

IMAGENS HDR NA LUMINÂNCIA DE ESPAÇOS

Axel Jacobs¹, Luisa Brotas^{1,2}

¹Low Energy Architecture Research Unit, London Metropolitan University
Spring House, 40-44 Holloway Road, London N7 8JL United Kingdom
a.jacobs@londonmet.ac.uk; l.brotas@londonmet.ac.uk

² INETI – DER Instituto Nacional de Engenharia, Tecnologia e Inovação, I. P.
Departamento de Energias Renováveis
Estrada do Paço do Lumiar, 22, Ed. Solar XXI, 1.04, 1649-038 Lisboa
luisa.brotas@ineti.pt

Resumo

Imagens HDR (High Dynamic Range) definidas como imagens de grande amplitude dinâmica podem guardar a informação num formato com várias ordens de magnitude. Este tipo de imagem pode ser obtido combinando uma série de imagens tiradas com uma câmara digital. Se a máquina fotográfica for calibrada a informação guardada também pode ser fotometricamente correcta.

Várias são as aplicações que podem ser originadas da informação guardada na imagem de HDR. A mais imediata no ambiente urbano e arquitectónico é a análise da luminância de um espaço. Este artigo apresenta sucintamente a teoria do HDR e um site desenvolvido que permite a criação de uma imagem HDR com máquinas digitais. Um exemplo de aplicação servirá de base para o potencial que esta tecnologia pode disponibilizar.

1. Introdução

A visão humana é capaz de se adaptar a luminâncias tão elevadas como 1E+6 cd/m² ou tão reduzidas como 1E-7 cd/m². Uma vez adaptado à luminância da cena, o olho consegue visualizar zonas do ambiente com luminâncias de cerca de 4 ordens de magnitude. As câmaras digitais têm um intervalo muito mais reduzido entre os valores máximos e mínimos que consegue captar. Esta limitação deve-se às propriedades do sensor que converte os fótons em electrões.

Todos já experimentámos fotografar uma cena e ficar desapontado com o resultado final, onde é omissa o detalhe em zonas escuras ou as zonas acima de uma determinada luminância ficam super-expostas, tendendo para o branco. Do mesmo modo a maioria dos meios de apresentação (desde a impressão em papel à imagem no ecrã do computador) têm um reduzido contraste o que origina a perda da informação da cena real.

Este artigo apresenta um site que permite criar imagens de HDR através de uma série de passos que se apresentam de seguida. As razões para a criação deste site foram:

- Proporcionar uma ferramenta on-line para criar imagens HDR;

- Interface de web gráfico;
- Front-end para o comando de linha *hdrgen* (criado por Greg Ward);
- Front-end para programas do RADIANCE (*pfilt*, *ximage*);
- Proporcionar a estudantes/interessados uma ferramenta gratuita para HDR;
- Oferecer informação em termos de luminância.

2. Teoria

Tecnologia que permite capturar imagens com exposições com grande amplitude dinâmica e os valores de pixel tem correspondência às luminâncias reais da cena, em vez de arbitrários valores em termos relativos do género mais claro/escuro.

Na prática é difícil atingir em sistemas electrónicos a amplitude dinâmica da mesma grandeza que a visão humana. Por outro lado a reprodução da câmara é essencialmente linear em contraste com a relação logarítmica da percepção humana. Enquanto a visão consegue adaptar-se a uma amplitude dinâmica até 10 000:1 para partes da cena e para além de doze ordens de magnitude no total, as câmaras tem uma menor amplitude, tipicamente inferior a 1000:1. Assim as imagens falham no detalhe nas sombras e nas zonas saturadas.

HDR procura representar com rigor uma maior amplitude de valores de intensidade encontrados em cenas reais. A figura 1 apresenta a página inicial do site WebHDR com informação sobre imagens HDR.



Figura 1 – Home page do site WebHDR com informação sobre a teoria de HDR.

3. Exemplo WebHDR

O site WebHDR apresenta um exemplo de aplicação de uma série de imagens com diferentes tempos de exposição com vista à criação de uma imagem de grande amplitude. Ver figura 2.

