



ILUMINAÇÃO AO NÍVEL DOS OLHOS E SAÚDE HUMANA. ESTADO DA ARTE

Maíra Vieira Dias (1); Paulo Sergio Scarazzato (2); Edson Moschim (3)

(1) Arquiteta, Doutoranda do Programa de Pós-Graduação em Arquitetura, Tecnologia e Cidade, mairavd@yahoo.com.br

(2) Dr., Professor da Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, paulosca@fec.unicamp.br
Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo,
Departamento de Arquitetura e Construção, Campinas-SP, 13083-852, Tel.: (19) 3521 2383

(3) Dr., Professor da Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação, moschim@dsif.fee.unicamp.br
Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação,
Departamento de Semicondutores, Instrumentos e Fotônica, Campinas-SP, 13083-852, Tel.: (19) 3521 3707

RESUMO

Embora a luz e suas influências venham sendo estudadas há muito tempo, são recentes as pesquisas que abordam seu impacto na saúde. Na década de 80, a comprovação científica da ligação entre doenças depressivas e a privação à luz deixou clara a existência de outros efeitos não visuais da luz. Grande salto foi dado pela 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. Mesmo as pesquisas demonstrando o impacto da luz na saúde, ainda há muito a aprender, principalmente sobre seus efeitos no sistema visual. Maiores índices de iluminância nos olhos podem aumentar a atividade, o estado de alerta e o bem-estar. Entretanto, pesquisas demonstram que apenas a iluminância vertical próxima ao olho vem sendo medida, enquanto o campo de visão e o movimento da cabeça são ignorados. Este trabalho traz 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, dispositivos de medição.

ABSTRACT

Although light and its influences have been studied for a long time, researches about their impact on health are yet in initial development phase. In the decade of 80, the scientific evidence of link between depressive diseases and light privation made clear the existence of other non-visual effects of light. Great advance was given by the CIE in 2004 and 2006, by promoting two symposiums that disclosed the extensive work done so far to understand how light affects the human metabolism and their psyche. Even the research demonstrating the impact of light on health, there are still much to learn, especially about its effects in the visual system. Higher levels of illuminance in the eyes may increase activity, alertness and wellbeing. However, research shows that only the close vertical plane illuminance in front of the eye has been measured, while the visual field and the movement of the head are ignored. This paper provides the state of art related with measuring devices currently used to evaluate how light affects human health. Its purpose is to promote discussion and reflection in an area of research still very little explored in technical and academic resources in Brazil.

Keywords: lighting, health, visual system, measuring devices.

1. INTRODUÇÃO

Segundo van Bommel (2005) os efeitos visuais da iluminação e suas consequências práticas têm sido estudados por mais de 500 anos. Relatos do autor afirmam que em 1489 Leonardo da Vinci já descrevia ideias sobre iluminação e ilustrou a conexão entre os olhos e o cérebro. No ano de 1722 o holandês Antony van Leeuwenhoek observou a presença de cones e bastonetes na retina, que mais tarde, em 1834, foram confirmados pelo alemão Gottfried Treviranus como células fotorreceptoras sensíveis à luz. Tal descoberta contribuiu significativamente para a compreensão e investigação de muitos dos efeitos visuais da iluminação.

Em 1968, Wurtman publicou em seu trabalho *“Biological implications of artificial illumination”* (WURTMAN, 1968) 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. Poucos anos mais tarde, Flynn *et al.* (1973) publicaram descobertas preliminares concentradas no efeito da iluminação ambiental como um meio que afeta a impressão e o comportamento dos usuários. Os autores já sugerem que procedimentos envolvendo mapeamento do comportamento pode ser um método útil para obter conhecimento e melhorar as funções da luz nos ambientes.

Mais recentemente, em 2004, grande avanço sobre a temática luz e saúde foi discutido no evento *“CIE Expert Symposium on Light and Health: Non-Visual Effects”* (CIE, 2004), seguido da segunda edição em 2006 (CIE, 2006). Um dos fatores responsáveis pelo grande aumento no número de pesquisas na área foi a descoberta, em 2002, de um novo mecanismo fotorreceptivo no olho (melanopsina). De acordo com a CIE - *Commission Internationale de L'eclairage* este novo fotorreceptor representou um “elo perdido” na compreensão de como a luz e a escuridão regulam processos fisiológicos e psicológicos no corpo humano (CIE, 2004). Esta descoberta, além de elucidar como os sinais de luz viajam através do olho por meio de fotorreceptor não visual, permitiu progressos consideráveis nas pesquisas referentes à regulação da melatonina, cortisol e hormônios de crescimento.

