

IMPACTOS NÃO VISUAIS DA ILUMINAÇÃO

Betina Tschiedel Martau (1); Paulo Sérgio Scarazzato (2)

(1) Arquiteta, Dra., Professora do Curso de Arquitetura e Urbanismo da Universidade do Vale do Rio dos Sinos (UNISINOS), betina@unisinos.br, Tel. (51) 35921122 Ramal 1703

(2) Arquiteto, Dr., Professor do Departamento de Arquitetura e Construção da Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo da Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP), paulosca@fec.unicamp.br, Tel. (19) 3521 2306

RESUMO

O conhecimento sobre as relações entre iluminação, homem e Arquitetura pode ser sintetizado através de várias abordagens ao tema. Em relação ao desempenho humano, há três rotas principais de análise: através do sistema visual, do perceptivo e do circadiano. As duas primeiras, já consolidadas, demonstram como iluminar para obter conforto visual e estimular a percepção. No entanto, o conhecimento das relações entre iluminação e o chamado sistema circadiano humano (ritmos diários de 24h) ainda está incipiente. No atual estado da arte, o grande desafio no desenvolvimento dos projetos é o atendimento às exigências psicológicas e, principalmente, fisiológicas, não contempladas nas normas técnicas, que via de regra demoram a ser revistas e atualizadas com a incorporação de novos conhecimentos. Este artigo visa caracterizar a relação entre as condições de iluminação e variáveis fisiológicas através de uma revisão bibliográfica e discutir o reflexo desta abordagem na atual prática de projeto.

Palavras-chave: iluminação, saúde, luz circadiana

ABSTRACT

Knowledge about the relationship between light, man and Architecture can be synthesized by various approaches to the subject. Related to human performance, there are three main routs of analysis: using the visual, the perceptual and the circadian systems. The first two, already established, demonstrate how light for visual comfort and encourage the perception. However, knowledge of the relationship between lighting and the human circadian system (24-hour daily rythm) is still incipient. In the current state of the art, the great challenge in developing the project is meeting the psychological needs and, especially, physiological, not included in the technical standards, which demand a long time to be reviewed and updated with the incorporation of new knowledge. This article aims to characterize the relationship between lighting and physiological variables through a literature review and discuss the influence of this approach in the current practice of project.

Keywords: lighting, health, circadian light

1. INTRODUÇÃO

Um dos grandes desafios nos últimos anos na área de iluminação foi definir de que maneira a luz afeta a saúde, não mais apenas em aspectos relacionados à visão, mas no que diz respeito aos processos metabólicos (estudos dos ritmos circadianos e desenvolvimento de tumores, por exemplo). A exposição à luz pode ter tanto impactos positivos como negativos na saúde humana. Impactos que podem ficar evidentes logo após a exposição ou apenas depois de muitos anos. Como resultado das modificações dos hábitos de trabalho e descanso, que leva ao uso prolongado da iluminação artificial (aumento do período do dia ou da fase claro) ou à permanência em espaços com baixos níveis de iluminação, os indivíduos estão sofrendo alterações na sua saúde. Uma população de especial interesse no estudo da relação entre qualidade da luz e condições de saúde são os trabalhadores noturnos e pessoas sujeitas à iluminação artificial em ambientes sem janelas durante o dia. Essa população parece ser potencialmente mais suscetível a doenças relacionadas tanto

com o excesso quanto com a insuficiência de luz (MARTAU, 2009). Compreender o papel da iluminação, principalmente a artificial, e sua relação com os processos biológicos, é fundamental para que seja possível definir novas diretrizes projeto e avaliar as conseqüências das especificações de diferentes ambientes luminosos, com suas respectivas fontes de luz e luminárias. Talvez a resposta sobre a forma de quantificar as relações entre luz e usuário em um sistema de qualidade tenda a vir de um modelo de análise não baseado nas Ciências Exatas, mas na Psicologia Comportamental e seus modelos de pesquisa, devendo incluir também indicadores fisiológicos baseados em procedimentos da Medicina. É fundamental que futuras pesquisas em iluminação busquem o desenvolvimento dessas diretrizes, que possam ser incluídas nas normas e regulamentações, para a produção de espaços arquitetônicos que incorporem novos conceitos relacionados à saúde e bem-estar dos usuários proporcionados pela luz. Nesse sentido é preciso avançar nas discussões do tema no Brasil e priorizar esta abordagem da iluminação e saúde como linha de pesquisa no meio acadêmico nacional.

2. OBJETIVO

Este artigo tem como objetivo apresentar o estado da arte das relações entre iluminação e o sistema circadiano humano e discutir as possíveis conseqüências da aplicação do conceito de luz circadiana na atual prática de projeto.

3. MÉTODO

Parte das informações levantadas nesta revisão deriva do conhecimento pessoal dos autores sobre o assunto, obtido principalmente no desenvolvimento de uma tese de doutorado recentemente concluída na Unicamp (MARTAU, 2009) e pela participação no CIE Expert Symposium On Lighting and Health, que ocorreu em 2006, na cidade de Ottawa, Canadá. Buscas na literatura foram realizadas utilizando as bases de dados como o PubMed, usando como palavras-chave “circadian rhythms, lighting and health, melatonin, cortisol” Foram selecionados artigos e livros de referência na área, que abrangem o período de 1977 até os dias atuais, bem como um compêndio de psiquiatria. Nenhum critério de exclusão foi utilizado.

4. ILUMINAÇÃO E SUA RELAÇÃO COM SAÚDE E BEM-ESTAR

Apesar de décadas de pesquisa, somente em 2002 David Berson (BERSON, DUNN, MOTAHARU, 2002) detectou a relação da luz com um terceiro tipo de fotorreceptor na retina dos mamíferos, sendo este o elo que faltava para descrever o mecanismo dos efeitos biológicos controlados pelo ciclo claro-escuro (Figura 1).