As imagens são tiradas com uma máquina digital que não precisa de ser profissional, desde que permita tempos de exposição diferentes. Em termos de captação das imagens é preferível alterar o tempo de exposição em vez da abertura do diafragma.

Example

The images below were taken with a Nikon Coolpix 995 digital camera. The built-in exposure bracketing allows to take a series of 5 images which can be up to ± 2 f-stops under or over exposed.



The exposure-bracketed images can be assembled into one high-dynamic range (HDR) image. This image has a much higher range of brightness values that it can store. The images in the animation below are produced from the same HDR image in RADIANCE' RGBE format. The exposure can be set interactively in the ximage viewer which is part of the RADIANCE suite of programs.



Exposure f-stops

Modern digital cameras store additional information in the JPEG file they produce. This includes details about the camera, as well as exposure values and a thumbnail preview. The information is kept in the header of the file and is stored in EXIF format.

Figura 2 – Exemplo de imagem tirada com diferentes tempos de exposição.

3.1 Formatos disponíveis

As imagens são normalmente guardadas num formato 24-bit JPEG com 8 bit para cada canal Vermelho, Verde e Azul. Isto resulta em $2^8=256$ para cada canal ou $2^8 \times 2^8 \times 2^8 = 16\,000\,000$ no total.

Apesar de poder parecer elevado, este valor ainda está muito aquém da amplitude dinâmica a que visão humana se consegue adaptar.

Existem alguns formatos que procuram ultrapassar as limitações de amplitude dinâmica e de gama de cor do output JPEG das câmaras digitais. A figura 3 apresenta um excerto da lista apresentada no site que compara vários formatos de imagem em termos da sua capacidade de amplitude, rigor e formato do pixel.

Comparison			
Format	Dynamic Range	Accuracy	Bits/pixel
RADIANCE RGBE	76	1.0%	8R + 8G + 8B + 8E
Pixar Log TIFF	3.8	0.4%	11R + 11G + 11B
LogLuv 24-bit	4.8	1.1%	10logL + 14(u',v')
LogLuv 32-bit	38	0.3%	16logL + 2x8(u',v')
ILM OpenEXR	9.6	0.1%	16R + 16G + 16B
TIFF 48-bit	5.4	1.0%	16logR + 16logG + 16logB
IEEE TIFF 96-bit	79		32R + 32G + 32B

Figura 3 – Comparação de diferentes formatos de imagens HDR. Lista não extensiva.

Existe também uma grande variedade de programas que permitem conjugar as imagens em formato HDR. Do modo semelhante o site procura referenciar alguns em termos das suas especificações e características. Assim listam-se os programas em termos da sua capacidade de criar, editar ou ver imagens em formato HDR. Apresenta-se também os sistemas operativos suportados: Linux, Windows ou Mac e refere-se o preço/licença dos mesmos: livre, grátis ou comercial.

3.2 Calibração

Apesar do programa *hdrgen* procurar ser rigoroso em termos de luminâncias, depende inteiramente da informação recolhida do EXIF dos ficheiros JPEG. Assim os resultados podem depender de muitas variáveis que o software não tem capacidade de avaliar.

O processo torna-se ainda mais complexo quando se verifica que mesmo máquinas da mesma série e modelo apresentam diferenças nas curvas de resposta dos chips foto-sensíveis. Há que ter em conta que câmaras digitais não profissionais nunca procuraram medir os valores de luminância com precisão.

3.3 Curva de resposta

Com o objectivo de calibrar a câmara para valores fotométricos dever-se procurar obter a curva de resposta da máquina para posteriores utilizações em imagens HDR. De seguida apresenta-se um modo de obtenção da curva de resposta da câmara:

- use o modo de *exposição automática sucessiva* (auto bracketing) só quando o modo prioritário for a *velocidade do obturador*. Caso contrário adopte o modo *manual*;
- Desactive o *balanço de branco automático* e seleccione o *balanço* para a fonte de luz predominante;
- Desactive todos os correctores de cor e contraste;
- Use um tripé;
- Se possível use um comando remoto de abertura de obturador;
- Escolha uma cena com grandes quantidades de cinzentos ou brancos;
- A cena deverá incluir áreas muito brilhantes e muito escuras – grande contraste;
- Tire uma série de imagens com a exposição controlada em sequências separadas entre si em 1 EV. Isto é equivalente a dividir ao meio ou duplicar a exposição;
- A exposição mais escura não deverá ter valores de RGB acima de 200, enquanto a mais clara não deverá conter valores abaixo de 20. Quando carregar a sequência, não inclua imagens que estão fora deste intervalo.

