

Maíra Vieira Dias
Paulo Sergio Scarazzato
Edson Moschim
Felipe Rudge Barbosa

i

LUMINAÇÃO e SAÚDE HUMANA:
ESTADO DA ARTE em
DISPOSITIVOS DE MEDIÇÃO DE
LUZ NO NÍVEL DOS OLHOS

210

pós-

RESUMO

Os seres humanos são essencialmente visuais e contam com a informação óptica para a maioria dos aspectos de seu cotidiano. A luz e suas influências têm sido estudadas há bastante tempo, mas são relativamente recentes as pesquisas que abordam seu impacto na saúde. Na década de 1980, a comprovação científica da ligação entre doenças depressivas e a privação da luz deixou clara a existência de outros efeitos não-visuais daquela fonte de energia. Grande salto foi dado pela *Commission Internationale de L'Éclairage* (CIE), que, em 2004 e 2006, promoveu simpósios com divulgação do extenso trabalho até então realizado para compreender como a luz interfere no metabolismo humano e em sua psique. Embora o impacto da luz na saúde humana já tenha sido demonstrado, ainda há muito a ser aprendido, principalmente sobre seus efeitos no sistema visual. Maiores níveis de iluminação nos olhos podem aumentar a atividade, o estado de alerta e o bem-estar, desde que dentro de determinados limites. Este trabalho apresenta o estado da arte referente a dispositivos de medição utilizados atualmente para avaliar como a luz influencia a saúde humana. Seu objetivo é suscitar a promoção de discussões e reflexões em uma área de investigação ainda muito pouco explorada nos meios técnico e acadêmico brasileiros.

PALAVRAS-CHAVE

Iluminação. Saúde. Sistema visual. Campo visual. Efeitos não-visuais da luz. Dispositivos de medição.

DOI: [HTTP://DX.DOI.ORG/10.11606/ISSN.2317-2762.v21i36p210-227](http://dx.doi.org/10.11606/ISSN.2317-2762.v21i36p210-227)

PÓS V.21 N.36 • SÃO PAULO • DEZEMBRO 2014

ILUMINACIÓN Y SALUD HUMANA:
ESTADO DEL ARTE EN DISPOSITIVOS
DE MEDICIÓN DE LUZ EN EL NIVEL
DE LOS OJOS

RESUMEN

Los seres humanos son esencialmente visuales y cuentan con la información óptica para la mayoría de los aspectos de su vida cotidiana. La luz y sus influencias son estudiadas hace mucho tiempo, pero son relativamente recientes las investigaciones que abordan su impacto en la salud. En la década de 1980, la evidencia científica de la relación entre los trastornos depresivos y la privación de la luz dejó en claro la existencia de otros efectos no visuales de esa fuente de energía. Gran salto ha dado la *Commission Internationale de L'Éclairage* (CIE), que, en 2004 y 2006, promovió simposios con difusión del extenso trabajo realizado hasta entonces, para entender cómo la luz afecta el metabolismo humano y su psique. Aunque ya se haya demostrado el impacto de la luz sobre la salud humana, todavía hay mucho que aprender, sobre todo acerca de sus efectos sobre el sistema visual. Mayores niveles de iluminación en los ojos pueden aumentar la actividad, el estado de alerta y el bienestar, siempre que dentro de ciertos límites. En este trabajo se presenta el estado del arte con respecto a los aparatos de medición utilizados en la actualidad para evaluar cómo la luz afecta a la salud humana. Su objetivo es provocar la promoción de debates y reflexiones sobre un área de investigación aún muy poco explorada en los medios técnico y académico brasileños.

PALABRAS CLAVE

Iluminación. Salud. Sistema visual. Campo visual. Efectos no visuales de la luz. Aparatos de medición.

LIGHTING AND HUMAN HEALTH: STATE OF ART IN EYE-LEVEL LIGHT MEASURING DEVICES

ABSTRACT

Humans are essentially visual and rely on the optic information for most aspects of their daily lives. Although light and its influences have been studied for a long time, research linking light and health is relatively recent. In the 1980s, scientific evidence of the link between depressive diseases and light privation made clear the existence of other non-visual effects of that source of energy. The *Commission Internationale de L'Éclairage* (CIE) made a great leap forward in 2004 and 2006, when it promoted two symposia in which important research that sought to understand how light affects the human metabolism and psyche was presented. Although the impact of light on human health has been widely demonstrated, there is still much to learn, especially regarding its effects on the visual system. Higher levels of lighting in the eyes may increase activity, alertness, and wellbeing, provided this happens within certain limits. This study presents the state of art concerning measuring devices currently used to assess how light affects human health. Its purpose is to promote a discussion and a reflection in an area of research still very little explored in the Brazilian technical and academic fields.

KEY WORDS

Lighting. Health. Visual system. Visual field. Non-visual effects of light. Measuring devices.

INTRODUÇÃO

Os efeitos visuais da luz e suas implicações práticas vêm sendo estudados há mais de 500 anos. Em 1489, Leonardo da Vinci expôs suas ideias sobre iluminação e ilustrou a conexão entre os olhos e o cérebro. Em 1722, o holandês Antony van Leeuwenhoek observou a presença de cones e bastonetes na retina, que, em 1834, foram confirmados pelo alemão Gottfried Treviranus como células fotorreceptoras¹, sensíveis à luz. Esta descoberta contribuiu expressivamente para a compreensão e investigação de muitos dos efeitos visuais da luz (VAN BOMMEL, 2005).

Em 1968, Wurtman concluiu que a luz não era responsável apenas pela promoção da visão, mas também por exercer tanto importantes efeitos biológicos, iniciados por respostas de células fotorreceptoras especializadas na retina, como pelo efeito direto da energia fotópica na pele e tecidos subcutâneos (WURTMAN, 1968). Poucos anos mais tarde, Flynn *et al.* (1973) divulgaram descobertas preliminares concentradas no efeito da iluminação ambiental, como um meio que afeta a impressão e o comportamento dos usuários.

Na década de 1980, foi descoberto que a iluminação cinco vezes mais brilhante que a luz de um ambiente comum contribuía para suprimir a secreção da melatonina no ser humano. Uma das primeiras aplicações a surgir, a partir do novo entendimento do papel do equilíbrio hormonal, foi o tratamento de pessoas com transtorno afetivo sazonal (*seasonal affective disorder* - SAD). Tal constatação suscitou várias questões sobre os efeitos biológicos da luz. Se a luz é um mecanismo chave para sincronizar o ritmo biológico², que outros efeitos ela poderia ter sobre a saúde, produtividade, humor e níveis de energia? Ainda nesse período, foram iniciadas pesquisas sobre como o espectro de luz afeta a dilatação e a contração da pupila, a adaptação de alto contraste e a capacidade de distinguir cores. Resultados indicaram que o controle espectral do tamanho da pupila pode ser um elemento fundamental na otimização do desempenho visual. Além de afetar a profundidade do campo visual, o tamanho da pupila influencia a forma como grande parte da lente do olho é usada para focar a imagem (SHEPARD, 1987).

Em 2002, Berson, Dunn e Takao descobriram a melanopsina, uma proteína fotorreceptiva presente no olho, encontrada em células retiniais ganglionares intrinsecamente fotossensíveis (ipRGCs)³ e mais sensíveis a comprimentos de onda em torno de 480nm. Como consequência, os efeitos não-visuais produzidos pela exposição à luz são mais acentuados, quando os comprimentos de onda são mais curtos (azul), que quando a luz está orientada para a visão (GEERDINCK; SCHLANGEN, 2006; VIOLA *et al.*, 2008).

A temática luz e saúde mereceu atenção especial da CIE, que promoveu dois simpósios sobre o assunto (CIE, 2004; CIE, 2006). A descoberta da melanopsina, em 2002, representou um “elo perdido” na compreensão de como a luz e a escuridão regulam processos fisiológicos e psicológicos no ser humano. Tal descoberta elucidou como os sinais de luz viajam através do olho por meio de

¹ Fotorreceptores contêm fotopigmentos (proteínas que absorvem luz) que são sensíveis a diferentes comprimentos de onda de radiação eletromagnética e que têm espectros de absorvância distintos (IES, 2008).

