Trabalho Prático 1

Visualizador de Imagens HDR

Programação C

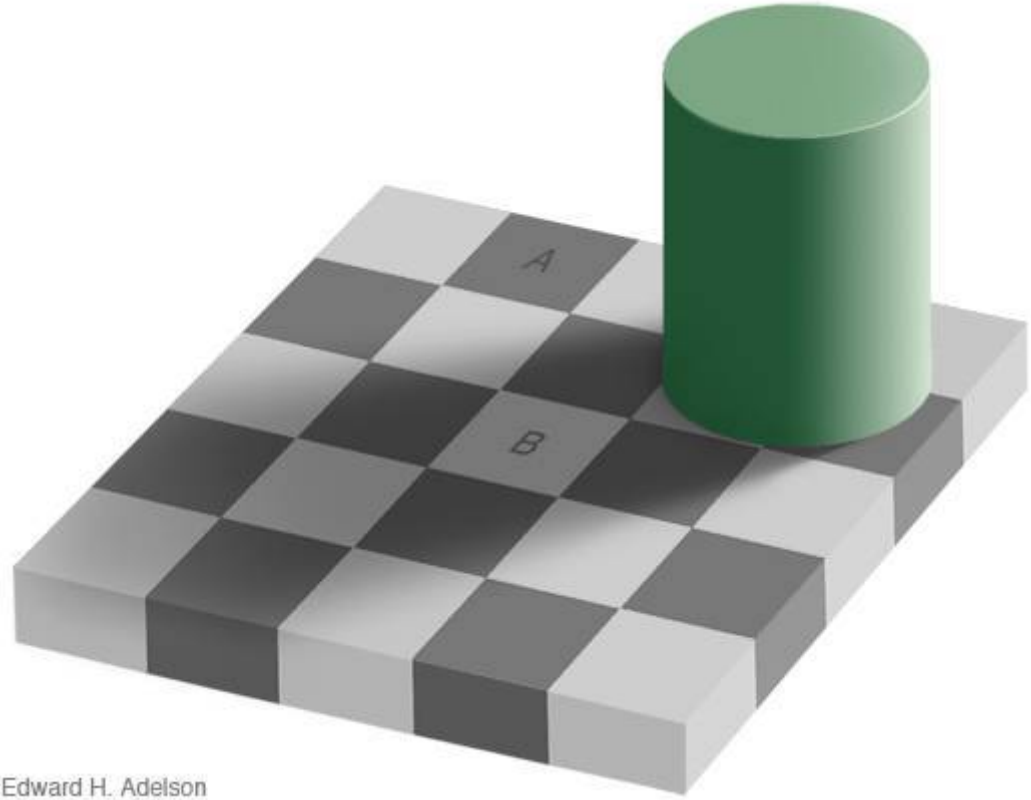
04/2021

1 Introdução

Alcance ou intervalo dinâmico (em inglês, *dynamic range*) em fotografia descreve a razão entre as intensidades mínimas e máximas mensuráveis de luz (preto e branco, respectivamente). Porém, no mundo real nunca encontramos preto ou branco verdadeiros, apenas graus diversos de intensidade das fontes de luz e reflectância dos objetos.

Uma imagem HDR (*high dynamic range*) é uma imagem capaz de representar um intervalo maior de luminosidade do que é possível com técnicas convencionais de imagens digitais ou fotografia. O objetivo é mostrar um alcance similar ao que experimentamos com a visão humana. Esta, através de adaptação da íris e outros mecanismos, se ajusta constantemente e automaticamente de acordo com a variação de iluminação presente nos ambientes. O cérebro humano interpreta continuamente essa informação, de forma que possamos enxergar em uma variedade enorme de condições de iluminação.

Para demonstrar a adaptação automática do olho humano, observe a imagem abaixo (Checker shadow illusion (Edward H. Adelson): nela, os blocos A e B têm exatamente a mesma cor, mas o fato de um deles estar na sombra cria uma ilusão para os nossos olhos.