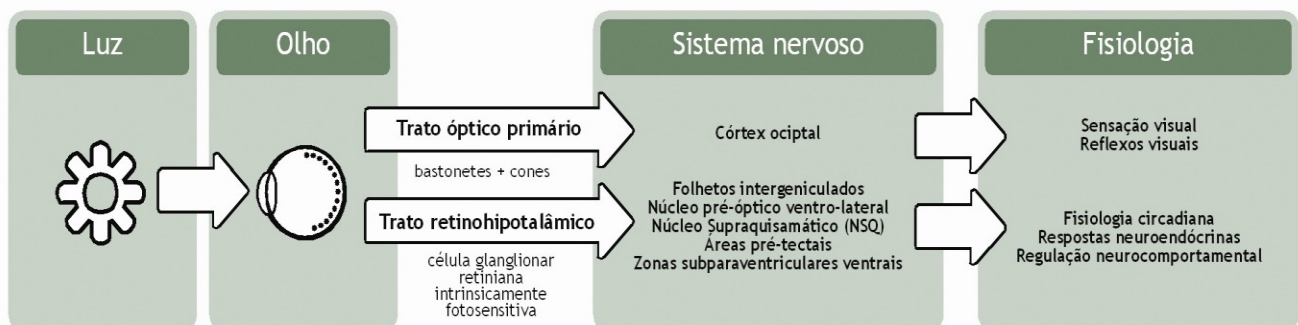


Figura 1 - Diagrama simplificado da neuroanatomia responsável pela mediação da capacidade sensorial do sistema visual, da regulação circadiana não-visual, das funções neuroendócrinas e das funções neurocomportamentais. (Fonte: Adaptado de BRAINARD e PROVENCIO, 2006)

O novo receptor é responsável pela forma com que o olho recebe a informação sobre a luz e a converte em um sinal elétrico que será interpretado no cérebro. Esse receptor não está relacionado com a visão, mas, juntando-se a outro fotorreceptor chamado melaptosin, e através de um processo bioquímico, ele controla a glândula pineal (localizada no cérebro) para produzir um importante hormônio chamado melatonina, que controla muitas funções biológicas. O sistema circadiano, que regula as funções corporais, baseia-se nos sinais enviados ao cérebro por esse receptor.

Essa descoberta revolucionou as pesquisas que exploravam o espectro, a intensidade, a duração e o tipo de luz que influencia as respostas biológicas (EDELSTEIN et al., 2008). Consequentemente, a atual prática da iluminação e as recomendações sobre iluminação artificial, baseadas apenas no atendimento aos

requisitos visuais, podem estar totalmente inadequadas para atender às exigências da estimulação biológica (BEGEMANN, VAN DER BELD e TENNER, 1997). Pesquisas empíricas na área da Cronobiologia (SHANANHAN e CZEISLER, 2000) demonstram a influência da luz no comportamento e nas respostas fisiológicas das pessoas, baseadas principalmente na iluminância na retina (ARIES et al., 2002 e ZONNEVELDT e ARIES, 2002) e não mais em medições da iluminação no ambiente.

Os ritmos circadianos podem ser regulados por uma variedade de indicadores externos, mas a luz (ciclo claro/escuro) é a variável primária e mais importante na sincronização (ou dessincronização) dos humanos aos ritmos diurnos ou noturnos (GRONFIER et al., 2007). O ritmo de atividade e repouso, ritmo social, ritmo de temperatura corporal e níveis hormonais (melatonina e cortisol, Figura 2), são exemplos de ritmos biológicos no corpo que podem ser facilmente medidos e que estão associados à iluminação (MARTAU, 2009).

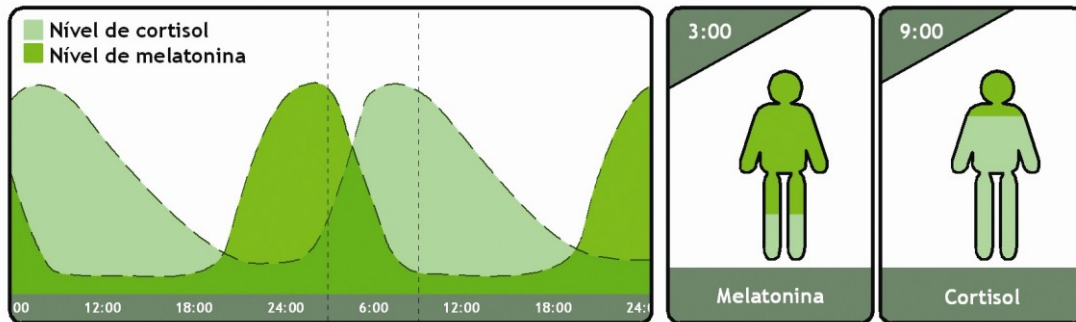


Figura 2 - Curva demonstrando o ritmo dos hormônios melatonina e cortisol em função do horário do dia. (Fonte: Adaptado de PHILIPS LIGHTING, 2006)

A melatonina reforça o funcionamento do sistema circadiano provavelmente de diferentes maneiras. As relações mais conhecidas referem-se ao sono e à redução da temperatura corporal à noite. Seus níveis são baixos durante o dia e seu pico é durante a noite, usualmente entre as duas e quatro horas da madrugada (ARENDDT, 2005).

A melatonina por estar envolvida na regulação dos ritmos circadianos, tem sido implicada na fisiopatologia da depressão. Estudos (WURTMAN, BAUM e POTTS, 1985) demonstraram que, na ausência da luz ou onde a luz natural ou artificial é inadequada no interior do edifício, o processo de supressão natural da melatonina durante o dia falha e é acompanhado por sentimentos de depressão.

Lewy et al. (1980) foram os primeiros a demonstrar que a melatonina noturna era suprimida com uma exposição à luz intensa de 2500 lux em humanos. Mais recentemente, novos estudos provaram que a supressão pode ocorrer com menos de 1000 lux (AOKI, YAMADA, OZEKI et al. 1998; BOIVIN e CZEISLER, 1998; MCINTYRE et al., e ZEITZER et al., 2000). Em seguida, Brainard et al. (2000) descobriram que sujeitos com pupilas dilatadas por medicamentos poderiam ter a secreção da melatonina suprimida por uma exposição à luz de apenas 100 lux. Outros pesquisadores, como Higuchi et al. (2003), concluíram que havia supressão da melatonina salivar noturna em indivíduos que desempenhavam tarefas atrativas usando monitores de computador, apesar de a iluminância deles não ser tão intensa. Isso significa que a melatonina é suprimida com a exposição a uma luz de menor intensidade que até então relatada. O tamanho da pupila também influenciou a supressão de melatonina, como em relatos anteriores (GADDY, ROLLAG e BRAINARD, 1993).

