

APLICAÇÕES DE IMAGENS HDR COMPOSTAS POR FOTOS DIGITAIS EM ANÁLISES DE DISTRIBUIÇÃO DE LUMINÂNCIAS

**João Roberto Gomes de Faria (1), Andresa Paiva Mussel Santos (2),
Carolina Marquezim da Silva (3), Júlio Leite Tescaro (4)**

UNESP – Universidade Estadual Paulista/FAAC, Av. Eng. Luiz Edmundo Carrijo Coube, s/n,
17030-360 – Bauru-SP, tel +55 14 3103-6059, fax +55 14 3103-6059
e-mail: (1) joaofari@faac.unesp.br, (2) andresamussel@hotmail.com,
(3) littlevanda@msn.com, (4) juliotescaro@hotmail.com

RESUMO

No presente artigo são apresentados três estudos de caso envolvendo a qualidade da iluminação de ambientes cuja característica comum era o emprego de luz natural. O objetivo principal foi validar o emprego de imagens HDR (*high dynamic range*) obtidas a partir de fotos digitais como instrumento de levantamento e análise de distribuição de luminâncias, ao lado de ferramentas convencionais, como aplicação de questionários e medições de iluminância. Através de imagens delas derivadas avaliou-se a distribuição de luminâncias dos ambientes, a qual foi comparada com as demais análises para verificação de consistência dos resultados e a viabilidade de seu emprego como ferramenta em estudos sobre iluminação.

ABSTRACT

This paper presents three case studies about quality of illumination in environments which common characteristic was the use of daylighting. The main objective was to validate the use of HDR (*high dynamic range*) images composed by digital photos as luminance distribution data survey and analysis tool, with conventional tools, as applications of questionnaires and illuminance measurements. With the images derived from that, the environments luminance distribution were evaluated and compared with the others analysis to verify the consistency of the results and the viability of the HDR images as tools in studies about illumination.

1. INTRODUÇÃO

O presente artigo relata três estudos de caso sobre a qualidade da iluminação de espaços internos. Eles tiveram por objetivo validar o emprego de imagens de alta gama dinâmica (*high dynamic range*), ou imagens HDR, como são denominadas também no Brasil, compostas a partir de fotos digitais como ferramentas de levantamento e análise da distribuição de luminâncias. O artigo é parte de uma pesquisa mais abrangente, denominada “O uso de imagens HDR em estudos de iluminação de espaços arquitetônicos”, na qual são avaliadas a viabilidade do uso de câmeras digitais para uso amador (*snapshot*), a usabilidade de programas computacionais existentes para a geração imagens HDR a partir de fotos e a precisão dos valores de luminância obtidos de imagens HDR em relação a dados medidos das mesmas cenas. Os resultados relativos às demais partes da pesquisa estão sendo divulgados em outros artigos.

As imagens HDR e em particular seu uso em análises de distribuição de luminâncias são relativamente recentes (INANINI, 2003). Assim, os critérios de qualidade da iluminação usados são ainda os que envolvem índices de ofuscamento (WIENOLD e CHRISTOFFERSEN, 2006), adaptados dos métodos usados com luminancímetros. Tais índices apontam apenas deficiências na iluminação, mas não os atributos pelos quais ela qualifique positivamente o ambiente.

Com o presente estudo busca-se uma primeira aproximação para aproveitar o potencial proporcionado por essa ferramenta, que possibilita o estudo de luminâncias em um campo extenso, ao contrário do que era possível de se obter com luminancímetros: uma análise ponto a ponto.

1.1 Alguns aspectos da qualidade da iluminação

A qualidade da iluminação de um ambiente depende, além da quantidade de luz incidente nas superfícies, ou seja, da iluminância, da reflexão dessa luz pelas superfícies, resultado da disposição das fontes luminosas em relação às superfícies, das propriedades das fontes, como potência luminosa e distribuição do fluxo luminoso e das propriedades ópticas das superfícies, como cor e textura. Essa distribuição, em conjunto com a geometria, confere ao ambiente uma série de atributos, como ordem, dinâmica, ritmo e equilíbrio, além de evidenciar ou atenuar detalhes superficiais (como a rugosidade). (LECHNER, 1994). Na distribuição de luminâncias podem ocorrer elevados valores pontuais ou relações elevadas entre luminâncias de superfícies, ambas situações potencialmente causadoras de ofuscamento, o que pode caracterizar uma queda na qualidade da iluminação em alguns casos, como locais de trabalho, ou, por outro lado, criar estímulos, como em salões de festas com luminárias pontuais de alto brilho. Ou seja, os atributos que qualificam a iluminação podem ser interpretados de formas diferentes dependendo do ambiente analisado.

