ILUMINAÇÃO INTEGRATIVA: UM PANORAMA DAS PESQUISAS NA ÁREA DE ILUMINAÇÃO EM ARQUITETURA

Carolina Mendonça Zina (1); João Francisco Walter Costa (2); Juliana Andrade Borges de Sousa (3); Raquel Naves Blumenschein (4); Cláudia Naves David Amorim (5)
(1) Mestre, Doutoranda do Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, carolinamzina@gmail.com, Universidade de Brasília
(2) Mestre, Doutorando do Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, jwcosta@gmail.com, Universidade de Brasília
(3) Mestre, Doutoranda do Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, j.andradevelloso@gmail.com, Universidade de Brasília
(4) Doutora, Professora da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, raquelblum@terra.com.br, Universidade de Brasília
(5) Doutora, Professora da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, clamorim@unb.br, Universidade de Brasília

RESUMO
As pessoas necessitam da conexão com as mudanças naturais que ocorrem na iluminação ao longo de um dia, pois são essas alterações que permitem a ativação de diversas funções biológicas. Nesse contexto, encontra-se a iluminação centrada no ser humano que se caracteriza por otimizar as respostas biológicas e comportamentais nos seres humanos, além de atender necessidades visuais. Diante disso, o objetivo deste trabalho é investigar o panorama geral da iluminação integrativa e/ou iluminação centrada no ser humano, identificando as lacunas e os principais grupos de pesquisa. Para isso, foi realizada uma revisão sistemática de literatura em bancos de dados internacionais em um período de 10 anos, buscando responder às seguintes questões: Quais as metodologias utilizadas? Quais as métricas? Quais estudos emergiram? Quais as lacunas? De quais países são os grupos que estão trabalhando com o assunto? Foi possível perceber que houve um crescimento no número de publicações a respeito da iluminação integrativa e/ou centrada no ser humano, principalmente no Reino Unido e nos Estados Unidos. Contudo, ainda existe a necessidade de mais estudos na área para chegar a consenso na definição de conceitos, métricas e medições. Espera-se que com o desenvolvimento de novas tecnologias seja possível projetar cada vez mais espaços agradáveis e saudáveis aos usuários.

Palavras-chave: Iluminação centrada no ser humano; ciclo circadiano; relógio biológico.

ABSTRACT
People need connection with the natural changes that occur in lighting throughout the day, as these changes activate several biological functions. In this context comes the human-centric lighting concept, which is characterized by optimizing human biological and behavioral responses and meeting visual needs. Therefore, this work aims to investigate the general panorama of integrative lighting and/or human-centered lighting, identifying gaps and the main research groups. To achieve this aim, a systematic literature review was carried out in international databases over a period of 10 years, seeking to answer the following questions: What methodologies were used? What are the metrics? What studies have emerged? What are the gaps? Which countries are the groups from? It was possible to notice that there was an increase in the number of publications on integrative and/or human-centered lighting, mainly in the United Kingdom and the United States. However, there is still a need for further studies in the field to reach a consensus on the definition of concepts, metrics, and measurements. It is expected that with the development of new technologies, it will be possible to design a healthy and pleasant space for users.

Keywords: Human-centric lighting; circadian cycle; biological clock.

1. INTRODUÇÃO

Uma boa iluminação é aquela que está adequada a função ambiente, além de proporcionar boa definição de cores e sem ofuscamento, podendo ser obtida por meio da iluminação natural e/ou artificial. No entanto, no atual contexto das edificações de baixo consumo energético e maior qualidade ambiental, o aproveitamento da iluminação natural se faz extremamente necessário (AMORIM et al., 2021).

Além de questões relacionadas a diminuição da demanda por energia para iluminação, as pessoas necessitam da conexão com o ciclo diário de claro e escuro. Precisam estar em contato com as modificações naturais ao longo do dia, pois a luz natural é fonte de ativação de diversas funções fisiológicas e de controle do relógio biológico (MARTAU, 2009; LAMBERTS, TRIANA, 2010; FIGUEIRÓ, 2010).

Nesse contexto, encontra-se a iluminação centrada no ser humano, que pode ser conceituada como a luz ou iluminação que tem como objetivo, além de atender necessidades visuais, otimizar as respostas biológicas e comportamentais (HOUSER et al., 2021; HOUSER, 2018; PAPATSIMPA, LINNARTZ, 2021).

Atualmente, existem diversas tecnologias que fazem promessas de atendimento à iluminação integrativa, que também são importantes para o desenvolvimento tecnológico da área. Porém, o bom projeto é o ponto central para que haja um bom aproveitamento da iluminação natural e que os resultados sejam positivos para a saúde e bem-estar dos ocupantes do espaço (LAMBERTS, TRIANA, 2010; HOUSER et al., 2021).

Para promover o bem-estar, a iluminação deve, no mínimo, não prejudicar os usuários, evitando a radiação direta e favorecendo as tarefas visuais, com luz suficiente e eliminando os problemas associados ao brilho (RAYNHAM, 2021). Também é importante o cuidado com a geometria do espaço, a especificação das texturas e cores das superfícies, as vistas para o exterior, porque todos esses pontos contribuem para a eficácia da iluminação na contribuição dos impactos fisiológicos (VETTER et al., 2021).

