de nuvens. A distribuição da luminância do céu intermediário é mais complexa do que a dos céus claros e nublados.

Neste primeiro momento foi escolhido o horário de 11:00 do dia 15 de dezembro de 2020 para a simulação, por ser esse o dia no qual foi realizada a visita à biblioteca. Neste dia foi realizado um levantamento prévio de iluminâncias sobre as mesas existentes, com o objetivo de se fazer uma avaliação da situação atual da iluminação (elétrica + natural). Na Figura 7 são mostrados alguns pontos levantados.

Para a realização da simulação foram definidas duas áreas (espaço 1 e espaço 2), sendo o primeiro próximo a uma das seteiras, e um pouco mais distante da janela do prisma, e o segundo bem próximo a janela do prisma, com o objetivo de avaliar a quantidade de lux existente com a contribuição da luz elétrica acesa somada à luz natural. A altura do plano de trabalho estabelecido foi de 0.75cm, e os materiais de piso, parede, teto, mesas e cadeiras foram definidos no *software* próximos à situação existente. Com relação a refletância dos materiais, foi utilizada a seguinte setagem: piso cinza 20%, parede 65% e teto branco 80%. Para simulação da iluminação elétrica foi utilizada fotometria IES de uma luminária similar, do fabricante Lumicenter Lighting CAN03-E232, para duas lâmpadas 32W-T8, no total de 5.400lm por luminária.