Não foi encontrada durante a pesquisa bibliográfica uma norma para levantamentos de distribuição de luminância, principalmente quando existem fontes de luz extensas, como é o caso das aberturas. Algumas propostas envolvem o uso de videofotômetros digitais (WIENOLD e CHRISTOFFERSEN, 2006). Propostas mais modestas envolvem análises de imagens HDR renderizadas por software de simulação (INANICI, 2003) ou compostas a partir de fotos digitais (INANICI, 2005). Para a análise de ambientes complexos as imagens renderizadas são inviáveis pelo trabalho demandado na elaboração do modelo a ser simulado; restam, portanto, as imagens HDR compostas a partir de fotos digitais.

Estudos realizados por Heschong (2003a, 2003b, 2003c e 2003d) concluem que aberturas que possibilitem iluminação natural, visão do exterior e ventilação sempre trazem benefícios, seja em áreas de vendas, escolas ou escritórios: no primeiro caso traduzidos por aumento de vendas; no segundo pelo aumento de produtividade e melhoria das condições psicofisiológicas dos funcionários; no terceiro, além de melhores índices de desempenho e das condições psicofisiológicas dos alunos e professores, por menores taxas de evasão. Segundo eles, a percepção de um ambiente naturalmente iluminado é diferente da percepção de ambientes artificialmente iluminados: nos primeiros, são frequentes as sensações de maiores, mais limpos e melhor iluminados que os segundos, embora isso não ocorra na realidade. Dessa forma, pode-se considerar que a presença da luz do dia é em si um fator de qualidade da iluminação.

1.2 Caracterização dos objetos de estudo

O presente artigo apresenta análises de condições de iluminação de três ambientes com funções distintas: áreas comuns de um shopping center, onde a luz funciona como elemento de atração visual; área de atendimento ao público de um prédio de administração municipal, onde a luz deve criar não somente um ambiente agradável para quem espera ser atendido, mas também pelo menos adequada para quem trabalha no expediente; e salas de aula de uma escola de ensino fundamental, onde a luz, além de fornecer iluminação adequada para atividades de leitura e escrita, deveria contribuir para compor um ambiente motivador para os alunos. Todos os ambientes estudados localizam-se no interior do Estado de São Paulo e apresentam como característica comum a preocupação no aproveitamento da luz do dia como fonte principal de iluminação diurna.

O shopping center é composto por um prédio compacto de 1 pavimento térreo, 3 aéreos e no subsolo, além das garagens subterrâneas, que ocupa uma quadra na área central da cidade. O aproveitamento da luz do dia ocorre através de duas grandes clarabóias fechadas por vidros espelhados, situadas sobre conjuntos de escadas e praças, e de janelas laterais de diversos tamanhos, posicionadas tanto em pequenas praças ou lobbies como no interior das lojas. O arranjo físico prevê o máximo aproveitamento dessa luz nas áreas comuns e de circulação dos 5 pavimentos com lojas e no interior de algumas lojas. Segundo a administração do shopping, o conceito da iluminação das áreas comuns e de circulação foi não competir com a iluminação dos estabelecimentos, aumentando seu destaque.

O prédio de administração municipal foi concebido como dois longos saguões articulados por uma rótula formando um ângulo aberto, o que confere à planta a forma de asas. Na face frontal do prédio estão as áreas de circulação e atendimento ao público, enquanto que ao fundo ficam os escritórios de expediente. Essas áreas contam com pé-direito duplo, e as janelas, de vidro e basculantes, são posicionadas predominantemente na face frontal e receberam uma película plástica azul como acabamento. O prédio tem um segundo pavimento em algumas áreas, onde ficam os gabinetes da administração e as secretarias municipais. O pavimento térreo foi projetado para funcionar com ventilação natural, mas com a colocação de divisórias e a concentração de aberturas em apenas uma face, a circulação cruzada ficou prejudicada; assim atualmente ele conta com ar condicionado central.

As salas de aula estudadas pertencem a uma escola pública estadual. Elas estão situadas no andar superior de dois blocos de dois pavimentos com eixo maior alinhado a SO-NE e são implantadas simetricamente em relação a um corredor central. Suas janelas, dispostas somente na face externa das salas, possuem lâminas opacas verticais pivotantes e não possuem vidro. Aberturas zenitais atuam como parte de um sistema integrado de iluminação e ventilação naturais. A escola foi construída em argamassa armada e o acabamento das superfícies internas é todo no material aparente, exceto pelas janelas e portas brancas.

