XXI ENTAC – Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído
14 a 16 de outubro de 2026 | Goiânia-Brasil
DOI: https://doi.org/10.46421/entac.v21i1.8925

Desenvolvimento e validação de Espectrômetro de Baixo Custo (EBC) para pesquisas sobre iluminação integrativa

Development and validation of a Low-Cost Spectrometer (ECB) for integrative lighting research

Cintia Akemi Tamura
Universidade Tecnológica Federal do Paraná | Curitiba | Brasil
|cintiatamura@gmail.com
Theo Serafim
Universidade Tecnológica Federal do Paraná | Curitiba | Brasil |
theoserafin@alunos.utfpr.edu.br
Eduardo Krüger
Universidade Tecnológica Federal do Paraná | Curitiba | Brasil | ekruger@utfpr.edu.br

Resumo

A homeostase circadiana, ocasionada pela exposição à iluminação apropriada, em períodos e intensidades específicas, está diretamente relacionada à prevenção de distúrbios metabólicos e mentais. Para a avaliação do potencial circadiano de projetos lumínicos, espectrômetros são essenciais para a coleta de dados lumínicos que são utilizados no cálculo de métricas circadianas, como a Iluminância Melanópica Equivalente (EML). Dado seu alto custo, o que pode inviabilizar pesquisas no campo da iluminação integrativa, o trabalho apresenta o desenvolvimento, calibração e validação de um Espectrômetro de Baixo Custo (EBC). São apresentados também os resultados obtidos com sua utilização em uma Câmara Climática de Baixo Custo (CBBC), equipada com lâmpadas LED que possibilitam a configuração de diferentes tipos de Temperatura de Cor Correlata (TCC). A caracterização quanto à efetividade melanópica dos diferentes tipos de iluminação obtidos a partir do uso do EBC comprovaram sua eficácia no uso em pesquisas sobre iluminação integrativa.

Palavras-chave: Espectrômetro. Iluminação integrativa. Iluminação LED. Iluminância melanópica equivalente.

Abstract

Circadian homeostasis, induced by exposure to light at specific times and intensities, is directly related to the prevention of metabolic and mental disorders. Spectrometers are essential for evaluating the circadian potential of lighting designs, collecting light data used to calculate circadian measurements such as Equivalent Melanopic Illuminance (EML). Given their high cost, which can hinder research in the field of integrative lighting, this work presents the specific development and validation of a Low-Cost Spectrometer (EBC). The results obtained from its use in a Low-Cost Climate Chamber (CBBC), equipped with LED lamps that allow the configuration of different types of Correlated Color Temperature (CCT), are also presented. The characterization of the melanopic effectiveness of the different types of lighting obtained from the use of the EBC proved its efficacy in research on integrative lighting.

Keywords: Spectrometer. Integrative lighting. LED lighting. Equivalent Melanopic Lux.

Como citar:
TAMURA, C. A. et al. Desenvolvimento e validação de Espectrômetro de Baixo Custo (EBC) para pesquisas sobre iluminação integrativa. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 21, 2026, Goiânia. **Anais**... Goiânia: ANTAC, 2026.

DOI: https://doi.org/10.46421/entac.v21i1.8925

INTRODUÇÃO

A evolução humana, ocorrida sob a luz natural resultou em uma programação biológica sincronizada ao ciclo circadiano de 24 horas. Entretanto, o advento da era elétrica ocorrido a partir do século XIX retirou o protagonismo do fogo como única fonte artificial de luz, resultando na extensão das horas diárias a que nos expomos à iluminação. Apenas no século XXI, com o avanço dos sistemas LED e do aprofundamento da cronobiologia, sistemas luminotécnicos passaram também a visar a homeostase circadiana. Essa abordagem, denominada "Iluminação Integrativa" pela Comission Internationale de l`Eclairage - CIE, une benefícios fisiológicos e psicológicos, passando a ser prioridade de pesquisa desde 2019 [1]. Inconformidades na qualidade da iluminação ambiental têm sido associadas a ocorrência de distúrbios de ordem metabólica e mental [2]. Soma-se a isso a exposição crescente à luz azul de telas no período noturno, o que pode resultar em poluição luminosa, comprometendo respostas imunológicas e aceleração do estresse oxidativo celular [3]. Neste contexto, sensores para caracterização da iluminação ambiental são essenciais à avaliação da homeostase circadiana. Destacam-se os espectrômetros, que registram valores como iluminância (E), temperatura de cor (TCC) e comprimento de onda dominante (DWl), variáveis fundamentais ao cálculo de métricas circadianas como o Estímulo Circadiano — CS [4] e o Lux Melanópico Equivalente — EML [5]. Contudo, o custo desses equipamentos US$358 a US$34001 (R$1.877,96 a R$17.835,382) pode tornar inviáveis pesquisas neste campo.

Assim, com a finalidade de viabilizar a quantificação da distribuição espectral da luz em pesquisas orientadas à exploração do tema iluminação integrativa, apresenta-se o processo de desenvolvimento e validação de um espectrômetro de baixo custo (EBC) orientado a pesquisas sobre iluminação integrativa. Com este objetivo, procedeu-se às sequintes etapas, descritas ao longo do trabalho: (1) concepção e contrução do EBC; (2) calibração e validação do equipamento e (3) apresentação de resultados obtidos com sua utilização na caracterização lumínica de um ambiente-teste em câmara climática.

MATERIAIS E MÉTODOS

Nesta seção são descritos os materiais utilizados para a obtenção do EBC, os equipamentos e metodologia adotados para a execução da calibração do mesmo, bem como os resultados obtidos no ambiente teste da CBBC.

