

## ANÁLISES DE DISTRIBUIÇÃO DE LUMINÂNCIAS ATRAVÉS DE IMAGENS HDR COMPOSTAS POR FOTOS DE CÂMERAS *SNAPSHOT*

**João Roberto Gomes de Faria**

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: joaofari@faac.unesp.br

### RESUMO

No presente artigo são apresentados os fundamentos para o uso de imagens HDR (*high dynamic range*) obtidas a partir de fotos digitais para realizar análises de distribuição de luminâncias, assim como as adaptações necessárias para o uso de câmeras digitais do tipo *snapshot* nessas atividades. A fundamentação teórica sobre a composição de imagens HDR é levantada a partir da síntese de bibliografia especializada. São apresentados resultados de análises de quatro programas *freeware* de composição de imagens HDR a partir de fotos digitais quanto à usabilidade e à precisão dos resultados em relação a dados de luminância medidos com um luminômetro. São estabelecidos procedimentos para corrigir diferentes condições de exposições das imagens (não previstos total ou parcialmente pelos programas), incorporados num software de código aberto.

### ABSTRACT

This paper presents the fundamentals for use HDR (high dynamic range) images obtained by digital cameras to analyze the luminance distribution of scenes and the necessary adaptations to use snapshot-type camera in this activity. The theoretical fundamentals about the HDR image composition are recovered from the specialized bibliography. The results of analysis of usability and precision of four freeware programs for the HDR images composition from digital photos are presented. To verify the accuracy of the results of the programs were used luminance data measured with a luminance meter. Procedures to correct different exposition conditions of images (not included total or partially in those programs) are established and included in an open source code program.

### 1. INTRODUÇÃO

O objetivo da pesquisa que originou este artigo foi validar o uso de câmeras digitais *snapshot* (de uso amador) em levantamentos de distribuição de luminâncias, através da composição de imagens de alta gama dinâmica (*high dynamic range*), ou imagens HDR, como são denominadas inclusive no Brasil, a partir de fotos por elas obtidas. Imagens HDR podem ser usadas para medir luminâncias num campo visual amplo, ao contrário dos luminômetros, nos quais as medições ocorrem em campos de apenas um grau ou menos. Dessa forma, é possível, com imagens HDR, criar escalas tanto de valores absolutos de luminâncias como de relações entre luminâncias de diversas superfícies.

Imagens HDR são usadas para essa finalidade há algum tempo (INANICI e GALVIN, 2004 e INANICI, 2005), mas os modelos de câmeras usadas nas pesquisas aqui referenciadas são profissionais ou semiprofissionais e equipadas com lentes grande-angulares do tipo “olho de peixe”.

Esses conjuntos de câmeras e lentes são ainda muito caros no Brasil, tornando difícil a popularização da técnica, daí o uso de câmeras mais simples neste estudo. Por outro lado, as imagens de câmeras *snapshot* são geralmente pré-tratadas nas próprias câmeras, para salientar alguma propriedade (p. ex. saturação ou brilho) e dessa forma os programas de composição de imagens HDR precisam ser calibrados, o que é um dos objetivos deste estudo.

Lentes “olho de peixe” fornecem cenas com a totalidade do campo visual, mas em projeções esféricas; por outro lado, imagens obtidas com as lentes originais das câmeras fornecem apenas uma parte do campo visual, mas estão em projeção plana, de fácil entendimento. Nesse sentido, várias cenas convencionais de um ambiente obtidas por lentes convencionais de câmeras *snapshots* podem fornecer uma compreensão melhor a um leigo ou a principiantes na área do que uma única imagem obtida por uma lente grande angular.

Este artigo descreve os fundamentos da criação de imagens HDR a partir de fotos digitais e sua aplicação no estudo distribuição de luminâncias. Descreve também a calibração de um programa de composição de imagens HDR a partir de fotos digitais, como forma de viabilizar seu uso com câmeras *snapshot*. Por problemas de espaço, a descrição de aplicações da técnica será feita em outro artigo.

## 1.1 Luminância e processo visual

Nós vemos o mundo através interação da luz com as superfícies. Essa visualização depende, entre outros fatores, de um jogo de reflexão de 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.

Uma boa distribuição da luminosidade complementa o espaço construído, ao conferir ordem, dinâmica, ritmo e equilíbrio ao ambiente, além de interagir com propriedades superficiais (como o destaque da rugosidade). Em locais onde se desenvolve alguma atividade onde o processo visual seja importante, ela é essencial no sentido de facilitar o trabalho visual e evitar a fadiga. Para que tudo o acima descrito ocorra, é fundamental que o ambiente conte com uma distribuição de luminâncias adequada.