Pesquisas sobre os efeitos biológicos da luz são cada vez mais frequentes e incluem estudos relacionados ao ciclo circadiano; às variáveis humanas como depressão, ansiedade, humor e estresse; aos níveis hormonais e às funções fisiológicas (VEITCH e NEWSHAM, 1996; JUSLÉN e KREMER, 2005; JUSLÉN, WOUTERS e TENNER 2005, MARTAU, 2009). Sabe-se que uma boa qualidade de iluminação pode ajudar as pessoas a desempenharem suas tarefas mais facilmente, diminuindo o cansaço visual. No entanto, segundo Boyce (2003), o efeito da iluminação no desempenho humano, medido através do sistema perceptivo, raramente tem sido estudado.

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, visto que atualmente nosso conhecimento está voltado para a regulação do ciclo circadiano, principalmente através da glândula pineal e da ação da melatonina. A autora relata a pesquisa *“Suprachiasmatic Nucleus: The Mind's Clock”* desenvolvida por Klein, Moore e Reppert (1991), que comprova a existência de muitas ligações do sistema nervoso central com outras estruturas do cérebro humano, mostrando que a exposição à luz pode influenciar uma grande variedade de funções fisiológicas além do ciclo circadiano.

Para a autora, a comunidade de iluminação já iniciou a mudança filosófica necessária para integrar o novo conhecimento na prática de iluminação - o que pode ser visto no modelo de qualidade de iluminação proposto pela nona edição do *IESNA Lighting Handbook* (IESNA, 2000). No entanto, muitas recomendações e ideias que se constroem sobre esse modelo ainda precisam ser desenvolvidas.

Quanto à luz captada pelos olhos, van Bommel (2005) afirma que pesquisas médicas e biológicas relativamente recentes têm mostrado consistentemente que essa luz, em adição a um 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.

Boyce (2006) e van Bommel (2005) colocam que outra questão relevante está no comportamento das diferentes partes do campo visual para a estimulação circadiana. Glickman *et al.* (2003) comprovaram que 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. Com isso, Boyce (2006) afirma que uma estimulação eficaz do sistema circadiano requer que a luz seja distribuída, preferencialmente, para a parte superior do campo visual. No entanto, o que constitui a parte superior do campo visual depende da direção do olhar.

Hoje se sabe que a medição quantitativa dos efeitos biológicos da luz depende de sua quantidade, distribuição do espectro e distribuição espacial. Vandahl *et al.* (2011) afirmam que por ser uma tarefa muito complexa, geralmente apenas a iluminância vertical próxima ao olho está sendo medida, enquanto o campo de visão e o movimento da cabeça estão sendo ignorados.

Embora estudos nesta área sejam relativamente recentes, hoje há três dispositivos de medição constantemente utilizados em pesquisas sobre a interação do homem com a luz: o *Actiwatch-L*, fabricado pela *Mini Mitter* (Bend, OR, USA); e *Daysimeter* e *Dimesimeter* desenvolvidos para testes de campo pela LRC - *Lighting Research Center* (Nova York, USA). No entanto, nenhum daqueles 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 azul¹ próxima aos olhos. Visando suprir tal lacuna, os pesquisadores, vinculados à *Technischen Universität Ilmenau* (Alemanha), desenvolveram um novo dispositivo, denominado *LuxBlick*, que leva em conta o espectro da luz e o tempo de integração da radiação pelo sistema visual (HUBALEK, ZOSCHG e SCHIERZ, 2006; VANDAHL *et al.*, 2011).

Na Europa, pesquisas utilizando o *LuxBlick* tiveram início em 2005, mas estas ainda estão em estágio experimental. De acordo com Christoph Schierz, um dos responsáveis pelo desenvolvimento do dispositivo, estudos que relacionem dados quantitativos com parâmetros fisiológicos ou psicológicos são urgentemente necessários². Com isto em mente, a pesquisa de doutorado em curso, intitulada “*Iluminação em ambiente industrial e sua influência no campo visual dos trabalhadores*” se propõe a investigar, a partir do *LuxBlick*, a quantidade de luz que atinge os olhos dos trabalhadores e como essa luz afeta seu sistema visual.

Diante disto, este artigo traz o estado da arte referente aos dispositivos de medição citados, além de discorrer sobre as vantagens do *LuxBlick* na verificação das influências da iluminação no campo visual dos indivíduos. Entre essas vantagens estão o baixo custo e a alta confiabilidade. Pretende-se ainda, promover discussões e reflexões em uma área de investigação ainda muito pouco explorada nos meios técnico e acadêmico brasileiros.