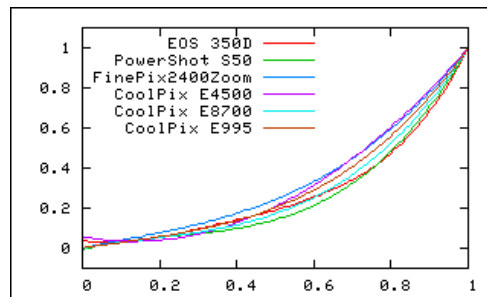


Figura 4 – Curvas de resposta de algumas câmaras analisadas.

A curva de resposta obtida é do tipo polinomial. A figura 4 que apresenta alguns exemplos de curvas de resposta. Os seus coeficientes estão guardados num ficheiro com a extensão *.rsp* que poderá apresentar um formato semelhante a:

3 1.57501 -1.01875 0.462603 -0.0188579

3 1.54919 -1.01298 0.480414 -0.0166318

3 1.49544 -0.897716 0.414424 -0.0121498

para os três canais Vermelho, Verde e Azul respectivamente, de onde se pode deduzir

$$Luminância_{Vermelha} = 1.57501x^3 - 1.01875x^2 + 0.462603x - 0.0188579 \quad (1)$$

Em termos práticos, assim que a curva de resposta da câmara é conhecida poderá ser reutilizada nas futuras compilações WebHDR. De um modo geral, as câmaras que permitem um maior controlo manual estão mais ajustadas para obter a curva de resposta.

A figura 5 apresenta o histograma dos valores nos três canais Vermelho, Verde e Azul. As fronteiras a cinzento em ambos os lados indicam bandas abaixo 20 e acima de 200. Os pixels pretos estão para a esquerda e os brancos para a direita. Pixels que são completamente pretos ou brancos (ex. que têm valores de 0 e 256) são excluídos do histograma. Isto possibilita a leitura de pontos extremos nas imagens.

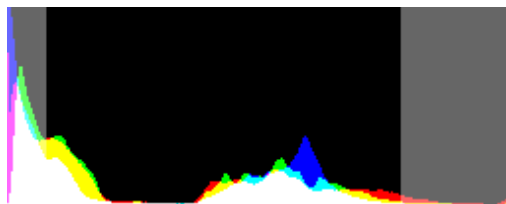


Figura 5 – Histograma dos valores nos canais Vermelho, Verde e Azul.

3.4 Calibração fotométrica

Como acima referenciado, apesar das imagens HDR disporem de uma informação fotometricamente correcta há a necessidade de relacionar os valores obtidos pela câmara com a luminância da superfície. Para uma calibração fotométrica absoluta deverá seguir-se os seguintes passos:

1. Produza uma imagem HDR de uma cena seguindo as instruções acima referidas. Experimente até que deixe de obter mensagens de erro ou aviso do WebHDR;
2. Com um medidor de luminâncias, meça a luminância da sua cena em alguns pontos. Utilize objectos uniformemente iluminados, como folhas de papel com várias reflectâncias. A actual reflectância não precisa de ser conhecida. Anote as luminâncias medidas e guarde o ficheiro RSP da sua câmara;
3. Determine a luminância na imagem HDR. Tal poderá ser feito utilizando o programa *ximage* seleccionando um rectângulo sobre a imagem e pressionando a tecla *l*. O valor obtido será a média das luminâncias do rectângulo;
4. Deverá ter agora dois valores: um da cena real e outro da imagem HDR. Idealmente os dois deveriam ser iguais ou dentro da mesma ordem de grandeza;
5. Compute o factor de calibração, que é simplesmente a razão da luminância real sobre a luminância HDR:

$$CF = \frac{Luminância_{Real}}{Luminância_{HDR}} \quad (2)$$

Este factor deverá ser à volta de 1.0. Se for bastante díspar alguma coisa correu mal e deverá repetir os passos anteriores;

6. Existe um campo na página de carregamento do WebHDR que permite a introdução do *CF*. Deverá também fazer o carregamento do ficheiro RSP que foi produzido no passo 1.