A luminância absoluta tem pouco significado para o processo visual, a não ser quando se tratam de valores elevados, quando pode ser agente de desconforto por ofuscamento. A grandeza de maior importância no processo visual é o brilho relativo (ou brilho subjetivo ou luminosidade, cf. HOPKINSON *et al.*, 1975), ou seja, a relação entre as luminâncias na cena observada. A visão humana apresenta o fenômeno da constância de brilho, de modo a identificar as mesmas relações de luminâncias sob diferentes iluminâncias. Os valores absolutos das luminâncias nos dão, no entanto, uma idéia da iluminância na superfície, uma vez que a primeira grandeza depende da segunda.

Para Zevi (1989), nada substitui a presença física numa obra arquitetônica para compreendê-la. No entanto, como isso nem sempre é possível, a representação bidimensional do espaço construído torna-se imprescindível pelo menos como meio de conhecer aquele espaço e estudar, através dela, alguns de seus atributos. A pintura inicialmente e posteriormente a fotografia têm sido empregadas para representar as distribuições da luz refletida. Indiscutivelmente a fotografia se apresenta como um meio mais rápido e menos trabalhoso que o primeiro; por outro lado, a correta reprodução das luminâncias está sujeita à gama de valores possíveis de serem reproduzidas pela tecnologia empregada. Uma foto convencional não consegue reproduzir corretamente ambientes com grandes relações de luminâncias: ou se perdem detalhes na parte mais escura, para dar visibilidade às partes mais claras, ou se “queima” a parte mais clara, para mostrar os detalhes contidos na parte mais escura. Na visão da cena, esses fenômenos são corrigidos pela visão humana, que observa cada parte da cena com a quantidade de luz corrigida pela íris; a imagem global, processada pelo cérebro, uma percepção do ambiente distinta da visão das fotos.

## 1.2 Luminância em imagens HDR compostas a partir de fotos

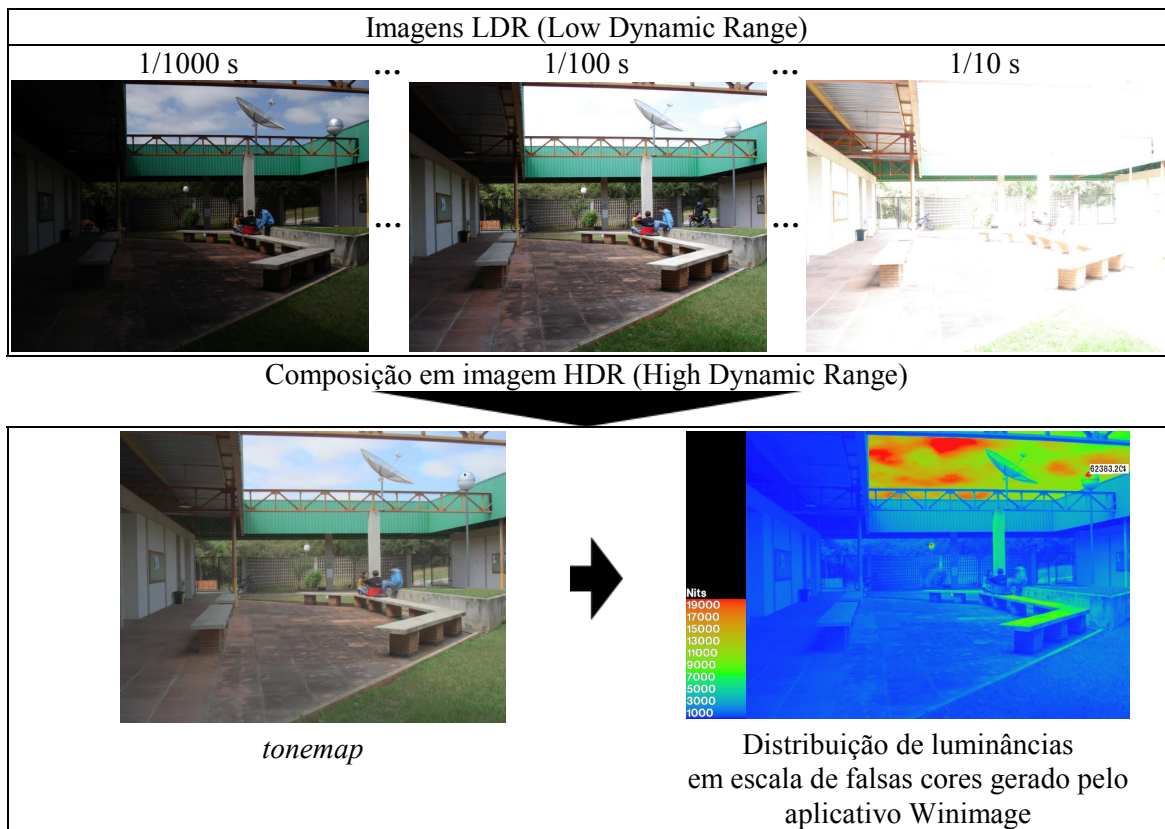
Chama-se gama dinâmica de uma imagem a relação entre a maior e a menor luminância nela presentes. Conforme Debevec e Malik (1997), há uma associação intrínseca entre as tecnologias dos meios de aquisição e de reprodução de imagens. Assim, os filmes fotográficos foram desenvolvidos para captar a gama de luz que os papéis fotográficos podem reproduzir, o mesmo acontecendo com as imagens obtidas por câmeras digitais em relação à resolução de monitores de vídeo e dos meios de impressão fotográfica. No entanto, conforme vários autores (FERWERDA, 1996; WARD, 2001 e SEETZEN, 2004, entre outros), a faixa de variação de luminosidade do mundo real é da ordem de 10 vezes ( $10^{10}:1$ ), de cenas iluminadas pela luz das estrelas a cenas iluminadas pela luz da neve branca, e a faixa de variação dinâmica de uma única cena é da ordem de 4 vezes ( $10^4:1$ ), das partes mais iluminadas para as sombreadas. Segundo LEARN (2005), o olho humano adaptado é capaz de detectar variações de luminâncias da escala de  $10^3:1$  para uma cena em geral e de  $10^4:1$  para detalhes da cena. No entanto, os melhores papéis fotográficos e monitores de vídeo conseguem reproduzir faixas absolutas da ordem de dois (até 300:1).