2. REVISÃO

2.1. Estado da Arte

De acordo com Brainard e Provencio (2006), durante as últimas 3 décadas evidências científicas têm levado à crescente compreensão que, relativamente separada da visão e dos reflexos visuais, a luz percebida pelo olho pode ser um potente estímulo biológico, comportamental e terapêutico para o homem. Segundo os autores, após a descoberta do novo sistema fotorreceptor que transduz³ estímulos de luz para a supressão de melatonina, rapidamente ocorreu a elucidação dos dois espectros de ação em indivíduos saudáveis que identificam a região entre 446-477nm como a região de comprimento de onda mais potente para a supressão da melatonina. Isto sugere que o novo sistema fotosensorial é primariamente o responsável pela regulação da melatonina no homem.

Góven *et al.* (2006) afirmam que com o novo fotorreceptor, agora é mostrado que a luz influencia diferentes hormônios no cérebro, onde a glândula pineal desempenha um papel importante no controle do hormônio melatonina, que é fornecido a partir de baixos níveis de luz ou na escuridão. Sob altos níveis de luz o hormônio cortisol, conhecido como hormônio do estresse, é produzido pelo córtex adrenal contribuindo para o estado de alerta. Com isso, durante os últimos anos foi realizada uma série de estudos a fim de compreender como os espectros de luz natural e artificial afetam a supressão hormonal e como as cores e a distribuição da luz no campo visual trazem efeitos emocionais ao ser humano.

A radiação óptica incidente na retina deriva de cada caminho neural fisiologicamente distinto que liga a retina ao cérebro gerando, portanto, dois efeitos muito diferentes no homem. Um deles fornece as informações visuais e o outro, informações sobre o tempo do dia solar. O sistema circadiano, quando comparado ao sistema visual, é muito lento ao responder à radiação e o mais importante, é diferencialmente sensível à radiação solar ao longo do dia (BIERMAN, KLEIN e REA, 2005). Estas informações, somadas à descoberta da melanopsina localizada na retina, deixam muito claro que um novo sistema de medição de luz precisa ser desenvolvido. Embora o uso de sistemas de medição tenha sido útil, implica que estas respostas são mediadas pelo sistema visual. Estudos recentes mostram que as medições fotópicas são inadequadas para caracterizar a luz ótima para todas as respostas mediadas principalmente pelo trato retinohipotalâmico

1 A irradiância vertical efetiva da luz azul é calculada como a integral do espectro ponderado da luz captada pela função $c(\lambda)$ 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 é principalmente relacionada à melanopsina e é geralmente mensurável através de níveis hormonais. Os dados espectrais podem ser encontrados, por exemplo, na norma DIN 5031-100.

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

3 Transdução é a conversão da energia física em uma forma neural de estimulação, realizada por neurônios especializados nos órgãos sensoriais. Na etapa inicial da visão, a energia radiante precisa sofrer transdução, ou ser transformada em forma neural. Ou seja, a energia física atua sobre o tecido sensível à luz para produzir impulsos que transmitem informações sensoriais (SCHIFFMAN, 2005).

humano. Assim, uma nova métrica para quantificar a luz para a região circadiana, neuroendócrina e neurocomportamental precisa ser determinada (BRAINARD e PROVENCIO, 2006).

Hubalek, Zoschg e Schierz (2006) relatam que até agora a maioria das investigações foi realizada através da medição da iluminância sobre um plano vertical em frente ao olho, entretanto, para os efeitos biológicos não visuais a irradiância visível dos comprimentos de onda mais curtos também são relevantes.

Segundo Cajochen *et al.* (2005) resultados recentes indicam que uma luz monocromática com intensidade muito baixa na faixa de ondas curtas a 460nm, também denominada luz azul, afeta o sistema circadiano humano e é capaz de induzir uma mudança significativamente maior na curva de resposta do que a luz monocromática a 555nm. Para eles, estes estudos demonstram claramente que o sistema circadiano é altamente sensível à exposição dos olhos à luz, particularmente na gama de comprimento de onda curta.

Vandahl *et al.* (2011) relatam que ainda não foi investigada a quantidade de luz que atinge o olho durante o trabalho. Esta quantidade de luz depende do sistema de iluminação, das propriedades de refletância do ambiente e do movimento da cabeça. 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 a luz 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 e o espectro de ação para a supressão de melatonina.

2.2. Os dispositivos

2.2.1 Actiwatch-L

O *Actiwatch-L* (Fig. 01) é um dispositivo de medição bem estabelecido no mercado e fabricado pela *Mini Mitter* (Bend, OR, USA). Por ser um dispositivo usado no pulso, gera algumas dúvidas sobre os valores referentes à medição de luz captada pelo olho (HUBALEK, ZOSCHG e SCHIERZ, 2006).



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

Segundo a *Mini Mitter* ([200-]), a actigrafia trata do uso de instrumentos sensíveis ao movimento, tipicamente usados no pulso para registro da atividade ao longo do tempo. Os monitores de atividade têm recurso de interação digital que fornece a medida precisa de movimento e de intensidade.