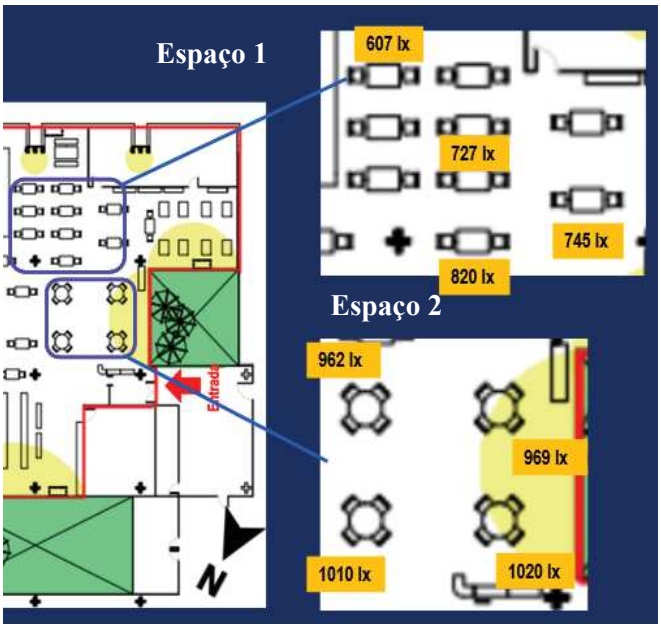



Figura 7 – Medições dia 11/12/2020

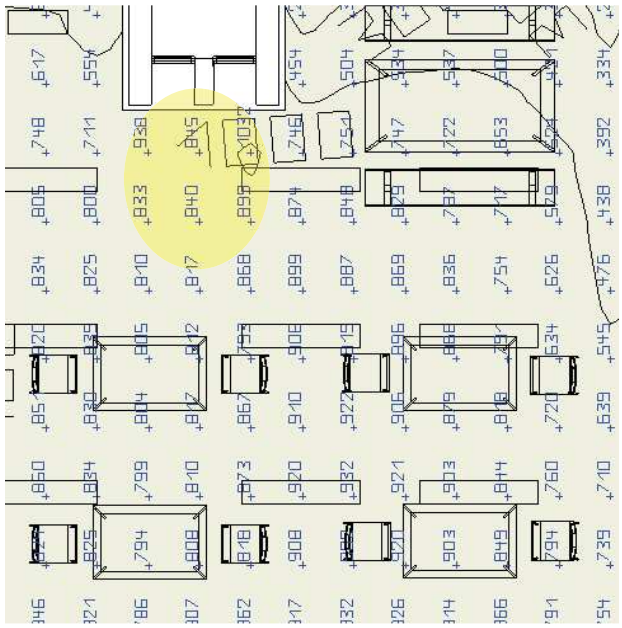


Figura 8 – Espaço1 - Simulação 11/12/2020



Figura 9 – Simulação Espaço 1 - Iluminâncias



Figura 10 – Espaço 2 – Simulação 11/12/2020

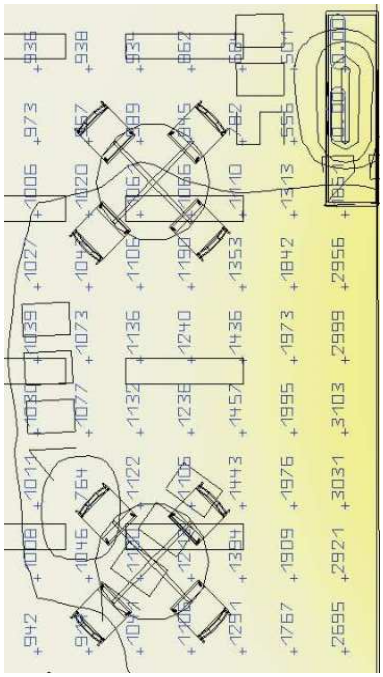


Figura 11 – Simulação Espaço 2 - Iluminâncias

A análise da simulação do espaço 1 (Figuras 8 e 9) mostra que as duas mesas mais próximas da seteira apresentam cerca de 800lx de iluminação (elétrica + natural) e, quando comparadas a medição (Figura 7), os valores estavam entre 600-800 lux aproximadamente, atendendo à norma de iluminação NBR ISO/CIE 8995 que recomenda 500lux para a área de leitura. A simulação do espaço 2 (Figuras 10 e 11) mostra que as duas mesas redondas próximas a janela do prisma apresentam cerca de 800lx de iluminação (elétrica + natural) e, quando comparadas a medição (Figura 7), os valores estavam entre 900-1000 lux aproximadamente.

### 3.3. Avaliação do potencial circadiano da biblioteca através do aproveitamento da iluminação natural e artificial

A WELL Standard determina recomendações para um projeto de iluminação circadiana em sua versão 2 (IWBI, 2021b). Nesse documento, valores mínimos de EML são estabelecidos para o ambiente levando em consideração a presença de apenas luz elétrica, ou de luz elétrica e natural em espaços regularmente ocupados. A recomendação geral para a iluminação integrativa indica que os valores mínimos de Lux Melanópico Equivalente (EML) devem ser atingidos pelo menos durante o período entre 9h e 13h, sendo reduzidos após as 20h.

A iluminância, para ser convertida em razão melanópica (R) deve ser mensurada no plano vertical, ao nível do olho do ocupante (EV), simulando a entrada de luz. Em estações de trabalho, o nível mínimo deve ser alcançado a 0,45 m (1,20 m do piso) acima da superfície de trabalho. Em espaços sem estações de trabalho, a 1,40 m acima da superfície do piso.

A WELL, para facilitar a sua aplicação, propõe uma constante de cálculo (R), a qual é multiplicada pelo valor de *lux fotópico*[6] (L) para que se obtenha o valor em EML. Portanto, o cálculo se desenvolve a partir da Equação 1:

$$EML = L \times R$$

Onde: EML = Lux Melanópico Equivalente (EML) Equação1

L = Lux Fotópico (lux)

R =Razão Melanópica

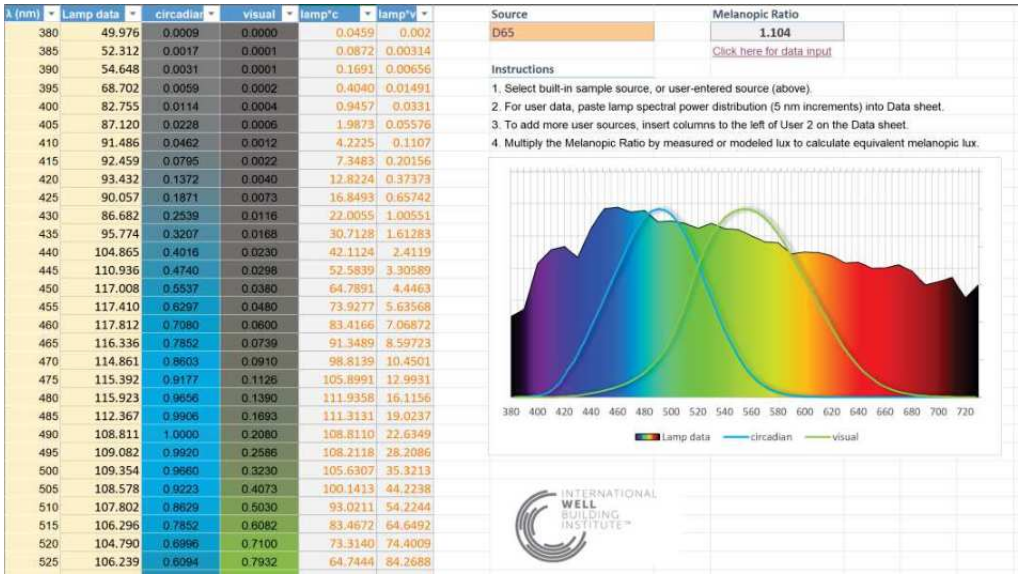
No cálculo, o arquivo "*Melanopic Ratio*" (IWBI, 2021c) é disponibilizado, como uma ferramenta de planilha de Excel, para cálculo do EML. O projetista insere a lâmpada ou fonte de luz com suas características de espectro, denominada Distribuição Espectral de Potência Radiante (DEP) ou *Spectral Power Distribution* (SPD), em inglês, a planilha de cálculo determina a constante que deve ser multiplicada pelo valor de iluminância em lux (Lux Fotópico) determinado no ambiente, resultando no valor em EML.