O conceito de imagem de alta gama dinâmica ou imagem HDR (*High Dynamic Range*) surgiu em 1989, durante o desenvolvimento do RADIANCE (disponível em <http://radsite.lbl.gov/radiance/home.html>), um software de análise e visualização de iluminação em projetos. Ela atendia à necessidade de um formato que armazenasse as luminâncias ou radiâncias das imagens geradas pelas simulações, ou seja, que fosse uma imagem relacionada à cena, ao contrário das imagens digitais convencionais, que são corrigidas para apresentação em algum meio, ou seja, são relacionadas ao meio de representação (REINHARD *et al.*, 2006). Seus pixels 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; 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. No entanto, é possível empregar o arquivo da imagem HDR para gerar imagens de falsas cores e de linhas, representando a distribuição de luminâncias no ambiente, através de aplicativos do software RADIANCE, como mostrado na Figura 1.

Os algoritmos para composição de imagens HDR a partir de fotos surgiram também na década de 1990. Particularmente dois deles destacaram-se e são a base de programas de composição de imagens HDR: o de Debevec e Malik (1997) e o de Mitsunaga e Nayar (1999). Ambos os algoritmos exigem uma seqüência de imagens de uma mesma cena obtidas com diferentes condições de exposição (diferentes tempos de exposição ou aberturas), a partir da qual calculam os valores dos pixels e compõe uma a imagem HDR síntese do conjunto, que contém os valores de luminância do conjunto todo. Algoritmos adicionais corrigem eventuais pequenos movimentos da câmera ou de objetos na cena durante a composição da imagem HDR e reduzem o aparecimento de “fantasmas” (WARD, 2003).

Inanici (2003) propunha a criação de laboratórios de iluminação virtuais a partir de imagens HDR geradas pelo RADIANCE. Posteriormente, Inanici e Galvin (2004) mostraram que as correlações entre valores de luminância de imagens HDR compostas a partir de fotos digitais e medidos por instrumentos são elevadas e que valores de luminância obtidos a partir de levantamentos fotográficos apresentam erro em torno de 10%, com aumento do valor para cores saturadas. Em vista desses resultados, Inanici (2005) altera seu trabalho original, passando a empregar imagens HDR.

De acordo com Grossberg e Nayar (2003), no processo de combinação de fotos digitais para compor uma imagem HDR o número de exposições e seus valores têm um efeito dramático sobre a qualidade da imagem. Quando poucas imagens com exposições extremas são combinadas, a imagem resultante apresenta uma larga faixa dinâmica, mas não mostra pequenas variações de brilho; por outro lado, quando são combinadas imagens exposições similares, o resultado inclui variações sutis, mas numa com uma faixa dinâmica limitada.



**Figura 1** – Composição e representação de imagens HDR a partir de fotos digitais.

Nas pesquisas de busca material bibliográfico sobre imagens HDR na internet a grande ênfase tem sido na elaboração de algoritmos de *tonemaps*, cujos maiores campos de aplicação encontram-se na indústria cinematográfica e em desenvolvimento de jogos computacionais (WARD, s.d.). Mais recentemente passaram a ser empregadas em programas de edição de fotos digitais (ADOBE, 2005).

Os processos de aquisição e apresentação de imagens HDR encontram-se atualmente numa fase de transição, onde são pesquisadas tanto formas de obtenção direta da imagem HDR como de apresentação da imagem com toda a faixa dinâmica (SEETZEN *et al.*, 2004, BRIGHTSIDE TECHNOLOGIES, 2005 e MEYER, 2005, entre outros).