A actigrafia de pulso fornece uma medida objetiva do ciclo de sono/vigília (RUPP e BALKIN, 2011) e as vantagens relacionadas ao seu uso se encontram na objetividade, portabilidade e conveniência (LICHSTEIN *et al.*, 2006). Semelhante a um relógio de pulso, o dispositivo incorpora um acelerômetro multidirecional para monitorar o grau de intensidade de movimento da cabeça com várias amostragens por segundo (BMEDICAL, 2012). 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). O dispositivo permite ainda a medição da quantidade e duração da iluminância através de um fotodiodo em miniatura (PHILIPS ELECTRONICS, 2013). Por estar livre de eletrodos, pode ser usado continuamente durante o dia e à noite por períodos maiores que 1 semana (LICHSTEIN *et al.*, 2006).

O dispositivo tem sido constantemente usado em estudos clínicos para ajudar a diagnosticar, medir e monitorar distúrbios do sono como insônia e disfunções no ritmo circadiano. Além disso, 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.

Lichstein *et al.* (2006) apontam como vantagens do dispositivo 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. A desvantagem está na interpretação da inatividade como período de sono. Como registra os movimentos, quando a pessoa está imóvel na cama,

mesmo acordada, o dispositivo 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 consequentemente a aplicação do dispositivo.

Até o momento, as pesquisas que usam o *Actiwatch-L* estão voltadas para o registro e a caracterização do ciclo de sono/vigília. Mesmo possuindo um fotodiodo que permite a medição da quantidade e duração da iluminância, não foram encontrados estudos voltados para a medição da luz captada pelo olho.

2.2.2. Daysimeter

O *Daysimeter* (Fig. 02), desenvolvido pelo LRC no *Rensselaer Polytechnic Institute* em 2004, é um dispositivo leve, pequeno e projetado especificamente para estudos de campo. Usado na cabeça, mede e registra as estimativas de exposição à radiação tanto para o sistema visual quanto circadiano por um período prolongado de tempo (BIERMAN, KLEIN e REA, 2005; TAYLOR, 2005; REA *et al.* 2008; FIGUEIRO e PLITNICK, 2010; MILLER *et al.*, 2010; FIGUEIRO, 2012; FIGUEIRO *et al.*, 2012; FIGUEIRO, REA e HAMMER, 2012). Além de gravar as medições de radiação 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 e REA, 2005; FIGUEIRO e PLITNICK, 2010).

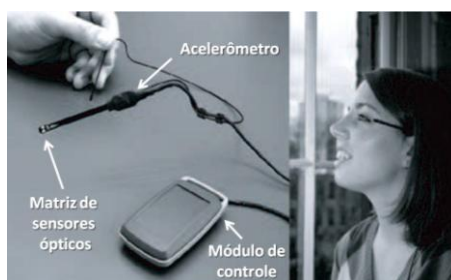


Figura 2 - *Daysimeter*

Fonte: Figueiro, Hammer, Bierman e Rea (2012)

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

Usado frequentemente para medir os padrões de claro/escuro e de atividade/descanso, o *Daysimeter*, segundo o diretor da LRC Mark Rea, oferece pela primeira vez a possibilidade de passar de uma definição geral, imprecisa, da exposição à luz circadiana a uma caracterização muito mais precisa e completa. Para ele, essa caracterização precisa de como a luz afeta o sistema circadiano pode ser uma chave para desbloquear nossa compreensão de uma série de preocupações sobre a saúde humana (TAYLOR, 2005).

O *Daysimeter* é um dosímetro diário onde a duração e a quantidade de radiação óptica podem ser integradas em estimativas de ritmos circadianos. A luz transduzida pela retina deve ser definida ao longo de pelo menos cinco dimensões: quantidade, espectro, distribuição espacial, duração e tempo. Em relação ao sistema visual, o sistema circadiano apresenta 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. Tal fato exige um maior tempo de exposição à luz para sua ativação (BIERMAN, KLEIN e REA, 2005).

O dispositivo utiliza acelerômetros para medir a atividade e estes dados, assim como os dados de luz, são medidos conjuntamente em intervalos de tempo regulares e então armazenados. Além disto, ainda é registrada a temperatura de funcionamento (MILLER *et al.*, 2010).

Bierman, Klein e Rea (2005) e Miller *et al.* (2010) descrevem o dispositivo que contém um sensor óptico - um fotodiodo de silício com filtro de vidro convencional com uma sensibilidade espectral muito próxima à função de eficiência luminosa fotópica padrão. Um vidro difusor opaco é montado à frente do detector e modifica as características espaciais do sensor, imitando a resposta espacial do olho. Outro sensor, de comprimento de onda curta (azul) e fabricado a partir de um fotodiodo de arseneto de gálio (GaAsP), tem uma resposta intrínseca de comprimento de onda longa, em conjunto com um filtro de vidro para bloqueio de radiação ultravioleta (UV). 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. Os dois sensores são montados lado a lado na extremidade de uma placa de um circuito impresso, criando uma unidade compacta.