[6] O Lux Fotópico (Lux) é medido no ambiente através de um espectrofotômetro a 1,20 m do piso (altura do observador) e em posição vertical.

Para as simulações de luz natural e luz elétrica será necessária a utilização da *distribuição espectral de potência radiante* (DEP) da fonte de luz resultante do somatório das duas fontes. Nesse caso será necessário a medição através de um espectrofotômetro para se determinar a DEP resultante para inserir os valores no arquivo "*Melanopic Ratio*" (IWBI, 2021c). Em razão disso, para essa etapa do trabalho foram realizadas as simulações com luz natural e luz artificial de modo independente.

Para a simulação da luz natural, os valores de DEP do padrão D65[7] [radiância espectral (mW/m2) por comprimento de onda (nm)] CIE 204:2013, foram inseridos na aba "Data" para definir o valor da Razão Melanópica (R) de cada tipo de céu. A calculadora permite inserir os dados da radiância espectral de acordo com os comprimentos de onda (λ), no valor compreendido entre 380 nm e 860 nm, a cada 5 nm.

O resultado é mostrado na Figura 12, sendo o valor do *melanopic ratio* indicado de 1.104. Através da simulação realizada com o DialuxEvo (somente para luz natural), foram inseridos 4 planos verticais em duas mesas redondas indicadas na Figura 13, cuja altura do ponto de cálculo foi de 1.20m, no centro de cada plano conforme os parâmetros estabelecidos pelo WELL (IWBI, 2021b). A maior fachada do prisma voltada para as mesas é a sudoeste.



| λ (nm) | Lamp data | circadian | visual | lamp*c | lamp*v |
|---|---|---|---|---|---|
| 380 | 49.976 | 0.0009 | 0.0000 | 0.0459 | 0.002 |
| 385 | 52.312 | 0.0017 | 0.0001 | 0.0872 | 0.00314 |
| 390 | 54.648 | 0.0031 | 0.0001 | 0.1691 | 0.00656 |
| 395 | 68.702 | 0.0059 | 0.0002 | 0.4040 | 0.01491 |
| 400 | 82.755 | 0.0114 | 0.0004 | 0.9457 | 0.0331 |
| 405 | 87.120 | 0.0228 | 0.0006 | 1.9873 | 0.05576 |
| 410 | 91.486 | 0.0462 | 0.0012 | 4.2225 | 0.1107 |
| 415 | 92.459 | 0.0795 | 0.0022 | 7.3483 | 0.20156 |
| 420 | 93.432 | 0.1372 | 0.0040 | 12.8224 | 0.37373 |
| 425 | 90.057 | 0.1871 | 0.0073 | 16.8493 | 0.65742 |
| 430 | 86.682 | 0.2539 | 0.0116 | 22.0055 | 1.00551 |
| 435 | 95.774 | 0.3207 | 0.0168 | 30.7128 | 1.61283 |
| 440 | 104.865 | 0.4016 | 0.0230 | 42.1124 | 2.4119 |
| 445 | 110.936 | 0.4740 | 0.0298 | 52.5839 | 3.30589 |
| 450 | 117.008 | 0.5537 | 0.0380 | 64.7891 | 4.4463 |
| 455 | 117.410 | 0.6297 | 0.0480 | 73.9277 | 5.63568 |
| 460 | 117.812 | 0.7080 | 0.0600 | 83.4166 | 7.06872 |
| 465 | 116.336 | 0.7852 | 0.0739 | 91.3489 | 8.59723 |
| 470 | 114.861 | 0.8603 | 0.0910 | 98.8139 | 10.4501 |
| 475 | 115.392 | 0.9177 | 0.1126 | 105.8991 | 12.9931 |
| 480 | 115.923 | 0.9656 | 0.1390 | 111.9358 | 16.1156 |
| 485 | 112.367 | 0.9906 | 0.1693 | 111.3131 | 19.0237 |
| 490 | 108.811 | 1.0000 | 0.2080 | 108.8110 | 22.6349 |
| 495 | 109.082 | 0.9920 | 0.2586 | 108.2118 | 28.2086 |
| 500 | 109.354 | 0.9660 | 0.3230 | 105.6307 | 35.3213 |
| 505 | 108.578 | 0.9223 | 0.4073 | 100.1413 | 44.2238 |
| 510 | 107.802 | 0.8629 | 0.5030 | 93.0211 | 54.2244 |
| 515 | 106.296 | 0.7852 | 0.6082 | 83.4672 | 64.6492 |
| 520 | 104.790 | 0.6996 | 0.7100 | 73.3140 | 74.4009 |
| 525 | 106.239 | 0.6094 | 0.7932 | 64.7444 | 84.2688 |