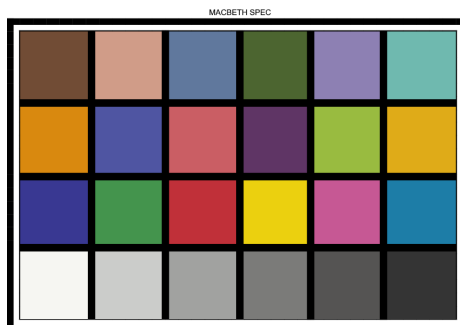
Nas referências acima que verificam as relações entre imagens HDR e distribuição de luminância (com destaque para as de INANICI, 2005, e ININICI e GALVIN, 2004) são empregadas câmeras digitais profissionais ou semi-profissionais. Elas possuem recursos de troca de lentes e de controle de referência de branco dificilmente encontradas em câmeras para uso amador (como as *snapshot*). Assim, em geral os ambientes são fotografados com lentes angulares “olho de peixe”, que fornecem imagens que abrangem todo o campo visual, e gravados em arquivos do tipo .RAW, sem nenhuma compensação prévia de cor ou luminosidade; elas são feitas posteriormente, através de software. Ao contrário, nas câmeras *snapshot* a lente é fixa e o campo da imagem é menor que o visual; o ajuste de branco pode ser alterado em função da fonte luminosa, mas é feita uma compensação de cores automaticamente durante a geração do arquivo da imagem, através do qual o fabricante pretende salientar algum atributo, como tornar as cores mais saturadas ou mais brilhantes.

## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

Para a obtenção de fotos para posterior composição de imagens HDR é essencial que a câmera tenha controle manual de todos os parâmetros (exceto foco, que pode ser automático). Nesse estudo foi empregada uma câmera Sony DSC-W5, em resolução VGA (640 x 480 pixels), cujas características de interesse para este estudo são os 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 ajustando-se o tempo de exposição de 1/1000 s a 1 s, com variação de 1 f-stop, com a câmera montada em um tripé e disposta a 1 m da figura. O ajuste de referência de branco foi feito em função da fonte de iluminação empregada, luz do dia ou fluorescente.

Como modelo para as fotos elaborou-se uma tabela de cores do tipo “Macbeth Chart” (Figura 2) em impressora jato de tinta a partir de um modelo gerado pelo Radiance, a qual foi fixada na parede de uma sala com possibilidades de iluminação natural lateral e fluorescente. Durante cada sessão de fotos a luminância de cada quadro da carta foi medida com um luminômetro Minolta LS-100 montado em um tripé.



**Figura 2** – Imagem usada como modelo para as fotos nos estudos.

Foram empregados para a composição de imagens HDR os programas MakeHDR (disponível em <<http://www.debevec.org/FiatLux/mkhdr/>>), HDRShop (disponível em <<http://www.hdrshop.com/>>), RASCAL – Radiometric Self CALibration (disponível em <<http://www1.cs.columbia.edu/CAVE/software/rascal/rrhome.php>>) e hdrngen (disponível em <[http://www.anyhere.com/gward/pickup/hdrngen\\_linux.tar.gz](http://www.anyhere.com/gward/pickup/hdrngen_linux.tar.gz)>), todos com licença freeware para usos não comerciais. Os dois primeiros empregam o algoritmo de Debevec e Malik e os outros o de Mitsunaga e Nayar. Os três primeiros rodam em ambiente Microsoft Windows e o último em ambiente linux. De todos eles, o único com interface gráfica (GUI) integrada é o HDRShop. O RASCAL é um conjunto de 5 programas, alguns do tipo linha de comando, outros com GUI. O MakeHDR é fornecido com o código fonte, com permissão para uso e alterações em atividades de ensino e pesquisa. Para a conversão das fotos do formato .jpg para o formato .ppm, usado pelo MakeHDR, foi empregado o software freeware Irfan View (disponível em <<http://www.irfanview.com/>>), que conta com processamento em lote.

Inicialmente foi obtido um conjunto de 31 imagens com exposições diferentes de uma única de uma cena, as quais foram processadas pelos 4 programas para análise de usabilidade no processo de composição da imagem HDR. Tomou-se por parâmetros de análise: possibilidade de automatizar operações; possibilidade de exportar arquivos gerados para outros aplicativos; número de operações envolvidas.

Para a análise de acurácia dos resultados dos programas empregaram-se ao todo 10 conjuntos de 31 imagens cada, em situações diversas de iluminação e de ajuste de referência de branco.

Os programas calculam os valores de luminância para a composição da imagem HDR a partir de amostras aleatórias dos pixels do conjunto de imagens. Para se avaliar a variação dos valores de pixels de uma imagem HDR para outra da mesma cena, geradas por diferentes execuções do programa, elaborou-se um aplicativo que gerava imagens a partir de 100 simulações e obtinha os valores de 200 pixels de cada uma delas. Os valores desses pixels foram posteriormente lançados em uma planilha eletrônica para análise.

Constatou-se que os valores de luminância calculados pelo MakeHDR apresentavam erro sistemático em relação a dados medidos com o luminômetro. Procedeu-se à calibração do programa através de análise de regressão linear, executada em planilha eletrônica. O programa também não possuía correção para mudança de sensibilidade; isso foi corrigido pela incorporação de uma relação entre a sensibilidade de referência (ISO 100) e a sensibilidade empregada (em valores ISO) no algoritmo e pela inclusão desse mesmo valor no arquivo de entrada do programa.