² Todos os organismos possuem alterações cíclicas dos parâmetros biológicos, como um padrão diário alternado de repouso e atividade. Este ciclo diário de dia e noite, denominado ciclo circadiano, desempenha um papel importante na regulação e manutenção de ritmos de cerca de 24 horas, em muitos aspectos da fisiologia, metabolismo e comportamento dos seres humanos. Também são comumente conhecidos como ritmo biológico ou relógio biológico (SILVERTHORN, 2010; IES, 2011; ANDERSEN, MARDALJEVIC e LOCKLEY, 2012).

³ As ipRGCs são fotorreceptores funcionalmente independentes e podem responder à radiação óptica, mesmo quando estão física ou quimicamente isoladas de outros neurônios (IES, 2008).

fotorreceptor não-visual, e permitiu progressos consideráveis nas pesquisas quanto à regulação da melatonina, cortisol e hormônios de crescimento (CIE, 2004).

Veitch (2005) afirma que há necessidade de mais estudos relacionados ao completo entendimento de como a luz afeta a saúde em todas as suas dimensões, pois atualmente nosso conhecimento está voltado para a regulação do ciclo circadiano, principalmente pela glândula pineal e a ação da melatonina. Para a autora, pesquisadores que trabalham com questões de iluminação já começaram a incorporar esse novo conhecimento, como atesta, por exemplo, o modelo de qualidade de iluminação proposto pela nona edição do *IES Lighting Handbook* (IES, 2000). Contudo muitas recomendações e ideias que estão sendo construídas sobre esse modelo ainda precisam ser mais bem exploradas e desenvolvidas.

Dando continuidade aos estudos dos efeitos não-visuais da luz na última década, Andersen, Mardaljevic e Lockley (2012) afirmam que a luz possui um efeito neuroendócrino e neurocomportamental mensurável sobre o corpo humano, principalmente para garantir um ciclo de sono/vigília saudável e para a manutenção do ciclo atividade/descanso. Ao investigar os efeitos da luz sobre a saúde humana, os autores sugerem que as evidências indicam ligações entre a exposição à luz e a saúde e produtividade.

Quanto à luz captada pelos olhos, van Bommel (2005) afirma que pesquisas médicas e biológicas têm mostrado consistentemente que a luz, além de efeito visual, tem um importante efeito biológico não-visual sobre o corpo humano. Isto significa que uma boa iluminação desempenha uma influência positiva sobre a saúde, bem-estar, estado de alerta e qualidade do sono. Hoje se sabe que os efeitos biológicos da iluminação dependem da quantidade de luz, distribuição espectral e espacial. Para a quantificação desses efeitos, todos esses parâmetros devem ser medidos.

Em pesquisas sobre a interação do homem com a luz, é comum o uso de três dispositivos de medição: o *Actiwatch-L*, fabricado pela Mini Mitter (Bend, OR, USA); e o *Daysimeter* e o *Dimesimeter*, desenvolvidos para testes de campo pelo *Lighting Research Center* (LRC), Nova York, USA. No entanto nenhum destes apresenta, de modo satisfatório, os seguintes requisitos, considerados imprescindíveis por Hubalek, Zoschg e Schierz (2006): ter baixo custo; ser apropriado a estudos de campo de longo prazo; ter capacidade de registrar a iluminância vertical e a irradiância vertical efetiva da luz azul⁴ próxima aos olhos. Visando suprir tal lacuna, os pesquisadores, vinculados à *Technischen Universität Ilmenau* (Alemanha), desenvolveram um novo dispositivo, denominado *LuxBlick*, (HUBALEK, ZOSCHG, SCHIERZ, 2006; VANDAHL *et al.*, 2011).

Na Europa, pesquisas utilizando o *LuxBlick* tiveram início em 2005, mas foram interrompidas alguns anos depois. Entretanto, para Christoph Schierz, um dos responsáveis pelo desenvolvimento do dispositivo, são urgentemente necessários, estudos que relacionem dados quantitativos com parâmetros fisiológicos ou psicológicos⁵. Por este motivo, pesquisa de doutorado em curso na Unicamp, intitulada "*Iluminação em Ambiente Industrial e sua Influência no Campo Visual dos Trabalhadores*", se propõe a investigar, a partir de uma versão brasileira do *LuxBlick*, a quantidade de luz que atinge os olhos dos trabalhadores, e como essa luz afeta seu sistema visual. A opção por estudos em ambientes industriais se deve ao fato de haver poucas pesquisas para essa tipologia de edifícios.

⁴ A irradiância vertical efetiva da luz azul é calculada como a integral do espectro ponderado da luz captada pela função c (λ) e medida na vertical, no plano do olho. A função c é definida por resultados de medição do nível de melatonina (BRAINARD *et al.*, 2001). A resposta espectral não-visual do olho aos estímulos azulados está principalmente relacionada à melanopsina e é geralmente mensurável por níveis hormonais. Os dados espectrais podem ser encontrados, por exemplo, na norma DIN 5031-100.

⁵ SCHIERZ, C. Comunicação pessoal em 13/02/2012.

Este artigo discorre sobre o estado da arte referente aos dispositivos de medição citados, além das vantagens do *LuxBlick*, na verificação das influências da iluminação no campo visual dos indivíduos. Entre estas vantagens, estão o baixo custo e a alta confiabilidade.

ESTADO DA ARTE

Os primeiros instrumentos para medição de grandezas luminosas dependiam da avaliação visual, e os métodos eram falhos, quanto à precisão e ao rigor, pois os resultados eram dependentes dos observadores que realizavam as medições. Hoje, as medições ocorrem por meio de instrumentos físicos calibrados que respondem à energia radiante, abrangendo uma faixa mais ampla que a da radiação visível, compreendida entre 380 a 780nm. Tal abrangência é importante, devido aos efeitos não-visuais que a radiação luminosa produz (IES, 2000).

Em 2004, concluiu-se ser necessário um sistema de fotometria que caracterize mais precisamente a luz emitida por diferentes fontes, em qualquer faixa do espectro. A escolha correta de tal sistema depende dos fotorreceptores assumidos como responsáveis pela visão em uma aplicação específica, e deve facilitar a especificação de iluminação mais eficaz para diferentes aplicações (REA *et al.*, 2004).

Hubalek, Zoschg e Schierz (2006) e Vandahl *et al.* (2011) relatam que, até o momento, a maioria das investigações foi realizada pela medição da iluminância (fluxo luminoso com incidência perpendicular sobre uma área) num plano vertical em frente ao olho, enquanto o campo de visão e o movimento da cabeça estão sendo ignorados. Contudo, para os efeitos biológicos não-visuais, a irradiância (potência por unidade de área da radiação incidente em uma superfície) visível dos comprimentos de onda mais curtos também são relevantes. Vandahl *et al.* (2011) alegam que ainda não foi devidamente investigada a quantidade de luz que atinge o olho durante o trabalho; essa quantidade de luz vai depender do sistema de iluminação, das propriedades de refletância do ambiente e do movimento da cabeça. Além disso, Hubalek, Zoschg e Schierz (2006) afirmam que dados sobre a exposição do olho humano à luz são essenciais, para a investigação da interação do homem com aquela fonte de energia, e, de acordo com os conhecimentos atuais, duas diferentes sensibilidades espectrais da irradiância visível são relevantes: a função da eficiência espectral luminosa para a visão (fotópica)⁶ e o espectro de ação⁷ para a supressão de melatonina.

⁶ A função de eficiência luminosa relativa para a *CIE Standard Photopic Observer* tem sensibilidade máxima a 555 nm. A visão fotópica é geralmente assumida para ocorrer quando o sistema visual opera à adaptação de luminâncias maiores que cerca de 3 cd/m². Em níveis de luz fotópica, a resposta visual retinal é dominada por fotorreceptores cones na fóvea e periferia (IES, 2008).