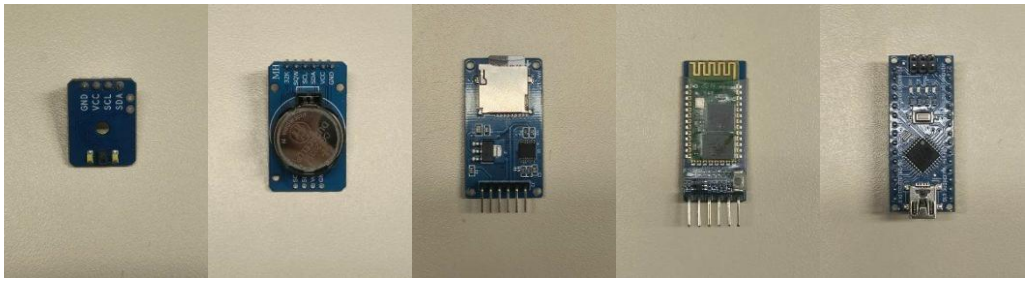
HARDWARE E SOFTWARE UTILIZADOS NO EBC

Entre os principais componentes do EBC apresentado neste trabalho estão: o sensor óptico AS7341, responsável pela leitura espectral da luz incidente; o módulo RTC (*Real Time Clock*), utilizado para o registro da data e do horário das medições; o módulo

[1] Cotações realizadas para os espectrômetros modelos HOPOOCOLOR HPC-S330 WIRELESS SPECTROMETER PORTABLE e UPRtech MK350S Premium em 12/03/2024.
[2] Conversão conforme cotação do dólar em 12/03/2026.

microSD, destinado ao armazenamento local dos dados coletados; o módulo Bluetooth HC-05, responsável pela transmissão sem fio das informações para dispositivos externos; e o microcontrolador Arduino Nano, utilizado para o processamento das informações, controle dos módulos e gerenciamento da comunicação entre os dispositivos. Estes elementos são apresentados na Figura 1.

Figura 1: Componentes utilizados no EBC: abaixo, da esquerda para a direita, sucessivamente: sensor óptico AS7341; módulo RTC (Real Time Clock); módulo microSD; módulo Bluetooth HC-05 e Arduino Nano



Fonte: os autores.

Visando à integração e facilitação do manuseio do EBC, desenvolveu-se uma Placa de Circuito Impresso (PCI) personalizada, apresentada na Figura 2a. O projeto da placa foi elaborado no software EasyED, e as trilhas foram confeccionadas por meio de um processo de corrosão química do revestimento de cobre da PCI.

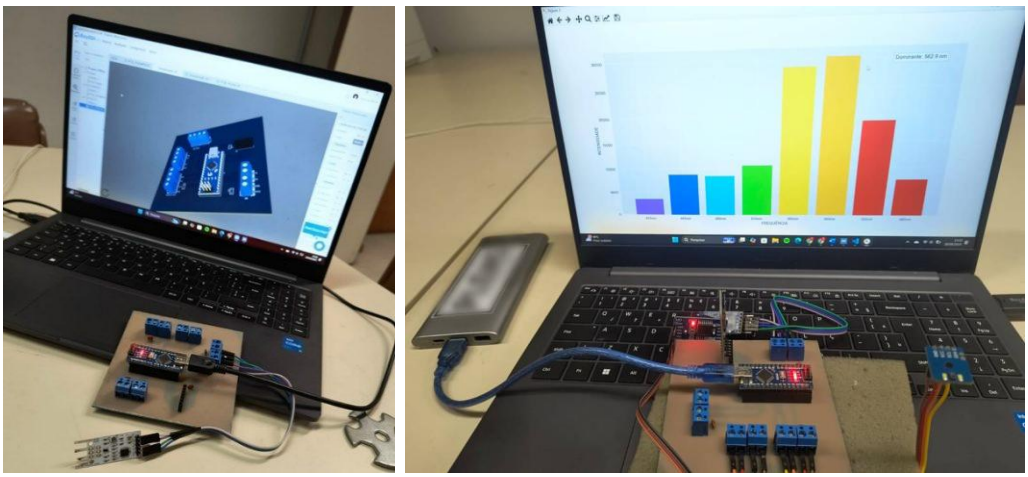
O desenvolvimento do software do EBC, por sua vez, foi orientado por dois princípios fundamentais: a criação de uma interface intuitiva de fácil compreensão, e a implementação de um algoritmo eficiente e versátil, capaz de simplificar a arquitetura de hardware necessária. Para alcançar esses objetivos, optou-se por uma abordagem modular, dividindo o sistema em dois componentes principais. O primeiro, desenvolvido em C++, foi responsável pela aquisição dos dados dos sensores e pelo seu processamento inicial. O segundo componente, implementado em Python, é dedicado à visualização dos dados em tempo real, aproveitando bibliotecas gráficas para gerar representações dinâmicas e interativas.

O módulo desenvolvido em C++ constituiu o núcleo do sistema, sendo responsável por três funcionalidades críticas: (1) realizar a aquisição espectral por meio da leitura contínua das intensidades luminosas em múltiplos comprimentos de onda; (2) executar o processamento digital dos sinais, aplicando-se um algoritmo de interpolação para determinar o comprimento de onda dominante a partir dos espectros captados; e (3), gerenciar o armazenamento e transmissão dos dados, registrando as informações processadas em arquivos na extensão .csv no módulo SD para posterior análise, com envio dos dados via Bluetooth para integração com o módulo Python. Este último complementa o sistema, sendo responsável pela visualização e interpretação dos dados espectrais. Ele estabelece comunicação via Bluetooth com o Arduino.

