

Processamento de Imagens

Prof. MSc. Daniel Menin Tortelli

e-mail: danielmenintortelli@gmail.com

Skype: daniel.menin.tortelli

Site: <http://sites.google.com/site/danielmenintortelli/home>

Bibliografia

BIBLIOGRAFIA BÁSICA

GONZALES, R. C.; WOODS, Richard E. **Processamento digital de imagens**. 3. ed. São Paulo: Pearson Education, 2010.

AZEVEDO, E.; CONCI, A.. **Computação Gráfica: Teoria e Prática**. Campus, 2003.

SOLOMON, C., BRECKON, T. **Fundamentos de Processamento Digital de Imagens - Uma Abordagem Prática com Exemplos em Matlab**. Rio de Janeiro: LTC, 2013. (Biblioteca Virtual).

BIBLIOGRAFIA COMPLEMENTAR

AZEVEDO, Eduardo; CONCI, Aura. **Computação gráfica: teoria e prática**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2003.

AMMERAAL, Z. **Computação Gráfica para Programadores Java**. 2. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2008. (Biblioteca Virtual).

GILAT, Amos; SUBRAMANIAM, Vish. **Métodos numéricos para engenheiros e cientistas: uma introdução com aplicações usando o MATLAB**. São Paulo: Bookman, 2008.

FELGUEIRAS, Carlos. **Introdução ao processamento digital de imagem: implementação em java**. Lisboa, PO: FCA-Editora da Informática, 2008.

GOMIDE, João Victor Boechat. **Imagem digital aplicada: uma abordagem para estudantes e profissionais**. São Paulo: Elsevier, 2014.

Aulas Prof. Fabio Augusto Faria.

Objetivos da Disciplina

- Apresentar aspectos teóricos e práticos relativos à área de processamento de imagens.
- Descrever técnicas para aquisição, transformação e análise de imagens por meio de computador.
- Fornecer uma introdução à teoria e aplicações de processamento digital de imagens.

Avaliação

- **Nota 1:**
 - Prova Teórica (8,0)
 - Listas de Exercícios Matlab (TDEs) (2,0)
- **Nota 2:**
 - Implementações de técnicas de PI em linguagens de alto nível (C++, JAVA) (10,0)

Introdução

- A área de processamento de imagens vem sendo objeto de crescente interesse por permitir viabilizar grande número de aplicações em duas categorias bem distintas:
 - 1) O aprimoramento de informações pictóricas para interpretação humana;
 - 2) A análise automática por computador de informações extraídas de uma cena.

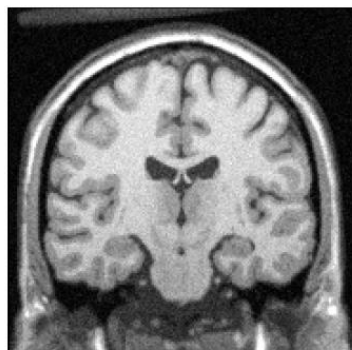
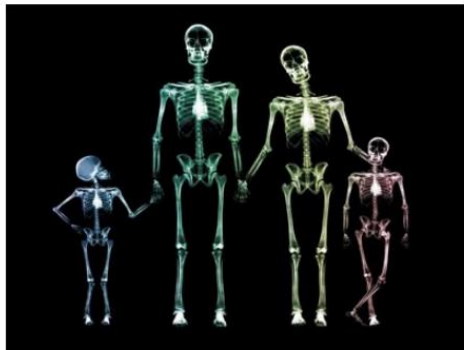
Introdução

- O processamento digital de imagens consiste em um conjunto de técnicas para capturar, representar e transformar imagens com o auxílio de um computador.
- O emprego dessas técnicas permite extrair e identificar informações das imagens e melhorar a qualidade visual de certos aspectos estruturais, facilitando a percepção humana e a interpretação automática por meio de máquinas.