⁷ Um espectro de ação é uma das principais ferramentas para identificar os fotopigmentos que iniciam respostas de radiação óptica induzida. Por definição, um espectro de ação é a resposta relativa de um organismo a diferentes comprimentos de onda da radiação eletromagnética visível e não-visível (IES, 2008).

DISPOSITIVOS DE MEDIÇÃO

Nesta seção, são apresentados os mais utilizados atualmente.

ACTIWATCH-L

É um dispositivo compacto, bem estabelecido no mercado e fabricado pela Mini Mitter. Incorpora um *data logger* e é usado no pulso como um relógio (Fig. 1). Possui um acelerômetro multidirecional, para monitorar o grau e a intensidade dos



Figura 1: Actiwatch-L
Fonte: Mini Mitter ([200-]).

movimentos, com várias amostragens por segundo⁸ (BMEDICAL, [200-]; RUPP e BALKIN, 2011). Os registros de movimentos podem ser expressos graficamente por actogramas, ou relatados numericamente (MINI MITTER, [200-]). É equipado com um fotodiodo⁹ de bordo em miniatura, para medição da quantidade e duração da iluminância (PHILIPS ELECTRONICS, 2008). Pesa 17,5 g e pode medir na faixa entre 0,1 e 150.000 lux.

O nível de atividade é um indicador de diagnóstico útil para problemas médicos e pode oferecer muitas respostas, já que pode ser correlacionado com padrões de sono/vigília, nível de dor, humor, fadiga, estado de alerta e outros parâmetros quantificáveis. Rupp e Balkin (2011) relatam o uso do *Actiwatch-L* como uma alternativa para a polissonografia (PSG), que usa a eletroencefalografia (EEG) para registrar a atividade do cérebro. Os dados obtidos pela PSG podem ser usados para caracterizar e quantificar as características e as fases do sono.

As vantagens se encontram na objetividade, portabilidade e conveniência (LICHSTEIN *et al.*, 2006). O *Actiwatch-L* interpreta os dados de atividade e inatividade, de forma que a atividade está relacionada à vigília, e a inatividade, ao sono (RUPP e BALKIN, 2011). Por estar livre de eletrodos, pode ser usado continuamente durante o dia e a noite, por períodos maiores que uma semana. Há ainda a facilidade de uso por pessoas que não podem preencher registros do sono, como crianças ou adultos que não sabem/podem ler ou escrever; o fato de ser não invasivo; e ser mais propício a medidas repetidas (LICHSTEIN *et al.*, 2006).

A desvantagem está na interpretação da inatividade como período de sono. Diferenças individuais de padrões de movimento, especialmente entre as pessoas com insônia, impedem o potencial de ação da actigrafia. Como registra os movimentos, quando a pessoa está imóvel na cama, mesmo acordada, o dispositivo erroneamente caracteriza esse dado como sono. Pessoas que sofrem de insônia permanecem longo tempo acordadas na cama, imóveis e sem conseguir dormir. Esta interpretação errônea compromete alguns estudos e, conseqüentemente, a aplicação do dispositivo (LICHSTEIN *et al.*, 2006).

Pesquisa realizada pela Philips Electronics (2008) comparou o *Actiwatch-L*, o *Actiwatch 2* (ambos com fotodiodo em miniatura, para medição da iluminância) e o *Actiwatch Spectrum* (equipado com sensores múltiplos, para medição da irradiância e fluxo de fótons em três bandas de cor, assim como da iluminância). Os dados registrados mostraram o excelente desempenho e concordância dos três dispositivos, para registrar a iluminância sob condições laboratoriais, e condições de iluminação em ambientes reais que abrangem uma gama de níveis de iluminância comumente encontradas. No entanto apenas o *Actiwatch Spectrum* foi capaz de mostrar que as diversas fontes de luz contêm níveis variáveis de luz em três comprimentos de onda, correspondentes à luz vermelha, à verde e à azul.

DAYSIMETER

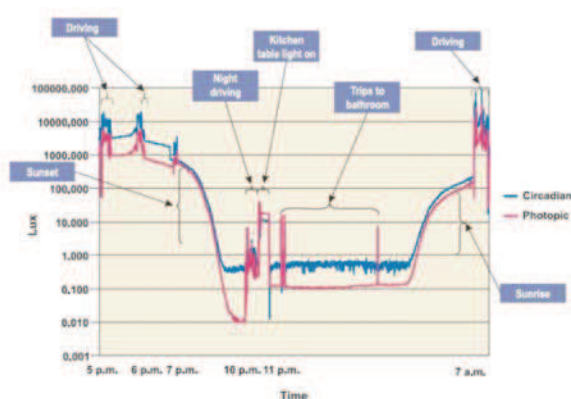
Desenvolvido pelo LRC em 2004, é leve, pequeno e projetado especificamente para estudos de campo. Usado na cabeça (Fig. 2), mede e registra as estimativas de exposição à radiação para o sistema visual e circadiano, por um período prolongado de tempo (BIERMAN, KLEIN, REA, 2005; TAYLOR, 2005; REA *et al.*, 2008; FIGUEIRO, PLITNICK, 2010; MILLER *et al.*, 2010; FIGUEIRO, 2012; FIGUEIRO, REA, HAMMER, 2012). Além de gravar as medições de radiação

⁸ A técnica de utilização, no pulso, de instrumentos sensíveis ao movimento e que registram atividade ao longo do tempo, é conhecida como actigrafia.

⁹ Fotodiodos são fotodetectores que reagem a estímulos externos como a luz, mais comumente utilizados para medições de fotometria e radiometria. São feitos de materiais como silício, germânio, índio-gálio-arseneto (InGaAs). Os fotodiodos de silício apresentam sensibilidade UV para a região próxima à região IR do espectro, e sua responsividade espectral aumenta de modo linear ao comprimento de onda na região visível do espectro (IES, 2011).



Figura 2: À esquerda, a primeira versão do *Daysimeter*, montado sobre a cabeça. À direita, medições fotópica e circadiana. Fonte: LRC (2013).



ponderada espectralmente, registra a posição e o movimento da cabeça, pois, assim como o *Actiwatch-L*, interpreta dados de atividade e inatividade do sistema circadiano (BIERMAN, KLEIN, REA, 2005; FIGUEIRO, PLITNICK, 2010; LRC, 2013).

Mede os níveis de luz tradicionais (fotópico) e níveis de luz azul, que correspondem à sensibilidade espectral do sistema circadiano (TAYLOR, 2005; REA *et al.*, 2010), no plano de uma das córneas (MILLER *et al.*, 2010; FIGUEIRO, 2012). Portanto é calibrado em termos de iluminância fotópica (lux), iluminância circadiana e da sensibilidade absoluta do sistema circadiano humano (FIGUEIRO, 2012).

Usado para medir os padrões de claro/escuro e de atividade/descanso (TAYLOR, 2005; FIGUEIRO, 2012), o *Daysimeter* é pioneiro em oferecer uma caracterização precisa e completa da exposição à luz circadiana (TAYLOR, 2005). De acordo com o LRC, os dispositivos de medição existentes até o momento eram calibrados para representar a sensibilidade do sistema visual humano; entretanto o sistema circadiano responde de maneira dramaticamente diferente à luz. Nesse sentido, o *Daysimeter* é o primeiro dispositivo para medir precisamente e caracterizar a luz (em intensidade, espectro, distribuição espacial, tempo e duração) que entra nos olhos e afeta o relógio biológico (LRC, 2013). Cada *Daysimeter* apresenta sua própria calibração espectral, espacial e absoluta de luz, para que, após o processamento, seja possível quantificar as exposições individuais de iluminância circadiana (REA *et al.*, 2010).