Além disso, deve-se colocar o usuário do espaço no centro da tomada de decisões do projeto, uma vez que o corpo compreende o tempo pela observação do ritmo de claro e escuro natural (HOUSER, 2021). Segundo Houser (2021) uma iluminação artificial que não esteja coordenada com esse ritmo pode interferir no relógio biológico, prejudicando o funcionamento do corpo. Para ele, o conceito da iluminação centrada no ser humano pode ser definido como:

> Soluções de iluminação baseada em evidências, otimizadas para a visão, desempenho, concentração, estado de alerta, humor e saúde e bem-estar das pessoas. A iluminação centrada no ser humano equilibra os benefícios visuais, emocionais e biológicos da iluminação para os usuários, reconhecendo o papel da luz na visão, psicologia e fisiologia (HOUSER, 2018 – tradução livre).

Raynham (2021) enfatiza que, em edifícios bem projetados e considerados iluminados adequadamente, a luz natural deve fornecer a maior parte da iluminação que os usuários necessitam. O autor ainda afirma que a iluminação artificial pode contribuir para o ciclo circadiano, mas apenas em casos em que os usuários do espaço possuem pouco acesso à luz natural.

O presente trabalho é fruto do desenvolvimento da disciplina Iluminação Natural e Qualidade Ambiental no Espaço Construído do Programa de Pós-Graduação de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de Brasília. A curiosidade com o tema surgiu a partir do exercício de levantamento de trabalhos publicados entre os anos de 2011 e 2021 em três eventos, sendo um nacional, o Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído (ENCAC) e dois eventos internacionais, o Passive and Low Energy Architecture (PLEA) e o International Commission on Illumination – CIE.

A partir disso, foram identificadas palavras que abordam a iluminação e a sua relação com o ser humano. Apesar de, numericamente aparecerem poucas palavras relacionadas ao tema, esse é um assunto extremamente importante, uma vez que é necessário se pensar na saúde dos ocupantes dos edifícios.

2. OBJETIVO

Investigar o panorama geral da iluminação integrativa e/ou iluminação centrada no ser humano, identificando as lacunas e os principais grupos de pesquisa desse tema.

3. MÉTODO

O método dessa pesquisa foi baseado nos pressupostos da Revisão Sistemática, em que é realizado estudo secundário para mapear, encontrar, avaliar criticamente, consolidar e agregar os resultados de estudos primários relevantes a respeito de um tópico de pesquisa específico (DRESCH et al., 2015). É sistemática porque deve seguir um método explícito, planejado, responsável e justificável (MORANDI; CAMARGO, 2015).

O tópico a ser trabalhado nessa revisão focou na iluminação integrativa, discorrendo seu conceito e aplicações. Com isso, pretende-se responder às seguintes questões: Quais as metodologias utilizadas? Quais as métricas? Quais estudos emergiram? Quais as lacunas? De quais países são os grupos que estão trabalhando com o assunto?

Os bancos de dados utilizados foram *Web Of Science* e *Scopus*. A busca foi realizada com os descritores *"integrative lighting"* e *"human centric lighting"*. A busca em todos os bancos foi delimitada em um período de 10 anos, de 2011 até 2021.

As publicações identificadas na pesquisa foram pré-selecionadas a partir da adequação à área de Arquitetura e edificações. Posteriormente, foi realizada a leitura na íntegra dos trabalhos, que foram selecionados de acordo com os pressupostos de Dresch et al. (2015), conforme Tabela 1. Essa análise compreendeu três dimensões: i) a qualidade da execução do estudo; ii) a adequação à questão da revisão; e iii) a adequação ao foco da revisão.

Tabela 1: Critérios para avaliação das dimensões de qualidade dos estudos primários. Adaptado de Dresch et al. (2015).

Qualidade	**Dimensão**		
	Qualidade da execução do estudo	**Adequação à questão da revisão**	**Adequação ao foco da revisão**
Alta	O trabalho atende aos padrões exigidos para o tema em estudo	O trabalho aborda exatamente o assunto alvo da revisão sistemática	O estudo foi realizado em um contexto idêntico ao definido para a revisão
Média	O trabalho possui lacunas em relação aos padrões exigidos para o tema	O trabalho aborda parcialmente o assunto alvo da revisão sistemática	O estudo foi realizado em um contexto semelhante ao definido para a revisão
Baixa	O trabalho não está de acordo com os padrões exigidos pelo tema	O trabalho apenas tangencia o assunto alvo da revisão sistemática	O estudo foi realizado em um contexto diverso

Os trabalhos incluídos nesse estudo tiveram como obrigatoriedade a obtenção do nível alto de qualidade na avaliação final, de acordo com as ponderações apresentadas na Tabela 2.

Tabela 2: Consolidação da avaliação. Adaptado de Dresch et al. (2015).

Qualidade da execução do estudo	**Adequação à questão da revisão**	**Adequação ao foco da revisão**	**Avaliação final do estudo**
Alta	**Alta**	**Alta**	**Alta**
Alta	**Alta**	**Média**	**Alta**
Média	**Alta**	**Alta**	**Alta**
Alta	Média	Média	Média
Média	Média	Média	Média
Alta	Alta	Baixa	Baixa
Alta	Média	Baixa	Baixa
Média	Média	Baixa	Baixa
Média	Baixa	Baixa	Baixa
Baixa	Baixa	Baixa	Baixa

Com base na pré-seleção, foi possível reunir 43 trabalhos. Posteriormente, foi realizada a aplicação do nível de qualidade de cada dimensão e sua ponderação final, que está apresentada na Tabela 3 e Tabela 4.

Tabela 3: Artigos pré-selecionados e sua avaliação final. Elaboração própria.