1.3 Imagens HDR e luminância

Chama-se gama ou escala dinâmica de uma imagem a relação entre a maior e a menor luminância nela presentes. Imagens de alta gama dinâmica ou HDR podem ser compostas a partir de fotos convencionais, conforme proposto por Debevec e Malik (1997); nelas, há uma correspondência direta entre o valor do pixel e a luminância do mundo real (INANICI e GALVIN, 2005).

Pixels de imagens HDR contêm uma quantidade de informação muito maior que a disponibilizada pelos meios de apresentação; assim, para sua visualização, é necessário fazer uma conversão para um formato convencional, através de uma técnica chamada de mapeamento de tons (*tonemapping*) (WARD LARSON *et al.*, 1997 e REINHARD *et al.*, 2002). Através dela, a gama da imagem HDR é comprimida de forma não linear para a gama do meio onde ela será reproduzida, procurando assim reproduzir a sensação visual. É possível também empregar o arquivo original para gerar imagens de falsas cores e de linhas, representando a distribuição de luminâncias no ambiente, através do aplicativo WinImage do programa Desktop RADIANCE (<radsite.lbl.gov/deskrad/>).

Pelo exposto, as imagens HDR fornecem um levantamento de dados de luminância pixel a pixel do campo observável através da lente. Comparado aos dados pontuais fornecidos por um luminômetro, trata-se de um grande avanço, uma vez que é possível estabelecer relações entre as luminâncias contidas na cena fotografada. Trata-se, ao contrário daquele instrumento, de uma ferramenta apropriada para a análise de campos visuais expostos a exteriores, onde ocorrem grandes variações pontuais de luminância em ângulos relativamente pequenos.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

De uma forma geral, associou-se métodos convencionais de avaliação de indicadores qualidade da iluminação a análises de imagens HDR compostas a partir de fotos dos ambientes estudados. A medição de iluminâncias é descrita pela ABNT (1985 e 2005) e a metodologia envolvendo o

levantamento de dados com questionários pode ser encontrada na bibliografia de Ciências Sociais, como, por exemplo, em Selltiz *et al.* (1987).

Inicialmente foram estudados os projetos dos prédios para a caracterização das superfícies e dos sistemas de iluminação e para a escolha de pontos a serem fotografados. Eles deveriam representar: vistas comuns aos usuários, no shopping center e no prédio administrativo, locais de trabalho no prédio administrativo e posição dos alunos nas carteiras nas salas de aula. Além disso, como os prédios da escola eram simétricos, deveriam ser contempladas posições a favor e contra o sol no período da manhã e da tarde.

O levantamento de iluminâncias foi feito com um luxímetro Lutron LX-101 na escala de 0 a 1999 lx. Como as plantas dos ambientes do shopping center e do prédio da administração municipal eram de geometria bastante irregular, não foi possível empregar os procedimentos normatizados em relação ao espaçamento dos pontos de medição. As medições foram feitas então em áreas centrais de corredores e de permanência de usuários, no shopping center, e sobre as mesas dos funcionários, no prédio administrativo. Na escola foram medidas as iluminâncias sobre todas as carteiras de cada sala.

Para a obtenção de fotos para posteriormente compor imagens HDR foi empregada uma câmera Sony DSC-W5, cujas características de interesse para este estudo são as possibilidades de ajustes de referência de branco, tempo de exposição, abertura e sensibilidade ISO. Foram tomadas seqüências de fotos de uma cena fixando-se a abertura e a sensibilidade ISO e ajustando-se o tempo de exposição de 1/1000 s a 10 s, com variação de 2 f-stop (11 fotos por cena), com a câmera montada em um tripé. A referência de branco foi ajustada para “luz do dia”.

Os questionários foram elaborados tendo por referência os empregados por Heschong Mahone Group (2003a, 2003b, 2003c e 2003d), com as devidas adaptações para o tema e os objetos em questão. No caso do shopping center, foram elaborados e aplicados questionários específicos para usuários, funcionários das lojas e funcionários da administração; para o prédio administrativo, questionários para usuários e para funcionários; para as salas de aula, os questionários foram destinados somente aos alunos e aplicados sob a supervisão dos professores, para esclarecer dúvidas. Foi adotada nas respostas de todos os questionários a escala de Likert (GIL, 1985).

Os levantamentos foram todos realizados no inverno, em períodos interfrontais com tempo estável. Nessas condições, a nebulosidade era extremamente baixa ou inexistente, característica daquela época do ano no interior do estado. As medições de iluminância foram realizados simultaneamente com a aquisição de imagens.