3.5 Motor

Um *daemon* corre na maquina web server o programa *hdrgen* em pano de fundo e providencia a ligação entre o servidor e o *hdrgen* para produzir os seguintes resultados:

1. *hdrgen* para converter em tamanho inteiro HDR;
2. A exposição correcta – aplica o factor de correcção para a calibração da luminância;
3. Reduz a resolução da imagem;
4. Cria outros formatos de HDR (OpenEXR e JPEG-HDR);
5. Usa o comando do RADIANCE *falsecolor* para criar uma imagem com escala de luminâncias;
6. Usa *pvalue* do RADIANCE para extrair os valores de luminância;
7. Gera o mapa interactivo das luminâncias;
8. Cria a página de resultados em HTML e substitui a página contagem decrescente.

A figura 6 apresenta o interface que o usuário dispõe para carregamento da série de imagens. Quando se selecciona o botão "upload" as imagens *.jpg são colocadas numa directoria temporária. A nomenclatura é alterada para um formato numérico sequencial.

Adicionalmente *apache* cria um ficheiro na directoria *spool*. O nome convenção é no formato "date time" de modo a posteriormente adjudicar a prioridade ao *spool*. Este "ficheiro_spool" contém informação acerca das opções para o programa *hdrgen*, nomeadamente o factor de calibração, o auto alinhamento e a remoção de "flare".

This page allows you to upload up to 9 JPEG files taken with a digital camera. The images you are getting back will be scaled so that the width (excluding the scale on the left hand-side) is 800 pixels.

Please select your photographs in the file browser below.
The total size of all files is limited to 10.0 MB. The upload will silently fail if this is exceeded.

File1:	home/axe/images/wall_lighter/DSCN3539.JPG	Browse...
File2:	home/axe/images/wall_lighter/DSCN3538.JPG	Browse...
File3:	home/axe/images/wall_lighter/DSCN3537.JPG	Browse...
File4:	home/axe/images/wall_lighter/DSCN3536.JPG	Browse...
File5:	home/axe/images/wall_lighter/DSCN3535.JPG	Browse...
File6:	home/axe/images/wall_lighter/DSCN3533.JPG	Browse...
File7:	home/axe/images/wall_lighter/DSCN3532.JPG	Browse...
File8:	home/axe/images/wall_lighter/DSCN3531.JPG	Browse...
File9:	home/axe/images/wall_lighter/DSCN3534.JPG	Browse...

Privacy statement
The service is completely anonymous. We do not know who you are or where you are from. None of your images will be published for any purpose. However, the EXIF header from one of your images might be clipped and kept in our database. The information will be used to add to our list of cameras that work with WebHDR. We might also keep the resulting response function of your camera. Since this is just a few numbers, it probably won't bother you at all.
By hitting the Upload button below, you will accept these conditions.

Advanced Options
If you have used WebHDR before and kept the RSP file containing the coefficients of the camera's response curve, you may upload it below:

RSP: Browse...

Calibration factor:
(See [Camera Calibration](#) for instructions. The factor should be around 1.0)

Auto-align images: Yes ☒ No ☐
Only say No here if the sequence was taken with a stable tripod and a camera remote/shutter control.

Remove lens flare: Yes ☐ No ☒
The inherent limitations of the optical systems in camera causes some of the light to be scattered. This is most noticeable close to very bright areas of the image. These areas will receive some additional light spilled over from the very bright regions. Enabling the lens flare removal will result in crisper images with a slightly better contrast, especially for images with a very high dynamic range.