Ueno-Towatari et al. (2007) estudaram, no Japão, a variação do pico de melatonina em sujeitos (n=8) nas quatro estações do ano e o tempo de exposição acima de 1000 lux por dia. Concluíram que pouco variava, encontrando uma variação significativa apenas no outono, quando também encontraram uma correlação direta entre o pico de secreção de melatonina e o tempo de exposição superior a 1000 lux durante o dia (em cada estação o n=8). Estudos anteriores (HONMA et al., 1992 e VONDRASOVA, HAJECK e ILLNEROVA, 1997) demonstravam que havia um avanço do pico de melatonina ou declínio pela manhã no verão, o que não ocorreu no estudo do Japão. Segundo Ueno-Towatari et al. (2007), esses resultados podem refletir o estilo de vida moderno, como, por exemplo, pouca exposição à luz natural durante o dia e exposição à iluminação artificial depois do entardecer. Outro argumento desses autores é de que a qualidade da luz diferente em cada sujeito possa ser um dos fatores da não sazonalidade dos ritmos da melatonina.

Outro estudo (DUMONT e BEAULIEU, 2006) realizado em Montreal, no Canadá, com uma amostra de treze pessoas que trabalhavam em ambientes internos sem iluminação natural e quatorze pessoas que trabalhavam em ambientes externos, concluiu que os trabalhadores externos recebiam mais luz que os

que trabalhavam sem janelas. Os resultados apontaram que a fase circadiana era similar nos dois grupos e que a média da intensidade de iluminação mais alta por dia estava associada à sensibilidade circadiana mais baixa, demonstrada pela baixa percentagem de supressão de melatonina (essa relação foi mais significativa no inverno, quando os trabalhadores dos espaços sem janelas estavam sujeitos a baixas iluminâncias). Houve uma tendência de as baixas iluminâncias no turno de trabalho estarem associadas a um atraso de fase circadiano (mas apenas em sujeitos estudados no verão). Concluíram que as iluminâncias no local de trabalho não podem isoladamente explicar as variações na fase circadiana. A iluminação no ambiente de trabalho certamente influencia os efeitos circadianos, mas precisa ser interpretada no contexto do padrão luminoso completo 24h do indivíduo.

O cortisol é outro hormônio que faz parte do chamado eixo adrenal, também composto pelo hormônio liberador de corticotropina (CRH) proveniente do hipotálamo e pelo hormônio adrenocorticotrófico (ACTH) vindo da hipófise anterior. O cortisol está relacionado basicamente ao nível de atividade e capacidade de atenção da pessoa. O cortisol demonstra um ritmo circadiano claro, com um pico em torno do despertar da pessoa (KUDIELKA e KIRSCHBAUM, 2003). As concentrações plasmáticas do cortisol são mais altas no início da manhã (por volta das seis horas) e seus valores são mais baixos ao final da tarde e à noite. Como o cortisol é controlado pelo relógio biológico no núcleo supraquiasmático (NSQ), é esperado que o ritmo e a concentração de cortisol sejam influenciados pela luz. O cortisol, depois do acordar, pode ser aumentado com uma hora de exposição a 800 lux, aplicado no horário habitual de acordar (SCHEER, VAN DOORNEN e BUIJS, 1999).

Segundo Kaplan, Sadock e Grebb (1997), quando um indivíduo encontra-se num estado saudável, todos os seus ritmos têm uma relação natural, e dizemos que ele está em fase. O fato de estar com os ritmos biológicos fora de fase contribui para os efeitos nocivos experimentados pelos indivíduos.

As mulheres que trabalham à noite têm sido objeto de estudo das pesquisas sobre melatonina, o hormônio sensível à luz (HARDER, 2006 e BLASK et al., 2005). Estas têm como hipótese principal que a iluminação artificial noturna, por interromper a produção do hormônio, que é protetor natural contra o desenvolvimento de tumores, pode aumentar o risco de câncer de mama (STEVENS et al., 1996, LIU et al., 2005; SCHERNHAMMER et al., 2004 e SCHEER e BUIJS, 1999, O'LEARY et al., 2006). A luz pode suprimir a elevação noturna normal da melatonina (STEVENS, 1987 e STEVENS e REA, 2001), o que faria com que níveis de estrogênio circulando se elevassem (COHEN, LIPPMAN e CHABNER, 1978) ou que fosse inibido o mecanismo antiproliferativo de tumor (STEVENS, 1987 e STEVENS e REA, 2001).

As condições de iluminação determinantes na regulação do relógio biológico, atualmente chamada de “luz circadiana”, estão associadas ao espectro, intensidade e duração (período e padrão temporal) da luz (BRAINARD et al., 2000; CAJOCHEN et al., 2005 e ZEITZER et al., 2000). A aparência de cor, possibilidade de controle do sistema e a presença ou não de janelas (iluminação natural), bem como os tipos de lâmpadas, também podem influenciar tanto os aspectos fisiológicos como os comportamentais (EDWARDS e TORCELLINI, 2002; VAN BOMMEL, 2004 e TONELLO, 2008).

4.1. Espectro da luz

Segundo Edwards e Torcellini (2002), diferentes comprimentos de onda (ou distribuição espectral) têm diferentes efeitos no corpo humano. A maior parte das fontes artificiais carece da distribuição espectral para completar as funções biológicas (WUNSCH, 2007), o que faz com que os humanos prefiram ambientes iluminados naturalmente (LIBERMAN, 1991) porque a luz solar consiste num equilibrado espectro de cores, com seu pico de energia na porção azul e verde do espectro visível.

Diversos estudos (GLIGOR et al., 2006 e REA et al., 2006_a e 2006_b) abordam a influência do espectro da luz no sistema circadiano para que os novos tratamentos, além de medicamentos, possam incluir a prescrição de modificações no ambiente luminoso pessoal (HARDER, 2006 e 2005). Há evidências de que as luzes brancas ou azuis suprimem a produção de melatonina mais efetivamente do que a vermelha ou amarela. Segundo Ancoli-Israel et al. (2003), a luz branca brilhante tem demonstrado ser efetiva na regulação do humor, do sono e do ritmo de atividade. A escala do espectro que influencia os múltiplos sistemas circadianos ainda precisa ser explorada. A complexidade ocorre porque, no momento em que uma fonte de luz é apresentada junto com outra, surgem os efeitos de interação dos espectros ainda desconhecidos.

Groot e Knoop (2006) ao estudarem o efeito da iluminação nas pessoas concluíram que não havia redução do desempenho dos trabalhadores durante a noite quando se utilizava luz com baixo componente de azul, ao invés de luz branca. Como essa luz tinha deficiência de azul, a produção de melatonina não era suprimida, o que acontecia com a luz branca sob a mesma iluminância.