Source: D65

Melanopic Ratio: 1.104

Click here for data input

Instructions

1. Select built-in sample source, or user-entered source (above).
2. For user data, paste lamp spectral power distribution (5 nm increments) into Data sheet.
3. To add more user sources, insert columns to the left of User 2 on the Data sheet.
4. Multiply the Melanopic Ratio by measured or modeled lux to calculate equivalent melanopic lux.



Figura 12: Imagem da tela da planilha denominada como calculadora *"Razão Melanópica"*para fonte D65 (luz natural)
Fonte: IWBI, 2021c

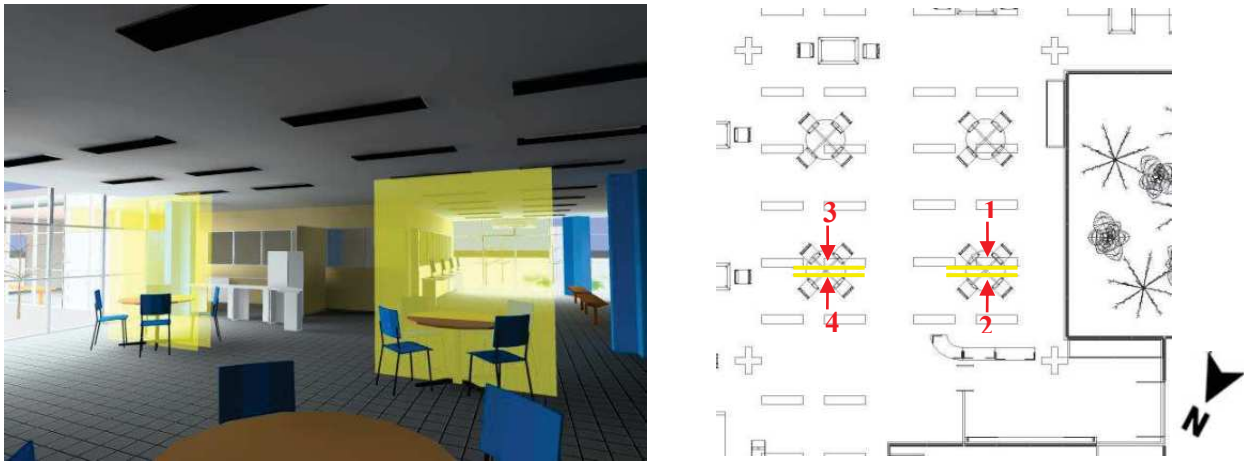



Figura 13: Imagem capturada da simulação no DialuxEvo com a definição do posicionamento dos planos verticais
Fonte: Autoras

[7] Destina-se a representar a luz do dia média e tem uma temperatura de cor correlacionada de aproximadamente 6500 K. O iluminante padrão CIE D65 deve ser usado em todos os cálculos colorimétricos que requerem luz do dia representativa, a menos que haja razões específicas para usar um iluminante diferente. Sabe-se que variações na distribuição de potência espectral relativa da luz do dia ocorrem, particularmente na região espectral ultravioleta, em função da estação, hora do dia e localização geográfica. Iluminante D65 - https://pt.qaz.wiki/wiki/Illuminant_D65