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 participantes usaram o *Daysimeter* por um período de 5-7 dias e mantiveram um registro do sono, onde apontavam quando estavam usando o dispositivo e a hora em que iam dormir entre outros. Os dados obtidos ajudaram a elucidar a compreensão da exposição à luz em diferentes populações e, além disto, oferecem oportunidades para novas análises. Segundo os autores, 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 ainda que o *Daysimeter* torna possível medir as exposições reais de luz circadiana⁴ e estas medições podem ajudar a fornecer percepções sobre possíveis melhorias nas condições de iluminação, colaborando para minimizar a incidência de doenças associadas a perturbações do sistema circadiano. Para o LRC as medições de iluminância registradas ajudarão os pesquisadores a compreender como a luz afeta não só o sistema circadiano, mas também o sistema visual (TAYLOR, 2005).

Recentemente, Figueiro e Plitnick (2010) publicaram que sob concessão do *Trans-National Institutes of Health's Genes, Environment and Health Initiative*, o LRC vem desenvolvendo um *Daysimeter* ainda menor, com comunicação sem fio e capacidades melhoradas de *biofeedback*. Atualmente, pesquisas vêm comparando o novo dispositivo, chamado *Dimesimeter*, com os outros dispositivos já citados e mostrando suas vantagens sobre os demais.

2.2.3. *Dimesimeter*

O *Dimesimeter* (Fig. 03) pode registrar a luz circadiana e a atividade durante longos períodos de tempo. Também desenvolvido pelo LRC, é uma versão atual do *Daysimeter*. O dispositivo contém um conjunto de sensores vermelho, verde e azul (RGB), mas apresenta tamanho reduzido (cerca de 2cm de diâmetro), podendo ser usado como um broche, pingente ou fixado em óculos, colarinhos de camisas ou no pulso (FIGUEIRO *et al.*, 2010; FIGUEIRO e REA, 2011; FIGUEIRO *et al.*, 2012; LRC, 2013).

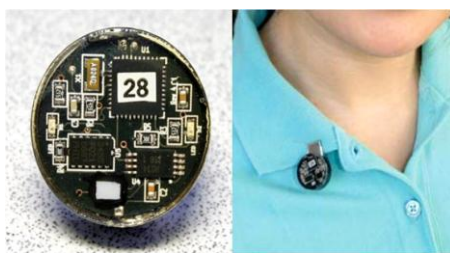


Figura 3 - *Dimesimeter*
Fonte: LRC (2013)

De acordo com o LRC (2013) o tamanho reduzido do *Dimesimeter* capacita os pesquisadores a examinar e determinar os padrões de claro/escuro e atividade/descanso em grupos que apresentam distúrbios do sono, como é o caso dos 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.

Os dados obtidos são processados para calcular uma correlação cruzada de dados de exposição de claro/escuro e atividade/descanso. Andrew Bierman, pesquisador do LRC e membro da equipe de projeto do dispositivo, explica que esta correlação cruzada dos dados registrados é denominada análise fasorial e é um componente integrante do *Dimesimeter*. Os dados são automaticamente formatados em gráficos fáceis de ler e que definem o estado atual do sistema circadiano das pessoas, a partir do qual as principais decisões prescritivas de diagnóstico podem ser feitas (MULLANEY, 2011).

O LRC (2013) relata que o *Dimesimeter* 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. É calibrado em termos de sensibilidade espectral tanto do sistema visual quanto circadiano, já que o sistema circadiano é mais sensível a luz de comprimento de onda curta (azul). O dispositivo é selado em acrílico fundido para impermeabilização à água e sua bateria fornece energia por pelo menos 3 meses, enquanto dados contínuos são registrados (FIGUEIRO *et al.*, 2010).

4 A definição de luz circadiana é baseada no potencial de luz para suprimir a síntese de melatonina durante a noite, como oposição a medição de luz em termos de como ela estimula o sistema visual (FIGUEIRO e PLITNICK, 2010).

O sensoriamento de luz é feito por um circuito integrado de sensores que inclui filtros ópticos para canais de medição: RGB e infravermelho (IR) (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, um carimbo de tempo, a voltagem da bateria, dados de luz e dados de atividade (LRC, 2013).

Figueiro e Rea (2011) realizaram um estudo comparando o *Actiwatch-L*, *Daysimeter* e *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 fasiais 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 e os valores obtidos devem ser considerados apenas como qualitativos.