A qualidade da luz recebida é diferente entre a fonte natural e a artificial. Os comprimentos de onda atingem

o olho e diferentes profundidades na pele, onde desencadeiam reações fisiológicas de produção de substâncias que organizam o equilíbrio metabólico. A luz natural, pela sua concentração de azul, produz, através do sistema nervoso central, o hormônio adrenocorticotrófico (ACTH) e esteróides, e, pela pele, elementos que neutralizam essas substâncias e equilibram o corpo (como a vitamina D). A luz artificial não tem características capazes de produzir, através da pele, as substâncias que neutralizam o coquetel de hormônios estressores, que se acumulam e podem causar efeitos nocivos à saúde (Figura 3).

Luz natural do sol (5700K)				Luz artificial (5700K)			
Local do efeito	ACTH	Esteróides	Vitamina D	Local do efeito	ACTH	Esteróides	Vitamina D
Sistema nervoso central	↑	↑	◇	Sistema nervoso central	↑	◇	◇
Pele	↓	↓	↑	Pele	◇	◇	◇

ACTH= hormônio adrenocorticotrófico - Coquetel de hormônio do estresse

Figura 3 - Efeitos da luz natural e da artificial sobre o sistema nervoso central e sobre a pele e as substâncias por ela controladas. (Fonte: Adaptado de WUNSCH, 2007)

Com relação ao espectro dos tipos de lâmpadas, as que carecem da porção azul do espectro, que é a parte mais importante para os humanos e melhor oferecida pela luz natural (LIBERMAN, 1991) são as menos eficientes para estimulação do sistema circadiano. As lâmpadas de espectro completo são as mais semelhantes ao espectro da luz natural, e seu efeito tem sido objeto de estudo (VEITCH, 1993).

Como apresentado na Figura 4, a lâmpada incandescente é a única que não apresenta maiores interferências no sistema circadiano. A comunidade internacional envolvida com a iluminação tem se manifestado publicamente (GILADI, 2008) contra as políticas de banir a produção das fontes incandescentes adotadas por alguns países, como a Austrália. Ao abordar a questão da iluminação apenas sob a ótica da eficiência energética, a legislação da iluminação pode incorrer em graves erros por ignorar os efeitos em longo prazo muitas vezes ainda desconhecidos das fontes de luz mais eficientes na saúde das pessoas, como as fluorescentes compactas ou LED branco. Segundo Giladi (2008), a utilização da lâmpada incandescente pode acabar restrita a prescrições médicas, por sua qualidade terapêutica.

4.2. Temperatura de cor correlata

A temperatura de cor correlata (ou aparência da cor) das diferentes fontes de luz também afeta estimulação circadiana e a supressão da melatonina em seres humanos (REA et al., 2006; WUNSCH, 2007 e POHL, 2006). Temperaturas de cor mais baixas são menos supressoras da melatonina que as altas, isto é, têm menores efeitos cronobiológicos, conforme mostram as Figuras 4 e 5.

Propriedades das fontes artificiais de iluminação e seu efeito cronobiológico			
Fonte de luz	Temperatura de cor em Kelvin	Temperatura verdadeira em Celsius	Efeito cronobiológico
LED vermelho	1000	<100	- - -
LED laranja	1500	<100	- -
LED amarelo	2000	<100	-
Vela	1500	1230	-
Lâmpada incandescente	2000-2600	1730-2330	0
Lâmpada halógena	2600-3300	2330-3030	+
Lâmpada fluorescente	2700-4000	<100	++
Lâmpada de full spectrum	4000-6000	<100	+++
LED branco	-	<100	++++
LED azul	-	<100	+++++

Figura 4 - Propriedades das fontes de luz (temperatura de cor correlata e temperatura em Celsius) e a intensidade de seu efeito cronobiológico. (Fonte: Adaptado de WUNSCH, 2007)

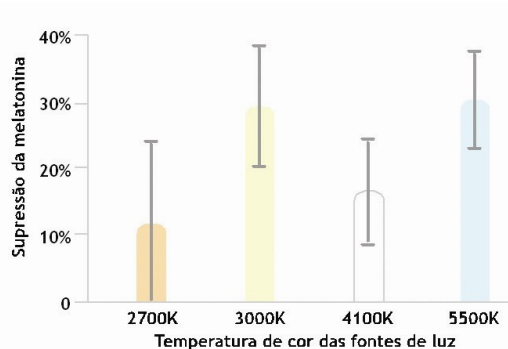


Figura 5 - Média da supressão da melatonina (em %) para diferentes temperaturas de cor (em K). (Fonte: Adaptado de Figueiro, 2006)

Segundo Rea et al. (2006_a), o que parece certo no momento é que a temperatura de cor não pode ser considerada uma medida métrica simples para caracterizar a eficiência das diferentes fontes de luz para estimular o sistema circadiano, pois a relação entre a supressão da melatonina e temperatura de cor não é linear. O estudo mostrou que lâmpadas que diferem 2500 K podem produzir a mesma quantidade de supressão de melatonina, enquanto lâmpadas que diferem 900 K podem variar num fator 2 X 1 na sua eficiência circadiana para uma mesma iluminância. Isso porque o espectro, bem como um modelo (que ainda não está validado) da estimulação circadiana para luz, precisam estar definidos para que se possa especificar a temperatura de cor correta e as iluminâncias que afetam o sistema circadiano nos espaços arquitetônicos.

Outro estudo (GEERDINCK e SCHLANGEN, 2006) comprovou que a temperatura de cor mais elevada estimula a atividade mental, assim como o sistema nervoso simpático e parassimpático. A sonolência tende a ser mais observada sob a condição de iluminação a 3000K se comparada a 5000K, e a indústria já busca o desenvolvimento de fontes com alta temperatura de cor, sendo que as fontes altamente estimulantes da atividade mental devem ser recebidas com cuidado, uma vez que também podem ser extremamente supressoras da melatonina.

4.3. Intensidade e duração

Os primeiros estudos conhecidos (COLE et al., 1995 e ESPIRITU KRIPKE, ANCOLI-ISRAEL, 1994) sobre a intensidade da luz e ritmos circadianos concluíram que uma iluminância superior a 1000 lux era necessária para a estimulação circadiana. Segundo Dumont e Beaulieu (2006) e Tenner (2003), hoje se sabe que a exposição a níveis mais baixos de iluminação, como aqueles encontrados usualmente na iluminação interna (raramente superior a 500 lux), já tem um efeito no relógio biológico, mas não está definido se ele é significativo ou suficiente. Segundo Ruger et al. (2006), a luz mais intensa pode influenciar a psicofisiologia instantaneamente ao induzir o sistema endócrino (supressão da melatonina e elevação dos níveis de cortisol), provocar outras mudanças fisiológicas (como a elevação da temperatura corporal, por exemplo) e modificar variáveis psicológicas (redução da sonolência, aumento da atenção). Essa abrangência de influências da luz faz com que ela se reflita em muitos campos de aplicação, desde a otimização do ambiente de trabalho até o tratamento de pacientes deprimidos.