Áreas de Aplicação

MEDICINA:

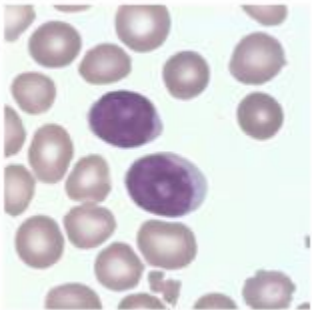
- Diagnósticos médicos podem ser auxiliados com o uso de imagens capturadas por raios X, tomografia computadorizada, ressonância magnética e ultrassonografia.
- Vários campos da medicina têm se beneficiado com o aprimoramento de diagnósticos por meio de imagens, em particular, a oncologia, a cardiologia e a ortopedia.
- A análise e a interpretação dessas imagens facilitam, por exemplo, a identificação de lesões ou regiões atingidas por câncer, permitindo aos médicos maior precisão e rapidez nos diagnósticos, bem como melhor planejamento dos tratamentos e das cirurgias.



Áreas de Aplicação

MICROSCOPIA:

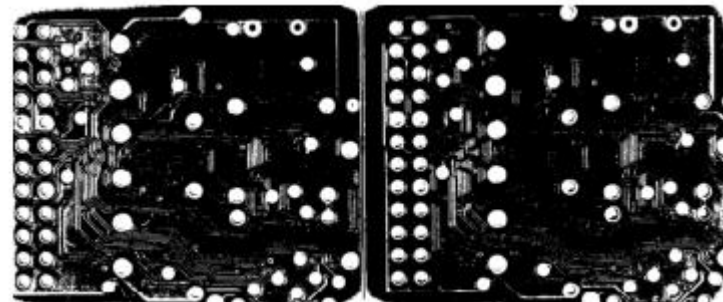
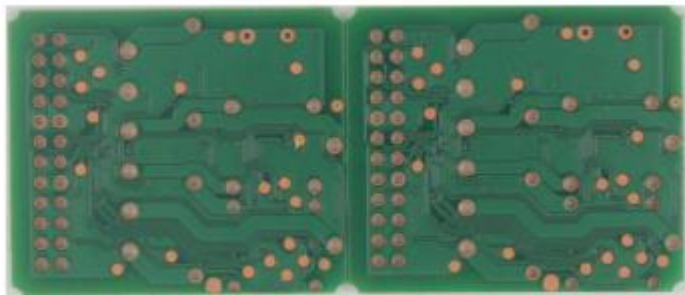
- A análise de imagens capturadas por meio de microscópios ópticos ou eletrônicos beneficia áreas que variam desde a biologia até a metalurgia.
- Exemplos de aplicação:
 - Contagem e identificação de células sanguíneas em lâminas de microscopia.
 - Análise de estruturas em cristalografia.
 - Análise e identificação de espécies de insetos.



Áreas de Aplicação

AUTOMAÇÃO INDUSTRIAL:

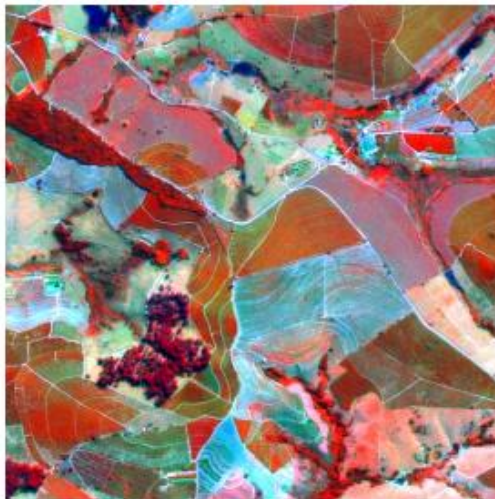
- Na automação industrial, montagem e inspeção de produtos, visão robótica e controle de qualidade podem ser realizados a partir de técnicas de processamento e análise de imagens.
- Atividades comuns:
 - Verificação de falhas em circuitos impressos.
 - Separação de peças por robôs em uma linha de montagem.
 - Classificação de defeitos em soldas.