Edward H. Adelson

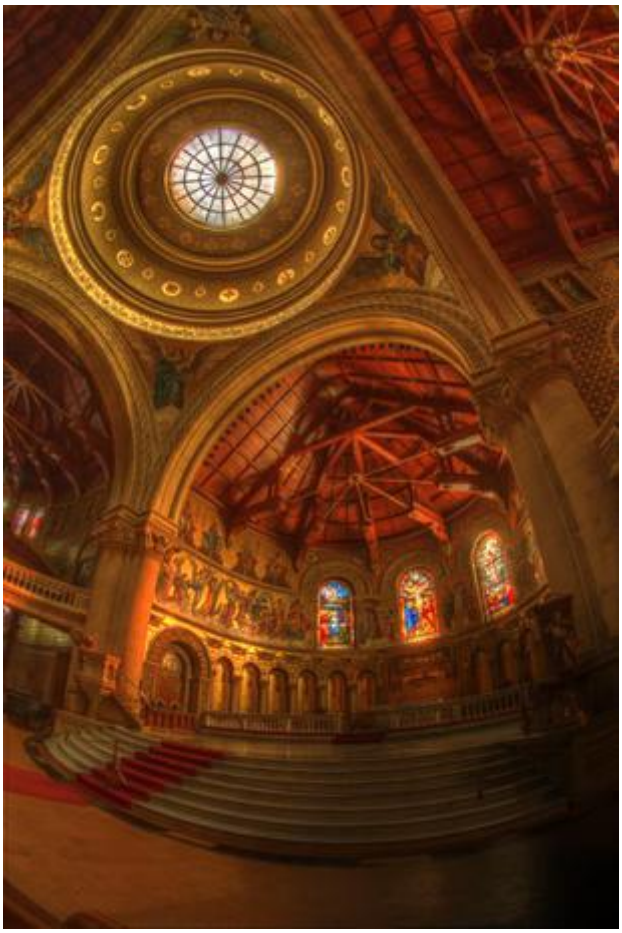
Por exemplo, uma imagem que pode se beneficiar dessa técnica é a que aparece abaixo: ela contém luz solar direta e muito intensa, mas também áreas de sombra. Ao capturarmos essa imagem com uma câmera digital, precisamos decidir se desejamos ajustar a exposição para a parte clara ou para a parte escura - nesta imagem, estamos expondo a parte clara.

Se decidirmos ajustar a exposição para a parte escura, a parte clara desaparecerá (dizemos que ficará "superexposta"):

Uma imagem HDR resolve esse problema, pois consegue capturar toda essa variação de intensidade luminosa. Mas como produzir imagens desse tipo? Uma técnica utilizada é combinar várias imagens obtidas com uma câmera (não HDR), mas com exposições diferentes (o que é denominado *bracketing* em fotografia). Por exemplo, a partir de 5 imagens do mesmo ambiente, geramos uma imagem HDR:

Porém, a maior parte das telas atuais de computador e TVs não têm a capacidade de exibir toda a variação luminosa em uma imagem HDR - apenas recentemente começaram a aparecer as TVs Ultra HD (4K) com HDR, bem como alguns modelos de tablets e celulares. Portanto, também foi preciso desenvolver técnicas para exibir os resultados. Essas técnicas são chamadas, genericamente, de mapeamentos tonais (*tone mapping*). O objetivo é reduzir o contraste de uma imagem HDR, de forma a exibi-la em dispositivos com alcance dinâmico inferior.

Neste trabalho, você implementará um programa para ler uma imagem em um formato HDR e exibi-la usando um algoritmo de *tone mapping*. Um exemplo pode ser visto abaixo:



2 Funcionamento

Ao ser iniciado, o programa deve carregar um arquivo de imagem. Essas imagens estão em um formato especial (sufixo *.hdf*). É importante entendermos a diferença entre esse formato e uma imagem convencional. Imagens são geralmente representadas por uma matriz de pontos (*pixels*) onde cada cor é definida por 3 componentes: vermelho (R), verde (G) e azul (B). Cada uma dessas componentes usualmente é codificada em **um byte**, o que produz **3 bytes por pixel** (24 bits) - ou seja, 16 milhões de possíveis cores. Em outras palavras, as intensidades (R, G, B) variam de 0 a 255, onde 0 é escuro e 255 é claro.

Veja abaixo como diversas cores são representadas nesse formato - cada cor está expressa pelas componentes RGB em hexadecimal.