A distribuição espacial da iluminação também é importante do ponto de vista da saúde, porque a incidência da luz sobre a parte superior ou inferior da retina tem importância diferente no efeito biológico medido (ARIES et al., 2002 e GLICKMAN et al., 2003). Diferentes iluminâncias podem suprimir a melatonina em quantidades variadas. Rea et al. (2006_b) demonstraram que a 600 lux (mais que 30% de supressão), a supressão foi muito maior que a 300 lux (menos que 10% de supressão).

Várias pesquisas (CROWLEY et al., 2003; DAURAT et al., 1993; PHIPPS-NELSON et al., 2003 e RUGER et al., 2003) indicam que uma variação nas respostas da luz intensa pode estar associada ao período do dia e o estudo de Ruger et al. (2006) demonstrou este mecanismo: exposição à luz intensa à noite, mas não ao longo do dia, aumentava a capacidade cardíaca e a temperatura corporal. Rea, Figueiro e Bullough (2002) estabeleceram as principais características da iluminação e sua influência na função circadiana, em trabalhadores noturnos e diurno, sintetizadas na Figura 6.

Condições de iluminação e influência circadiana			
Características da iluminação	Aplicada à visão	Circadiana trabalhadores diurnos	Circadiana trabalhadores noturnos
Quantidade	Baixa (300-500 lux na tarefa) e menos de 100 lux no olho	Alta (aproximadamente 1000lux no olho)	Alta (aproximadamente 1000lux no olho)
Espectro	Fotópico (pico de sensibilidade 555nm)	Comprimentos de ondas curtas (pico de sensibilidade a 420-480nm)	Comprimentos de ondas curtas (pico de sensibilidade a 420-480nm)
Distribuição espacial	Importante (luminância na tarefa, contraste e tamanho determinam a visibilidade)	Independente da distribuição (iluminância no olho)	Independente da distribuição (iluminância no olho)
Tempo	Qualquer horário	* Na manhã “subjetiva” (após o acordar)	*Periodicamente ao longo do turno de trabalho
Duração	Muito curta (menos de 1s)	*Longa (de 1 a 2 horas)	*Curta (pulsos de 15min.)

Nos aspectos marcados com * ainda não há confirmação destas diretrizes e novas pesquisas deverão corroborar os resultados até então existentes.

Figura 6 - Um referencial conceitual considerando as principais características da iluminação para pesquisa e implementação em espaços arquitetônicos considerando a influência nas funções visuais e circadianas, para trabalhadores diurnos e noturnos. (Fonte: Adaptado de REA, FIGUEIRO e BULLOUGH, 2002)

Com relação à intensidade de luz diária necessária para o funcionamento do sistema circadiano, denominada luz circadiana, ainda não é possível estabelecer padrões específicos. Pessoas que trabalham em ambientes pouco iluminados têm reportado uma série de queixas não específicas como cansaço, distúrbios do humor e falta de concentração (DUMONT e BEAULIEU, 2006), que já recebe o nome de “Síndrome da iluminação doente” ou “*illighting syndrome*” (BEGEMANN, VAN DER BELD e TENNER, 1997).

A variabilidade da intensidade da iluminação também é importante, pois na condição natural e ideal a intensidade da iluminação varia constantemente ao longo do dia. O sistema circadiano é sensível às mudanças na luminância do ambiente o que significa que um dado sinal é interpretado no contexto de outras exposições ao claro/escuro dentro das 24 horas do dia, e os seus efeitos no sistema circadiano dependem do resultado da interpretação global (DUMONT e BEAULIEU, 2006). Aspectos como o contraste entre as partes mais claras e escuras do dia também parecem ter um impacto significativo na estimulação circadiana. Há evidências de que a sensibilidade à luz do sistema circadiano pode ser regulada pelas iluminâncias aos quais os indivíduos estão cronicamente expostos, a chamada história da luz pessoal. Biologicamente, o tempo e a duração em que a luz (ou o escuro) é recebida desempenham um importante papel na definição do ritmo de temperatura corporal (BOYCE, 1997).

4.4. Contato visual com exterior e iluminação natural

A luz natural é um importante fator para se obter um sistema de iluminação saudável porque a falta de conexão à dinâmica do ciclo diário de claro e escuro, às modificações de temperatura e estações do ano, ao mundo natural, é contrária à experiência normal do ser humano. Willian Lam (LAM, 1977) foi um dos pioneiros a definir o contato visual com o exterior como uma necessidade biológica de informação visual. Ao ser privado desse contato, o ser humano estaria em desconforto. Estudos como os de Farley e Veitch (2001) concluíram que visuais do exterior podem aumentar o trabalho e o bem-estar de inúmeros modos, incluindo satisfação com a vida, assim como problemas de desorientação e influência na função cognitiva acontecem na ausência de padrões de luz natural. O estudo de MARTAU (2009) demonstrou que funcionárias de lojas em shopping centers privadas de contato visual com exterior tinham maiores índices de estresse, depressão e ansiedade que trabalhadoras de lojas de rua.

5. APLICAÇÃO DO CONCEITO DE LUZ CIRCADIANA NA PRÁTICA DE PROJETO: A BUSCA DE UM CAMINHO

Atualmente, é inegável que os ritmos biológicos são essencialmente controlados pelas qualidades dinâmicas e pelo ritmo da iluminação, e que qualquer desvio deste ritmo pode influenciar consideravelmente a saúde e bem-estar dos seres humanos. Por isso é importante que um projeto de iluminação seja pensado

considerando estes fatores como critérios de projeto. As evidências da revisão bibliográfica e da pesquisa recentemente concluída (MARTAU, 2009) deixam clara a necessidade de se discutir como aplicar estas novas descobertas na prática de projeto e sugerem um caminho para discussão sobre diretrizes de iluminação que atendam, além das necessidades visuais, as emocionais e biológicas dos usuários dos espaços. Ao se pensar em aplicar o conceito da luz circadiana como um requisito de qualidade em um sistema de iluminação, alguns pontos surgem para discussão, como, por exemplo:

- Seria possível e válido ser incorporado na legislação sobre iluminação uma nova abordagem para a eficiência luminosa, baseada na supressão da melatonina que um determinado sistema de iluminação é capaz de provocar no usuário, tendo em vista que a melatonina salivar é de fácil coleta e dosagem, apesar de o kit de exame ter alto custo, por ser atualmente utilizado predominantemente em pesquisas acadêmicas;

- Como determinar a iluminância adequada para atender aos aspectos emocionais (satisfação) e biológicos, sem prejudicar o aspecto visual, uma vez que a iluminância na retina, considerada a forma mais eficiente de medir luz circadiana, é impraticável de ser mensurada fora de um laboratório.