Uma vez recebidos esses dados, o módulo processa as intensidades dos comprimentos de onda, identificando o dominante, e exibindo essas informações em uma interface gráfica interativa, conforme ilustrado na Figura 2b. Essa abordagem permite não

apenas a visualização em tempo real dos dados, mas também facilita a análise contínua, transformando os valores brutos em representações intuitivas e de fácil interpretação.

Figura 2: (a) Vista do projeto da placa do EBC no *software* EasyED (abaixo, à esquerda) e (b) visualização do *hardware* do EBC (abaixo, à direita)



Fonte: os autores.

Isto possibilitou a aquisição de um sensor para estudos de iluminação ambiental a um valor que pode corresponder de 2,57% a 24,42% do custo de um equipamento comercial similar. A Tabela 1 apresenta o descritivo, quantitativo e o custo dos itens utilizados no EBC (espectrômetro de baixo custo – EBC).

Tabela 1: Descritivo, quantitativo e custo dos componentes utilizados no EBC

Item	Qtde.	R$ (*)	US$ (**)
Sensor óptico AS7341	1	65	13,08
Módulo RTC (Real Time Clock)	1	17,85	3,59
Módulo Micro SD	1	9,14	1,84
Módulo Bluetooth HC-05	1	39,68	7,98
Arduíno Nano	1	41,95	8,44
Bateria CR2032	1	2,84	0,57
Regulador de Tensão	1	9,12	1,84
Power Bank	1	200	40,24
Placa de Circuito Impresso PCI	1	70	14,08
Frete	1	25	5,03
Total	**-**	**480,58**	**96,70**

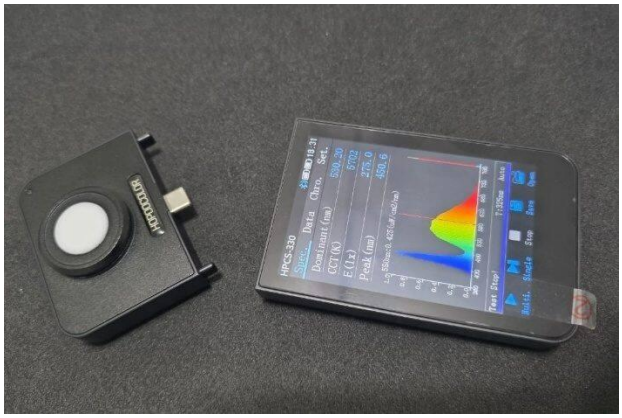
(*) Valores correspondentes a compras realizadas entre out. a mai./2025. (**) Cotação do dólar em 04/05/2026.

Fonte: os autores.

CALIBRAÇÃO DO EBC

Para a calibração e validação dos dados coletados com o EBC, utilizou-se um espectrômetro HOPOOCOLOR HPCS-330, calibrado de fábrica, apresentado na Figura 3 (faixa de leitura: 380 – 780 nm; precisão ± 1nm).

Figura 3: Espectrômetro HOPPOCOLOR HPCS-330



Fonte: os autores.

AMBIENTE DE TESTE E FONTE DE ILUMINAÇÃO UTILIZADA

Os testes realizados para a calibração e validação dos dados obtidos com o uso do EBC, foram realizados em um dos módulos da Câmara Bioclimática de Baixo Custo (CBBC), localizada na Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), câmpus Ecoville. A instalação conta com dois módulos independentes construídos a partir de contêineres, idênticos, configurados à maneira de escritórios. Ambos são apoiados em um eixo giratório, o que permite a orientação da face que possui abertura envidraçada a diferentes orientações cardeais [6]. A Figura 4 apresenta uma vista geral dos módulos que compõem a CBBC.

Figura 4: Vista geral da Câmara Climática de Baixo Custo - CBBC



Fonte: os autores.

De forma a eliminar a entrada de luz natural advinda do ambiente externo da CBBC, a persiana externa foi mantida cerrada. Adicionalmente, a cortina instalada do tipo *blackout* também foi mantida fechada, e suas extermidades foram afixadas à parede com fita adesiva dupla face.

Neste ambiente, foram realizados registros de variáveis lumínicas resultantes da iluminação ambiental obtida com o uso de três lâmpadas LED modelo *Philips Hue White & Color Ambiance* (LED-HUE) instaladas em um spot de teto (Figuras 5a e b). Estas podem ser configuradas via *wi-fi* de forma a alterar a intensidade e a temperatura de cor correlata da luz (TCC, em K).

DOI: https://doi.org/10.46421/entac.v21i1.8925

Figura 5: (a) Lâmpada Philips Hue White & Color Ambiance (LED-HUE) e *hub* para configuração wireless (baixo, à esquerda); (b) Lâmpadas instaladas no teto da CBBC (abaixo, à direita)