FFFFFF	000000	333333	666666	999999	CCCCCC	CCCC99	9999CC	
660000	663300	996633	003300	003333	003399	000066	330066	
990000	993300	CC9900	006600	336666	0033FF	000099	660099	
CC0000	CC3300	FFCC00	009900	006666	0066FF	0000CC	663399	
FF0000	FF3300	FFFF00	00CC00	009999	0099FF	0000FF	9900CC	
CC3333	FF6600	FFFF33	00FF00	00CCCC	00CCFF	3366FF	9933FF	
FF6666	FF6633	FFFF66	66FF66	66CCCC	00FFFF	3399FF	9966FF	
FF9999	FF9966	FFFF99	99FF99	66FFCC	99FFFF	66CCFF	9999FF	
FFCCCC	FFCC99	FFFFCC	CCFFCC	99FFCC	CCFFFF	99CCFF	CCCCFF	

Já uma imagem HDR pode possuir **valores maiores** que esses limites, sendo geralmente representada em ponto flutuante (valores *float*, por exemplo). O formato *HDF* codifica as cores de forma diferente (ver seção 2.1↓), mas na prática o resultado é uma representação *float*.

Após a leitura da imagem, o usuário poderá definir o fator de exposição desejado, a fim de "clarear" ou "escurecer" a imagem, bem como também ajustar os níveis de preto e de branco.

A ordem do processo é a seguinte:

1. Leitura e decodificação da imagem (seção 2.1↓).
2. Aplicar o fator de exposição desejado (seção 2.2↓).
3. Aplicar o algoritmo de *tone mapping* (seção 2.3↓).
4. Converter o resultado para 24 bits (seção 2.5↓).

5. Criação do histograma da imagem 24 bits (seção 2.6↓).
6. Ajuste dos níveis de preto e branco (seção 2.7↓).
7. Retornar ao passo 2, caso a exposição ou os níveis mínimo/máximo sejam alterados pelo teclado (o programa já faz isso).

As próximas seções detalham como implementar cada parte do processo.

2.1 Leitura e decodificação da imagem HDF

A imagem no formato HDF consiste primeiramente em um *header*, onde as informações estão organizadas da seguinte forma:

- Os caracteres **HDF**, identificando a imagem nesse formato
- A **largura** da imagem em pixels, armazenada como um inteiro sem sinal
- A **altura** da imagem em pixels, armazenada como um inteiro sem sinal

Você deverá usar a função **carregaHeader**, que armazena essas informações no vetor global *header*.

Após a extração das dimensões da imagem do *header*, você deverá chamar a função **carregaImagem**, que armazena, respectivamente, nas variáveis *image* e *image8,* ponteiros para a imagem original e imagem de saída (vazia, a ser utilizada depois) O ponteiro *image* aponta para o início da matriz de pixels - mas lembre-se que essa matriz é retornada como um **vetor**. Cada pixel é codificado em 4 bytes:

- Componente R da cor (R_e)
- Componente G da cor(G_e)
- Componente B da cor(B_e)
- Mantissa (m)

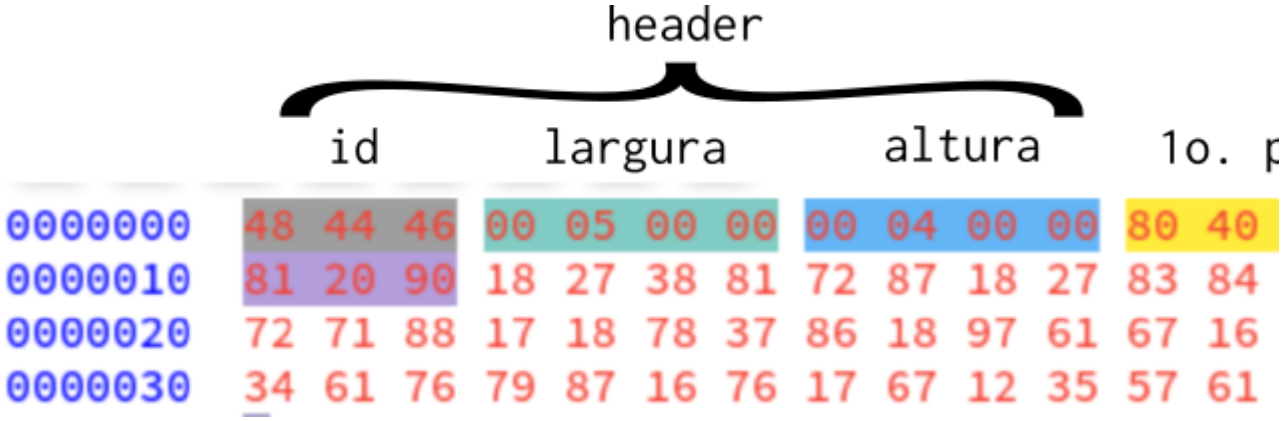
Esse formato é capaz de representar dados em ponto flutuante de uma forma bastante econômica. Para obter os valores RGB *float* (R_f, G_f, B_f) a partir dos 4 bytes do pixel, basta realizar o seguinte cálculo:

$$(R_f, G_f, B_f) = (R_e \cdot c, G_e \cdot c, B_e \cdot c)$$

Onde c é o fator de conversão calculado a partir da mantissa:

$$c = 2^{(m-136)}$$

Por exemplo, supondo o trecho da imagem abaixo:



O **primeiro pixel** da imagem tem os valores hexa **(0x80, 0x40, 0x20, 0x81)** - ou em decimal **(128,64,32,129)**. O fator de conversão é então $c = 2^{(129-136)} = 2^{-7} = 0.0078125$.

Portanto, os pixels convertidos para float resultam em: **(1.0, 0.5, 0.25)**

Observe que por ser uma imagem HDR, não há limite superior definido. Ou seja, as componentes R_f , G_f e B_f podem assumir qualquer valor.

2.2 Aplicação do fator de exposição

O fator de exposição é meramente um valor *float* (*exposure*) que é multiplicado por cada componente de cor (R_f, G_f, B_f) , antes de realizar o *tone mapping.* Na verdade, utilizamos uma potência de 2, para simular mais precisamente o comportamento de uma câmera:

$$(R_x, G_x, B_x) = 2^{exposure} \cdot (R_f, G_f, B_f)$$

Esse fator deve ser inicializado com 0, o que corresponde a nenhuma alteração.

2.3 Algoritmo de *tone mapping*

Como já mencionado, mapeamento tonal ou *tone mapping* tem o objetivo de reduzir o alcance dinâmico de uma imagem, de forma que ela possa ser exibida em um dispositivo não HDR. Há duas categorias principais de algoritmos desse tipo: *tone mapping* global e *tone mapping* local. O primeiro tipo, onde está o algoritmo que será implementado, visa alterar todos os pixels da imagem seguindo um mesmo critério (ou algoritmo). Já o segundo tipo leva em consideração outras características da imagem, como bordas de objetos, etc. Esse tipo de algoritmo é muito mais sofisticado e geralmente produz resultados melhores.

Neste trabalho, implementaremos um algoritmo de *tone mapping* global, denominado *ACES (Academy Color Encoding System).* Esse algoritmo visa simular o tipo de resposta que o olho humano produz ao visualizar uma imagem.

Para tanto, aplica-se a seguinte fórmula aos componentes R, G e B:

- Primeiro, reduz-se o valor da componente para 60% do original: $R_x = R_x \cdot 0,6$
- A seguir, calcula-se o mapeamento:

$$R_t = \frac{R_x \cdot (2,51 \cdot R_x + 0,03)}{R_x \cdot (2,43 \cdot R_x + 0,59) + 0,14}$$

- Garanta que o valor resultante esteja no intervalo **0...1** (isto é, se for maior que 1, use 1, e vice-versa).

2.4 Correção gama

A correção gama se baseia na ideia que os dispositivos de exibição (telas de computador, por exemplo) não apresentam uma resposta linear a um sinal de entrada (cor). Dessa forma, podemos aplicar uma correção não linear nesse sinal utilizando a fórmula abaixo:

$$(R_c, G_c, B_c) = (R_t^{\frac{1}{\gamma}}, G_t^{\frac{1}{\gamma}}, B_t^{\frac{1}{\gamma}})$$

Onde γ é a correção gama desejada. Para monitores convencionais, esse valor geralmente está entre 1.8 e 2.6 (experimente usar 2.2).

2.5 Conversão para 24 bits

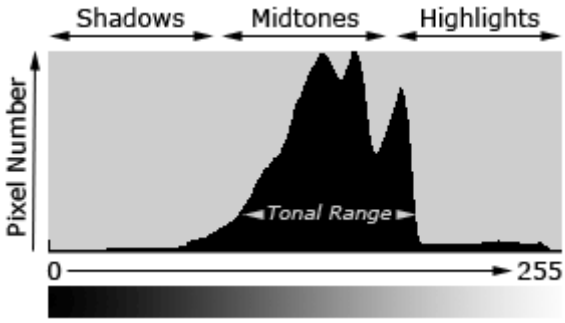
Após a aplicação do fator de exposição, do algoritmo de *tone mapping* e da correção gama, o resultado ainda será uma imagem representada por *floats*, mas agora dentro do invervalo 0...1. Portanto, para converter cada pixel de entrada já corrigido pelo passo anterior (R_c, G_c, B_c) para RGB 24 bits (R_8, G_8, B_8) , basta fazer:

$$R_8 = R_c \cdot 255$$
$$G_8 = G_c \cdot 255$$
$$B_8 = B_c \cdot 255$$

Ou seja, multiplica-se o valor por 255, convertendo o resultado para inteiro no final.