Press here to upload:

Figura 6 – Interface de *upload* das imagens.

Os comentários apresentados na página enquanto o processo se desenrola contém informação à cerca da:

- Calibração;
- Auto alinhamento;
- No "flare".

A *exposição* , figura 7, é calculada segundo a fórmula

$$Exposição = \log_2 \left(\text{abertura do diafragma}^2 \times \frac{1}{\text{velocidade de obturação}} \times \frac{ISO}{100} \right) \quad (3)$$

A *velocidade do obturador*, *abertura de diafragma* e *ISO* são extraídos do cabeçalho EXIF através de *Perl::Image::Exiftools*.

To determine the expose of an image, the following information is required:

- ISO film speed
- Aperture
- Exposure time

All of this information is stored in the EXIF header information. It is therefore possible to use an HDR image as created from a series of exposure-bracketed images to determine the actual luminance distribution within the photographed scene, although this is not not as accurate as using a calibrated luminance meter or a (very expensive) calibrated CCD camera.

$$Exposure = \log_2 (Aperture^2 * (1/Shutter speed) * (ISO Speed/100))$$

With this information, false colour images may be created that map the luminance of a pixel to an arbitrarily chosen colour. Usually, blue tones are chosen for dark areas, while red tones indicated high luminances.

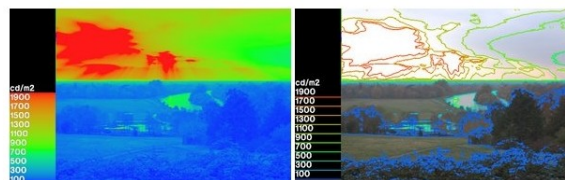


Figura 7 – Página informativa sobre a exposição e parâmetros de onde é obtida obtida.

Se a linguagem de programação *Perl* for bem sucedida o EXIF é rescrito num formato "mais standard" (pelo menos um que o programa *hdrgen* consegue interpretar, ex. *Aperture = FNumber*).

O *daemon* observa a directoria do *spool* e sempre que encontra um ficheiro, lê-o.

O programa *falsecolor* tem prioridade sobre outros processos do *hdrgen* em fila atendendo a que o nome mantém a nomenclatura inicial (o ficheiro novo substitui o antigo).

O motor gera um mapa interactivo de luminâncias:

1. extrai o valor do pixel com *pvalue*;
2. cria em JavaScript uma matriz de valores de pixel;
3. cria uma imagem *falsecolor*;
4. converte para formato *.jpg*;
5. cria uma página em HTML para o mapa das luminâncias em JavaScript do ponto 2 interligada;
6. adiciona a informação do EXIF para a base de dados;
7. cria a página dos resultados em HTML e substitui a página de contagem decrescente.

3.6 Base de Dados

Uma das páginas do WebHDR site contém uma listagem de mais de 100 câmaras à compatibilidade com *ExifTools*. Até à presente data somente 5 em 147 não funcionam.

4. Resultados

Os resultados finais são apresentados como:

- RGBE 800x600;
- RGBE full-size;
- OpenEXR em tamanho total;
- Imagem false colour;
- Linhas de Contorno;
- Pontos extremos;
- Imagem tone mapped *.jpg;
- Um mapa de luminâncias interativo.

Sempre que uma imagem *falsecolor* é re-submetida o mapa interativo das luminâncias também é refeito.



Figura 8 – Sequência de imagens com diferentes tempos de exposição.