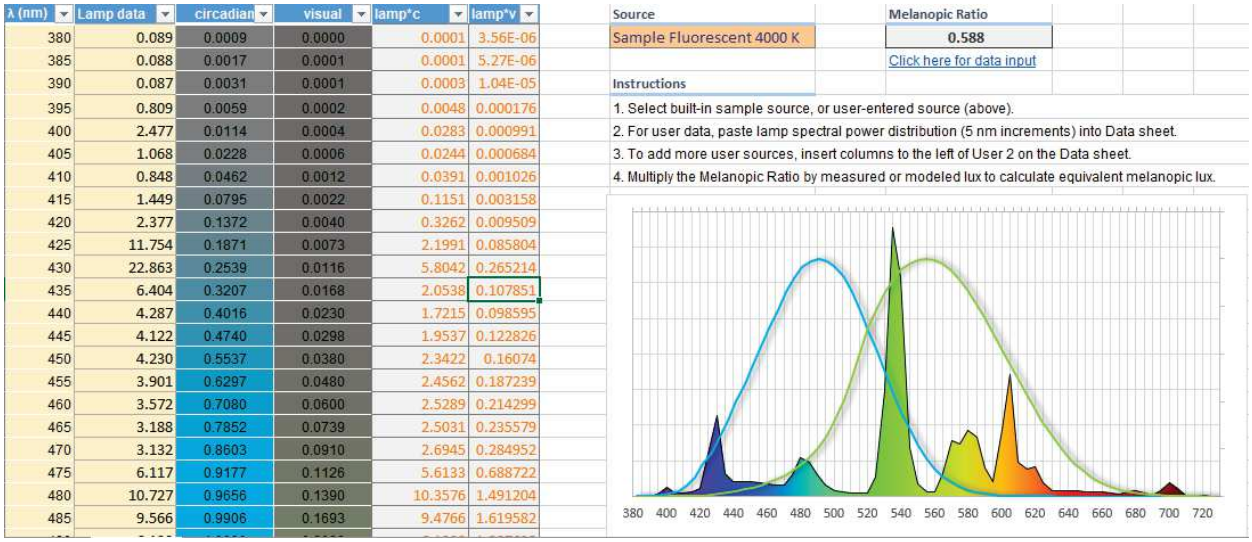
A Tabela 1 mostra os resultados de EML para cada um dos pontos mostrados na Figura 13.

Tabela 1: Resumo da simulação vertical para luz natural

| | Iluminância vertical (L) | (R) Razão Melanópica Luz Natural | EML = L x R |
|---|---|---|---|
| Estação 1 | 198 lux | 1.104 | 218,59 |
| Estação 2 | 165 lux | 1.104 | 182,16 |
| Estação 3 | 38,2 lux | 1.104 | 42,17 |
| Estação 4 | 105 lux | 1.104 | 115,92 |

Fonte: Dialux Evo realizada pelas autoras

Para a simulação da luz elétrica, foram utilizados os valores de DEP do padrão da planilha da certificação WELL (IWBI, 2021c) para lâmpada fluorescente 4.000K [radiância espectral (mW/m2) por comprimento de onda (nm)]. Foi utilizado esse padrão 4.000K por estar mais adequado a situação atual, uma vez que o próximo índice apresentado na tabela WELL (IWBI, 2021c) era de 6.500K. O procedimento mais preciso seria buscar o fabricante das lâmpadas existentes na biblioteca e pedir o DEP da lâmpada para preenchimento na planilha. Como isso não foi possível de se realizar neste momento, foram utilizados os dados da tabela. O valor da Razão Melanópica (R) foi de 0.588 (Figura 14). Através da simulação realizada com o DialuxEvo (somente para luz artificial), foram utilizados os mesmos 4 planos verticais em duas mesas redondas indicadas na Figura 13, cuja altura do ponto de cálculo foi de 1.20m, no centro de cada plano conforme os parâmetros estabelecidos pelo WELL (IWBI, 2021b). Tabela 2.