Foi empregado para a composição de imagens HDR o programa MakeHDR (disponível em <<http://www.debevec.org/FiatLux/mkhdr/>>), cujo algoritmo foi corrigido para a câmera usada no estudo. Os arquivos das fotos, originalmente em formato .jpg, foram convertidos para o formato .ppm (um dos formatos exigidos pelo MakeHDR) através do programa Irfan View (disponível em <<http://www.irfanview.com/>>), que realiza o processo em lote. A elaboração de *tonemaps* e de imagens de escala de falsas cores de luminâncias foi feita no aplicativo Winimage, do pacote do Desktop RADIANCE. A conversão do formato RADIANCE (.pic) dessas imagens para formato .jpg foi feita com o programa HDRShop (disponível em <<http://www.hdrshop.com/>>). Todos esses programas têm licença *freeware* para usos não comerciais.

Os dados das medições de iluminância e da tabulação das respostas dos questionários foram analisados juntamente com *tonemaps* e imagens de escalas de falsas cores de luminâncias obtidos a partir das imagens HDR. Na falta de indicadores de qualidade da iluminação, como exposto anteriormente, buscou-se nas imagens atributos da distribuição de luminâncias do ambiente que o pudessem relacionar às respostas dos questionários e aos valores de iluminância.

3. RESULTADOS

Inicialmente, os valores absolutos das escalas de falsa cor de distribuição de luminância das imagens HDR dão uma boa indicação sobre o nível de iluminação do ambiente, relação essa presente nos três estudos de caso. Como a visão do ambiente se dá pelas reflexões da luz nas superfícies, a luminância fornece um parâmetro de avaliação de qualidade melhor que a iluminância, uma vez que a visualização da superfície depende principalmente de sua reflectância e de seu acabamento (granulometria, brilho). Embora os resultados obtidos sejam insuficientes para análises estatísticas, a indicação sobre o nível de iluminação melhora quando as medições de iluminância são feitas também em planos verticais, além do horizontal, uma vez que aqueles estão em geral mais próximos do eixo da visão das pessoas.

A seguir, apresentam-se os resultados específicos dos três estudos de caso onde, além de caracterizar os ambientes, buscou-se relações entre as respostas dos questionários e as imagens, como exposto na bibliografia.

3.1 Shopping center

Foram escolhidos 34 pontos, nos quais foram realizados um levantamento matutino, um vespertino e um noturno, num mesmo dia. Em cada um dos pontos, nos mesmos horários dos levantamentos fotográficos, foram realizadas medições de luminância horizontal a 0,80 m do piso.

Foram distribuídos 10 questionários na administração, 40 com os funcionários e apenas 15 com usuários. O pequeno número de usuários foi devido à pouca disposição demonstrada por eles para responder ao questionário. Como o shopping fica no centro da cidade, é muito comum as pessoas irem até ele para fazer atividades mais objetivas como almoçar, pagar contas ou comprar algo específico. A maioria das pessoas abordadas não quis responder ou respondia com visível má vontade. Por outro lado, como os funcionários conhecerem o local e convivem muito mais tempo nele, foram eles os sujeitos principais das entrevistas. Os questionários foram deixados nas lojas pela manhã e apanhados no final da tarde. Além de responderem na hora em que tiveram tempo, pensaram muito mais nas respostas e forneceram informações muito mais completas sobre o shopping. A administração direta conta com somente 10 funcionários e todos eles responderam ao questionário.

As análises dos três levantamentos convergem nos seguintes pontos:

- A iluminação elétrica do shopping é em geral fraca para atender as necessidades em dias nublados e à noite. Como ela foi planejada para não concorrer com a iluminação de vitrines, pressupõe que essas últimas sejam bem iluminadas, o que não necessariamente ocorre;
- O primeiro pavimento, que fica no subsolo, possui baixas luminâncias, pois não há aberturas e a luz artificial é insuficiente. Além disso, as salas são principalmente de serviços e não mantêm vitrines iluminadas;
- A luz do dia é muito intensa na fachada do shopping (oeste) durante à tarde, causando tanto ofuscamento direto como reflexos incômodos em áreas interiores. Em pontos de áreas de circulação distantes dessa fachada, mas com visão dela, as relações entre as luminâncias são bastante elevadas, o que explica o fenômeno;
- O local preferido das pessoas é o térreo, na área onde ficam os sofás (Figura 1). A preferência se deve ao ambiente mais claro e aos sofás. As imagens mostram uma distribuição de áreas com luminâncias bastantes variadas, porém com relações baixas, criando focos de atenção sem grandes contrastes. Analisadas ao longo do dia, essa distribuição é dinâmica, uma vez que as manchas iluminadas pelas aberturas zenitais mudam de posição e de forma com a posição do sol.