2.6 Criação do histograma da imagem 24 bits

Um histograma de uma imagem apresenta a distribuição dos pixels de acordo com a luminosidade. Eles são muito úteis para visualizarmos se a imagem está subexposta (muitas regiões escuras) ou superexposta (muitas regiões claras). As imagens abaixo foram retiradas do site Cambridge in Colour - Histograms.



Em termos práticos, o histograma é essencialmente um *array*, onde cada posição representa uma faixa de intensidades (*bins*, em inglês). Para simplificar, utilizaremos um histograma com exatamente 256 faixas, já que temos 256 variações por componente de cor.

O programa já define uma variável chamada ***histogram***, que deve ser usada para isso. A razão é que o componente de visualização utiliza essa variável para exibir o histograma.

Você deverá então:

1. Inicializar o histograma com zeros.

2. Passar por toda a imagem, incrementando o valor armazenado na posição correspondente ao pixel no array. Observe que você deverá utilizar a intensidade (luminância) do pixel, que pode ser calculada por:

$$I = 0,299 \cdot R_8 + 0,587 \cdot G_8 + 0,114 \cdot B_8$$

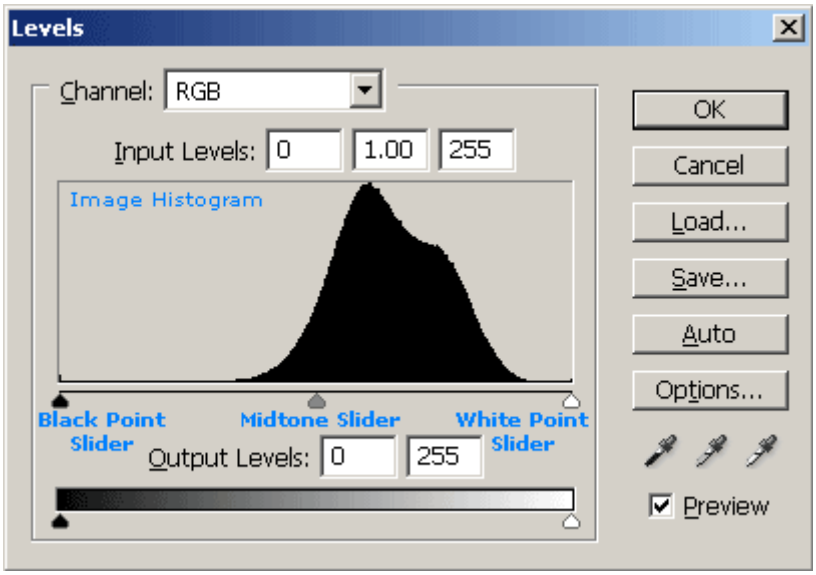
3. Ao final desse processo, é preciso **normalizar** o histograma, isto é, dividir cada valor armazenado pelo valor máximo contido no array. Dessa forma, o histograma armazenará valores *float* entre 0 e 1.

2.7 Ajuste dos níveis de preto e branco

Essa etapa permite realizar um ajuste final no contraste da imagem, fazendo com que seja possível corrigir a variação tonal já na imagem 24 bits.

A maioria dos programas de pintura digital oferece esse recurso, geralmente chamando *levels*.

Veja na imagem abaixo a ferramenta numa versão do Adobe Photoshop (Cambridge In Colour - Levels)



O ajuste consiste em movimentar os limites inferior (nível de preto) e superior (nível de branco). A nossa aplicação já permite esse ajuste através de teclas (veja seção 3↓).

Esse ajuste é armazenado nas variáveis *minLevel* e *maxLevel*, respectivamente. Elas recebem um valor de 0 a 255, sendo que *minLevel* nunca poderá ser maior que *maxLevel*.