Em relação ao sistema visual, o sistema circadiano possui um limiar de ativação maior, com um pico de sensibilidade espectral a comprimentos de onda curta, que tem uma maior sensibilidade à luz na parte inferior da retina. Isso ocorre porque os componentes do campo visual não contribuem igualmente para o sinal enviado a partir da retina para o sistema nervoso central. A metade inferior da retina produz uma maior supressão da melatonina que a metade superior para a mesma exposição à luz (GLICKMAN, HANIFIN e ROLLAG *et al.*, 2003). Isto exige um maior tempo de exposição à luz, para sua ativação (BIERMAN, KLEIN, REA, 2005; REA *et al.*, 2008). O *Daysimeter* foi projetado levando em conta esses aspectos, mas, como a ciência da fototransdução circadiana continua a emergir, são necessários refinamentos no sistema. Como o sistema circadiano difere do visual em termos de respostas espectrais e geométricas, o dispositivo usou suposições simplificadas sobre essas duas características (BIERMAN, KLEIN, REA, 2005).

Os autores relatam ainda que os movimentos do corpo e da cabeça podem criar grande variação na exposição à radiação circadiana. Como o sistema circadiano é muito mais lento, para responder à taxa em que estes movimentos ocorrem, é necessário integrar a exposição à radiação circadiana durante um período de tempo prolongado, para quantificar o estímulo circadiano com precisão. Como esta exposição à radiação ocorre pelos olhos, o *Daysimeter* foi concebido para ser usado sobre a cabeça e para registrar sua posição ao longo de uma sessão de registro. Deste modo, seria possível obter resultados mais precisos para aplicações práticas, em que as pessoas constantemente movem a cabeça e o corpo, durante os

períodos em que a radiação óptica afeta o sistema circadiano. Por outro lado, Bierman, Klein e Rea (2005) alertam que os padrões de atividade têm sido muitas vezes utilizados como uma medida do tempo dos sistemas circadianos. É preciso que esses padrões registrados possam ser usados para caracterizar a magnitude do efeito da exposição à radiação circadiana, em diferentes momentos do dia.

O *Daysimeter* contém um sensor óptico (um fotodiodo de silício) com filtro de vidro convencional, com sensibilidade espectral muito próxima à função de eficiência luminosa fotópica padrão. A função eficiência luminosa fotópica $[V(\lambda)]$ da CIE é baseada na quantidade relativa de energia de cada comprimento de onda necessário para produzir uma resposta criteriosa ao brilho, em um segundo campo de visão da fóvea, e picos a 555 nm. O conceito atual da luz é baseado unicamente na resposta visual de seres humanos, embora outras espécies sejam sensíveis a diferentes partes do espectro eletromagnético. Estas outras espécies têm diferentes fotopigmentos, para conversão da energia radiante em sinais neurais para a visão (IES, 2008).

Um vidro difusor opaco é montado à frente do detector e modifica as características espaciais do sensor, imitando a resposta espacial do olho. O fotodiodo de silício, o filtro de vidro e o vidro difusor são montados em um tubo de bronze com paredes finas, para fornecer proteção mecânica e blindagem elétrica (BIERMAN, KLEIN, REA, 2005; JERNIGAN, 2009; MILLER *et al.*, 2010).

Outro sensor, de comprimento de onda curta (azul) e fabricado a partir de um fotodiodo de arseneto de gálio (GaAsP), conta com um filtro de vidro para bloqueio de radiação UV. O sensor azul responde apenas à luz de comprimentos de onda mais curtos que 570 nm, com pico de sensibilidade espectral a 470 nm. Para limitar a sensibilidade UV indesejada deste segundo sensor e proporcionar o corte adequado do comprimento de onda curta, é usado um filtro de vidro colorido. O sensor azul também incorpora um vidro difusor e é igualmente montado em um tubo. Os dois sensores são montados lado a lado, na extremidade de uma placa de um circuito impresso, criando uma unidade compacta ao lado da cabeça, com os difusores próximos ao plano da córnea (BIERMAN, KLEIN, REA, 2005; JERNIGAN, 2009; MILLER *et al.*, 2010).

Deve ser enfatizado que a atividade medida pelo *Daysimeter* não é uma medida direta do relógio endógeno do sistema nervoso central (REA *et al.*, 2008). As funcionalidades chave do dispositivo incluem medidas fotópicas, da exposição à radiação circadiana, do ângulo da cabeça, da atividade e registro de dados (BIERMAN, KLEIN, REA, 2005).

Figueiro, Rea e Hammer (2012) examinaram a exposição à luz em diferentes grupos (entre eles um grupo de enfermeiros que trabalham em rotação de turno), e sua relação com a produção de melatonina. Os indivíduos usaram o *Daysimeter* por cinco a sete dias e mantiveram um registro do sono. Os dados obtidos ajudaram a elucidar a compreensão da exposição à luz em diferentes populações e, além disto, oferecem oportunidades para novas análises. A dificuldade encontrada residiu no fato de existirem poucos relatos sobre a exposição à luz em ambientes domésticos e de trabalho, durante o dia e a noite. Os autores enfatizam que o *Daysimeter* torna possível medir as exposições reais de luz circadiana¹⁰, e estas medições podem ajudar a compreender possíveis melhorias nas condições de iluminação, colaborando para minimizar a incidência de doenças associadas a perturbações do sistema circadiano.

¹⁰ A definição de luz circadiana é baseada no potencial de luz para suprimir a síntese de melatonina durante a noite, em oposição à medição de luz com o estímulo do sistema visual (FIGUEIRO, PLITNICK, 2010).

Rea *et al.* (2010) acreditam que pesquisas futuras utilizarão instrumentos como o *Daysimeter* para desenvolver, por exemplo, novos horários de turno de trabalho, novas práticas de arquitetura e novas fontes de luz, que dependerão da nossa capacidade coletiva para medir e calcular a luz circadiana. Os dados obtidos nos estudos terão grande potencial para ajudar no entendimento do impacto da interrupção circadiana na saúde humana, já que, pela primeira vez, pesquisadores e médicos poderão realmente medir a interrupção circadiana nos indivíduos.

DIMESIMETER

Pode registrar a luz circadiana e a atividade, durante longos períodos de tempo. Também desenvolvido pelo LRC, é uma versão atual do *Daysimeter*. Contém um conjunto de sensores, vermelho, verde e azul (RGB), e apresenta tamanho reduzido (cerca de 2 cm de diâmetro), podendo ser usado como um broche, pingente ou fixado em óculos, colarinhos de camisas ou no pulso (Fig. 3). Esta flexibilidade de uso aumenta as chances de conformidade, quando se trabalha com várias populações (FIGUEIRO *et al.*, 2010; MULLANEY, 2012; LRC, 2013).

Seu tamanho reduzido permite o exame dos padrões de claro/escuro e atividade/descanso, em grupos que apresentam distúrbios do sono circadiano, como pacientes com doença de Alzheimer. Esta determinação pode ser feita antes e depois de intervenções de iluminação, que foram projetadas para afetar ao máximo o sistema circadiano durante o dia. O dispositivo fornece uma medida objetiva dos níveis de exposição à luz do dia e da noite, e os canais RGB permitem a medição da cromaticidade das fontes luminosas (MULLANEY, 2012; LRC, 2013).

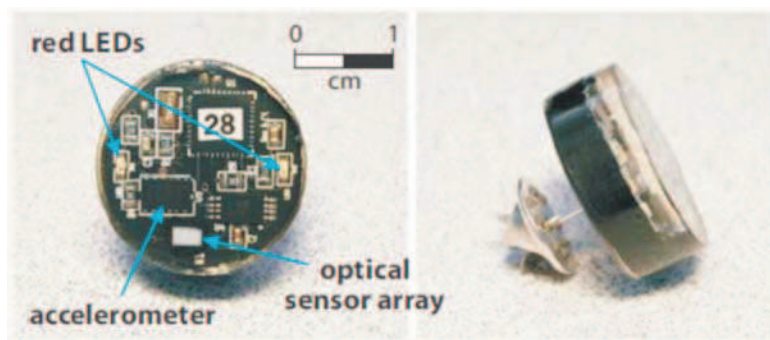
Os dados obtidos são processados para calcular uma correlação cruzada de dados, de exposição de claro/escuro e atividade/descanso. Pesquisadores do LRC explicam que esta correlação cruzada é denominada análise fasorial e integra o *Dimesimeter* e o *Daysimeter*. Os dados são automaticamente formatados, em gráficos de fácil leitura e que definem o estado atual do sistema circadiano das pessoas, a partir do qual as principais decisões prescritivas de diagnóstico podem ser feitas (FIGUEIRO *et al.*, 2010; MULLANEY, 2012; LRC, 2013).