Tipo	**Autor**	**Ano**	**Qualidade da execução**	**Adequação à questão**	**Adequação ao foco**	**Avaliação final do estudo**
ARTIGO	SCHWEITZER et al.	2016	Alta	Média	Baixa	Baixa
	XIA et al.	2016	Alta	Média	Média	Média
	DAVOODI et al.	**2017**	**Alta**	**Alta**	**Alta**	**Alta**
	KHANH et al.	2018	Alta	Média	Baixa	Baixa
	PLISCHKE et al.	**2018**	**Alta**	**Alta**	**Alta**	**Alta**
	CUPKOVA et al.	**2019**	**Alta**	**Alta**	**Alta**	**Alta**
	KNOOP et al.	**2019**	**Alta**	**Alta**	**Alta**	**Alta**
	LOWDEN et al.	2019	Alta	Média	Média	Média
	PIZARRO e GENTILE	2019	Alta	Média	Média	Média
	SOLTIC e CHALMERS	2019	Alta	Média	Baixa	Baixa
	ARIES et al.	2020	Alta	Média	Média	Média
	CHIEN et al.	**2020**	**Alta**	**Alta**	**Alta**	**Alta**

Continuação da Tabela 3: Artigos pré-selecionados e sua avaliação final. Elaboração própria.

Tipo	Autor	Ano	Qualidade da execução	Adequação à questão	Adequação ao foco	Avaliação final do estudo
ARTIGO	**DI NICOLANTONIO et al.**	**2020**	**Alta**	**Alta**	**Média**	**Alta**
	GIANG et al.	2020	Alta	Média	Média	Média
	KOVAL et al.	**2020**	**Alta**	**Alta**	**Média**	**Alta**
	LIU et al.	2020	Alta	Média	Baixa	Baixa
	PAPATSIMPA e LINNARTZ	**2020**	**Alta**	**Alta**	**Média**	**Alta**
	PARSAEE et al.	2020	Alta	Média	Baixa	Baixa
	SAW et al.	2020	Alta	Média	Média	Média
	BABILON et al.	2021	Alta	Média	Baixa	Baixa
	BELLIA e FRAGLIASSO	**2021**	**Alta**	**Alta**	**Alta**	**Alta**
	BRACKE et al.	2021	Alta	Média	Média	Média
	CERPENTIER e MEURET	2021	Alta	Média	Baixa	Baixa
	CHOI et al.	**2021**	**Alta**	**Alta**	**Alta**	**Alta**
	EZPELETA et al.	2021	Alta	Média	Média	Média
	FOSTER	**2021**	**Alta**	**Alta**	**Alta**	**Alta**
	HANSEN et al.	2021	Alta	Média	Média	Média
	HARIYANI e BRGOCH	2021	Alta	Média	Média	Média
	HOUSER e SPOSITO	**2021**	**Alta**	**Alta**	**Alta**	**Alta**
	HOUSER et al.	**2021**	**Alta**	**Alta**	**Alta**	**Alta**
	KWON et al.	2021	Alta	Média	Baixa	Baixa
	LOWDEN e KECKLUND	2021	Alta	Média	Média	Média
	NEBERICH e OPFERKUCH	2021	Alta	Média	Baixa	Baixa
	NGARAMBE et al.	2021	Alta	Média	Média	Média
	PEETERS et al.	2021	Alta	Média	Média	Média
	RAYNHAM	**2021**	**Alta**	**Alta**	**Alta**	**Alta**
	SCHLEDERMANN et al.	**2021**	**Alta**	**Alta**	**Média**	**Alta**
	STEFANI e CAJOCHEN	2021	Alta	Média	Média	Média
	THORNS	**2021**	**Alta**	**Alta**	**Alta**	**Alta**
	VETTER et al.	**2021**	**Alta**	**Alta**	**Alta**	**Alta**

Tabela 4: Editoriais pré-selecionados e sua avaliação final. Elaboração própria.

Tipo	Autor	Ano	Qualidade da execução	Adequação à questão	Adequação ao foco	Avaliação final do estudo
EDITORIAL	**BOYCE**	**2016**	**Alta**	**Alta**	**Alta**	**Alta**
	BODROGI et al.	**2017**	**Alta**	**Alta**	**Alta**	**Alta**
	HOUSER	**2018**	**Alta**	**Alta**	**Alta**	**Alta**
	BANOS et al.	2021	Alta	Média	Baixa	Baixa
	HOUSER	**2021**	**Alta**	**Alta**	**Alta**	**Alta**

A seguir serão dispostas as análises referentes a iluminação integrativa realizadas a partir dos 21 trabalhos classificados como de alta relevância para esse estudo, sendo 17 artigos e 4 editoriais.

4. RESULTADOS

A partir da leitura na íntegra dos trabalhos classificados como de alta relevância, foram identificados subtópicos para a apresentação dos resultados. Foram eles: países de origem das publicações, metodologias utilizadas, métricas, estudos com idosos e as lacunas que ainda permanecem nos estudos dessa área.

4.1. Países de origem das publicações

Neste subtópico são apresentados os países de onde partiram as pesquisas identificadas. A partir da Tabela 5, é possível perceber que a maior parte dos trabalhos foi desenvolvida por pesquisadores de um único país. Por outro lado, cinco estudos foram elaborados por grupos de pesquisa de países diferentes, sendo eles: Cupcoka et al. (2019), Chien et al. (2020), Nicolantonio et al. (2020), Houser et al. (2021) e Vetter et al. (2021).