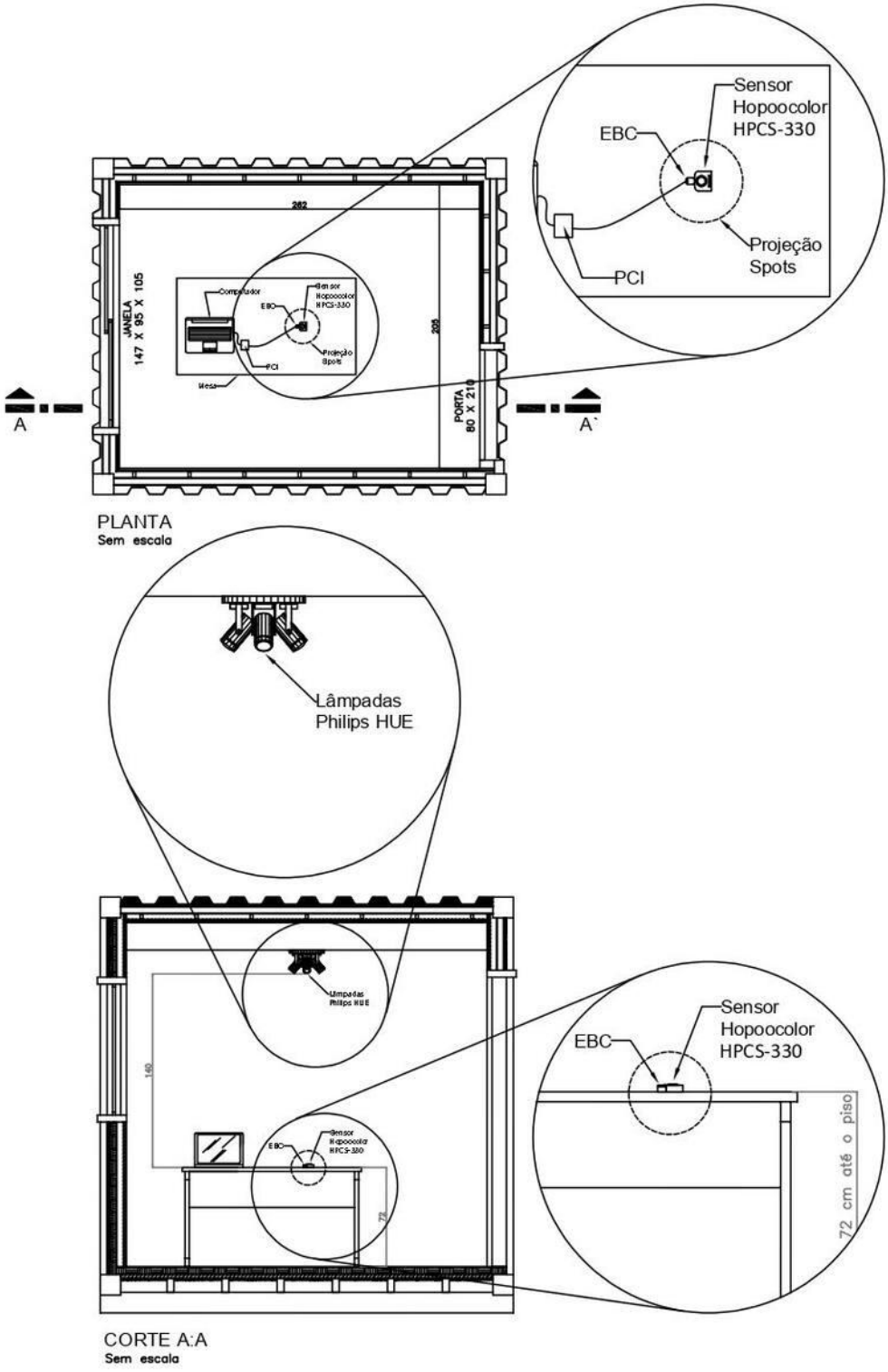
Fonte: os autores.

A configuração da TCC foi feita por meio do aplicativo *all for HUE* [7], que permite a configuração dos valores de TCC (2000 a 6500 K).

TESTE COMPARATIVO ENTRE O EBC E O ESPECTRÔMETRO HOPPOCOLOR HPCS-330

Para a realização do teste comparativo entre os dois espectrômetros, posicionaram-se os mesmos lado a lado, à mesma altura e posição em relação à fonte de iluminação, conforme demonstrado na Figura 6.

Figura 6: Planta e elevação da CBBC com a disposição da luminária e sensores



Fonte: os autores.

Os testes foram realizados configurando-se a TCC da LED_HUE com o aplicativo *all for HUE* em valores de 2000 a 6500 K, com intervalos de 500 K. Para cada configuração, realizaram-se medições de TCC e DWl (comprimento de onda dominante, em nm) com os sensores HOPOOCOLOR HPCS-330 e medições de DWl com o EBC.

Os sensores dos dois espectrômetros foram posicionados em mesa, a 72 cm do piso, alinhados ao centro dos três spots. A distância entre a extremidade do bulbo das lâmpadas até os sensores ficou em 140 cm.

AVALIAÇÃO DO POTENCIAL CIRCADIANO DA ILUMINAÇÃO DO AMBIENTE TESTE

Para avaliar a resposta circadiana promovida pelas diversas possibilidades de iluminação ambiental proporcionadas pelas LED-HUE, calculou-se a Iluminância Melanópica Equivalente (*Equivalent Melanopic Lux* – EML) a partir dos dados coletados. Esta métrica foi escolhida por sua relevância, sendo a mais utilizada em pesquisa nacionais sobre o tema iluminação integrativa [8].

A EML quantifica a iluminância de uma fonte luminosa não em termos de resposta visual via cones e bastonetes, mas na capacidade de promover um estímulo circadiano por meio da resposta da melanopsina [5]. Este fotopigmento, presente nas células ganglionares da retina intrinsicamente fotossensíveis (ipRGCs), possui pico de sensibilidade por volta de 480 nm (luz azul). A aplicação da métrica EML permite, portanto, prever a capacidade de uma fonte de luz em modular a supressão da melatonina, o estado de alerta e a regulação do ritmo circadiano. Para seu cálculo, a EML considera como referência uma luz cuja Distribuição Espectral da Luz (SPD) resulte na mesma quantidade de energia em todo os comprimentos de onda, quando terá uma Razão Melanópica (R) de 1.