| λ (nm) | Lamp data | circadian | visual | lamp*c | lamp*v |
|---|---|---|---|---|---|
| 380 | 0.089 | 0.0009 | 0.0000 | 0.0001 | 3.56E-06 |
| 385 | 0.088 | 0.0017 | 0.0001 | 0.0001 | 5.27E-06 |
| 390 | 0.087 | 0.0031 | 0.0001 | 0.0003 | 1.04E-05 |
| 395 | 0.809 | 0.0059 | 0.0002 | 0.0048 | 0.000176 |
| 400 | 2.477 | 0.0114 | 0.0004 | 0.0283 | 0.000991 |
| 405 | 1.068 | 0.0228 | 0.0006 | 0.0244 | 0.000684 |
| 410 | 0.848 | 0.0462 | 0.0012 | 0.0391 | 0.001026 |
| 415 | 1.449 | 0.0795 | 0.0022 | 0.1151 | 0.003158 |
| 420 | 2.377 | 0.1372 | 0.0040 | 0.3262 | 0.009509 |
| 425 | 11.754 | 0.1871 | 0.0073 | 2.1991 | 0.085804 |
| 430 | 22.863 | 0.2539 | 0.0116 | 5.8042 | 0.265214 |
| 435 | 6.404 | 0.3207 | 0.0168 | 2.0538 | 0.107851 |
| 440 | 4.287 | 0.4016 | 0.0230 | 1.7215 | 0.098595 |
| 445 | 4.122 | 0.4740 | 0.0298 | 1.9537 | 0.122826 |
| 450 | 4.230 | 0.5537 | 0.0380 | 2.3422 | 0.16074 |
| 455 | 3.901 | 0.6297 | 0.0480 | 2.4562 | 0.187239 |
| 460 | 3.572 | 0.7080 | 0.0600 | 2.5289 | 0.214299 |
| 465 | 3.188 | 0.7852 | 0.0739 | 2.5031 | 0.235579 |
| 470 | 3.132 | 0.8603 | 0.0910 | 2.6945 | 0.284952 |
| 475 | 6.117 | 0.9177 | 0.1126 | 5.6133 | 0.688722 |
| 480 | 10.727 | 0.9656 | 0.1390 | 10.3576 | 1.491204 |
| 485 | 9.566 | 0.9906 | 0.1693 | 9.4766 | 1.619582 |



Figura 14: Imagem da tela da planilha denominada como calculadora *"Razão Melanópica"* para luz artificial (fluorescente 4.000K)
Fonte: IWBI, 2021c

Tabela 2: Resumo da simulação vertical para luz artificial

| | Iluminância vertical (L) | (R) Razão Melanópica - Luz elétrica | EML = L x R |
|---|---|---|---|
| Estação 1 | 258 lux | 0.588 | 151,70 |
| Estação 2 | 149 lux | 0.588 | 87,61 |
| Estação 3 | 300 lux | 0.588 | 176,40 |
| Estação 4 | 235 lux | 0.588 | 138,18 |

Fonte: Dialux Evo realizada pelas autoras

Analisando a Tabela 3, traduzida da certificação WELL (IWBI, 2021b), nota-se que os valores mínimos indicados para a EML variam de acordo com outras recomendações relacionadas ao requisito L05 denominado como "Melhorias ao acesso à luz natural", que não foi desenvolvido nesse artigo (IWBI, 2021d). Segundo a certificação temos;

- Para conseguir 1 ponto, a estação de trabalho deverá atingir um mínimo de 150 EML com luz elétrica e 136 EML com luz natural padrão D65;
- Caso a estação de trabalho tenha atingido dois pontos no requisito de "Melhorias ao acesso a luz natural", a iluminação elétrica deve atingir o mínimo de 120 EML (109 EML – D65) para obter um ponto no total da certificação;
- Para conseguir 3 pontos, a estação de trabalho deverá atingir um mínimo de 240 EML com luz elétrica e 218 EML com luz natural padrão D65;

- Caso a estação de trabalho tenha atingido dois pontos no requisito de "Melhorias ao acesso a luz natural", a iluminação elétrica deve atingir o mínimo de 180 EML (163 EML – D65) para obter três pontos no total da certificação.

Tabela 3: Indicativo da certificação WELL

| Opção 1 | | Opção 2 | Pontos |
|---|---|---|---|
| Mínimo de 150EML (luz elétrica)<br>136 EML (luz natural D65) | ou | Mínimo de 120EML (luz elétrica)<br>109 EML (luz natural D65). Deverá conseguir 2 pontos no item L05 | 1 |
| Mínimo de 240 EML (luz elétrica)<br>218 EML (luz natural D65) | ou | Mínimo de 180EML (luz elétrica)<br>163 EML (luz natural D65). Deverá conseguir 2 pontos no item L05 | 3 |

Fonte: Traduzido de (IWBI, 2021b)