Uma divergência entre os dados de fotos e de medições em relação às opiniões expressas nos questionários é que a praça de alimentação, mesmo sendo um dos locais mais escuros (iluminância média diurna de 50 lx), é um dos lugares preferidos no shopping. Apesar dos resultados serem

contraditórios, as pessoas também acham o local pouco iluminado, mas gostam dele pelo fato de ser uma área de refeição e convívio.

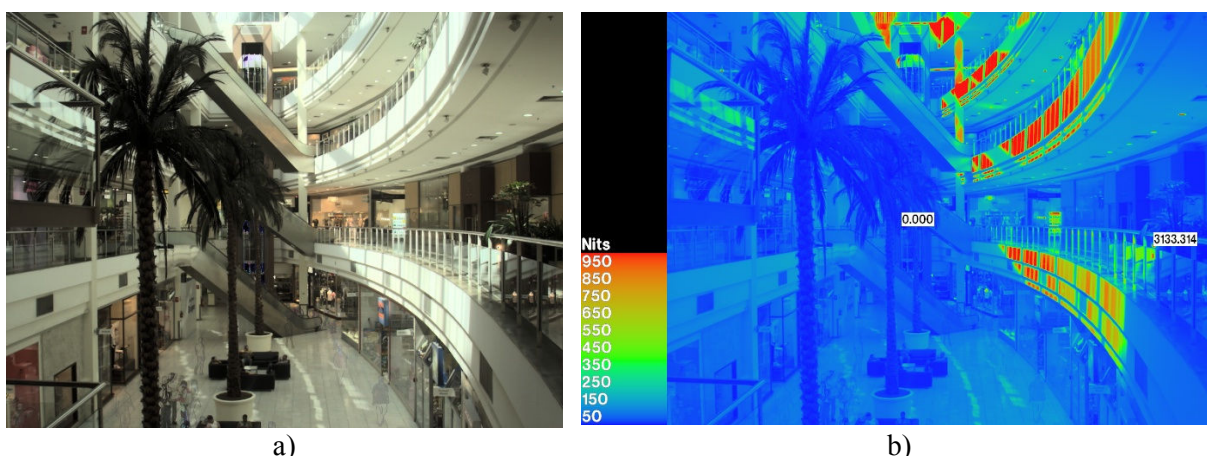


Figura 1 – Imagem da praça térrea sob uma clarabóia, fotografada no período vespertino. A luz do sol, filtrada pelo vidro espelhado, cria desenhos luminosos dinâmicos no interior.
a) tonemap; b) escala de falsas cores de luminâncias.

3.2 Prédio da administração municipal

Foram realizados levantamentos fotográficos e de iluminâncias em planos horizontais de trabalho em 10 pontos selecionados ao longo do pavimento térreo.

A análise fotográfica mostrou que em áreas próximas às janelas o mobiliário foi distribuído sem critério em relação ao aproveitamento da luz do dia e assim o campo visual fica, em algumas situações, de frente para áreas de grandes contrastes, como mostrado na Figura 2. Outra constatação a partir das visitas e das imagens é a grande distorção cromática da luz do dia provocada pela película que recobre as janelas. Finalmente, a iluminação elétrica foi disposta em luminárias embutidas, mesmo nas áreas de pé-direito duplo. Nessas áreas, foram empregadas lâmpadas de multivapor metálico de grande potência, para compensar a distância aos planos de trabalho. Devido ao grande consumo do conjunto dessas lâmpadas, elas estavam acesas, durante o período dos levantamentos, em filas alternadas, embora isso resultasse em baixas luminâncias nas áreas afastadas das aberturas.