Para a realização desses trabalhos foi desenvolvido um aplicativo para plataformas Microsoft Windows para a leitura dos valores dos pixels, assim como sua luminância, ou a luminância média e o respectivo desvio-padrão de uma área selecionada. O programa lê imagens HDR no formato .PIC do RADIANCE, do qual foram usadas partes do código-fonte. O RADIANCE possui um aplicativo que realiza as mesmas funções (o ximage), porém em ambientes linux ou Cygwin. A Figura 3 apresenta capturas de tela do programa durante sua execução.

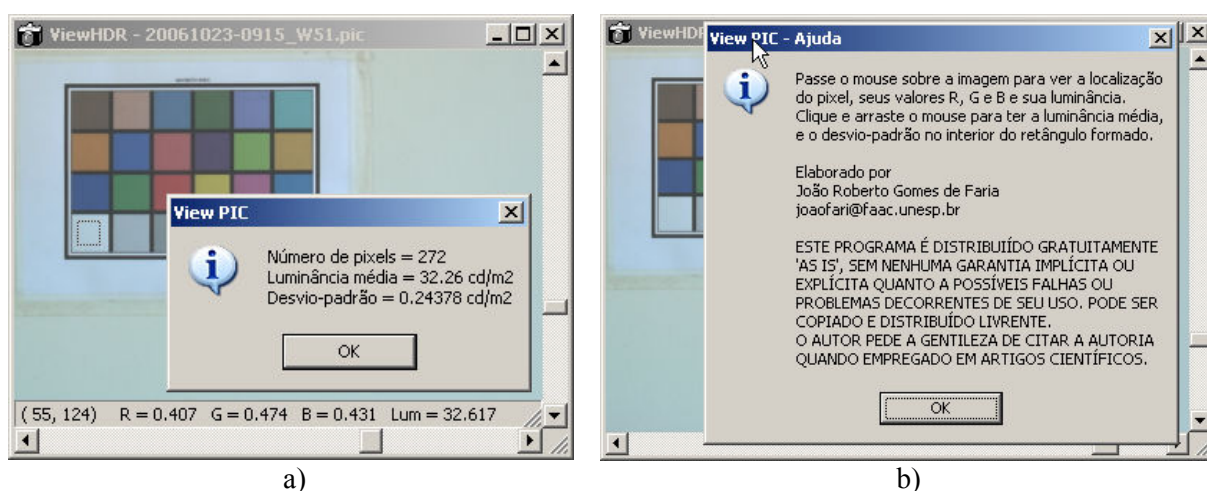


Figura 3 – Telas do ViewPIC: a) posição e valores dos pixels; b) ajuda.

### 3. RESULTADOS

#### 3.1 Usabilidade dos programas

O MakeHDR é um software do tipo linha de comando, sem iteratividade. Gera arquivos de imagens HDR compatível com os aplicativos do RADIANCE. Aceita como entrada arquivos nos formatos .PPM e .TIFF. Sua ajuda é sucinta, mas no arquivo baixado da internet existe uma página em html com explicações mais detalhadas sobre seu funcionamento. Para sua execução, é executada uma linha de comando contendo: opções como formato dos arquivos das fotos e saída ou uso de curvas de calibração e rejeição de pixels em áreas com movimento; arquivo texto contendo lista de arquivos das fotos com respectivos tempos de exposição e aberturas; arquivo de saída. É possível executá-lo várias vezes e, portanto, com vários conjuntos de fotos, a partir de um arquivo de lote (batch file) ou de um script, ou mesmo pela alteração do código-fonte, criando uma GUI e tornando sua operação mais familiar aos usuários de plataformas Microsoft Windows. Durante os testes, forneceu valores de luminância sistematicamente superiores aos medidos.

O HDRShop possui uma GUI através da qual são feitas não somente as operações de composição da imagem HDR, mas também a visualização de *tonemaps* e várias operações de edição. Importa arquivos de fotos em 5 formatos e grava imagens HDR em outros 5 formatos, inclusive alguns compatíveis com os aplicativos do RADIANCE; exporta *tonemaps* para arquivos de formatos gráficos reconhecidos por aplicativos do Microsoft Windows. A ajuda do programa é fornecida na sua home page. Trabalha em duas etapas: na primeira é gerada uma curva de calibração da câmera para o conjunto de imagens e na segunda gera a imagem HDR. Em ambos os casos é necessário entrar nome

por nome dos arquivos, assim como os parâmetros de exposição de cada foto. A etapa de construção da curva é iterativa, sendo necessária a intervenção do usuário para ajustes finais. Aceita no máximo 10 arquivos de imagens de entrada. As imagens HDR nele geradas não guardam relação com a iluminação real, ou seja, os valores de seus pixels não guardam relações com as respectivas luminâncias.