Para a definição de R, utilizou-se o método proposto por Lucas et al. [5], que é amplamente aceito, tendo sido adotado pela WELL Building Standard [9].Derivado de uma regressão linear, oferece uma ferramenta simplificada para determinação da EML, podendo porém apresentar erros em TCCs extremas. Ela é dada pela Fórmula 1:

(1) $R = (0{,}00018 \times TCC) + 0{,}02$

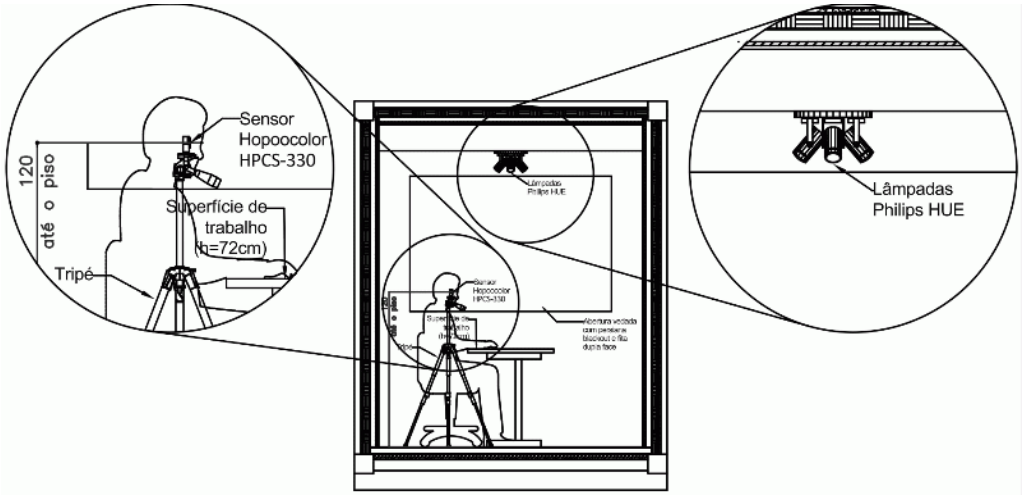
Onde *R* é a razão melanópica e *TCC* é a temperatura de cor correlata, em K. Obtendo-se R, calcula-se a EML por meio da Fórmula 2:

(2) $EML = L \times R$

Onde *EML* é a iluminância Melanópica Equivalente (em m-lux), *L* é a Iluminância fotópica (iluminância vertical, em lux) e *R* é a Razão Melanópica.

Para obtenção dos valores de EML promovidos pelas diferentes configurações de TCC das lâmpadas da LED-HUE, utilizou-se um tripé posicionado em frente à mesa do ambiente teste, onde o HPCS-330 foi posicionado a uma altura de 1,20m [5], e apresentado na Figura 7.

Figura 7: Posição sensor para leitura de dados lumínicos



Fonte: os autores.

Para as configurações de iluminação, adotaram-se oito configurações oferecidas pelo fabricante no aplicativo *Philips hue* [10]. Não são descritos valores de TCC ou E, sendo que as ambientações são nomeadas pelos seguintes nomes comerciais: Energizar, Concentrar, Frio claro, Leitura, Luz noturna, Esmaecido, Relaxar e Repousar.

RESULTADOS

Inicialmente, são apresentados os valores de TCC configurados e registrados com o HPCS-330 na Tabela 2.

Tabela 2: Comparativo entre valores de TCC (K) configurados nas lâmpadas do ambiente-teste e medidos pelo HOPOOCOLOR HPCS-330

Valores TCC (K) Configurado *all for HUE*	Valores TCC (K) Medido HPCS-330	Comparativo DIF.	*%*
6500	5988	512	7,9
6000	5572	428	7,1
5500	5178	322	5,9
5000	4709	291	5,8
4500	4265	235	5,2
4000	3805	195	4,9
3500	3381	119	3,4
3000	2904	96	3,2
2500	2422	78	3,1
2000	1942	58	2,9

Fonte: os autores.

Observa-se maior convergência entre valores configurados e medidos na faixa entre 2000 a 4500K (diferença até 5%). A partir daí, observam-se maiores diferenças, oscilando entre 6 a 8%. Dada a disparidade identificada, para as próximas etapas adotou-se como referência os valores de TCC medidos com o HPSC-330, não os configurados via aplicativo *all for Hue*.

De forma a obter um valor de referência para os comparativos, calcularam-se os valores esperados de DWl a partir dos valores de TCC medidos com HPCS-303. Para isto, baseou-se em modelos de projeção da CIE [11] e algoritmos de McCamy [12] e Ohno [13]. A seguir, procedeu-se à realização dos testes com os dois espectrômetros. Os resultados são apresentados na Tabela 3.