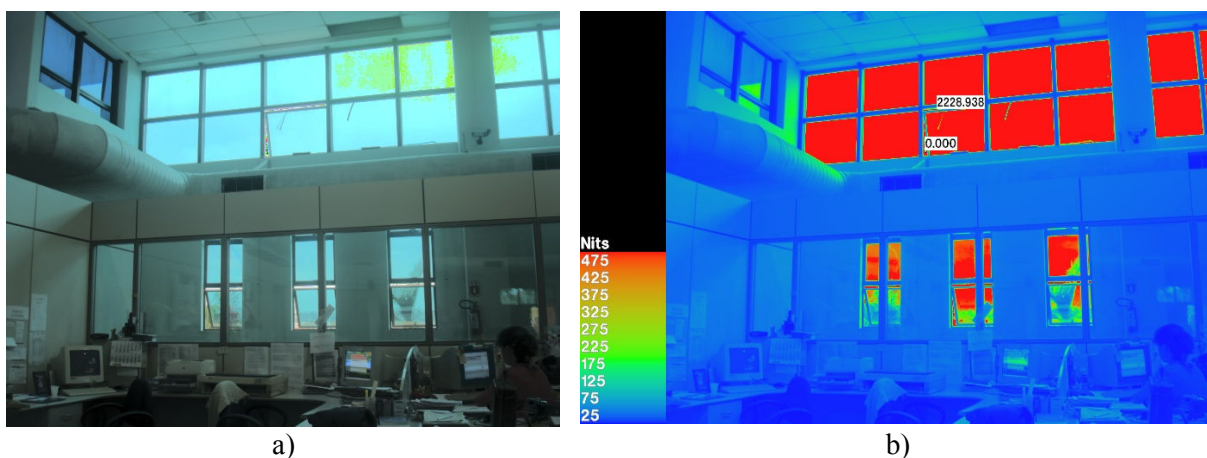


Figura 2 – Vista da área de atendimento ao público a partir do fundo do prédio.
a) tonemap; b) escala de falsas cores de luminâncias.

Apesar dos problemas apontados, as respostas dos questionários que os funcionários estão em geral satisfeitos com a iluminação da área estudada e problemas como exposição a contrastes elevados e aberração cromática não foram apontados, assim como também não houve queixas em relação a baixas iluminâncias. Esses resultados parecem coincidir com o trabalho de Heschong Mahone Group (2003d), no qual a visão do exterior e a entrada de luz natural foram apresentadas como qualificadores do ambiente, embora quantitativamente a luz nem sempre fosse suficiente. Assim, embora a Figura 2b mostre áreas com relações de luminância extremamente elevadas no campo de visão dos funcionários de frente para as janelas, tal fato é relevado para segundo plano. As maiores reivindicações foram no sentido de trocar as luminárias das áreas com pé-direito duplo: as atuais, por não terem lentes difusoras e pelo espaçamento entre elas (já que as filas permanecem alternadamente ligadas e desligadas), atuam como fontes pontuais e causam sombras nítidas nas superfícies de trabalho.

3.3 Escola

Em cada uma das 4 salas escolhidas dispostas duas a duas em faces opostas de 2 prédios (2 classes a sudeste e 2 a noroeste), foram realizados levantamentos fotográficos e de iluminância nas carteiras extremas direita e esquerda da primeira e da última filas, nos períodos matutino e vespertino, em combinações de janelas abertas e fechadas e luminárias acesas e apagadas. Foram respondidos 167 questionários por alunos do 6º ao 9º anos (na época do levantamento, 5ª a 8ª séries).

Através das medições de iluminâncias, constatou-se que a iluminação natural das colunas de carteiras afastadas das aberturas é bastante deficitária (abaixo de 100 lx); com as lâmpadas acesas, a iluminação melhora, mas ainda não é suficiente (abaixo de 300 lx, o mínimo recomendado pela NBR-5413). Embora as salas disponham de iluminação zenital (Figura 3), sua ajuda não é suficiente para que haja iluminância adequada em toda a sala. Durante parte significativa do ano é necessário manter as janelas fechadas devido a baixas temperaturas, vento ou chuva; nesse caso, as vedações opacas tornam o interior totalmente dependente da iluminação elétrica, além de praticamente eliminar a ventilação natural. No entanto, a iluminação elétrica somente é insuficiente para suprir iluminâncias adequadas.

Pelo levantamento fotográfico constata-se a homogeneidade de cores escuras no teto e no piso, que contribui para a redução da interreflexão da luz. As imagens de falsas cores de luminâncias evidenciam tanto áreas com altos valores absolutos, como a visão de porções elevadas da abóbada celeste, como a altas relações de luminância, como as carteiras mais próximas à lousa nas colunas laterais opostas às janelas. Como explicado pelos professores da escola, há necessidade de manter o primeiro módulo de janela, próximo à lousa, constantemente fechado para reduzir o ofuscamento, o que escurece mais a sala justamente na área de iluminação da lousa.