O RASCAL é composto por um conjunto de 5 aplicativos: imageAlignment (GUI), rrselect (linha de comando), rrcalibrate (linha de comando), rrcombine (linha de comando) e RadianceView (GUI), que executam, respectivamente, as tarefas de alinhamento das imagens de entrada, seleção da área de amostragem dos pixels para cálculos posteriores, construção da curva de calibração, combinação das imagens, formando a imagem HDR e visualização da imagem HDR. A ajuda sobre o pacote vem num arquivo .PDF. As linhas de comando são iterativas e é necessário compor arquivos de parâmetros para cada uma delas. A imagem HDR é gerada no formato proprietário .PPM16, aberta somente com o RadianceView, que possui alguns controles de visualização. Não é possível exportar o arquivo da imagem HDR para ser aberto em aplicativos do RADIANCE e dessa forma não é possível gerar imagens de falsas cores ou se obter os valores das luminâncias dos pixels.

O HDRgen é um software do tipo linha de comando, sem iteratividade, que opera em ambiente linux. A forma de execução é muito semelhante à do MakeHDR. No entanto, ao contrário deste, não é necessário criar arquivos de lista de fotos e o programa lê os parâmetros necessários para sua execução nos cabeçalhos EXIF dos arquivos de fotos, apresentando, portanto, as boas possibilidades de automatização, através de scripts. Da mesma forma que os anteriores, a ajuda sobre o programa fica num arquivo html. O software aceita arquivos de entrada nos formatos .JPG e .TIFF e cria arquivos de imagens compatíveis com os aplicativos do RADIANCE. Trabalha com no máximo 12 arquivos de imagens de entrada e o resultado é prejudicado quando são usadas fotos com exposições extremas. Os valores de luminância da imagem HDR gerada são sistematicamente menores que os medidos. Conforme pôde ser observado na prática, em listas de discussão na internet (<http://www.radiance-online.org/pipermail/hdri/2006-August/000133.html>), e no próprio arquivo de ajuda, o procedimento de alinhamento das imagens embutido no software apresenta problemas; para contorná-lo, LEARN (2005) emprega rotinas externas para aquela finalidade.

Pelos resultados da análise, brevemente descritos acima, considerou-se que o MakeHDR é o software que apresenta maiores vantagens no estudo de distribuição de luminância, desde que realizadas alterações para melhorar sua acurácia. A partir dessas considerações, o restante do trabalho concentrou-se no software MakeHDR.

### **3.2 Acurácia e correção do MakeHDR**

Os algoritmos para composição de imagens HDR a partir de fotos trabalham com amostras de pontos do conjunto de imagens; assim, imagens HDR geradas a partir de um mesmo conjunto de fotos podem resultar diferentes de uma execução para outro do programa. Nesse aspecto, a convergência dos resultados do MakeHDR são muito bons: em um teste envolvendo 100 simulações de uma única cena, analisou-se uma amostra fixa de 200 pontos cada imagem HDR e obteve-se o desvio-padrão normalizado dos valores dos pixels amostrados de 0,15%, com valor mínimo de 0,085% e máximo de 0,300%.

Em relação aos valores medidos, o MakeHDR apresentou sistematicamente luminâncias maiores (Figura 4). Como tal desvio não foi relatado nas referências consultadas, acredita-se que tenha sido gerado por compensações internas na câmera durante a aquisição das imagens. Para corrigir o desvio, procedeu-se a uma análise de regressão linear, de cuja reta o valor da inclinação foi incorporado ao programa na forma de uma correção da exposição da imagem HDR. Os valores obtidos pelo software corrigido foram significativamente melhores, como mostrado na Figura 5. O intervalo de confiança de 95% engloba a quase totalidade dos dados na faixa de baixas luminâncias, que prevaleceu durante a obtenção das imagens; para valores maiores, os erros são mais elevados.

Realizou-se também um estudo separando-se os pontos segundo a cor de cada quadro da tabela empregada. Ao contrário de Inanici e Galvin (2004), não se verificou aumento de erro nas cores mais saturadas (Figura 6).

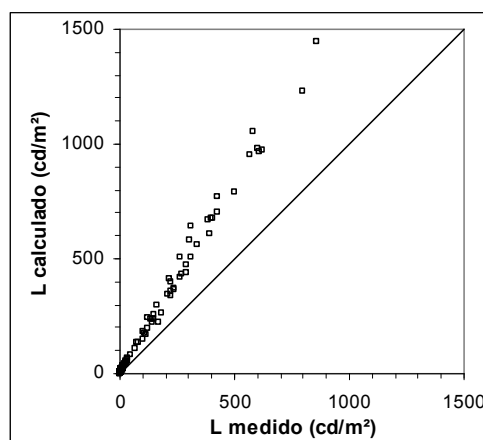


Figura 4 – Valores de luminância calculados pelo MakeHDR em função de valores medidos.