- Considerando que a falta de contato visual com o exterior interfere no desempenho dos níveis de melatonina e de cortisol, de satisfação e as condições emocionais dos trabalhadores, seria possível legislar sobre tipologias arquitetônicas (de shopping centers, por exemplo), de forma a evitar que pessoas trabalhem em ambientes sem janelas, ou seria necessário atuar sobre a legislação trabalhista propondo intervalos em que o funcionário pudesse sair do ambiente luminoso artificial.

- Permitir, sempre que possível, o contato visual com o exterior e acesso à luz natural, pois os resultados de pesquisas apontam para associações diretas e indiretas entre esse fator e maiores escores de depressão e ansiedade em sua ausência. Isto significa que o projeto deve priorizar a presença de janelas, empregando recursos técnicos hoje disponíveis para lidar com as questões do ganho térmico e dos possíveis desbotamentos ocasionados pela luz. Nos espaços dotados exclusivamente de sistemas de iluminação artificial, sem contato visual com o exterior seria necessário possibilitar a variação e o controle dos sistemas de iluminação artificial pelos usuários, modificando fatores como intensidade de luz e aparência de cor, para retomar as qualidades inerentes ao sistema de iluminação natural para o qual o corpo está adaptado. Atualmente diversos fabricantes de luminárias já possuem sistemas de variação da iluminação controlados por computadores e disponíveis comercialmente. Muitos destes sistemas são empregados com argumentos mais compositivos, sendo necessária uma divulgação das possibilidades destes sistemas na melhoria das condições de saúde e bem-estar dos usuários, pela sua influência na resposta circadiana.

- Como controlar e evitar o uso de apenas um tipo de lâmpada (mesmo espectro), reduzindo o risco de haver no ambiente apenas comprimentos de onda que possam ser nocivos ou que não estimulem o sistema circadiano, até que se tenha conhecimento do tipo de espectro mais adequado e das formas de interação entre estes espectros no ambiente real. Cuidar para não utilizar fontes mais supressoras da melatonina em horários noturnos, estando atento às novas tecnologias, como as fontes de LED, até que se tenha comprovação de sua influência nas pessoas.

- Seria necessário controlar também a temperatura de cor da luz, em função do horário de trabalho, com maior cuidado aos turnos noturnos, para evitar supressão de melatonina em doses exageradas, baseadas nas recentes pesquisas sobre desenvolvimento de tumores. Como estabelecer normas para tal?

- Como controlar a satisfação com o sistema de iluminação em ambientes de trabalho, pois esta maior satisfação está associada a fatores emocionais e biológicos. Ao considerar a iluminação diretamente associada às melhores condições emocionais dos funcionários, poder-se-ia fazer com que os empregadores invistam na satisfação do funcionário com a iluminação e, indiretamente, na sua produtividade;

6. CONCLUSÕES

O desafio atual para os designers de iluminação é definir de que maneira a luz afeta os indivíduos, não mais apenas em aspectos relacionadas à visão, mas no que diz respeito aos processos metabólicos, porque é inegável que os ritmos biológicos são essencialmente controlados pelas qualidades dinâmicas e pelo ritmo da iluminação, e que qualquer desvio deste ritmo pode influenciar consideravelmente a saúde e bem-estar dos seres humanos. Assim, o projeto precisa ser entendido como uma área de conhecimento interdisciplinar, com o objetivo de desenvolver e aplicar as informações sobre comportamento e fisiologia humanos em relação à luz. Neste sentido, algumas escolas de arquitetura em outros países já incorporam disciplinas antes restritas às áreas da Medicina. É preciso estudar como iluminar as atividades humanas correlacionadas com as respostas do corpo e da mente, e não mais apenas com questões visuais, estéticas ou energéticas. Será preciso reorganizar diretrizes e legislações de projeto de modo que a fisiologia humana não seja afetada negativamente pelo ambiente luminoso e que, o ambiente visual permita e estimule melhores

condições de saúde e bem-estar às pessoas. Inegavelmente, a busca de respostas para essas e muitas outras questões sobre as interações entre a luz e a saúde e bem-estar das pessoas, no ambiente de trabalho principalmente, vai exigir da indústria de iluminação e dos designers de iluminação um conhecimento e uma consciência maior sobre a importância das questões emocionais e biológicas relacionadas à luz. As questões de custo direto das instalações (lâmpadas e luminárias) e da eficiência energética do sistema deverão ser equilibradas com as de custo indireto que a baixa produtividade dos funcionários sem condições adequadas de saúde possa gerar. Sistemas de iluminação artificial de melhor qualidade sob o ponto de vista dos usuários têm custos mais elevados e os empreendedores terão que entender porque devem pagar por eles. A demanda por soluções de sistemas de iluminação que considerem os efeitos fotobiológicos será crescente à medida que pesquisas forem divulgadas e discussões sobre o tema incentivadas, inclusive as que transcendam o universo acadêmico