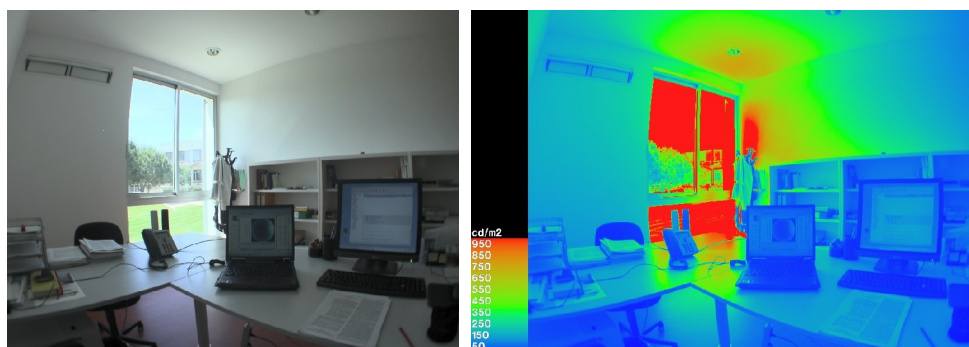


Figura 9 – Imagem HDR (tone mapped) e imagem Falsecolor obtida com as imagens da Figura 8.

O usuário é aconselhado a seguir as recomendações anteriormente dadas para obter resultados positivos. O site do WebHDR fornece informação acerca de como tirar uma série de fotografias para obter uma composição HDR. Figuras 8 e 9 são um exemplo de uma sequência de imagens com diferentes exposições e a imagem final combinada em HDR e posteriormente tone-mapped e em *falsecolor* permitindo a análise quantitativa das luminâncias das superfícies. As figuras 12 e 13 no final deste artigo apresentam outra série de imagens obtidas com diferentes tempos de exposição e a respectiva combinação para obtenção de uma imagem HDR. No presente caso e para efeitos de visualização a imagem HDR foi corrigida (tone mapped).

A figura 10 apresenta o mapa interativo em formato *falsecolor* que permite a análise das luminâncias de todos os pixels da imagem, num simples deslocar do rato sobre a imagem. À semelhança das imagens anteriormente apresentadas existe a possibilidade de identificar o pixel com maior ou menor luminosidade.

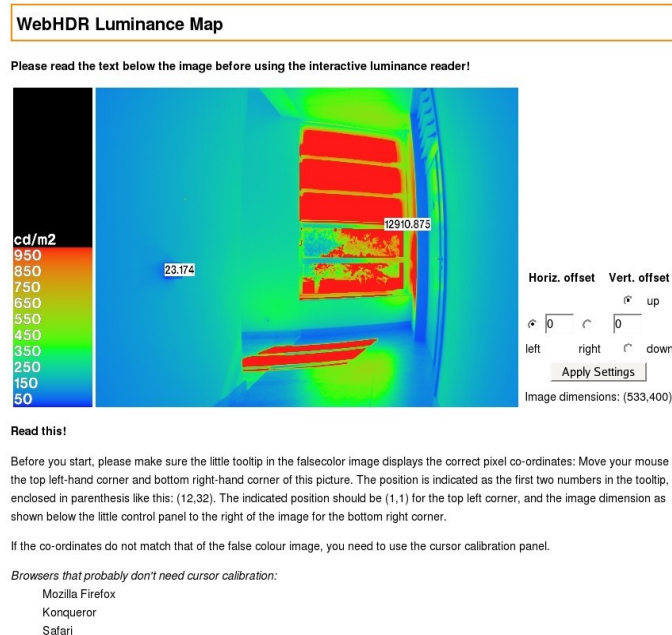


Figura 10 – Mapa interactivo com valores extremos assinalados.

Recentemente foi introduzida uma nova escala colorimétrica para os valores da imagem *falsecolor*. A figura 11 apresenta as duas variantes colorimétricas dessas escalas.

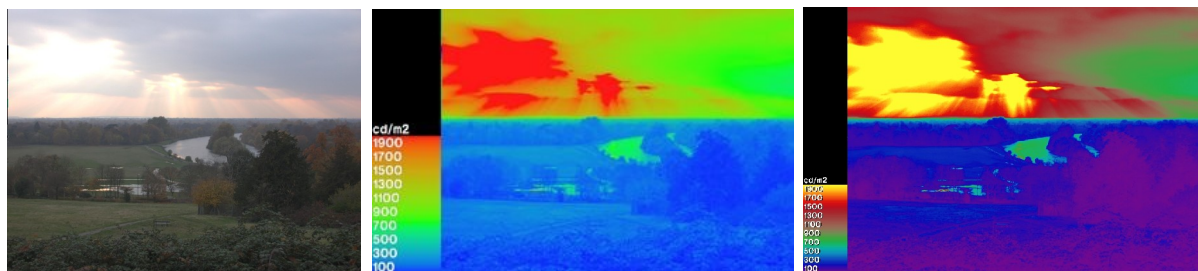


Figura 11 – Imagem tone-mapped e imagens em *falsecolor* com a escala cromática RGB e Ward 2006.