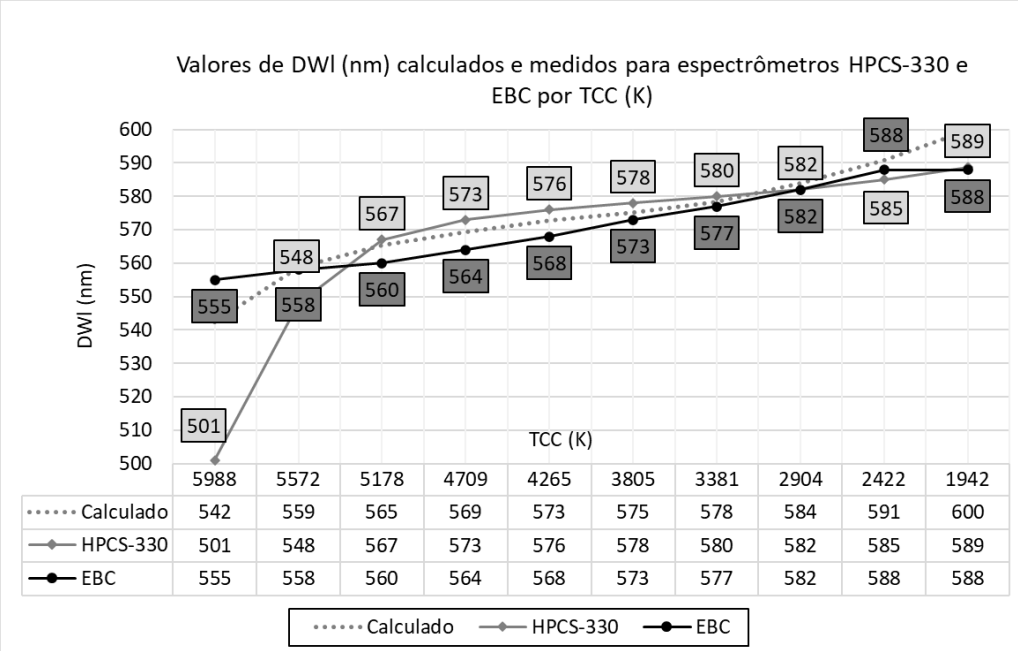
Tabela 3: Comparativo entre valores de DWl (nm) calculados e medidos

TCC (K)	Valores DWl (nm)			Comparativo			
				DIF.	DIF.	%	%
	Calculado	Medido HPCS-330	Medido EBC	Calculado vs. HPCS-330	Calculado vs. EBC	Calculado vs. HPCS-330	Calculado vs. EBC
5988	542	501	555	41	-13	7,63	-2,32
5572	559	548	558	11	1	1,92	0,13
5178	565	567	560	-2	5	-0,28	0,96
4709	569	573	564	-4	5	-0,65	0,93
4265	573	576	568	-3	5	-0,56	0,84
3805	575	578	573	-3	2	-0,49	0,38
3381	578	580	577	-2	1	-0,29	0,22
2904	584	582	582	2	2	0,31	0,31
2422	591	585	588	6	3	0,98	0,47
1942	600	589	588	11	12	1,83	1,97

Fonte: os autores.

À exceção dos valores de DWl registrados para os valores extremos de TCC (5988 e 1942K), os dois espectrômetros apresentaram alinhamento aos dados de DWl calculados, com uma oscilação em módulo de 2 a 6 para HPCS-303 e de 1 a 5 para EBC. Estes resultados são apresentados graficamente na Figura 8.

Figura 8: Valores de DWl (nm) calculados e medidos com HPCS-330 e EBC



Fonte: os autores.

Observa-se que a maior discrepância encontrada entre os valores encontra-se na faixa espectral extrema do azul registrada pelo HPCS-303 (501 nm). Para os demais valores de TCC, os três grupos de valores de DWl apresentaram diferenças discretas. Desta forma, consideraram-se validados os valores de DWl obtidos pelo EBC.

CÁLCULO DO EML PARA AS CONFIGURAÇÕES DE ILUMINAÇÃO DA LED-HUE

A próxima etapa consistiu na caracterização do potencial melanópico das diferentes configurações de iluminação oferecidas pelas lâmpadas LED-HUE em conjunto com o aplicativo Philips Hue. Na Tabela 4, são apresentadas as nomenclaturas das configurações de iluminação conforme fabricante e os valores de TCC e DWl medidos com o HPCS-330, bem como valores de DWl calculado e medido pelo EBC.