É um dispositivo eletrônico autossuficiente, encapsulado em epóxi e alimentado por uma bateria, que se comunica com uma *docking station* através de uma interface óptica a um computador (LRC, 2013). Calibrado em termos de sensibilidade espectral dos sistemas visual e circadiano, já que o sistema circadiano é mais sensível à luz de comprimento de onda curta, o dispositivo também apresenta um acelerômetro, e pode ser usado continuamente, por até 30

dias. Selado em acrílico fundido, para impermeabilização à água, sua bateria fornece energia por pelo menos três meses, enquanto dados contínuos são registrados (FIGUEIRO *et al.*, 2010).

O sensoriamento de luz ocorre através de um circuito integrado de sensores, que inclui filtros ópticos para canais de medição RGB e infravermelho (IR)

Figura 3: *Dimesimeter*.
Fonte: LRC (2011).



(LRC, 2011; 2013). Um acelerômetro monolítico mede as acelerações em cada um dos planos. A *docking station* possui dois sensores ópticos e três diodos emissores de luz (LED). O *software* controla a *docking station* e permite a edição de comandos para recuperação de dados. Quando os comandos são emitidos pelo *software*, sequências únicas de pulsos de luz geradas pela *docking station* são lidas pelo sensor óptico, que interpreta o comando. Os dados salvos trazem o intervalo de registro, carimbo de tempo, voltagem da bateria, dados de luz e dados de atividade. Após os dados serem baixados, um processo separado do *software* informa quais são estes dados, e aplica os fatores de calibração (LRC, 2011; 2013). O microprocessador tem o papel de iniciar e comunicar-se com a matriz de sensores ópticos e o acelerômetro, fornecendo sinais do tempo, desempenhando os cálculos solicitados para medir e processar dados de luz e atividade, e armazenando dados de controle e funções de recuperação (LRC, 2011).

De acordo com o fabricante dos sensores, os fotoelementos R, G, B e IR têm respostas espectrais com pico a 615 nm, 530 nm, 460 nm e 855 nm, respectivamente. A área de sensoriamento óptico é de aproximadamente 2 mm², constituindo um mosaico de 40 fotoelementos filtrados, alternando R, G, B e IR. Os canais R,G, B e IR incluem um conversor de digital a analógico e uma interface de comunicação com circuito integrado, para retransmitir dados para o microprocessador. Outro conversor, de analógico a digital, transforma os sinais a partir de cada canal. Um filtro bloqueador IR é fixado sobre a matriz de sensor óptico, assim como um vidro difusor também foi montado nessa mesma matriz, sobre o filtro, de modo que a resposta direcional do pacote de sensores do *Dimesimeter* siga uma distribuição de sensibilidade tridimensional para luz incidente (LRC, 2011).

Figueiro e Rea (2011) compararam o *Actiwatch-L*, o *Daysimeter* e o *Dimesimeter*, e concluíram que mesmo o *Daysimeter* sendo utilizado na cabeça, para medir como a luz incidente no plano da córnea poderia afetar o sistema circadiano, o *Dimesimeter* apresentou ângulos e magnitudes fasoriais similares, mesmo com as quantidades absolutas de registro de luz e atividade tendo se diferenciado consideravelmente. Essas quantidades também diferiram, quando o *Dimesimeter* foi usado em diferentes locais do corpo. Em relação ao *Actiwatch-L*, os resultados também diferiram, porque esse dispositivo não foi calibrado para qualquer conhecimento padrão, e os valores obtidos devem ser considerados apenas como qualitativos.

A nova técnica de medição e análise fasorial foi relatada pelo LRC como uma nova abordagem para quantificar o nível de perturbação circadiana, pois representa o próximo passo lógico, na compreensão do impacto da interrupção circadiana na saúde humana. O dispositivo também poderá auxiliar a estabelecer se a terapia de luz será eficaz no ambiente doméstico (MULLANEY, 2012).

LUXBLICK

Pelas razões mencionadas, fez-se necessária a criação de um dispositivo de medição de baixo custo, para estudos de campo de longo prazo, que registrasse tanto a iluminância vertical, como a irradiância vertical efetiva da luz azul próxima aos olhos (HUBALEK, ZOSCHG, SCHIERZ, 2006; VANDAHL *et al.*, 2011). O *LuxBlick*, foi desenvolvido com base na necessidade por dados adicionais, em

função do espectro e tempo de integração da radiação pelo sistema visual, identificados na conferência “*Licht 2002*”, em Maastricht (Holanda). O objetivo do sistema é oferecer dados estatísticos das iluminâncias expostas nos locais de trabalho, e as distribuições de frequências dos movimentos dos olhos associadas às distribuições de luminância no ambiente (HUBALEK, SCHIERZ, 2005).

O dispositivo é menor e mais leve que outros dispositivos de medição existentes (*Actiwatch-L* e *Daysimeter*), de modo que não chama a atenção, nem causa tensão na cabeça e no pescoço. Pode ainda ser aplicado em estudos cronobiológicos e comportamentais, a fim de investigar o uso da luz ou dos sistemas de sombreamento de janelas. Como é medida a luz ponderada para duas diferentes sensibilidades espectrais, mudanças de direção de luz, de cor mais quente ou mais fria, são rastreáveis (HUBALEK, ZOSCHG, SCHIERZ, 2006).

Contém dois sensores de luz, que são colocados em armações de óculos ou na própria lente (fora do campo de visão) (Fig. 4) e são conectados, por um cabo trançado, à unidade de controle, onde os dados são gravados, em um minicomputador envolto por uma bolsa, ao redor da cintura dos usuários. Como o *Daysimeter* e o *Dimesimeter*, conta com sensores de silício acondicionados em uma embalagem plástica impermeável à luz. São usadas duas baterias de 1,5 V para o microcomputador, e uma bateria de 9 V para a unidade de controle. Por ser um dispositivo leve, os usuários podem usá-lo ao longo do dia de trabalho, sem que ele interfira nas atividades e comprometa a ergonomia. É capaz de medir a iluminância e a irradiação de luz azul durante vários dias, com uma resolução temporal de 1s, e salvar os valores medidos de forma contínua (HUBALEK, ZOSCHG, SCHIERZ, 2006; VANDAHL *et al.*, 2011).

Mesmo apresentando baixa tensão de bateria, a medição da iluminância varia em até 5.000 lx e, para o sensor de luz azul, até 7,5 $\mu\text{W}/\text{nm}^2$. Para garantir a voltagem superior a 5 V e propor funcionalidade, mesmo com alta irradiância durante as medições, as baterias devem ser trocadas diariamente. As baterias do microcomputador têm capacidade de cerca de 2.300 mAh, e também devem ser trocadas e recarregadas diariamente (HUBALEK, ZOSCHG, SCHIERZ, 2006).

Os dados registrados são otimizados, para identificar os movimentos da cabeça e filtrar oscilações das lâmpadas. Para detectar até mesmo movimentos rápidos, os valores de iluminância e irradiância efetiva da luz azul são transferidos alternadamente, a cada 100 ms, para a unidade de controle. Diferentemente dos outros dispositivos citados, os dados registrados são acessíveis aos usuários, e isso é vantajoso, já que esse acesso permite que eles iniciem e terminem as medições e ainda verifiquem se o dispositivo está funcionando corretamente. Esse acesso pode ainda contribuir para aumentar a consciência dos usuários sobre as condições de luz no ambiente (HUBALEK, ZOSCHG, SCHIERZ, 2006).