Os dois países com o maior percentual de trabalhos desenvolvidos são o Reino Unido e os Estados Unidos com 27% e 19%, respectivamente (Figura 1). Em seguida é a Alemanha com 7%, já a Suécia representa a menor porcentagem de 3%. Todos os outros países possuem a mesma porcentagem de 4%.

Tabela 5: Países dos autores que desenvolveram os trabalhos. Elaboração própria.

Autor	Ano	País
BOYCE	2016	Reino Unido
BODROGI et al.	2017	Alemanha
DAVOODI et al.	2017	Suécia
HOUSER	2018	Estados Unidos
PLISCHKE et al.	2018	Alemanha
CUPKOVA et al.	2019	Eslováquia + República Tcheca
KNOOP et al.	2019	Alemanha
CHIEN et al.	2020	Singapura + Taiwan
DI NICOLANTONIO et al.	2020	Itália + Reino Unido
KOVAL et al.	2020	Ucrânia
PAPATSIMPA e LINNARTZ	2020	Holanda
BELLIA e FRAGLIASSO	2021	Itália
CHOI et al.	2021	Coreia
FOSTER	2021	Reino Unido
HOUSER	2021	Estados Unidos
HOUSER e SPOSITO	2021	Estados Unidos
HOUSER et al.	2021	Estados Unidos + Reino Unido
RAYNHAM	2021	Reino Unido
SCHLEDERMANN et al.	2021	Dinamarca
THORNS	2021	Reino Unido
VETTER et al.	2021	Estados Unidos + Austrália + Reino Unido + Canadá

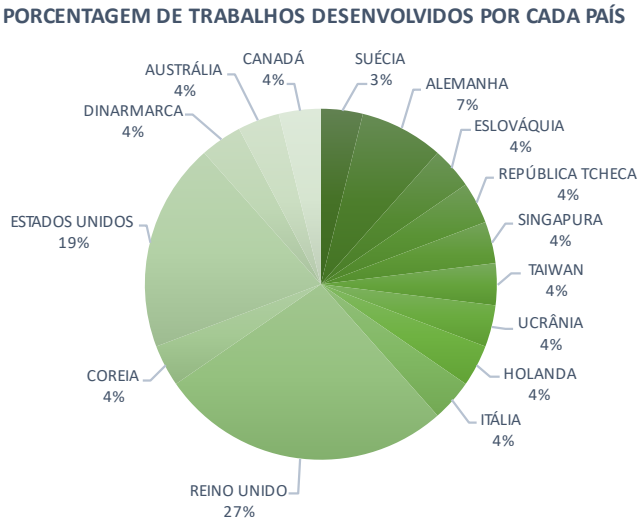

Figura 1: Porcentagem de trabalhos desenvolvido por cada país. Elaboração própria.

Como é possível perceber pelo mapa presente na Figura 2 a produção científica acerca do tema abordado nesse trabalho foi, em sua maioria, desenvolvida no hemisfério norte. América do Norte e Europa são os continentes com a maior quantidade de trabalhos.



Figura 2: Distribuição geográfica dos trabalhos. Elaboração Própria.

Ao transpor esses dados em uma linha do tempo presente na Figura 3 é perceptível o aumento no número de publicações ao longo dos últimos cinco anos. Em 2016, uma única publicação do Reino Unido, já um ano depois foram dois trabalhos, um da Suécia e o outro da Alemanha. No ano de 2018 tiveram duas publicações, uma dos Estados Unidos e outra da Alemanha, que também produziu um trabalho em 2019. Foi neste mesmo ano em que apareceu o primeiro trabalho elaborado em colaboração de pesquisadores de dois países diferentes, República Tcheca e Eslováquia. Um ano depois, foram desenvolvidos quatro trabalhos, sendo dois deles com participação de dois países, sendo um entre Singapura e Taiwan e o outro entre Itália e Reino Unido. Já os outros foram publicados pela Holanda e Ucrânia, um de cada.

Por fim, em 2021, até o momento em que foi feita essa pesquisa, foi publicado o maior número de trabalhos, no total foram 10. Dois desses foram escritos em colaboração com mais países, um deles foi entre Estados Unidos, Austrália, Reino Unido e Canadá, maior número de países em um único trabalho. O outro foi entre Estados Unidos e Reino Unido. Aqueles que foram publicados por um único país foram um da Itália, um da Coreia, três do Reino Unido, dois dos Estados Unidos e um da Dinamarca.

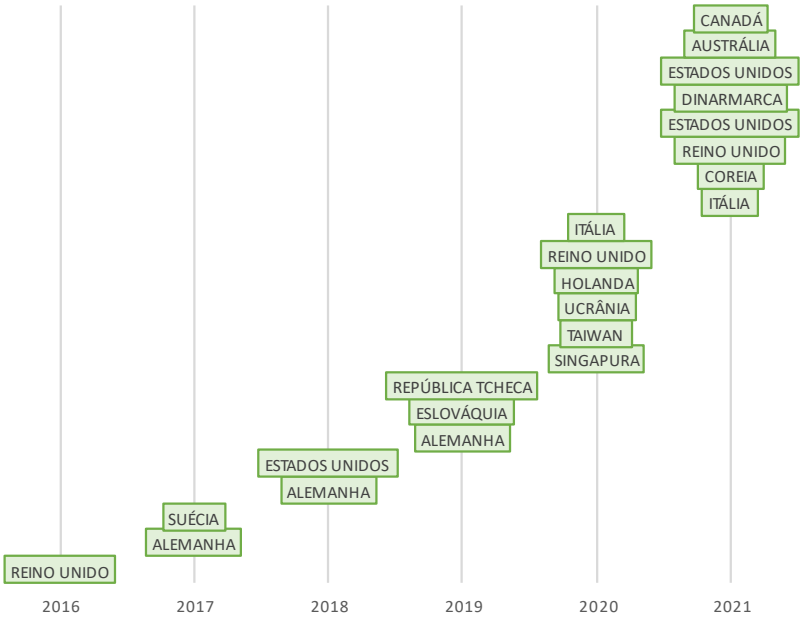

Figura 3: Linha do tempo da produção científica. Elaboração própria.