5. Conclusões

Este artigo apresenta um site que permite a criação de imagens HDR on-line. WebHDR é um interface simples e gratuito para uma ferramenta de utilização mais de "expert".

WebHDR é bastante popular entre os estudantes de arquitectura e fotógrafos amadores. O site proporciona uma série de informações técnicas e sugestões que permitem a obtenção com sucesso de imagens HDR. Há a preservação da identidade do usuário só sendo retida a informação do ficheiro EXIF.

A utilização de imagens HDR possibilita a quantificação de um ambiente luminoso sem utilizar instrumentação dispendiosa. Permite uma definição mais correcta de detalhes da cena, sobretudo nas zonas mais iluminadas e de baixa luminosidade, possibilitando uma reprodução fotometricamente correcta da luminância da cena. HDR tem um enorme potencial para ser usado cientificamente. Os dados são armazenados no formato HDR.

Todo o assunto tratado neste artigo pode ser visualizado e experimentado no site <http://luminance.londonmet.ac.uk/webhdr>

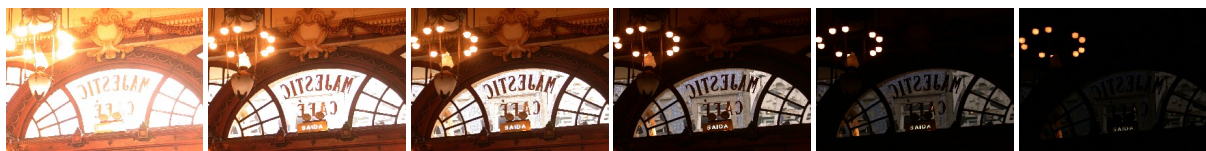


Figura 12 – Sequência de imagens com diferentes exposições.



Figura 13 – Imagem HDR (tone-mapped) obtida com as imagens da Figura 12 com correcção do alinhamento.

6. Referências

- [Debevec 1997] P. E. Debevec, J. Malik 'Recovering high dynamic range radiance maps from photographs', *Proceedings Siggraph 1997*;
- [Grossberg 2003] M. D. Grossberg, S. K. Nayar: 'Determining the Camera Response from Images: What Is Knowable?', *IEEE Transaction on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, Vol. 25, No. 11, Nov 2003;
- [Mann 1995] S. Mann, R. W. Picard: 'On Being 'Undigital' with digital cameras: Extending dynamic range by combining differently exposed pictures', *Proceedings. of IS&T 48th annual conference*, 1995;
- [Mitsunaga 1999] T. Mitsunaga and S.K Nayar. 'Radiometric self calibration', *CVPR*, June 1999;
- [Reinhard 2006] E. Reinhard, G. Ward, S. Pattanaik, P. Debevec: *High Dynamic Range Imaging - Acquisition, Display and Image-based Lighting*, Morgan Kaufmann Series in Computer Graphics, 2006;
- [Shaque 2004] K. Shaque, M. Shah: 'Estimation of the Radiometric Response Functions of a Color Camera from Differently Illuminated Images', *International Conference on Image Processing*, 2004;
- [Ward 1994] G. Ward: 'Real Pixels', *Graphics Gems IV*, 1994;
- [Ward 2003] G. Ward: 'Fast, Robust Image Registration for Compositing High Dynamic Range Photographs from Handheld Exposures', *Journal of Graphics Tools*, 8(2):17-30, 2003;
- [WebHDR] <http://luminance.londonmet.ac.uk/webhdr>, acedido em Nov. 2006;
- [Kim 2004] S. J. Kim, M. Pollefeys: 'Radiometric Self-Alignment of Image Sequences', *CVPR 2004*.