A fim de facilitar a visualização, foi criado um segundo histograma (variável *adjusted*), que deverá ser preenchido da mesma forma que o primeiro (original) - porém, com as intensidades ajustadas como segue:

1. Inicializar o histograma de ajuste com zeros.
2. Passar por toda a imagem, novamente calculando a intensidade (I) de cada pixel. Calcular a **nova intensidade**, através da seguinte fórmula:

$$I_a = min\left(1, \frac{max(0, I - minLevel)}{maxLevel - minLevel}\right) \cdot 255$$

3. Aplicar a correção em todas as componentes do pixel:

$$(R_{8,}G_8, B_8) = \left(\frac{R_8 I_a}{I}, \frac{G_8 I_a}{I}, \frac{B_8 I_a}{I}\right)$$

4. Neste momento, os valores de $(R_8, G_{8,}B_8)$ devem ser armazenados na imagem de saída, a variável *image8* (é um vetor de *unsigned char*, isto é, bytes sem sinal).
5. Atualize também o histograma de ajuste, da mesma forma que o outro, mas com a nova intensidade (I_a) .

3 Operação do programa

As seguintes teclas estão disponíveis na aplicação:

- Setas esquerda/direita: reduzem e aumentam o fator de exposição.
- A/S: reduzem e aumentam o nível de preto
- K/L: reduzem e aumentam o nível de branco
- H: exibe/oculta os histogramas

4 Compilação e imagens de teste

Download do código base: hdrvis-base.zip

Este zip contém o projeto completo para a implementação do trabalho. Esse código já realiza a leitura de uma imagem qualquer no formato HDF, bem como a exibição da imagem 24 bits na tela (mas obviamente não faz a conversão). O projeto pode ser compilado no Windows, Linux ou macOS, seguindo as instruções abaixo.

Para a compilação no Linux, é necessário ter instalado os pacotes de desenvolvimento da biblioteca OpenGL. Para Ubuntu, Mint, Debian e derivados, instale com:

```
sudo apt-get install freeglut3-dev
```

Para a compilação no Windows ou no macOS, não é necessário instalar mais nada - o compilador já vem com as bibliotecas necessárias.

Caso você queira trocar as cores dos histogramas ou dos marcadores, edite os *#defines* no topo do módulo **opengl.c,** lembrando que as componentes são todas especificadas no intervalo **0...1**. Você pode usar este site para escolher as cores, por exemplo: instantreality 1.0 - tools - color calculator. Basta selecionar a cor desejada e copiar os valores da caixa *RGB Normalized decimal* no código.

4.1 Visual Studio Code

Se você estiver utilizando o Visual Studio Code, basta descompactar o zip e abrir a pasta.

Para **compilar**: use Ctrl+Shift+B (⌘+Shift+B no macOS).

Para **executar**, use F5 para usar o *debugger* ou Ctrl+F5 para executar sem o *debugger*.

4.2 Outros ambientes ou terminal

Caso esteja usando outro ambiente de desenvolvimento, fornecemos um *Makefile* para Linux e macOS, e outro para Windows (*Makefile.mk*).