4.2. Metodologias

Entre os trabalhos analisados, alguns trouxeram metodologias para a iluminação integrativa nos ambientes. Alguns deles realmente criaram formas para incorporar requisitos da iluminação centrada no ser humano no desenvolvimento de projetos, outros apresentaram maneiras que podem ser adaptadas.

De acordo com Davoodi et al. (2017), o método de projeto intitulado projeto baseado em evidências (*Evidence-Based Design* - EBD) fornece meios para avaliar os efeitos dos espaços construídos nas pessoas. Os autores destacam a importância de utilizar os *feedbacks* dos usuários como base para quantificar e aprimorar as métricas de desempenho da iluminação. Como resultado, eles propõem a integração dessa metodologia às ferramentas de simulação de iluminação, o que demonstra ser vantajoso ao orientar a realização de simulações de forma adequada, considerando quando e como devem ser conduzidas.

Para o estudo de Cupkova et al. (2019) foi elaborado um sistema de iluminação em que as cores eram ajustadas automaticamente pelas emoções das pessoas, com a utilização da inteligência artificial, para melhorar o humor delas. Como descrito pelos autores, os benefícios desse sistema vão desde a eliminação de distrações que a configuração manual pode ocasionar, até impactos positivos na saúde e bem-estar das pessoas, por meio de um ambiente prazeroso.

Choi et al. (2020) elaboraram os cartões LUX (*Lighting User Experience*) para auxiliar os projetistas nas soluções inovadoras da iluminação centrada no ser humano. São 103 cartas divididas em cinco categorias, são elas: usuário, atividade, dados de entrada, emoção e luz. O estudo das cartas foi colocado em prática durante um workshop com projetistas e como ponto positivo pode-se citar que auxiliaram para tornar ideias abstratas em soluções concretas. Além disso, também forneceram apoio às ideias como referências tangíveis.

Houser e Esposito (2021) apresentam os cinco passos para o processo de projeto que inclui a iluminação centrada no ser humano. Apesar de ainda existirem lacunas para isso, os autores apresentam as seguintes etapas: i) caracterizar a finalidade do projeto de iluminação; ii) determinar os prováveis ciclos de sono-vigília dos ocupantes; iii) determinar as necessidades de sono dos usuários (caso haja pessoas que durmam no espaço); iv) revisar as orientações publicadas para elaborar objetivos e critérios de projeto, com foco nas respostas visuais e não visuais; e v) utilizar essas informações para estabelecer critérios que guiarão as decisões de projeto.

Muitos estudos e normas de iluminação utilizam como parâmetro para avaliação da qualidade o tipo de tarefa que vai ser desenvolvida no ambiente, porém Thorns (2021) apresenta como indicador principal a pessoa que está executando a tarefa. Assim, o autor traz para o centro da discussão a utilização da avaliação pós-ocupação como método para desenvolver produtos mais adequados a realidade das pessoas que os utilizam.

4.3. Métricas

Como esse é um campo de estudo que está a pleno desenvolvimento, a IEA, em seu último relatório, apresenta três métricas para avaliar a iluminação integrativa a depender do método escolhido, porém afirma que podem ser consideradas ultrapassadas nos próximos anos. Ao se avaliar pela resposta espectral dos fotopigmentos nos bastonetes e cones se recomenda utilizar a *Equivalent Melanopic Lux* (EML) e a *Melanopic Equivalent Daylight illuminance* (M-EDI). Já pelo método da supressão noturna da melatonina, a métrica recomendada é a *Circadian Stimulus* (CS) (AMORIM, Claudia Naves David *et al.*, 2021).

A primeira é a mais difundida por ser utilizada por sistemas de certificação ambiental e é um dado de saída de softwares, como Alfa e Lark, que realizam tal avaliação (AMORIM, Claudia Naves David *et al.*, 2021). Segundo Amorim et al. (2021), a M-EDI passou a ser recomendada recentemente pela CIE.

O estudo de Knoop et al. (2019) apresenta as métricas que devem ser consideradas em estudos que abordam os efeitos da não formação de imagem, que está relacionada a outros comportamentos impactados pela iluminação, como a produção de melatonina. De acordo com a pesquisa dos autores, a métrica mais adequada é a irradiação espectral combinada com a luminância.

Koval et al. (2020) verificaram que para que a iluminação artificial possa promover condições emocionais e fisiológicas positivas nos seres humanos, é necessário que suas características sejam as mais próximas da iluminação natural. O ideal é que essa imitação seja feita levando em consideração apenas quando a intensidade da luz é suficiente e a sua distribuição possui influências psicológicas positivas. Os autores também reforçam que é necessário que ocorra uma combinação entre a luz direta e a difusa, além da utilização de diferentes temperaturas de cores.