7. REFERÊNCIAS

- ANCOLI-ISRAEL, S.; MARTIN, J. L.; GEHRMAN, P.; SCHOCHAT, T.; et al. Effect of light on agitation in institutionalized patients with severe Alzheimer disease. **American Journal of Geriatric Psychiatry**, v. 11, n. 2, p. 194-203, 2003.
- ARIES, M. B. C.; BEGEMANN, S. H. A.; ZONNEVELDT, L.; TENNER, A. D. Retinal illuminance from vertical daylight openings in office spaces. *In*: RIGHT LIGHT, 5., 2002, Nice. **Proceedings...** Nice, 2002.
- BEGEMANN, S. H. A.; VAN DEN BELD, G. J.; TENNER, A. D. Daylight, artificial light and people in an office environment, overview of visual and biological responses. **International Journal of Industrial Ergonomics**, v. 20, p. 231-239, 1997.
- BERSON, D. M.; DUNN, F. A.; MOTAHARU, T. Phototransduction by retinal ganglion cells that set the circadian clock. **Science**, v. 2002, n. 295, p. 1070-1073, 2002.
- BLASK, D.E. et al. Melatonin-depleted blood from premenopausal women exposed to light at night stimulates growth of human breast cancer xenografts in nude rats. **Cancer Research**, n.65, p.11174-11184, 2005.
- BRAINARD, G. C.; ROLLAG, M. D.; HANIFIN, J. P.; VAN DER BELD, G.; SANFORD, B. The effect of polarized versus non polarized light on melatonin regulation in humans. **Photochemical Photobiology**, v. 71, p. 766-770, 2000.
- BRAINARD, G. C.; PROVENCIO, I. Photoreception for the neurobehavioral effects of light in humans. *In*: CIE EXPERT SYMPOSIUM ON LIGHTING AND HEALTH, 2., 2006, Ottawa. **Proceedings...** Viena: Commission Internationale de l'Eclairage, 2006, p. 6-21.
- CAJOCHEN, C.; MUNCH, M.; KOBIALKA, S.; KRAUCHI, K.; STEINER, R. ET AL. High sensitivity of human melatonin, alertness, thermoregulation, and heart rate to short wavelength light. **Journal of Clinical Endocrinology Metabolism**, n. 90, p. 1311-1316, 2005.
- COHEN, M.; LIPPMAN, M.; CHABNER, B. Role of pineal gland in etiology and treatment of breast cancer. **Lancet**, v. 2, p. 814-816, 1978.
- COLE, R. J.; KRIPKE, D. F.; WISBEY, J.; MASON, W. J.; GRUEN, W.; HAURI, P. J.; JUAREZ, J. Seasonal variation in human illumination exposure at two different latitudes. **Journal of Biological Rhythms**, v. 10, p. 324-334, 1995.
- CROWLEY, S. J.; LEE, C.; TSENG, C. Y.; FOGG, L. F.; EASTMAN, C. I. Combinations of bright light, scheduled dark, sunglasses, and melatonin to facilitate circadian entrainment to night shift work. **Journal of Biological Rhythms**, v. 18, p. 513-523, 2003.
- DAURAT, A.; AGUIRRE, A.; FORET, J.; GONNET, P.; KEROMESN A.; BENOIT, O. Bright light affects alertness and performance rhythms during 24-hconstant routine. **Physiological Behavior**, v. 53, p. 929-936, 1993.
- DUMONT, M.; BEAULIEU, C. Effects of dim and bright work environment on circadian functions. *In*: CIE EXPERT SYMPOSIUM ON LIGHTING AND HEALTH, 2., 2006, Ottawa. **Proceedings...** Viena: Commission Internationale de l'Eclairage, 2006, p. 46-49.
- EDELSTEIN, E. A.; DOCTORS, S.; BRAND, R.; DENTON, B.; CRANZ, G. et al. The effects of colour and light on health; trans-disciplinary research results. **World Health Design**, Stockholm, p. 57-61, apr. 2008.
- EDWARDS, L.; TORCELLINI, P. **A literature Review of the effects of natural light on buildings occupants**. Colorado: National Renewable Energy Laboratory, 2002. NREL/TP-550-30769.
- ESPIRITU, R. C.; KRIPKE, D. F.; ANCOLI-ISRAEL, S.; MOWEN, M. A.; MASON, W. J.; FELL, R. L.; KLAUBER, M. R.; KAPLAN, O. J. Low illumination experienced by San Diego adults: association with atypical depressive symptoms. **Biological Psychiatry**, v. 35, p. 403-407, 1994.
- FARLEY, K.; VEITCH, J. **A room with a view: a review of the effects of windows on work and well-being**. Ottawa, Canada: Institute for Research in Construction, 2001. Report nº RR136.
- FIGUEIRO, M. G. Lighting for Alzheimer's care. *In*: CIE EXPERT SYMPOSIUM ON LIGHTING AND HEALTH, 2., 2006, Ottawa. **Proceedings...** Vienna: Commission Internationale de l'Eclairage, 2006, p. 69-72.
- GEERDINCK, L. M.; SCHLANGEN, L. J. M. Well-being effects of high color temperature lighting in office and industry. *In*: CIE EXPERT SYMPOSIUM ON LIGHTING AND HEALTH, 2., 2006, Ottawa. **Proceedings...** Vienna: Commission Internationale de l'Eclairage, p. 126-130.
- GILADI, G. "Phasing out" incandescents: is the public misinformed or disinformed? **Professional Lighting Design Magazine**, v. 61, p. 49-54, jun./jul. 2008.
- GLICKMAN, G.; HANIFIN, J. P.; ROLLAG, M. D.; WANG, J.; COOPER, H.; BRAINARD, G. C. Inferior retinal light exposure is more effective than superior retinal exposure in suppressing melatonin in humans. **Journal of Biological Rhythms**, v. 18, p. 71-79, 2003.
- GLIGOR, V.; VIKARI, M.; ELOHOLMA, M.; HOLONEN, L.; PARTONEN, T. Visual performance and melatonin concentration during exposure to mesopic light levels of different wavelengths. *In*: CIE EXPERT SYMPOSIUM ON LIGHTING AND HEALTH, 2., 2006, Ottawa. **Proceedings...** Vienna: Commission Internationale de l'Eclairage, 2006, p. 131-134.