Em experimento de campo, Hubalek, Zoschg e Schierz (2006) coletaram dados de exposição de iluminâncias em diferentes locais de trabalho, durante dias normais de trabalho, no período compreendido entre a manhã e a noite. A Fig. 5 mostra o registro do *LuxBlick* para três pessoas, em um escritório onde a iluminância média em torno de 250 lx no olho era comum. A jornada de trabalho ocorreu em abril de 2005, na Suíça. Os picos representam pontos de visão em relação à janela, ou a outra fonte de luz artificial. O nível de luz aumenta rapidamente, logo que a luz solar adentra o ambiente, ou quando a pessoa se dirige ao ambiente externo.



Figura 4: *LuxBlick* - Dois sensores são fixados na armação de óculos.
Fonte: Hubalek, Zoschg e Schierz (2005).

¹¹ Para descrever os efeitos da radiação visível, é preciso valores de iluminância e irradiância efetiva para os efeitos não-biológicos. A relação desses valores é obtida através do fator de impacto circadiano (a_{cv}). O a_{cv} descreve a relação de intensidade de iluminância da luz azul. Mais informações ver Hubalek, Zoschg e Schierz (2006).

¹² A LMT possui duas versões dos dispositivos *Pocket-lux*. O luxímetro nível A faz leituras de 0.1lx a 199.990lx, enquanto o luxímetro nível B, de 0.01lx a 19.999lx.

janelas paralelas, para as pessoas terem a vista do ambiente externo. Como a janela do indivíduo 05 está na face oeste, a iluminância aumentava à tarde. A janela do indivíduo 09 é orientada para o leste, a luz solar direta entra no ambiente pela manhã, e as persianas são fechadas logo após as 9 da manhã. Para o indivíduo 14, as janelas na face sul são fechadas mais tarde, por volta das 10h 30min da manhã. Nota-se que, por volta das 12h 45min às 13h 15min, entrou mais luz nos olhos das pessoas. Similarmente ao sensor de iluminância, o sensor de luz azul retratou o aumento dos valores, no intervalo do almoço. O fator de impacto circadiano (a_{cv})¹¹ caiu nesse intervalo, indicando que o indivíduo ficou em um ambiente com luz com cores mais quentes, provavelmente com menores índices de iluminação natural, e mais luz artificial. Essa hipótese foi posteriormente verificada, através de um diário de programação mantido pelos usuários (HUBALEK, ZOSCHG, SCHIERZ, 2006).

Hubalek, Zoschg e Schierz (2006) relatam que, para verificar a linearidade do *LuxBlick*, foram realizadas medições comparativas, para diferentes níveis de luz. Foram produzidos 10 dispositivos idênticos, calibrados através de uma caixa de luz com uma superfície difusa e iluminada por lâmpadas fluorescentes brancas frias TLD 18W/94 da Philips. Foram usados filtros cinza, para alcançar diferentes níveis de luz, e os dados de iluminância foram ajustados para valores de um

dispositivo *Pocket-lux* da LMT - um luxímetro nível B¹² devidamente calibrado. Dados de luz azul foram calculados pelo valor conhecido do a_{cv} para a lâmpada fluorescente branca. As relações de valores entre o *LuxBlick* e as fotocélulas *Pocket-lux* não mostraram nenhum erro sistemático para os 10 dispositivos. Segundo os autores, medições relativas de incerteza para a linearidade do *LuxBlick* é de cerca de 6% para a iluminância, e 10% para os dados do sensor de luz azul (expressos com dois desvios padrões de todas as diferenças relativas determinadas). Também foram realizadas medições comparativas adicionais, para diferentes temperaturas de cor e fatores de renderização de cores.

Outras pesquisas de campo, realizadas sob diferentes condições de iluminação, para verificar a influência da luz do dia no bem-estar e na qualidade do sono em

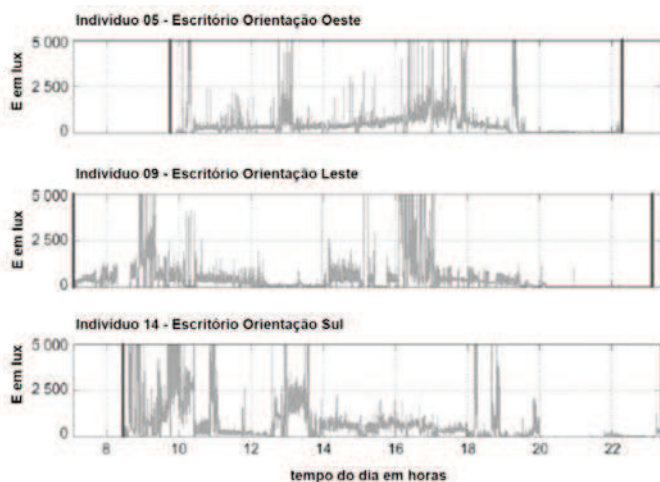


Figura 5: Registro de iluminâncias (E em lux) para 3 indivíduos distintos. A jornada de trabalho ocorreu em 14 de abril de 2005 na Suíça, com tempo ensolarado.
Fonte: Traduzido de Hubalek, Zoschg e Schierz (2006)

trabalhadores industriais, encontraram fortes evidências dos efeitos biológicos não-visuais da luz. Os estudos também demonstraram que tanto o *LuxBlick*, quanto a metodologia desenvolvida forneceram bases para futuras investigações sobre esses efeitos (HUBALEK, 2007). De acordo com Bieske, Vandahl e Schierz (2011), ainda precisa ser discutido se esses efeitos biológicos não-visuais encontrados são de natureza psicológica ou fisiológica.

DISCUSSÃO E COMENTÁRIOS

Mesmo com os avanços obtidos nos últimos anos, muito sobre a luz e sua influência na saúde ainda permanece desconhecido. Presenciamos um grande aumento no número de pesquisas envolvendo a luz e o sistema circadiano, mas ainda são escassas as pesquisas sobre a questão de luz e suas interferências na saúde e produtividade no local de trabalho.

Observa-se que, nos estudos envolvendo a validação da actigrafia, a insônia não pode ser totalmente caracterizada. Isto se deve ao fato de os dispositivos usados para esse fim, como é o caso do *Actiwatch-L*, interpretarem a ausência de movimento como período de sono. Embora tenha um fotodiodo para medir a quantidade e a duração da iluminância, ele não parece eficaz para a obtenção de dados quantitativos, pois, sendo usado no pulso, o fotodiodo não poderá fazer a leitura precisa da luz incidente no plano das córneas.

O *Daysimeter* foi desenvolvido e testado para ajudar o progresso em direção a um sistema de dosimetria circadiano. No entanto opera apenas no plano de uma das córneas. Pesquisas envolvendo o dispositivo estão voltadas para a medição dos padrões de claro/escuro e de atividade/descanso, buscando caracterizar como a luz afeta o sistema circadiano.

O *Dimesimeter*, por sua vez, pode ser usado em vários locais do corpo. Quando fixado em armações de óculos, ainda registra a radiação óptica incidente próxima aos olhos, mas estudos indicaram que, quando o dispositivo foi colocado em outras partes do corpo, foram encontradas diferenças nas quantidades absolutas no registro da luz.

O *LuxBlick*, segundo seus criadores, mostrou-se adequado para medir a luz incidente no olho humano, em estudos experimentais. Contudo alguns aspectos devem ser considerados. Segundo Hubalek, Zoschg e Schierz (2006), como as medições são feitas próximas ao olho, apenas a irradiância facial tem sido registrada, e não a irradiância retinal efetiva. Seria necessário dispor de um detector de exposição retinal, para considerar os parâmetros biométricos e ópticos, que são extremamente variáveis no olho humano; no entanto a conversão dos dados faciais não é feita de maneira simples. Há que se ponderar que a área da retina, responsável pelos efeitos biológicos, é ativada e regenerada pela luz, mas seu tamanho e localização ainda não foram consistentemente investigados. Por último, qualquer detector fixo não levará em conta o ângulo da linha de visão causada pelo movimento dos olhos.