Houser et al. (2021) apresentam as variáveis da iluminação que devem ser observadas no processo de projetos de iluminação voltados à integração com os usuários. Primeiro, o padrão temporal é um fator crítico que se deve levar em consideração, já que está diretamente relacionado ao ciclo de claro e escuro que está diretamente relacionado às respostas não visuais. Em segundo lugar, o nível e o espectro da luz que estão relacionados à potência biológica da luz, que é influenciada em maior grau pelo primeiro.

4.4. Estudos com idosos

Um assunto que emergiu com essa pesquisa foram estudos que abordavam ambientes destinados aos idosos. Dos trabalhos analisados, quatro eram especificamente sobre a iluminação integrativa em casas para idosos.

O estudo conduzido por Chien et al. (2020) teve como objetivo explorar estratégias de projeto de iluminação centrada no ser humano em lares para idosos localizados em Singapura. Os autores apontam que o ciclo circadiano é extremamente importante para idosos com demência e para os funcionários que trabalham em longas jornadas dentro desses espaços.

Mesmo com a necessidade de estudos mais aprofundados, os autores apresentaram duas principais estratégias. A primeira é para os ambientes em que há incidência solar, e é possível buscar a otimização dos níveis de iluminação natural e a substituição das lâmpadas por uma iluminação artificial que simula o sistema circadiano. Já para os ambientes em que não há pouca ou quase nenhuma iluminação natural, a segunda estratégia é a utilização de um sistema de iluminação dinâmico, que simula a mudança de cores naturais da luz (CHIEN *et al.*, 2020).

Di Nicolantonio et al. (2020) estudaram a abordagem da iluminação centrada no ser humano para o desenvolvimento de produtos adequados às necessidades e habilidades de idosos. Esse campo de estudo é muito importante pois as condições fisiológicas e psicológicas dos idosos são diretamente influenciadas pelas condições de iluminação, envolvendo desde os efeitos visuais e não visuais, até questões de ergonomia (DI NICOLANTONIO *et al.*, 2020).

Schledermann et al. (2021) instalaram um sistema de iluminação circadiana em uma residência para idosos na Dinamarca, com o objetivo de investigar, durante dois anos, como essa mudança foi percebida pelos residentes e trabalhadores do local. Ao final do estudo, os funcionários expressaram satisfação com o sistema, já que era confortável para trabalhar. Apesar de não ter sido possível documentar os efeitos da iluminação circadiana nos idosos, a equipe percebeu uma melhora no padrão de sono deles.

No estudo de Plischke et al. (2018) três residenciais para idosos foram verificados quanto à aplicação dos requisitos do guia alemão DIN SPEC 67600 e se seria possível quantificar os efeitos nos trabalhadores e nos idosos. Embora nenhuma das residências tenha cumprido com todos os critérios dos efeitos não visuais da iluminação, foi possível constatar redução nas quedas, melhoria no bem-estar e concentração dos residentes.

4.5. Lacunas identificadas

Bellia e Fragliasso (2021) trazem alguns dos principais problemas encontrados nos estudos sobre a iluminação centrada no ser humano:

a) Existência de múltiplas métricas que definem o efeito circadiano;
b) Ausência de quantificação dos parâmetros de avaliação;
c) Necessidade de uma abordagem baseada no espectro da luz;
d) Disseminação escassa de softwares de cálculo que avaliam a iluminação a partir da sua característica espectral;
e) Dificuldade em coletar espectros da luz natural;
f) Dificuldade em realizar medições.

No trabalho de Foster (2021) o autor destaca que ainda não se sabe se os diferentes fotorreceptores interagem de forma colaborativa ou contrária, tampouco se a direção da luz é importante. O desenvolvimento de sistemas de iluminação artificial de edifícios que auxiliem na estabilização do ciclo circadiano não é uma tarefa simples (FOSTER, 2021).

Vetter et al. (2021) relatam a necessidade de mais pesquisas nessa área para poder compreender melhor os detalhes das respostas fisiológicas à luz. Além disso, os autores relatam que faltam mais estudos que evidenciem o impacto dos fatores que afetam os níveis de luz e que comparem as respostas de diferentes estímulos fóticos.

5. CONCLUSÕES

A realização dessa pesquisa identificou um crescimento no número de publicações a respeito da iluminação integrativa e/ou centrada no ser humano em nível internacional. Contudo, ainda existem barreiras a serem superadas, gerando a necessidade de mais estudos na área para chegar a consenso na definição de conceitos, métricas e medições.

Na análise dos artigos e editoriais indexados em bases de dados internacionais, foi identificada uma concentração maior de desenvolvimento desses trabalhos em países no Reino Unido e nos Estados Unidos. Além disso, destaca-se a publicação de países como Taiwan, Coreia e Ucrânia. Por mais que a busca por trabalhos tenha feito o recorte de 10 anos, o primeiro trabalho encontrado é datado de 2016.

As metodologias apresentadas podem ser utilizadas de forma conjunta e complementar. Além disso, foi possível agrupá-las em três grupos, levando em consideração as fases de construção de um espaço , a saber:

i) Antes da construção – durante a elaboração do projeto pode-se utilizar as cartas LUX apresentadas e os cinco passos do processo de projeto
ii) Durante o processo de construção – é projetado e instalado o sistema automático de iluminação que utiliza a inteligência artificial para se regular conforme as emoções dos usuários;
iii) Projeto pronto – metodologias de projeto baseado em evidências a partir da aplicação de questionário e avaliação pós ocupação;

Em relação as métricas apresentadas pelos autores, pode-se inferir que, quanto mais próximo for o valor de determinada grandeza do valor da luz natural, maior o impacto positivo que essa iluminação terá sobre usuários (se a intensidade e a distribuição estiverem agindo positivamente). São apresentadas grandezas de avaliação como a EML, M-EDI, CS, irradiação espectral combinada com a luminância, o padrão temporal, o nível e o espectro da luz.