O *Dimesimeter* representa um grande avanço nas pesquisas e isto pode ser comprovado com a oitava classificação alcançada no “*Top Ten Innovations of 2011*” promovido pela revista *Scientist*. A nova técnica de medição e análise fatorial foi relatada por Mark Rea 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 será de extrema importância para determinar se a terapia de luz poderá ser utilizada com sucesso no ambiente doméstico (MULLANEY, 2011).

2.2.4. LuxBlick

Como os três dispositivos de medição mais usados não apresentam todos os requisitos indispensáveis de maneira satisfatória fez-se necessária a criação de um dispositivo de baixo custo para estudos de campo de longo prazo, que registrasse a iluminância vertical e a irradiância vertical efetiva da luz azul próxima aos olhos (HUBALEK, ZOSCHG e SCHIERZ, 2006; VANDAHL *et al.*, 2011). O dispositivo, denominado *LuxBlick*, foi desenvolvido com base nas necessidades por dados adicionais em função do espectro e tempo de integração da radiação pelo sistema visual, identificados na conferência “*Licht 2002*” em Maastricht na Holanda. O foco do sistema é oferecer dados estatísticos das iluminâncias expostas nos locais de trabalho e as distribuições de frequências dos movimentos dos olhos associados com as distribuições de luminâncias no ambiente (HUBALEK e SCHIERZ, 2005).

Além do sistema apresentar baixo custo e ser mais leve que o *Actiwatch-L* e o *Daysimeter*, pode ainda ser aplicado em estudos cronobiológicos e comportamentais para investigar o uso da luz ou dos sistemas de sombreamento. Como a luz ponderada para duas diferentes sensibilidades espectrais é medida, mudanças de direção de luz de cor mais quente ou mais fria são rastreáveis (HUBALEK, ZOSCHG e SCHIERZ, 2006).

O *LuxBlick* (Fig. 04) contém dois sensores de luz que são colocados em armações de óculos ou na própria lente (fora do campo de visão) 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 (Fig. 05). Assim como o *Daysimeter* e o *Dimesimeter*, o *LuxBlick* conta com sensores de silício, que são armazenados em uma embalagem plástica impermeável à luz. São usadas duas baterias de 1,5V para o microcomputador e uma bateria de 9V 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. O dispositivo é capaz de medir a iluminância e a irradiação de luz azul durante vários dias, com uma resolução temporal de 1s e salvar esses valores medidos de forma contínua (VANDAHL *et al.*, 2011).



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



Figura 5 - Unidade de controle e minicomputador usados no dispositivo.
Fonte: Hubalek, Zoschg e Schierz (2005).

Hubalek, Zoschg e Schierz (2006) relatam que os dados registrados são otimizados para identificar os movimentos da cabeça e ao mesmo tempo, filtrar oscilações das lâmpadas. Para registrar mesmo quando existirem movimentos rápidos da cabeça, os valores de iluminância e irradiância efetiva da luz azul são transferidos alternadamente a cada 100ms para a unidade de controle. Opcionalmente, a taxa de amostragem pode ser mudada de 5 amostras por segundo para diminuir as frequências. Para os autores, diferentemente dos outros dispositivos, os dados registrados são acessíveis aos usuários e isto é vantajoso, visto que o acesso aos dados permite que eles iniciem e terminem as medições e ainda verifiquem se o dispositivo está funcionando corretamente. Este acesso pode contribuir para aumentar a consciência dos usuários sobre as condições de luz no ambiente.

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 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 estes efeitos (HUBALEK, 2007). De acordo com Bieske, Vandahl e Schierz (2011), ainda precisa ser discutido se estes efeitos biológicos não visuais encontrados são de natureza psicológica ou fisiológica. Os autores afirmam ainda que para especificar os limites de luminâncias máximas admitidas mais estudos são necessários.

3. DISCUSSÃO

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 também devemos voltar nossos olhos para a questão da luz e suas interferências na saúde e na produtividade no local de trabalho. Brainard e Provencio (2006) deixam claro que a descoberta e a caracterização do novo sistema fotosensorial no olho humano abrem caminhos para grandes desafios e inovações no campo da iluminação arquitetural, sempre objetivando otimizar esta em função da visão, da saúde e do bem-estar.

Bierman, Klein e Rea (2005) colocam que a medição é o cerne do progresso tanto na ciência como no comércio. A luz como um estímulo específico para a visão e como uma mercadoria para a venda já foi bem estabelecida e prontamente utilizada por quase um século. Só recentemente o papel da radiação óptica como um estímulo para a regulação circadiana tornou-se mais compreendido. No entanto, algumas lacunas ainda precisam ser preenchidas.