- GRONFIER, C.; WRIGHT, K. P.; KRONAUER, R. E.; CZEISLER, C. A. Entrainment of the human circadian pacemaker to longer-than-24h days. **Neuroscience**, v. 104, n. 21, p. 9081-9086, may 2007. Disponível em: www.pnsa.org/cgi/doi/10.1073/pnas.0702835104. Acesso em: 20 jan. 2008.
- GROOT, M.; KNOOP, M. Benefits of photobiological light exposure during night shift work. *In: CIE SYMPOSIUM ON LIGHTING AND HEALTH*, 2., 2006, Ottawa. **Proceedings...** Vienna: Commission Internationale de L'Eclairage, 2006, p. 112-116.
- HARDER, B. Blue light keeps night owls going. **Science News**, [S.l.], n. 153, p. 253, apr. 2005. Disponível em: <http://www.sciencenews.org/articles/20050416/note12.asp>. Acesso em: 01 jul. 2006.
- HARDER, B. Bright Lights, Big Cancer. **Science News**, v. 169, n. 1, p. 8, jan. 2006. Disponível em: <http://www.sciencesnews.org/articles/20060107/bob9.asp>. Acesso em: 01 julho 2006.
- KAPLAN, H. I.; SADOCK, B. J.; GREBB, J. A. TRAD. DAYSE BATISTA. **Compêndio de Psiquiatria: ciências do comportamento e psiquiatria clínica**, 7 ed, Porto Alegre: Artes Médicas, 1997.
- LAM, W. M. C. **Perception and lighting as formgivers for architecture**. New York: McGraw Hill, 1977.
- LIBERMAN, J. **Light Medicine of Future**. New Mexico: Bear & Company Publishing, 1991.
- LIU, L.; MARLER, M. R.; PARKER, B. A.; JONES, V.; JOHNSON, S.; COHEN-ZION, M. The relationship between fatigue and light exposure during chemotherapy **Support Care Cancer** 2005, Epub 2005 Apr 29 13(12), p. 1010-7.
- 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. 504 f. Tese [Doutorado em Engenharia Civil] - Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas.
- O'LEARY, E. S.; SCHOENFELD, E. R.; STEVENS, R. G.; et al. Shift work, Light at Night, and Breast Cancer on Long Island, New York. **American Journal of Epidemiology**, n. 164, p. 358-366, 2006.
- PHIPPS-NELSON, J.; REDMAN, J. R.; DIJK, D. J.; RAJARATNAM, S. M. Daytime exposures to bright light, as compared to dim light, decreases sleepiness and improves psychomotor vigilance performance. **Sleep**, v. 26, p. 695-700, 2003.
- POHL, W. **Supressão de melatonina por diferentes fontes de luz**. Ottawa, 06 Setembro, 2006. Palestra
- REA, M. S.; BULLOGH, J. D.; BIERMAN, A.; FIGUEIRO, M. G. Measuring light as a stimulus for the human circadian system. *In: CIE EXPERT SYMPOSIUM ON LIGHTING AND HEALTH*, 2., 2006, Ottawa. **Proceedings**. Viena: Commission Internationale de L'Eclairage, 2006a, p. 173-177.
- REA, M. S.; BULLOGH, J. D.; BIERMAN, A.; FIGUEIRO, M. G. Implications for white light sources of different colour temperatures. *In: CIE SYMPOSIUM ON LIGHTING AND HEALTH*, 2., 2006, Ottawa. **Proceedings**. Vienna: Commission Internationale de L'Eclairage, 2006b, p. 33-37.
- REA, M. S.; FIGUEIRO, M. G.; BULLOUGH, J. D. Circadian photobiology: an emerging framework for lighting practice and research. **Lighting Research and Technology**, v. 34, n. 3, p. 177-190, 2002.
- RUGER, M.; GORDIJN, M. C.; BEERSMA, D. G.; DE VRIES, B.; DAAN, S. Acute and phase-shifting effects of ocular and extraocular light in human circadian physiology. **Journal of Biological Rhythms**, v. 18, p. 409-419, 2003.
- RUGER, M.; GORDIJN, M. C.; BEERSMA, D. G.; DE VRIES, B.; DAAN, S. Time-of-day-dependent effects of bright light exposure on human psychophysiology: comparison of daytime and nighttime exposure. **American Journal of Physiology**, v. 290, p. R1413-R1420, 2006.
- SCHEER, F. A.; BUIJS, R. M. Light affects morning salivary cortisol in humans. **Journal of Clinical Endocrinology Metabolism**, v. 84, p. 3395-3398, 1999.
- SCHERNHAMMER, E. S.; ROSNER, B.; WILLET, W. C.; LADEN, F.; COLDITZ, G. A.; HANKINSON, S. E. Epidemiology of urinary melatonin in women and its relation to other hormones and night work **Cancer Epidemiol Biomarkers**, v. 13, p. 936-43, 2004.
- SHANANHAN, T. L.; CZEISLER, C. A. Physiological effects of light on human circadian pacemaker **Sem Perinatal**, v. 24, n. 4, p. 299-320, 2000.
- STEVENS, R. G. Electric power use and breast cancer: a hypothesis. **American Journal of Epidemiology**, v. 125, p. 556-561, 1987.
- STEVENS, R. G.; DAVIS, S.; THOMAS, D. B. ET AL. Electric power, pineal function, and the risk of breast cancer. **FAESB Journal**, n. 6, p. 853-860, 1996.
- STEVENS, R.G.; REA, M.S. Light in the built environment: Potential role of circadian disruption in endocrine disruption and breast cancer. **Cancer Causes and Control**, v. 12, p. 279-287, 2001.
- TENNER, A. D. A healthy future for office lighting? **Journal of Lighting & Visual Environment**, Japan, v. 27, n. 3, p. 42-46, 2003.
- TONELLO, G. Seasonal affective disorder: Lighting research and Environmental psychology. **Lighting Research and Technology**, v. 40, p. 103-110, 2008.
- VAN BOMMEL, W. J. M. Lighting for work: a review of visual and biological effects. **Lighting Research and Technology**, v. 36, n. 4, p. 255-269, 2004.
- VEITCH, J.A. **Full-Spectrum Lighting Effects on Performance, Mood and Health**. 1993 Disponível em: <http://www.full-spectrum-lighting.com/durotest/Effects%20on%20Performance.htm> Acesso em: 08 maio 2007.
- WUNSCH, A. Artificial Light and Health. **Professional Lighting Design**, v. 53, p. 46-49, jan./feb. 2007.
- ZEITZER, J. M.; DIJK, D. J.; KRONAUER, R.; BROWN, E.; CZEISLER, C. Sensitivity of the human circadian pacemaker to nocturnal light. **Journal of Physiology**, v. 526, p. 695-702, 2000.
- ZONNEVELDT, L.; ARIES, M. B. C. Application of healthy lighting in working place. *In: SYMPOSIUM LIGHT AND HEALTH IN THE WORKING ENVIRONMENT*, 2002, Eindhoven. **Proceedings...** Eindhoven, 2002.

8. AGRADECIMENTOS

Os autores expressam seus agradecimentos à Universidade do Vale do Rio dos Sinos (UNISINOS) pelo auxílio financeiro à pesquisa de Doutorado de onde se originou esta revisão e ao Grupo de Cronobiologia do Hospital de Clínicas de Porto Alegre, em especial à Dra. Maria Paz Loayza Hidalgo.