## 4. RESULTADOS

A tabela 4 mostra que somente a estação 1 alcançaria um ponto na certificação. Para as demais estações seria necessária a análise de outros requisitos da certificação (L05) para se tentar chegar à pontuação mínima da opção 2. É interessante observar que para as estações 1, 2 e 4 o EML de luz natural para o horário estabelecido da simulação (11:00 do dia 15/12/2020) foi alcançado. O fato do resultado da estação 3 não ter alcançado o mínimo de EML provavelmente deve-se ao fato do posicionamento do observador. Nota-se na Figura 1, que a posição 3 é a que recebe menos luz natural, pois está voltada para a seteira lateral da biblioteca, enquanto as outras posições estão voltadas para os prismas. Isto nos mostra que o layout da biblioteca deverá ser alterado de modo a se conseguir nas estações de estudo valores mais altos de EML tanto para luz natural quanto elétrica. Observa-se pela Figura 1 que existem muitas mesas que nem chegam a receber luz natural.

Tabela 4: Resumo da simulação vertical para luz natural e elétrica

| | Luz elétrica EML | Luz elétrica EML | Luz natural EML | Luz natural D65 | Opção 1 |
|---|---|---|---|---|---|
| Estação 1 | 151,70 | Mínimo de 150EML | 218,59 | Mínimo de 136 EML | 1 ponto |
| Estação 2 | 87,61 | | 182,16 | | - |
| Estação 3 | 176,40 | | 42,17 | | - |
| Estação 4 | 138,18 | | 115,92 | | - |

Fonte: Autoras

Para um melhor aproveitamento da luz natural e vistas, faz-se necessário também mudanças no layout e disposição das luminárias. Toda a iluminação elétrica deverá ser modificada para fontes em LED em função da economia de energia, mas também devido a sua composição espectral. O espectro de ação da melanopsina nas ipRGCS humanas mostra um pico de sensibilidade à aproximadamente 484nm, ou seja, coincidem com o espectro de fontes de luz artificial com predominância da luz azul, como as fontes de luz com temperatura de cor elevada ou aquelas baseadas em tecnologia LED. De todas as fontes de luz artificial utilizadas em iluminação, o LED, pela composição espectral da luz que emite, é a que possui maior capacidade para causar a supressão pineal da produção de melatonina, o que poderá ser aproveitado para os horários de utilização da biblioteca, que se dá entre 9:00 às17:00.

De acordo com as medições feitas presencialmente, em conjunto com as análises em simulação, foi observado que as condições da biblioteca atendem à norma de iluminação NBR ISO/CIE 8995 - métrica do sistema visual. Entretanto, uma das grandes preocupações percebidas na biblioteca é o ofuscamento gerado pelo excesso de luz natural nas fachadas do prisma voltadas para noroeste, além da radiação solar direta. Ao mesmo tempo que se tem acesso a vista e ao verde, o que contribui muito para o bem-estar do usuário, deve-se adotar alguma solução de conforto ambiental para essas fachadas que mantenham a vista e a iluminação natural, mas que minimize este problema.

## 5. CONCLUSÕES

Ao final desse trabalho pode-se concluir que o espaço precisará ser modificado para atender aos critérios da iluminação integrativa. Isso significa uma mudança que deverá alterar *layout,* posicionamento e fontes de luz elétrica. Essa mudança deverá levar em consideração o posicionamento de cada estação de trabalho e sua relação com a luz elétrica e natural. Deve-se também complementar o estudo através do aprofundamento da métrica da certificação WELL, que somente contemplou neste artigo a etapa da iluminação circadiana. Este trabalho serviu como uma análise inicial dos problemas apresentados da biblioteca e os caminhos que a pesquisa deverá seguir a partir de agora.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS


ABNT: **NBR ISO/CIE - 8995-1 2013** - Iluminação de ambientes de trabalho. Parte1: Interior. Rio de Janeiro: 2013.

BERSON, D. M.; DUNN, F. A.; MOTAHARU, T. **Phototransduction by retinal ganglion cells that set the circadian clock.** Science, v. 2002, n. 295, p. 1070-1073, 2002. Disponível em: https://science.sciencemag.org/content/295/5557/1070/tab-pdf Acesso em: 06 março 2021

CHAVES, Nathali Pimentel, MARTAU, Betina**. Repensando o projeto de iluminação: avaliação de métricas de luz circadiana.** VI Simpósio Brasileiro de Qualidade do Projeto no Ambiente Construído. Uberlândia, 2019. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/336900593. Acesso em: 07 março 2021.

CHAVES, Nathali Pimentel. **Novos processos de projeto: Explorando a Iluminação Integrativa**. Dissertação de mestrado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS – FAU/Programa de pós-graduação em arquitetura, Porto Alegre, 2020.