Os autores apontam que, ao contrário dos outros dispositivos, a gama de medição para a irradiância visível é limitada com o *LuxBlick*. De modo geral, o dispositivo é menos adequado para medições absolutas e medições de valores muito baixos, embora a iluminância seja medida de forma satisfatória.

Dentre os dispositivos apresentados, os criados pelo LRC (*Daysimeter* e *Dimesimeter*) destinam-se a pesquisas que visam compreender como a luz influencia o ciclo circadiano, e estão em estágio bastante evoluído. Por outro lado, ainda carece de melhor compreensão o quanto a luz afeta o sistema visual humano, e o *LuxBlick* foi idealizado para suprir tal carência.

Como a iluminação pode facilitar ou restringir as ações humanas, no ambiente de trabalho, através do sistema visual, há necessidade de integrar os aspectos qualitativos e quantitativos da luz na qualidade de iluminação, de modo a atender às exigências humanas e funcionais. É preciso correlacionar a quantidade de luz que atinge o olho humano durante a atividade laboral com os aspectos fisiológicos e psicológicos, para traçar um diagnóstico mais amplo da qualidade de iluminação no ambiente de trabalho. Tal medida poderá criar um ambiente capaz de propiciar bem-estar, maior segurança e conforto visual para o desempenho das atividades e, conseqüentemente, gerar condições de maior lucratividade.

REFERÊNCIAS

- ANDERSEN, M.; MARDALJEVIC, J.; LOCKLEY, S. W. A framework for predicting the non-visual effects of daylight - Part I: photobiology - based model. *Lighting Research and Technology*, United Kingdom, v. 44, p. 37-53, 2012. DOI: 10.1177/1477153511435961
- BERSON, D. M.; DUNN, F. A.; TAKAO, M. Phototransduction by retinal ganglion cells that set the circadian clock. *Science*, Washington, D. C., v. 295, n. 5557, p. 1070-1073, 2002. DOI: 10.1126/science.1067262
- BIERMAN, A.; KLEIN, T. R.; REA, M. S. The Daysimeter: a device for measuring optical radiation as a stimulus for the human circadian system. *Measurement Science and Technology*, United Kingdom, v. 16, p. 2292-2299, 2005. DOI: 10.1088/0957-0233/16/11/023
- BIESKE, K.; VANDAHL, C.; SCHIERZ, C. *Projekt Licht und Gesundheit - feldstudie in Industriebetrieben*. TU Ilmenau: Abschlussbereich, 2011. 104 p.
- BMEDICAL. *Actigraphy*. Austrália: BMedical, [200-]. Disponível em: <<http://bmedical.com.au/shop/fatigue-heat-stress/actigraphy.htm>>. Acesso em: 30 dez. 2012.
- BOYCE, P. R. *Human factors in lighting*. 2nd ed. Londres: Taylor & Francis, 2003. 421 p.
- BRAINARD, G. C. et al. Action spectrum for melatonin regulation in humans: evidence for a novel circadian photoreceptor. *The Journal of Neuroscience*, Washington, D. C., v. 21, n. 16, p. 6405-6412, 2001.
- COMMISSION INTERNATIONALE DE L'ÉCLAIRAGE (CIE). *Light and health: non-visual effects*. Vienna: CIE, 2004. 269 p.
- COMMISSION INTERNATIONALE DE L'ÉCLAIRAGE (CIE). *Light and health: non-visual effects*. Ottawa: CIE, 2006. 240 p.
- FIGUEIRO, M. G. Lessons from the Daysimeter: can circadian disruption in individuals with Alzheimer's disease be measured? *Neurodegenerative Disease Management*, United Kingdom, v. 2, n. 6, p. 553-556, 2012. DOI: 10.2217/nmt.12.56
- FIGUEIRO, M. G. et al. The Dimesimeter: a user-friendly circadian light meter. *Lighting Research Center*, 2010. Disponível em: <http://www.lrc.rpi.edu/programs/lightHealth/pdf/mHealth_DimesimeterPoster.pdf>. Acesso em: 18 mar. 2013.
- FIGUEIRO, M. G.; PLITNICK, B. Light and productivity. Examining how light impacts teenagers' sleeping habits. *Architectural Lighting*, 2010. Disponível em: <http://www.archlighting.com/research/light-and-productivity_1.aspx>. Acesso em: 08 mar. 2013.

- FIGUEIRO, M. G.; REA, M. S. New tools to measure light exposure, activity, and circadian disruption in older adults. In: Sleep 2011. *Proceedings*. Mineapolis: Annual Meeting of the Associated Professional Sleep Societies, 2011. Poster. Disponível em: <http://www.lrc.rpi.edu/programs/lighthealth/pdf/2011SLEEPposter_0943.pdf>. Acesso em 05 jan. 2012.
- FIGUEIRO, M. G.; REA, M. S.; HAMMER, R. Calibrated personal light exposures as they might affect melatonin suppression in different populations. In: EXPERIENCING LIGHT 2012. *Proceedings*. Netherlands: Experiencing Light, 2012. Disponível em: <<http://www.experiencinglight.nl/doc/9.pdf>>. Acesso em: 05 mar. 2013.
- FLYNN, J. E. et al. Interim study of procedures for investigating the effect of light on impression and behavior. *Journal of IES*, New York, p. 87-94, 1973.
- GEERDINCK, L. M.; SCHLANGEN, L. J. M. Well-being effects of high color temperature lighting in office and industry. In: CIE EXPERT SYMPOSIUM 2006. *Lighting and Health. Proceedings*. Canadá: CIE Expert Symposium, 2006, p. 126-130.
- GLICKMAN, G.; HANIFIN, J. P.; ROLLAG, M. D.; WANG, J. Inferior retinal light exposure is more effective than superior retinal exposure in suppressing melatonin in humans. *Journal of Biological Rhythms*, United Kingdom, v. 18, n. 1, p. 71-79, 2003. DOI: 10.1177/0748730402239678
- GÓVEN, T.; LAIKE, T.; PENDSE, B.; SJOBERG, K. The background luminance and colour temperatures influence on alertness and mental health. CIE 2006. *Light and Health: Non-Visual Effects*. Ottawa: CIE, 2006, p.135-139.
- HUBALEK, S. *LuxBlick*: messung der täglichen Lichtexposition zur Beurteilung der nicht-visuellen Lichtwirkungen über das Auge. PhD thesis, TU Ilmenau, 2007. Appendix in ETH E-Collection: <<http://e-collection.ethbib.ethz.ch/view/eth:29804>>. Shaker Verlag, 2008.
- HUBALEK, S.; SCHIERZ, C. LichtBlick - photometrical situation and eye movements at VDU work places. In: Europaischer Lichtkongress Lux Europa 2005 - Lighting for humans. *Proceedings*. Berlin: Lux Europa, p. 404-407, 2005.
- HUBALEK, S.; ZOSCHG, D.; SCHIERZ, C. Ambulant recording of light for vision and non-visual biological effects. *Lighting Research & Technology*, v. 38, n. 4, p. 314-324, 2006. Disponível em: <<http://booksc.org/book/11384541>>. Acesso em: 05 out. 2011.
- HUBALEK, S.; ZOSCHG, D.; SCHIERZ, C. *LuxBlick* - a measurement device for recording the vertical illuminance and the effective irradiance regarding chronobiological effects. Poster at the 17th Annual Meeting of the Society for Light Treatment and Biological Rhythms (SLTBR), Eindhoven NL; 2005. Disponível em: <<http://www.zoa.ethz.ch/research/groups/physics/publications/Poster5.pdf>>. Acesso em: 12 nov. 2011.
- ILLUMINATING ENGINEERING SOCIETY OF NORTH AMERICA (IES). *IES TM-18-08 light and human health: an overview of the impact of optical radiation on visual, circadian, neuroendocrine and neurobehavioral responses*. 1st ed. New York: IES, 2008. 29 p.
- ILLUMINATING ENGINEERING SOCIETY OF NORTH AMERICA (IES). *Lighting Handbook*. 9th ed. New York: IES, 2000. 1037 p.
- ILLUMINATING ENGINEERING SOCIETY OF NORTH AMERICA (IES). *Lighting Handbook*. 10th ed. New York: IES, 2011. 1328 p.
- JERNIGAN, R. C. *Light studies focus on circadian rhythms*. Massachusetts: BioPhotonics, 2009. Disponível em: <www.photonics.com/Article.aspx?AID=38995>. Acesso em: 08 mar. 2013.
- LICHSTEIN, K. L.; STONE, K. C.; DONALDSON, J.; NAU, S. D.; SOEFFING, J. P.; MURRAY, D.; LESTER, K. W.; AGUILLARD, R. N. Actigraphy validation with insomnia. *Sleep*, Illinois, v. 29, n. 2, p. 232-239, 2006.
- LIGHTING RESEARCH CENTER (LRC). *Dimesimeter*: light and activity measurement system description and calibration. EUA: LRC, 2011. Disponível em: <<http://www.lrc.rpi.edu/programs/LightHealth/pdf/DimesimeterDoc.pdf>>. Acesso em: 05 mar. 2013.
- LIGHTING RESEARCH CENTER (LRC). *The Daysimeter*. Measuring light that affects the human circadian system. EUA: LRC, 2013. Disponível em: <<http://www.lrc.rpi.edu/resources/newsroom/pdf/2006/DaysimeterProject.pdf>>. Acesso em: 08 mar. 2013.