Um assunto que se repetiu em alguns trabalhos, foi o estudo com idosos, em que são apresentados os benefícios de se respeitar o ciclo circadiano tanto para idosos como para os funcionários desses espaços de cuidado. Nesses estudos foi constatada uma redução nas quedas, melhoria no bem-estar, padrão do sono e concentração naqueles idosos em que estavam sob a influência de uma iluminação que seguia o ritmo da luz natural.

Apesar de já se ter avançado nos estudos acerca da iluminação integrativa, ainda é uma temática que precisa de estudos mais aprofundados e interdisciplinares, unindo médicos, arquitetos, psicólogos e outras áreas do conhecimento afins. Espera-se que com o desenvolvimento de novas tecnologias seja possível projetar cada vez mais espaços agradáveis e saudáveis aos usuários.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMORIM, Cláudia Naves David *et al.* Retrofit e preservação de edifícios não residenciais modernos em brasilia - uma abordagem para eficiência energética e iluminação natural. *Em*: **A construção civil: em uma perspectivas econômica, ambiental e social**. [*S. l.*]: Editora Científica Digital, 2021. p. 339–357.

AMORIM, Claudia Naves David *et al.* **Evaluating integrated lighting projects: A procedure to Post-Occupancy Evaluation of Daylight and Electrical Lighting Integrated Projects** (Cláudia AMORIM NAVES DAVID et al., Org.). [*S. l.: s. n.*], 2021. Disponível em: https://www.iea-shc.org/Data/Sites/1/publications/IEA-SHC-Task61--Technical-Report-D2-Evaluating-integrated-lighting-projects.pdf.

BELLIA, Laura; FRAGLIASSO, Francesca. Good places to live and sleep well: A literature review about the role of architecture in determining non-visual effects of light. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, vol. 18, no. 3, p. 1–29, 1 Feb. 2021. https://doi.org/10.3390/ijerph18031002.

BODROGI, Peter; VINH, Quang Trinh; KHANH, Tran Quoc. Opinion: The usefulness of light sources in human centric lighting. **Lighting Research and Technology**, vol. 49, no. 3, p. 292, 1 May 2017. https://doi.org/10.1177/1477153517707427.

BOYCE, Peter. Editorial: Exploring human-centric lighting. **Lighting Research and Technology**, vol. 48, no. 2, p. 101, 1 Apr. 2016. https://doi.org/10.1177/1477153516634570.

CHIEN, S. C.; CHIEN, S. M.; LAU, E.; LIN, P. Light beyond Vision: Implications for Human-centric Lighting Design in Tropical Nursing homes. 410., 24 Jan. 2020. **IOP Conference Series: Earth and Environmental Science** [...]. [*S. l.*]: Institute of Physics Publishing, 24 Jan. 2020. vol. 410. https://doi.org/10.1088/1755-1315/410/1/012097.

CHOI, Kyungah; KIM, Taesu; SUK, Hyeon Jeong. Lighting user experience (LUX) cards: A card-based tool for the design of smart lighting solutions. **Archives of Design Research**, vol. 33, no. 1, p. 55–65, 1 Feb. 2020. https://doi.org/10.15187/adr.2020.02.33.1.55.

CUPKOVA, Dominika; KAJATI, Erik; MOCNEJ, Jozef; PAPCUN, Peter; KOZIOREK, Jiri; ZOLOTOVA, Iveta. Intelligent human-centric lighting for mental wellbeing improvement. **International Journal of Distributed Sensor Networks**, vol. 15, no. 9, 1 Sep. 2019. https://doi.org/10.1177/1550147719875878.

DAVOODI, Anahita; JOHANSSON, Peter; HENRICSON, Maria; ARIES, Myriam. A conceptual framework for integration of evidence-based design with lighting simulation tools. **Buildings**, vol. 7, no. 4, 1 Oct. 2017. https://doi.org/10.3390/buildings7040082.

DI NICOLANTONIO, Massimo; ROSSI, Emilio; DELI, Aldo; MARANO, Antonio. The human centric lighting approach for the design of Age-Friendly products. **Theoretical Issues in Ergonomics Science**, vol. 21, no. 6, p. 753–772, 1 Nov. 2020. https://doi.org/10.1080/1463922X.2020.1742400.

DRESCH, A., LACERDA, D. P., ANTUNES JÚNIOR, J. A. V. **Design science research**: método de pesquisa para o avanço da ciência e tecnologia. Porto Alegre: Bookman, 2015.

FIGUEIRÓ, M. A luz e sua relação com a saúde. **Lume**, São Paulo, v. 8, n. 44, p. 8-12, jun. 2010. Disponível em: <http://www.lumearquitetura.com.br/pdf/ed44/ed_44%20EN%20-%20Mariana%20Figueiró.pdf>. Acesso em: 20 mar. 2019.

FOSTER, R. G. Fundamentals of circadian entrainment by light. **Lighting Research and Technology**, vol. 53, no. 5, p. 377–393, 1 Aug. 2021. https://doi.org/10.1177/14771535211014792.