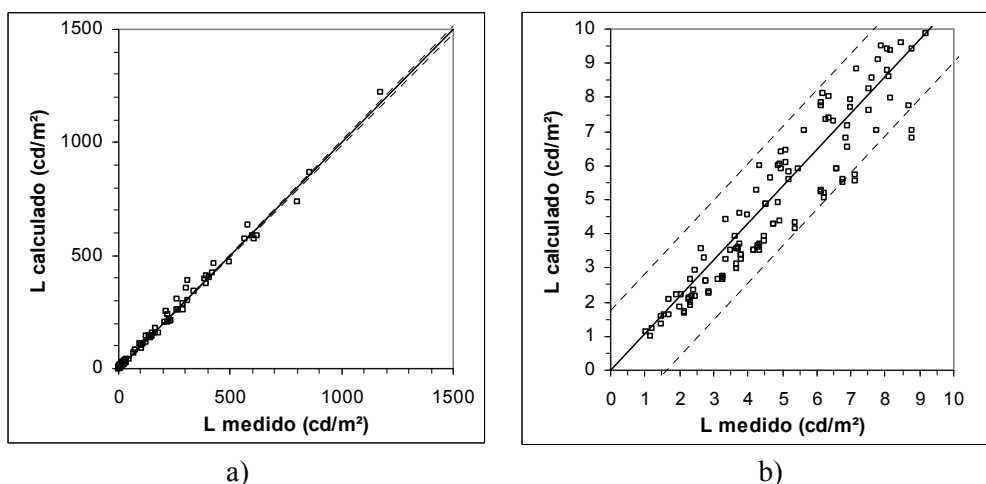


Figura 5 – Valores de luminância calculados pelo MakeHDR corrigido em função de dados medidos, com intervalo de confiança de 95%. a) todos os pontos; b) pontos de baixa luminância.

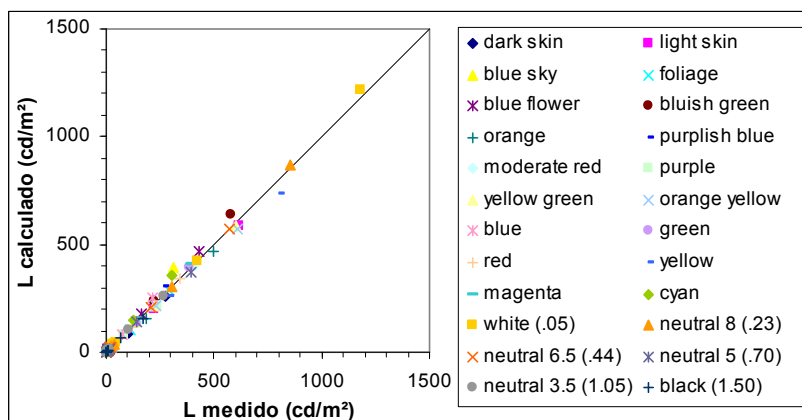


Figura 6 – Distribuição de luminâncias calculadas pelo MakeHDR corrigido em função das luminâncias medidas das cores da tabela fotografada.



## 4. CONCLUSÕES

A princípio, a relação existente entre valores pixels de imagens HDR compostas a partir de seqüências de fotos digitais e suas luminâncias oferece uma atraente possibilidade de investigação de ferramentas para ensino e pesquisa em iluminação. No entanto, aquela relação não é constante em virtude de diferenças construtivas das câmeras fotográficas digitais, onde são introduzidas compensações nas imagens capturadas para salientar algum atributo.

O trabalho aqui apresentado mostra que é possível contornar essas dificuldades e ajustar programas de forma a se obterem valores de luminância bastante precisos. Em particular, no caso, foi empregado o programa MakeHDR, pela disponibilidade de código-fonte, mas podem ser desenvolvidos outros programas a partir dos algoritmos.

Dessa forma, para atividades que não exijam a visão da totalidade do campo visual, como aprendizado de ordens de grandeza de luminâncias e de relações entre elas, a aquisição de imagens pode ser feita através de câmeras digitais simples, do tipo *snapshot*.

## 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADOBE Systems Inc. (2005). *Image editing tools for photo retouching - digital photo software by Adobe*. Disponível em <<http://www.adobe.com/products/photoshop/newfeatures.html#nf8>>. Acesso em: 8 nov. 2005.

BRIGHTSIDE TECHNOLOGIES (2005) *High Dynamic Range Displays from BrightSide Technologies*. Disponível em <<http://www.brightsidetech.com/>>. Acesso em: 11 nov. 2005.

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.

FERWERDA, J.; PATTANAIK, S. N.; SHIRLEY P.; GREENBERG, D. P. (1996) A model of visual adaptation for realistic image synthesis. In: SIGGRAPH'96, the 23rd International Conference on Computer Graphics and Interactive Techniques, New Orleans, 4-9 August, 1996. *Proceedings of SIGGRAPH'96*, p. 249-258. Disponível em: <[www.cs.ucf.edu/~sumant/publications/sig96.pdf](http://www.cs.ucf.edu/~sumant/publications/sig96.pdf)>. Acesso em: 19 set. 2005.