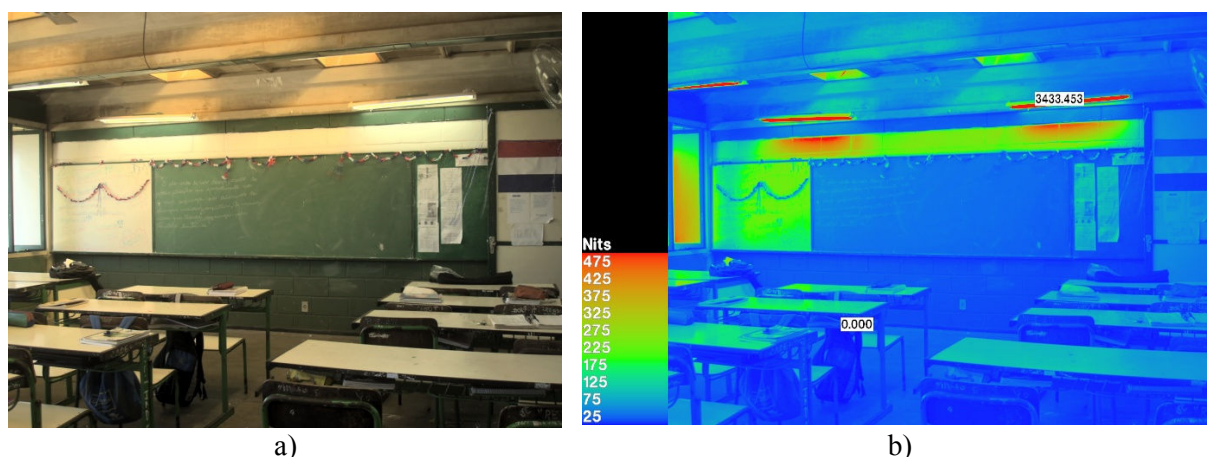


Figura 3 – Interior de uma das salas de aula, com janelas abertas e lâmpadas ligadas.
a) tonemap; b) escala de falsas cores de luminâncias.

As respostas dos questionários indicaram que as luminárias se constituem em incômodos visuais, nem tanto pela intensidade das lâmpadas, mas pela alta relação de luminâncias em relação ao teto escuro, o que é corroborado pelas imagens de falsas cores. Embora a iluminância nas salas seja em geral insuficiente para as atividades que nela ocorrem, a percepção dos alunos é de que ela é, na maior parte dos casos, satisfatória. Verificou-se no geral o funcionamento constante da iluminação elétrica na maioria dos casos. Como o controle de todas as luminárias de cada sala é único, elas são todas ligadas quando uma região da sala fica com iluminância insuficiente. O item cujas respostas teve a maior frequência foi sobre a iluminação natural que, mesmo insuficiente para fornecer a iluminância necessária, foi considerada agradável e sua ausência muito sentida em períodos que as janelas têm que permanecer fechadas. Novamente, esses resultados corroboram os de Heschong Mahone Group (2003b e 2003c), onde os estudantes prezam a visão do exterior e a entrada de luz do dia.

4. CONCLUSÕES

Em relação à avaliação dos ambientes propriamente ditos, na análise conjunta as respostas dos questionários indicam a aprovação do uso da luz do dia, mesmo sendo ela causadora de alguns incômodos. Juntamente com a luz do dia, a visão do exterior também é considerada um fator positivo apontado nos ambientes estudados. Esses resultados estão de acordo com a bibliografia de referência e reforçam a convicção de que o uso da luz do dia deve ser sempre uma das metas projetuais pela qualidade ambiental que dele resulta. Por outro lado, o uso adequado da luz do dia exige do projetista conhecimento e sensibilidade para que seus princípios sejam corretamente empregados e os resultados criem os efeitos pretendidos.

As imagens HDR compostas a partir de fotos digitais, por fornecerem a distribuição de luminâncias de um campo relativamente extenso (com a lente padrão da câmera), tornam possível a análise de valores absolutos e de relações de luminâncias. Por outro lado, como seu surgimento é relativamente recente, não existem métodos e procedimentos de análises próprias, apenas adaptações de cálculos de índices de ofuscamento usados para luminancímetros. Neste trabalho, procurou-se, ainda que de forma inicial e incipiente, associar informações de métodos convencionais a informações de imagens HDR para desenvolver parâmetros de análise de qualidade da iluminação. Em particular, foram empregadas análises visuais de *tonemaps* e relações de luminâncias a partir de imagens de falsas cores.

A análise de imagens HDR apresentou resultados coerentes com avaliações de iluminância. Comparada à análise de respostas de questionários, apresentou algumas divergências as quais, no entanto, haviam sido relatadas também na bibliografia de referência.

Dessa forma, considera-se satisfatória a proposta de se empregar imagens HDR compostas a partir de fotos digitais como instrumento de levantamento e análise de distribuição de luminâncias. O desenvolvimento de métodos e procedimentos específicos para essa ferramenta é, com certeza, campo para estudos mais longos e não faz parte do escopo do presente trabalho.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT (1985). *Verificação de iluminância de interiores* - NBR5382. Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro.

ABNT (2005). *Iluminação natural - Parte 4 - Verificação experimental das condições de iluminação interna de edificações - Método de medição* - NBR15215-4. Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro.