Em relação aos estudos envolvendo a validação da actigrafia, há relatos de que a insônia vem sendo amplamente negligenciada. Isto se deve ao fato dos dispositivos usados para esse fim, como é o caso do *Actiwatch-L*, interpretarem a ausência de movimento como período de sono. Embora o *Actiwatch-L* contenha um fotodiodo que permita medir a quantidade e a duração da iluminância, e estudos que relatem o comportamento e desempenho do dispositivo ao medir a luz que entra no olho ainda não foram encontrados, acredita-se que o aparelho não seria o mais eficaz para a obtenção de dados quantitativos. Por ser usado no pulso, o fotodiodo não faria a leitura precisa da luz incidente no plano das córneas.

Já o *Daysimeter* é usado na cabeça para medir e registrar a exposição à radiação para os sistemas visual e 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 afixado 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 diferenças nas quantidades absolutas no registro da luz foram encontradas. O grande diferencial do dispositivo em relação aos demais já citados é proporcionar uma análise fasorial dos dados obtidos.

O *LuxBlick*, segundo os pesquisadores, se mostrou adequado para medir a luz incidente no olho humano em estudos experimentais. Como ainda está em fase de testes, 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, ao invés da 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 colocam que ao contrário dos outros dispositivos, a gama de medição para a irradiância visível é limitada com o *LuxBlick*. No entanto, uma variação de medição de iluminância de até 5.000lx é adequada, já que qualquer aumento acima desse valor não aumenta a resposta dos efeitos biológicos não visuais de cerca de 1.000lx. 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. O *LuxBlick* torna-se particularmente mais adequado para medições relativas e medições sequenciais de irradiâncias cronobiológicas.

4. CONCLUSÕES

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 as exigências humanas e funcionais. A partir da análise da quantidade de luz que atinge o campo visual humano será possível correlacionar os aspectos fisiológicos com a iluminação. Torna-se cada vez mais necessário compreender a integração entre a iluminação, os aspectos fisiológicos e os aspectos psicológicos para traçarmos um diagnóstico mais amplo da qualidade da iluminação no ambiente.

O desenvolvimento de um novo dispositivo juntamente com a pesquisa proposta ganha importância tanto para o aprimoramento do *LuxBlick* quanto para uma melhor compreensão do assunto. Tal acontecimento configura um marco nas pesquisas, principalmente no Brasil, e contribui para preencher a lacuna existente de como a luz influencia as variáveis emocionais como estresse, estado de alerta e alterações no humor, entre outros. Nesse sentido, o homem torna-se um beneficiário direto, uma vez que pode alcançar um ambiente de trabalho melhor, com maior qualidade de iluminação, capaz de gerar bem-estar, maior segurança e conforto visual para o desempenho de suas atividades.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 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**, v.16, p.2292-2299, 2005.
- BIESKE, K.; VANDAHL, C.; SCHIERZ, C. **Projekt „Licht und Gesundheit“ - Feldstudie in Industriebetrieben**. Abschlussbericht, TU Ilmenau, 2011.
- BMEDICAL. **Actigraphy**. Austrália: BMedical, [200-]. Disponível em: <<http://www.bmedical.com.au/shop/fatigue-heat-stress/actigraphy.htm>> Acesso em dez, 2012.
- BOYCE, P. R. **Human factors in lighting**. 2ª ed. Londres: Taylor & Francis, 2003.
- _____. Lemmings, light, and health. **Leukos**, v.2, n.3, p.175-184, 2006.
- BRAINARD, G. C.; HANIFIN, J. P.; GREESON, J. M.; BYRNE, B.; GLICKMAN, G.; GERNER, E.; ROLLAG, M. D. Action spectrum for melatonin regulation in humans: evidence for a novel circadian photoreceptor. **The Journal of Neuroscience**, v.21, n.16, p. 6405–6412, 2001.
- BRAINARD, G. C.; PROVENCIO, I. Photoreception for the neurobehavioral effects of light in humans. In: CIE 2006 - Light and Health: Non-Visual Effects. **Proceedings**. Ottawa: CIE, 2006, p.6-21.
- CAJOCHEN, C.; ZEITZER, J.; CZEISLER, C.; DIJK, D. Dose-response relationship for light intensity and ocular and electroencephalographic correlates of human alertness. **Behavioural Brain Research**, v.115, n.1, p.75-83, 2000.
- _____. **Light and Health: Non-Visual Effects**. Ottawa: CIE, 2006.
- FIGUEIRO, M. G. Lessons from the Daysimeter: can circadian disruption in individuals with alzheimer’s disease be measured? **Neurodegenerative Disease Management**, v.2, n.6, p.553-556, 2012.
- FIGUEIRO, M. G.; BIERMAN, A.; HIGGINS, P.; HORNICK, T.; REA, M. S. 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 mar, 2013.
- FIGUEIRO, M. G.; HAMMER, R.; BIERMAN, A.; REA, M. S. Comparisons of three practical field devices used to measure personal light exposures and activity levels. **Lighting Research & Technology**, v.0, p.1-14, 2012.
- 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 mar, 2013.