GROSSBERG, M. D.; NAYAR, S. K. (2003) High Dynamic Range from Multiple Images: Which Exposures to Combine? ICCV Workshop on Color and Photometric Methods in Computer Vision (CPMCV), Nice, France, October 2003. Nice, France, *Proceedings...* Disponível em <[http://www.cs.columbia.edu/CAVE/publinks/grossberg\\_ICCV\\_cpmcv\\_2003.pdf](http://www.cs.columbia.edu/CAVE/publinks/grossberg_ICCV_cpmcv_2003.pdf)>. Acesso em: 19 set. 2005.

HOPKINSON, R. G.; PETERBRIDGE, P. e LONGMORE, J. (1975) *Iluminação natural*. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian.

INANICI, M. N. (2003) Transformation of high dynamic images into virtual lighting laboratories. Eighth International IBPSA Conference, Eindhoven, Netherlands, August 11-14, 2003. Eindhoven, Netherlands, *Proceedings...*, p. 539-546. Disponível em <[http://www.ibpsa.org/PDFs/BS03%20Papers/BS03\\_0539\\_546.pdf](http://www.ibpsa.org/PDFs/BS03%20Papers/BS03_0539_546.pdf)>. Último acesso: 19/09/2005.

INANICI, M. N. (2005) *Per-pixel data analysis*. Paper LBNL-58659. Ernest Orlando Lawrence Berkeley National Laboratory, Berkeley (CA). 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, Berkeley (CA). Disponível em: <<http://www.osti.gov/bridge/servlets/purl/841925-QBBn0i/native/841925.pdf>> e em: <<http://repositories.cdlib.org/lbnl/LBNL-57545>>. Acesso em: 19 set. 2005.
- LEARN, London Metropolitan University (2005). *WebHDR*. Disponível em <<http://luminance.londonmet.ac.uk/webhdr/>>. Acesso em: 7 nov. 2005.
- MEYER, J. (2005) *The future of digital imaging – high dynamic range photography*. Disponível em <<http://www.cybergrain.com/tech/hdr/>>. Acesso em: 11 nov. 2005.
- MITSUNAGA, T.; NAYAR, S. K. (1999) Radiometric self calibration. IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, Fort Collins, June, 1999. Fort Collins, *Proceedings...* Disponível em <[http://www.cs.columbia.edu/CAVE/publinks/mitsunaga\\_CVPR\\_1999.pdf](http://www.cs.columbia.edu/CAVE/publinks/mitsunaga_CVPR_1999.pdf)>. Acesso em: 19 set. 2005.
- REINHARD, E.; WARD, E. PATTANAIK, S.; DEBEVEC, P. (2006) *High dynamic range imaging: acquisition, display, and image-based lighting*. San Francisco (CA): Morgan Kaufmann.
- 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](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>>.
- SEETZEN, H.; HEIDRICH, W.; STUEZLINGER, W.; WARD, G.; WHITEHEAD, L.; TRENTACOSTE, M.; GHOSH, A.; VOROZCOVS, A. (2004) High Dynamic Range Display Systems. *ACM Trans. Graph.* (special issue SIGGRAPH 2004). Disponível em: <<http://www.cs.ubc.ca/~heidrich/Papers/Siggraph.04.pdf>>, em: <<http://www.cs.yorku.ca/~wolfgang/papers/hdrdisplays.pdf>> e em: <<http://www.cs.ubc.ca/~heidrich/Projects/HDRDisplay/>>. Acesso em: 3 nov. 2005.
- 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.
- WARD, G. (2001) High Dynamic Range Imaging. In: The 9th Color Imaging Conference: Color Science and Engineering: Systems, Technologies, Applications, November 6, 2001, Scottsdale, Arizona, USA. *Proceedings of the Ninth Color Imaging Conference*, p. 9-16. Disponível em: <<http://www.anywhere.com/gward/papers/cic01.pdf>>. Acesso em: 20 out. 2005.
- WARD, G. (2003) Fast, robust image registration for compositing high dynamic range photographs from hand-held exposures. *Journal of Graphics Tools*, v. 8, n. 2, p. 17-30. Disponível em: <<http://anywhere.com/gward/papers/jgtpap2.pdf>>. Acesso em: 19 set. 2005.
- WARD, G. (s.d.) *High dynamic range image encodings*. Disponível em: <[http://www.anywhere.com/gward/hdrenc/hdr\\_encodings.html](http://www.anywhere.com/gward/hdrenc/hdr_encodings.html)>. Acesso em: 8 nov. 2005.
- ZEVI, B. (1989) *Saber ver a arquitetura*. São Paulo: Martins Fontes.

## 6. AGRADECIMENTOS

Este trabalho foi financiado pela Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) através do programa de Auxílio Pesquisa, processo no. 2005/00911-7.