- MILLER, D.; BIERMAN, A.; FIGUEIRO, M. G.; SCHERNHAMMER, E. S.; REA, M. S. Ecological measurements of light exposure, activity and circadian disruption. *Lighting Research & Technology*, United Kingdom, v. 42, n. 3, p. 271-284, 2010. DOI: 10.1177/1477153510367977
- MINI MITTER. *Actiwatch* - actigraphy systems. EUA: [200-]. Disponível em: <<http://www.sitalive.com/ocl/private/04s/activity/sleep/actiwatch.pdf>>. Acesso em: 30 dez. 2012.
- MULLANEY, R. The scientist selects Dimesimeter as one of top ten innovations of 2011. *Lighting Research Center*, New York, 2012. Disponível em: <http://www.lrc.rpi.edu/resources/newsroom/pr_story.asp?id=224>. Acesso em: 18 mar. 2013.
- PHILIPS ELECTRONICS. *Characterization of light sensor performance for three models of Actiwatch*. Netherlands: Philips, 2008. Disponível em: <<http://actigraphy.responics.com/Downloads/ActiwatchLightSensorPerformance.pdf>>. Acesso em: 08 mar. 2013.
- REA, M. S.; BIERMAN, A.; FIGUEIRO, M. G.; BULLOUGH, J. D. A new approach to understanding the impact of circadian disruption on human health. *Journal of Circadian Rhythms*, Idaho, USA, v. 6, n. 7, s/p, 2008. DOI: <http://dx.doi.org/10.1186/1740-3391-6-7>
- REA, M. S.; BULLOUGH, J. D.; FREYSSINIER-NOVA, J. P.; BIERMAN, A. A proposed unified system of photometry. *Lighting Research Technology*, United Kingdom, v. 36, n. 2, p. 85-111, 2004.
- REA, M. S.; FIGUEIRO, M. G.; BIERMAN, A.; BULLOUGH, J. D. Circadian light. *Journal of Circadian Rhythms*, v. 8, n. 2, 2010. Disponível em: <<http://www.jcircadianrhythms.com/content/8/1/2>>. Acesso em: 08 mar. 2013. DOI: <http://dx.doi.org/10.1186/1740-3391-8-2>
- RUPP, T. L.; BALKIN, T. J. Comparison of motionlogger watch and actiwatch actigraphs to polysomnography for sleep/wake estimation in healthy young adults. *Behaviour Research Methods*, Wisconsin, v. 43, n. 4, p. 1152-1160, 2011. DOI: 10.3758/s13428-011-0098-4
- SILVERTHORN, D. U. *Fisiologia humana: uma abordagem integrada*. 5ª ed. Porto Alegre: Artmed, 2010. 989 p.
- SHEPARD, M. Lighting and the human condition. *IEEE Power Engineering Review*, Washington, D. C., v. PER-7, n. 4, p. 4-6, 1987.
- TAYLOR, J. *Circadian light research to expand with new Daysimeter user group*. LRC News, 2007. Disponível em: <<http://www.lrc.rpi.edu/resources/newsroom/enews/Apr07/Research335.html>>. Acesso em: 03 jul. 2013.
- VAN BOMMEL, W. Visual, biological and emotional aspects of lighting: recent new findings and their meaning for lighting practice. *Journal of the Illuminating Engineering Society of North America*, New York, v. 2, n. 1, p. 7-11, 2005. DOI: 10.1582/LEUKOS.02.01.001
- VANDAHL, C.; BIESKE, K.; WOLF, S.; SCHIERZ, C. Light and health in factory work places. In: CIE 2011. *Proceedings*. South Africa: CIE, v. 1, p. 846-852, 2011.
- VEITCH, J. A. Light, lighting, and health: issues for consideration. *Leukos*, New York, v. 2, n. 2, p. 85-96, 2005. DOI: 10.1582/LEUKOS.2005.02.02.001
- VIOLA, A. U.; JAMES, L. M.; SCHLANGEN, L. M.; DIJK, D.-J. Blue-enriched white light in the workplace improves self-reported alertness, performance and sleep quality. *Scandinavian Journal of Work, Environment & Health*, Helsinki, n. 34, v. 4, p. 297-306, 2008.
- WURTMAN, R. J. Biological implications of artificial illumination. *Illuminating Engineering Society Journal*, New York, v. 63, n. 10, p. 523-529, 1968.

Agradecimentos

Os autores agradecem o suporte oferecido pela Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (Fapesp), por meio de concessão de bolsa doutorado, processo nº 2012/08887-1.

Nota do Editor

Data de submissão: Outubro 2013

Aprovação: Fevereiro 2014

Maíra Vieira Dias

Arquiteta e Urbanista pela Universidade Federal de Viçosa (UFV), mestre pela Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo da Universidade Estadual de Campinas (Unicamp) e doutoranda do Programa de Pós-Graduação em Arquitetura, Tecnologia e Cidade pela mesma Universidade.

Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo da Unicamp

Av. Albert Einstein, 951. Caixa Postal 6021

13083-852 - Campinas, SP.

(19) 3521.2383.

mairavd@yahoo.com.br

Paulo Sergio Scarazzato (Orientador)

Arquiteto, mestre e doutor em Arquitetura e Urbanismo pela Universidade de São Paulo (FAUUSP). Professor doutor junto à FAUUSP, à Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo da Universidade Estadual de Campinas (Unicamp), e professor titular junto à Pontifícia Universidade Católica de Campinas (PUCCamp).

Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo da Unicamp

Av. Albert Einstein, 951. Caixa Postal 6021

13083-852 - Campinas, SP

(19) 3521.2383

paulosca@fec.unicamp.br

Edson Moschim (Coorientador)

Engenheiro Elétrico pela Universidade Santa Cecília (Unisantia), mestre em Engenharia Elétrica pela Universidade Estadual de Campinas (Unicamp) e doutor em Optoeletrônica pela Université Paris-Sud, Orsay, França.

Professor titular da Unicamp.

Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação da Unicamp

Av. Albert Einstein, 400

13083-852 - Campinas, SP

(19) 3521- 3766

moschim@dsif.fee.unicamp.br

Felipe Rudge Barbosa (Coorientador)

Físico pela Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro (PUC-RJ), mestre em Física pela Universidade Estadual de Campinas (Unicamp) e doutor em Engenharia Elétrica pela Unicamp. Professor colaborador na Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação, da Universidade Estadual de Campinas (FEEC-Unicamp); pesquisador sênior do INCT-Namitec, no Centro de Tecnologia da Informação (MCT/CTI) em Campinas.

Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação da Unicamp

Av. Albert Einstein, 400.

13083-852 - Campinas, SP

(19) 3521- 3766.

rudge@dsif.fee.unicamp.br