- FIGUEIRO, M. G.; REA, M. S. A 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.
- 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 mar. 2013.
- FLYNN, J. E.; SPENCER, T. J.; MARTYNIUK, O.; HENDRICK, C. Interim study of procedures for investigating the effect of light on impression and behavior. **Journal of IES**, p.87-94, 1973.
- 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**, v.18, n.1, p.71-79, 2003.
- 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. **Proceedings**. 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, 2005, p.404-407, 2005.
- HUBALEK, S.; ZOSCHG, D.; SCHIERZ, C. Ambulant recording of light for vision and non-visual biological effects. **Lighting Research & Technol.**, v.38, n.4, p.314-324, 2006.
- _____. **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.
- Illuminating Engineering Society of North America (IESNA). Lighting Handbook*. EUA: IESNA, 2000.
- JUSLÉN, H. T.; KREMER, E. Localised lighting for efficient use of energy and better performance - Field Study in the factory. In: CIE 2005 - Vision and Lighting in Mesopic Conditions. **Proceedings**. León: CIE, 2005.
- JUSLÉN, H. T.; WOUTERS, M. C. H. M.; TENNER, A. D. Preferred task-lighting levels in an industrial work area without daylight. **Lighting Research & Technology**, v.37, n.3, p.219-233, 2005.
- 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**, 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 mar, 2013.
- _____. **The Dimesimeter**. EUA: LRC, 2013. Disponível em: <<http://www.lrc.rpi.edu/programs/lightHealth/projects/Dimesimeter.asp>> Acesso em mar, 2013.
- MARTAU, B. T. **A luz além da visão**: iluminação e sua relação com a saúde e bem-estar de funcionárias de lojas de rua e shopping centers em Porto Alegre. Campinas, 2009. Tese (Doutorado em Engenharia Civil). Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Campinas, 2009.
- 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**, v.42, n.3, p.271-284, 2010.
- MINI MITTER. **Actiwatch** - Actigraphy Systems. EUA: [200-]. Disponível em: <<http://www.sitesalive.com/ocl/private/04s/activity/sleep/actiwatch.pdf>> Acesso em dez, 2012.
- MULLANEY, R. The scientist selects Dimesimeter as one of top ten innovations of 2011. **Lighting Research Center**, 2012. Disponível em: <http://www.lrc.rpi.edu/resources/newsroom/pr_story.asp?id=224> Acesso em mar, 2013.
- PHILIPS ELECTRONICS. **Characterization of light sensor performance for three models of Actiwatch**. Netherlands: Philips, 2013. Disponível em: <<http://actigraphy.respiration.com/downloads/ActiwatchLightSensorPerformance.pdf>> Acesso em 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**, v.6, n.7, 2008.
- RUPP, T. L.; BALKIN, T. J. Comparison of motionlogger watch and actiwatch actigraphs to polysomnography for sleep/wake estimation in healthy young adults. **Behavior Research Methods**, v.43, n.4, p.1152-1160, 2011.
- SCHIFFMAN, H. R. **Sensação e percepção**. Trad. Luis Antonio Fajardo Pontes, Stella Machado. 5 ed. Rio de Janeiro: LTC, 2005.
- TAYLOR, J. New paper details LRC tool to measure light exposure for circadian system. **Lighting Research Center**, 2005. Disponível em: <<http://www.lrc.rpi.edu/resources/news/enews/Oct05/general285.html>> Acesso em mar, 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**, v.2, n.1, p.7-11, 2005.
- VANDAHL, C.; BIESKE, K.; WOLF, S.; SCHIERZ, C. Light and health in factory work places. In: CIE 2011. **Proceedings**. South Africa: CIE, 2011, v.1, p.846-852.
- VEITCH, J. A. Light, lighting, and health: Issues for consideration. **Journal of the Illuminating Engineering Society of North America**, v.2, n.2, p.85-96, 2005.
- VEITCH, J. A.; NEWSHAM, G. R. Determinants of lighting quality II: Research and recommendations. **Lighting Research & Recommendations**. Canadá: National Research Council of Canada, 1996.
- WURTMAN, R. J. Biological implications of artificial illumination. **Illuminating Engineering Society Journal**, v.63, n.10, p.523-529, 1968.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo - FAPESP pelos recursos financeiros aplicados no financiamento do projeto através do Programa de Doutorado, processo n°. 2012/08887-1.