Dessa forma, para compilar no Linux ou macOS, basta digitar:

```
make
```

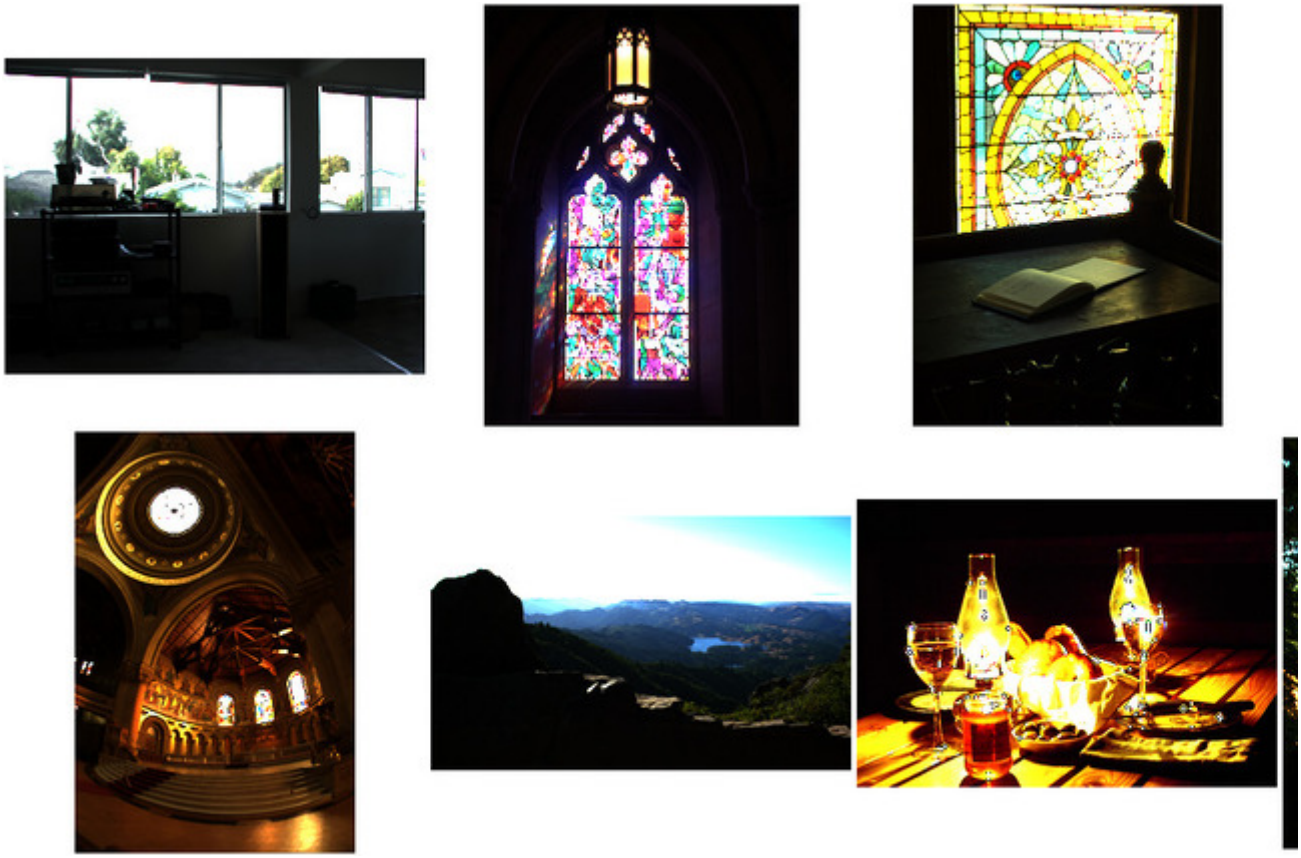
Se estiver utilizando o Windows, o comando é similar:

```
mingw32-make -f Makefile.mk
```

Alternativamente, você também pode utilizar o *CMake* (*Cross Platform Make*) para compilar pelo terminal. Para tanto, crie um diretório *build* embaixo do diretório do projeto e faça:

```
cd build
cmake ..
make -j  # ou mingw32-make -j no Windows
```

O arquivo imagens-hdf.zip contém diversas imagens que podem ser utilizadas para testar o programa. Cada imagem é oferecida em duas versões: formato HDF e em JPEG, para conferência.



5 Avaliação

Leia com atenção os critérios de avaliação:

- Pontuação:
  - Extração da largura e altura da imagem: 1 ponto.
  - Decodificação da imagem: 1,5 pontos.
  - Aplicação do fator de exposição: 1 ponto.
  - Algoritmo de tone mapping: 1,5 pontos.
  - Conversão para 24 bits: 1 ponto.
  - Criação do histograma original: 1,5 pontos.
  - Criação do histograma ajustado: 1 ponto.
  - Ajuste dos níveis de preto e branco: 1,5 pontos.
- Os trabalhos são **em duplas ou individuais**. A pasta do projeto deve ser compactada em um arquivo .zip e este deve ser submetido pelo *Moodle* até a data e hora especificadas.
- Não envie .rar, .7z, .tar.gz - apenas .zip.
- O código deve estar identado corretamente.
- **A cópia parcial ou completa do trabalho terá como conseqüência a atribuição de nota ZERO ao trabalho dos alunos envolvidos. A verificação de cópias é feita inclusive entre turmas.**
- **A cópia de código ou algoritmos existentes da Internet também não é permitida**. Se alguma idéia encontrada na rede for utilizada na implementação, sua descrição e referência deve constar no início do código-fonte, como um comentário.

Document generated by eLyXer 1.2.5 (2013-03-10) on 2021-04-09T17:59:16.945981