HOUSER, K. W.; BOYCE, P. R.; ZEITZER, J. M.; HERF, M. Human-centric lighting: Myth, magic or metaphor? **Lighting Research and Technology**, vol. 53, no. 2, p. 97–118, 1 Apr. 2021. https://doi.org/10.1177/1477153520958448.

HOUSER, Kevin W. Ethics and Fallacies of Human-Centric Lighting and Artificial Light at Night. **LEUKOS - Journal of Illuminating Engineering Society of North America**, vol. 17, no. 4, p. 319–320, 2021. https://doi.org/10.1080/15502724.2021.1951021.

HOUSER, Kevin W. Human Centric Lighting and Semantic Drift. **LEUKOS - Journal of Illuminating Engineering Society of North America**, vol. 14, no. 4, p. 213–214, 2 Oct. 2018. https://doi.org/10.1080/15502724.2018.1501234.

HOUSER, Kevin W.; ESPOSITO, Tony. Human-Centric Lighting: Foundational Considerations and a Five-Step Design Process. **Frontiers in Neurology**, vol. 12, 27 Jan. 2021. https://doi.org/10.3389/fneur.2021.630553.

KNOOP, Martine; BROSZIO, Kai; DIAKITE, Aicha; LIEDTKE, Carolin; NIEDLING, Mathias; ROTHERT, Inga; RUDAWSKI, Frederic; WEBER, Nils. Methods to Describe and Measure Lighting Conditions in Experiments on Non-Image-Forming Aspects. **LEUKOS - Journal of Illuminating Engineering Society of North America**, vol. 15, no. 2–3, p. 163–179, 3 Jul. 2019. https://doi.org/10.1080/15502724.2018.1518716.

KOVAL, L.; YEHORCHENKOV, V.; SERGEYCHUK, O. Technological Approaches to Design of Artificial Lighting Approximated to the Properties of Natural Lighting. **Lecture Notes in Civil Engineering**. [*S. l.*]: Springer, 2020. vol. 47, p. 174–179. https://doi.org/10.1007/978-3-030-27011-7_22.

LAMBERTS, R., DUTRA, L., PEREIRA, F. O. R. **Eficiência Energética na Arquitetura**. Rio de Janeiro: ELETROBRAS/PROCEL, 2014.

LAMBERTS., TRIANA, M. A. Categoria 2: Projeto e Conforto. In: JOHN, V. M., PRADO, R. T. A. **Selo Casa Azul - Boas práticas para habitação mais sustentável**. São Paulo: Páginas & Letras - Editora e Gráfica, 2010.

MARTAU, B. T. A luz além da visão. **Lume**, São Paulo, v. 7, n. 38, p. 62-68, jun. 2009. Disponível em: <http://www.lumearquitetura.com.br/pdf/ed38/ed_38%20AT%20Iluminação%20e%20Saúde.pdf>. Acesso em: 15 mar. 2019.

MORANDI, M. I. W. M., CAMARGO, L. F. R. Revisão sistemática da literatura. In: DRESCH, A., LACERDA, D. P., ANTUNES JÚNIOR, J. A. V. **Design science research**: método de pesquisa para o avanço da ciência e tecnologia. Porto Alegre: Bookman, 2015.

PAPATSIMPA, Charikleia; LINNARTZ, Jean Paul. Personalized circadian light: A digital siblings approach. **Intelligent Environments 2021: Workshop Proceedings of the 17th International Conference on Intelligent Environments**. [*S. l.*]: IOS Press, 2021. vol. 29, p. 61–70. https://doi.org/10.3233/AISE210082.

PLISCHKE, Herbert; LINEK, Matthäus; ZAUNER, Johannes. The opportunities of biodynamic lighting in homes for the elderly: Melanopic measurements and experiences from three senior citizen facilities. **Current Directions in Biomedical Engineering**, vol. 4, no. 1, p. 123–126, 1 Sep. 2018. https://doi.org/10.1515/cdbme-2018-0031.

RAYNHAM, P. How can electric lighting contribute to human health and well-being? **Lighting Research and Technology**, vol. 53, no. 5, p. 515–522, 1 Aug. 2021. https://doi.org/10.1177/14771535211003264.

SCHLEDERMANN, Kathrine M.; BJØRNER, Thomas; HANSEN, Torben Skov. Danish nursing home staff's perceived visual comfort and perceived usefulness of a circadian lighting system. 9 Sep. 2021. **GoodIT 2021 - Proceedings of the 2021 Conference on Information Technology for Social Good** [...]. [*S. l.*]: Association for Computing Machinery, Inc, 9 Sep. 2021. p. 91–96. https://doi.org/10.1145/3462203.3475881.

THORNS, P. Applying light for human health: What lighting product manufacturers need to know. **Lighting Research and Technology**, vol. 53, no. 5, p. 477–483, 1 Aug. 2021. https://doi.org/10.1177/14771535211005008.

VETTER, Céline; PATTISON, P. Morgan; HOUSER, Kevin; HERF, Michael; PHILLIPS, Andrew J.K.; WRIGHT, Kenneth P.; SKENE, Debra J.; BRAINARD, George C.; BOIVIN, Diane B.; GLICKMAN, Gena. A Review of Human Physiological Responses to Light: Implications for the Development of Integrative Lighting Solutions. **LEUKOS - Journal of Illuminating Engineering Society of North America**, 2021. https://doi.org/10.1080/15502724.2021.1872383.

AGRADECIMENTOS

À Fundação de Apoio à Pesquisa do Distrito Federal (FAP-DF) pela bolsa de doutorado.