Tabela 4: Comparativo entre valores de DWl (nm) calculados e medidos

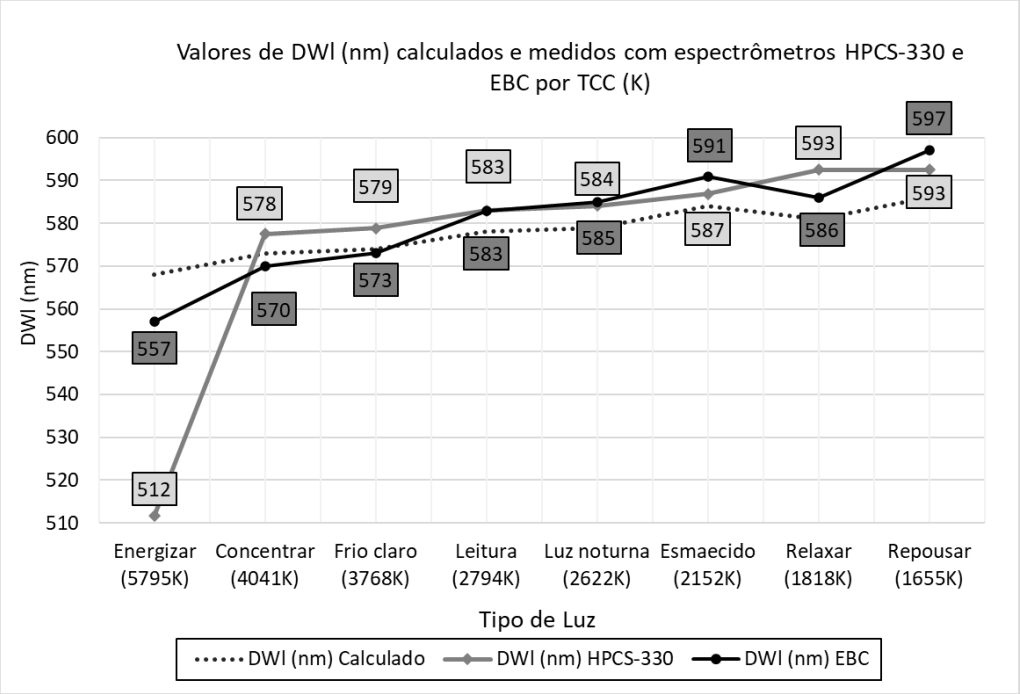
Configuração Lâmpadas	TCC (K)	Valores DWl (nm)			Comparativo			
					DIF.	DIF.	%	%
		Calculado	Medido HPCS-330	Medido EBC	Calculado vs. HPCS-330	Calculado vs. EBC	Calculado vs. HPCS-330	Calculado vs. EBC
Energizar	5795	568	512	557	56	11	9,93	1,94
Concentrar	4041	573	578	570	-5	3	-0,79	0,52
Frio claro	3768	574	579	573	-5	1	-0,85	0,17
Leitura	2794	578	583	583	-5	-5	-0,87	-0,87
Luz noturna	2622	579	584	585	-5	-6	-0,88	-1,04
Esmaecido	2152	584	587	591	-3	-7	-0,50	-1,20
Relaxar	1818	581	593	586	-12	-5	-1,98	-0,86
Repousar	1655	586	593	597	-7	-11	-1,11	-1,88

Fonte: os autores.

De forma similar aos valores obtidos na fase de calibração, as maiores diferenças continuaram ocorrendo nos valores extremos. No limite superior, as diferenças foram da ordem de 56nm para HPCS-303/calculado, e de 11nm para EBC/calculado. No limite inferior, os dois valores de DWL correspondentes aos valores de TCC abaixo de 2000K também apresentaram maior discrepância, da ordem de 5 a 12 nm em módulo. Para os demais valores, as diferenças oscilaram entre 1 a 7 nm, em módulo. A Figura 9 demonstra graficamente estes valores.

DOI: https://doi.org/10.46421/entac.v21i1.8925

Figura 9: Valores de DWl (nm) calculados e medidos



Fonte: os autores.

De forma similar aos dados coletados na fase de calibração, observa-se congruência entre os três grupos de dados de DWl, à exceção da faixa correspondente aos valores de luz azul mais extremos.

Quanto à caracterização do potencial melanópico das configurações de iluminação avaliadas, a Tabela 5 apresenta os valores registrados de TCC, DWl e L para o HPCS-330, os valores de DWL coletados pelo EBC e calculados, bem como os valores de R e EML calculados.

Tabela 5: Valores de DWl (nm) calculados e medidos

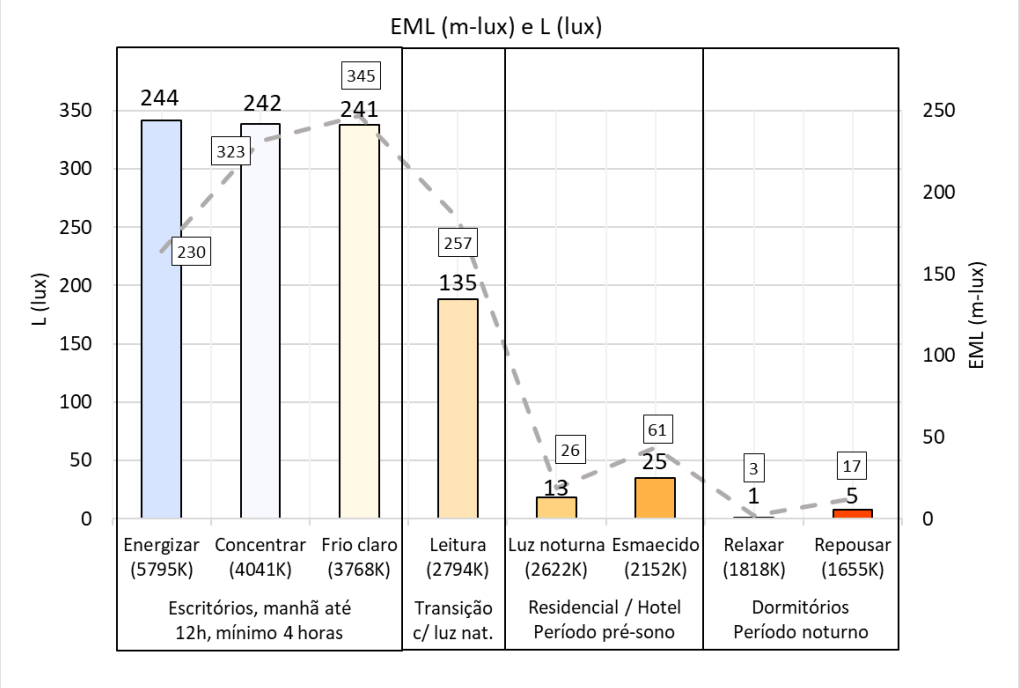
Config. Lâmpadas	TCC (K)	DWl (nm)			L (lux)	Lucas et al. (2014)	
		Calculado	HPCS-330	EBC		R	EML (m-lux)
Energizar	5795	568	512	557	230	1,06	244
Concentrar	4041	573	578	570	323	0,75	242
Frio claro	3768	574	579	573	345	0,70	241
Leitura	2794	578	583	583	257	0,52	135
Luz noturna	2622	579	584	585	26	0,49	13
Esmaecido	2152	584	587	591	61	0,41	25
Relaxar	1818	581	593	586	3	0,35	1
Repousar	1655	586	593	597	17	0,32	5

Fonte: os autores.