CIE. **CIE S014-2/E:2006. Standard Illuminants for Colorimetry.** Disponível em: https://cie.co.at/publications/colorimetry-part-2-cie-standard-illuminants-colorimetry-0 Acesso em: 10 abril. 2021.

CIE. **CIE S026/E:2018. System for Metrology of Optical Radiation for ipRGC-Influenced Responses to Light.** Disponível em: https://cie.co.at/publications/cie-system-metrology-optical-radiation-iprgc-influenced-responses-light-0 Acesso em: 10 abril. 2021.

CIE. **CIE 204:2013. Methods for Re-defining CIE D Illuminants.** Disponível em: https://www.techstreet.com/standards/cie-204-2013?product_id=1858805#product. Acesso em: 10 abril. 2021.

CIE. **CIE 110-1994. Spatial distribution of daylight - Luminance distributions of various reference skies.** Disponível em: https://cie.co.at/publications/spatial-distribution-daylight-luminance-distributions-various-reference-skies Acesso em: 28 junho. 2021.

IGAWA, N., NAKAMURA, H. & MATSUURA, K., (1997). Sky Luminance Distributuion Model For Simulation Of Daylit Environment, IBPSA International Building Performance Simulation Conf., Prague. Disponível em: https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKEwjx7MC67rrxAhXkrJUCHXNnAo4QFnoECAUQAA&url=http%3A%2F%2Fciteseerx.ist.psu.edu%2Fviewdoc%2Fdownload%3Fdoi%3D10.1.1.467.132%26rep%3Drep1%26type%3Dpdf&usg=AOvVaw0JsnfYh4fAHFft2dYCXyQD Acesso em 28/06/2021

IWBI. International Well Building Institute. **Circadian Rhythms**. 2019. Disponível em: https://resources.wellcertified.com/articles/circadian-rhythms/ Acesso em: 07 março 2021.

IWBI. International WELL Building Institute **WELL Building Standard V2**. 2021a. Disponível em: https://v2.wellcertified.com/v/en/overview Acesso em: 10 abril. 2021.

IWBI. International WELL Building Institute. **Circadian Lighting Design v2**. 2021b. Disponível em: https://v2.wellcertified.com/v/en/light/feature/3 . Acesso em: 10 abril 2021.

IWBI. International WELL Building Institute. **Appendix L1**. 2021c. Disponível em: Appendices | WELL V2 (wellcertified.com). Acesso em: 10 abril 2021.

IWBI. International WELL Building Institute. **Enhanced Daylight Access**. 2021d. Disponível em: Standard | WELL V2 (wellcertified.com). Acesso em: 10 abril 2021.

IWBI. International WELL Building Institute. **Enhanced Access to Nature**. 2021e. Disponível em: Standard | WELL v2 Pilot (wellcertified.com). Acesso em: 28 junho 2021.

LAAKE, Linda W. Van, LÜSCHER Thomas F., YOUNG Martin E. **The circadian clock in cardiovascular regulation and disease: Lessons from the Nobel Prize in Physiology or Medicine 2017**. Eur Heart J. 2018 Jun 21; Published online 2017 Dec 22. Disponível em: https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6012474/ Acesso em: 07 março 2021.

LUCAS, R. J. et al. **Measuring and using light in the melanopsin age. Trends in Neurosciences**. Volume 37, Issue 1, January 2014. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0166223613001975 Acesso em: 07 de março de 2021.

REA M. S.; FIGUEIRO M. G. **What is "healthy lighting?".** International Journal of High-Speed Electronics and Systems. v. 20, n. 2, 2011. Disponível em: https://www.worldscientific.com/doi/pdf/10.1142/S0129156411006623. Acesso em: 11/03/2018.

REA M. S.; FIGUEIRO M. G. **Light as a circadian stimulus for architectural lighting.** Light Research Technology, 2016. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/311501267_Light_as_a_circadian_stimulus_for_architectural_lighting Acesso em: 07/02/2021.

ROSSI, Maurizio. **Circadian Lighting Design in the LED Era**. Switzerland: Springer Nature Switzerland Ag, 2019.

WOLSKA A, SAWICKI D. **Evaluation of discomfort glare in the 50+ elderly: Experimental study.** ***Int J Occup Med Environ Health.*** June 2014. International Journal of Occupational Medicine and Environmental Health. Disponível: https://www.researchgate.net/publication/263290670_Evaluation_of_discomfort_glare_in_the_50_elderly_Experimental_study . Acesso em: 28/06/2021.