DEBEVEC, P. E.; MALIK, J. (1997) Recovering High Dynamic Range Radiance Maps from Photographs. In: SIGGRAPH 97, Annual Conference Series, Los Angeles, California August 1997. Los Angeles, California: Addison Wesley, *Proceedings of SIGGRAPH 97, Computer*

- Graphics Proceedings*, p. 369-378. Disponível em <<http://www.debevec.org/Research/HDR/debevec-siggraph97.pdf>>. Acesso em: 19 set. 2005.
- GIL, A. C. (1999) *Métodos e técnicas de pesquisa social*. Atlas, São Paulo.
- HESCHONG MAHONE GROUP (2003a). *Daylight and retail sales*. California Energy Commission, Sacramento (CA). Disponível em: <http://www.newbuildings.org/downloads/FinalAttachments/A-5_Daylgt_Retail_2.3.7.pdf>. Acesso em: 09 jun. 2006.
- HESCHONG MAHONE GROUP (2003b). *Daylighting in schools: reanalysis report*. California Energy Commission, Sacramento (CA). Disponível em: <http://www.newbuildings.org/downloads/FinalAttachments/A-3_Dayltg_Schools_2.2.5.pdf>. Acesso em: 09 jun. 2006.
- HESCHONG MAHONE GROUP (2003c). *Windows and classrooms: a study of student performance and the indoor environment*. California Energy Commission, Sacramento (CA). Disponível em: <http://www.newbuildings.org/downloads/FinalAttachments/A-7_Windows_Classrooms_2.4.10.pdf>. Acesso em: 09 jun. 2006.
- HESCHONG MAHONE GROUP (2003d). *Windows and offices: a study of office worker performance and the indoor environment*. California Energy Commission, Sacramento (CA). Disponível em: <http://www.newbuildings.org/downloads/FinalAttachments/A-9_Windows_Offices_2.6.10.pdf>. Acesso em: 09 jun. 2006.
- INANICI, M. N. (2003) Transformation of high dynamic images into virtual lighting laboratories. In: Eighth International IBPSA Conference, Eindhoven, Netherlands, August 11-14, 2003. *Proceedings...* IBPSA, Eindhoven, p. 539-546. Disponível em: <http://www.ibpsa.org/m_bs2003.asp>. Acesso em: 19 set. 2005
- INANICI, M. N. (2005) Per-pixel lighting data acquisition and analysis with high dynamic range photography. In: International Commission on Illumination (CIE) 2005 Conference, Leon, May 12th to 21st 2005. *Proceedings...* CIE, Leon. Disponível em <<http://dmg.caup.washington.edu/mehlika/mi-CIE05.pdf>>. Acesso em: 19 set. 2005.
- INANICI, M. N.; GALVIN, J. (2004) *Evaluation of High Dynamic Range photography as a luminance mapping technique*. Paper LBNL-57545, Lawrence Berkeley National Laboratory, University of California. Disponível em: <<http://www.osti.gov/bridge/servlets/purl/841925-QBBn0i/native/841925.pdf>> e <<http://repositories.cdlib.org/lbnl/LBNL-57545>>. Acesso em: 19 set. 2005.
- LECHNER, N. (1990) *Heating, cooling, lighting: design methods for architects*. Wiley, New York.
- REINHARD, E.; STARK M.; SHIRLEY P.; FERWERDA J. (2002) Photographic tone reproduction for digital images. *ACM Transactions on Graphics (TOG)*, v. 21, n. 3, p. 267-276. Disponível em: <http://portal.acm.org/ft_gateway.cfm?id=566575&type=pdf&coll=GUIDE&dl=GUIDE&CFID=59975934&CFTOKEN=99731001> e em: <<http://www.cs.utah.edu/~reinhard/cdrom/tonemap.pdf>>.
- SELLTIZ, C.; WRIGHTSMAN, L.; COOK, S.; KIDDER, L. (1987) *Métodos de pesquisa nas relações sociais*. EPU, São Paulo, v. 2 (Medidas na pesquisa social).
- WARD LARSON, G.; RUSHMEIER H.; PIATKO C. (1997) A visibility matching tone reproduction operator for high dynamic range scenes. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, v. 3, n. 4. Disponível em: <<http://radsite.lbl.gov/radiance/papers/lbnl39882/tonemap.pdf>>. Acesso em: 18 nov. 2005.

WIENOLD, J. e CHRISTOFFERSEN, J. (2006) Evaluation methods and development of a new glare prediction model for daylight environments with the use of CCD cameras. *Energy and Buildings*, v. 38 n. 7, p. 743-757.

6. AGRADECIMENTOS

A realização deste trabalho foi possível graças ao financiamento da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) através dos programas de Auxílio Pesquisa (processo no. 2005/00911-7) e de Bolsas de Iniciação Científica (processos nos. 2005/01021-5, 2005/01022-1 e 2005/01475-6).