Importante ressaltar que tanto os valores de TCC quanto de L de cada configuração das lâmpadas não foram alteradas, permanecendo como determinado pelo fabricante.

A partir da leitura dos dados de EML e do comparativo a valores de referência [11], verifica-se que as configurações Energizar, Concentrar e Frio claro apresentaram valores satisfatórios de EML (acima de 240 m-lux, sendo classificada como excelente), sendo favoráveis à utilização preferencialmente durante a manhã, até ao meio-dia. A configuração Leitura, por sua vez, (classificação aceitável) seria recomendada para ambientes de longa permanência, desde que ocorra complemento de luz natural, estando abaixo do mínimo recomendado para escritórios (150 m-lux). As demais configurações seriam recomendadas somente para o período noturno. Luz noturna e Esmaecido possuem valores adequados para ambientes residenciais, no período pré-sono, minimizando disrupções no ciclo circadiano. Por fim, Relaxar e Repousar são adequados para o período de sono, favorecendo a produção plena de melatonina. Estas recomendações são apresentadas sinteticamente na Figura 10.

Figura 10: Valores de EML e recomendações de uso para cada configuração de iluminação avaliada



Fonte: os autores.

A partir dos dados obtidos, verificou-se a viabilidade de contrução de sensores que auxiliem o aumento e aprimoramento de pesquisas relacionadas à iluminação integrativa. As próximas etapas do desenvolvimento do EBC consistem no desenvolvimento de invólucro para a placa PCI e do sensor do EBC para transporte e acoplagem suportes para registro da iluminância vertical, e na incorporação de um segundo sensor para a leitura de iluminância. São previstos também o acoplamento de dataloggers para facilitar o processo de coleta e análise de dados.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao CNPq pelas bolsas de produtividade e pós-doutorado júnior que viabilizaram a realização do trabalho.

DECLARAÇÃO

Os autores declaram que não fizeram uso de IA generativa e tecnologias assistidas por IA no processo de preparação do manuscrito.

REFERÊNCIAS

[1] COMMISSION INTERNATIONALE DE L'ECLAIRAGE (CIE). CIE Research Strategy. Viena: CIE, jun. 2019. Disponível em: http://files.cie.co.at/Research%20strategy/CIE%20Research%20Strategy%20%28June%202019%29%20-%20update%203.pdf. Acesso em: 7 ago. 2019.

[2] WALKER, W. H. et al. Circadian rhythm disruption and mental health. Translational Psychiatry, [s. l.], v. 10, n. 1, p. 28, 2020.

[3] ZIELINSKA-DABKOWSKA, K. M. et al. Nighttime light pollution and its impact on human health: A 2024 perspective. **Nature Reviews Physics**, [s. l.], v. 6, p. 12-28, jan. 2024.

[4] 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, 2016.

[5] 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.

[6] TREVISAN, L. Y. I. **Concepção, construção e verificação da aplicabilidade de uma Câmara Bioclimática de Baixo Custo em estudos de conforto ambiental**. 2019. 209 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2019. Disponível em: https://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/handle/1/4288. Acesso em: 9 abr. 2026.

[7] WAHL, R. **all 4 hue**: for Philips Hue. Versão 5.2.0. [S. l.]: Rene Wahl, 2024. Aplicativo móvel. Disponível em: https://play.google.com/store/apps/details?id=de.renewahl.all4hue. Acesso em: 9 abr. 2026.

[8] TAMURA, C. A.; KRÜGER, E. Iluminação integrativa: caracterização e lacunas em pesquisas no Brasil. In: ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 18.; ENCONTRO LATINO-AMERICANO DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 14., 2025, São Carlos. Anais [...]. Porto Alegre: ANTAC, 2025. Disponível em: https://eventos.antac.org.br/index.php/encac/article/view/6933. Acesso em: 6 maio 2026.

[9] INTERNATIONAL WELL BUILDING INSTITUTE (IWBI). **WELL Building Standard v2**: official version. New York: IWBI, 2020. Disponível em: wellcertified.com. Acesso em: 22 mai. 2024.

[10] SIGNIFY NETHERLANDS B.V. **Philips Hue**. Versão [inserir versão atual, ex: 5.14.0]. [S. l.]: Signify, 2024. Disponível em: https://play.google.com/store/apps/details?id=com.philips.lighting.hue2&hl=pt_BR&pli=1. Acesso em: 1 maio 2026.

[11] COMMISSION INTERNATIONALE DE L'ECLAIRAGE (CIE). **CIE 015:2018**: Colorimetry. 4. ed. Vienna: CIE, 2018.

[12] MCCAMY, C. S. Correlated color temperature as an approximation of CIE chromaticity coordinates. **Color Research & Application**, [s. l.], v. 17, n. 2, p. 142-144, abr. 1992.

[13] OHNO, Y. Calculation of Correlated Color Temperature and Duv from Chromaticity Coordinates. **Color Research & Application**, [s. l.], v. 39, n. 1, p. 47-55, fev. 2014.