Áreas de Aplicação

SENSORIAMENTO REMOTO:

- A análise de fotografias aéreas ou imagens de satélite permite uma melhor compreensão da superfície terrestre, auxiliando tarefas como:
 - Acompanhamento de áreas urbanas.
 - Previsão de fenômenos como terremotos, erupção de vulcões, inundações e furacões.
 - Monitoração de áreas atingidas por erosão.
 - Determinação de áreas de desmatamento ou plantação ilegal (e.g., cannabis).
 - Extração de feições cartográficas (por exemplo, estradas, rios, edificações, divisa de culturas).



Áreas de Aplicação

AREA MILITAR:

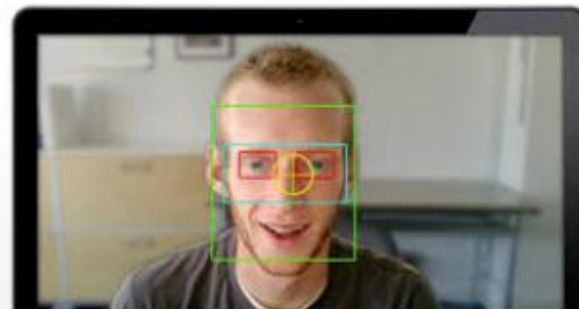
- As técnicas de processamento e análise de imagens possuem inúmeras aplicações na área militar, podendo-se destacar:
 - Identificação de alvos em imagens de satélite.
 - Rastreamento de alvos para lançamento de mísseis.
 - Navegação de veículos autônomos (DARPA Grand Challenge).
 - Detecção de obstáculos no trajeto de robôs.



Áreas de Aplicação

SEGURANÇA E VIGILÂNCIA:

- A identificação de impressões digitais é uma atividade que possibilita a recuperação de uma impressão digital em um banco de imagens.
- A identificação de faces permite a distinção de indivíduos a partir de imagens ou sequências de vídeo.
- O reconhecimento de assinaturas possibilita a verificação da autenticidade de assinaturas em cheques e outros documentos.
- O reconhecimento automático de placas de veículos visa dotar uma máquina com a capacidade de localizar e interpretar o conteúdo da placa de um veículo.



Áreas de Aplicação

ARQUEOLOGIA E ARTES:

- Muitas atividades têm sido beneficiadas com o uso de técnicas de processamento e análise de imagens, por exemplo:
 - Restauração de artefatos raros.
 - Pinturas e documentos antigos.
 - Criação de museus virtuais.
 - Avanço da fotografia digital.



Áreas de Aplicação

RECUPERAÇÃO DE IMAGENS POR CONTEÚDO:

- A recuperação de imagens por conteúdo também tem grande utilidade na identificação e na seleção de dados em bases gráficas e vídeos, eliminando determinadas restrições encontradas em sistemas de busca em bases textuais.

- Consulta:

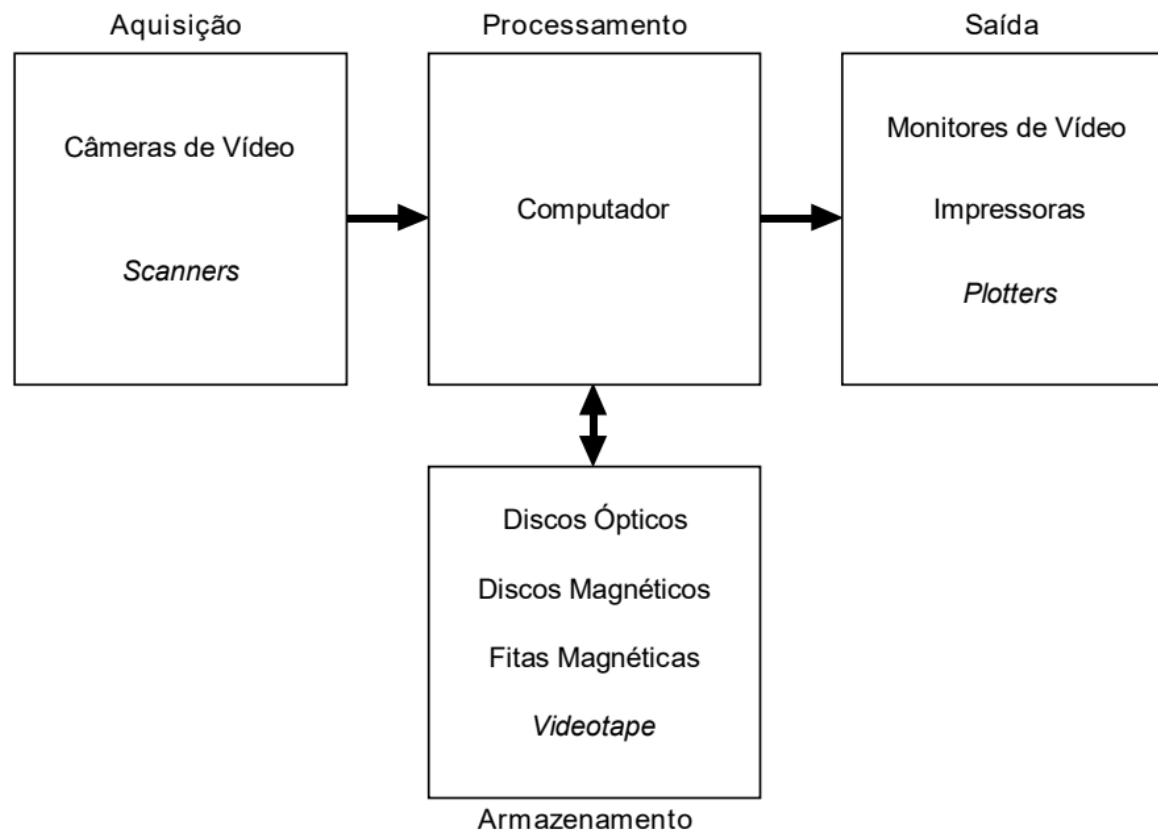


- Resultados:



Componentes de um sistema de processamento de imagens

- O diagrama abaixo abrange as principais operações que se pode efetuar sobre uma imagem, a saber: aquisição, armazenamento, processamento e exibição.



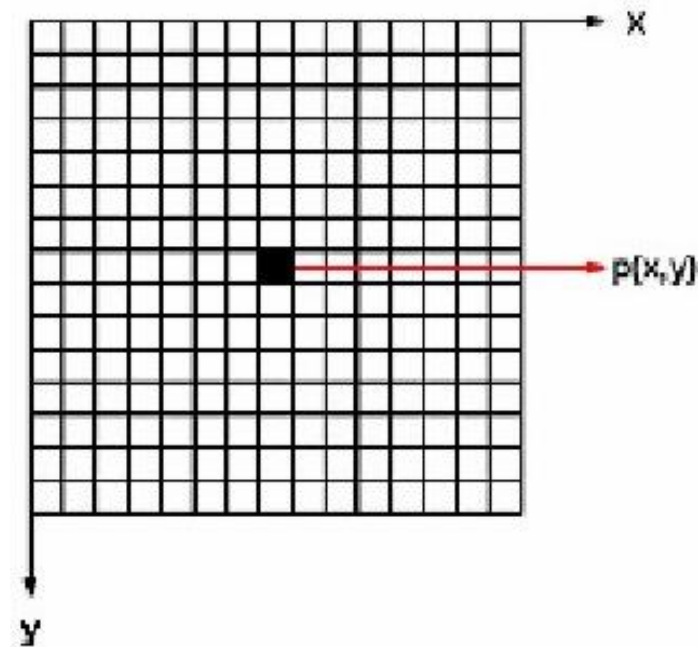
O que é uma imagem?

- Uma imagem digital pode ser considerada como uma representação discreta de dados que processam informação espacial (layout) e de intensidade (cor).
- Uma imagem também pode ser considerada como um sinal multidimensional.

O que é uma imagem digital?

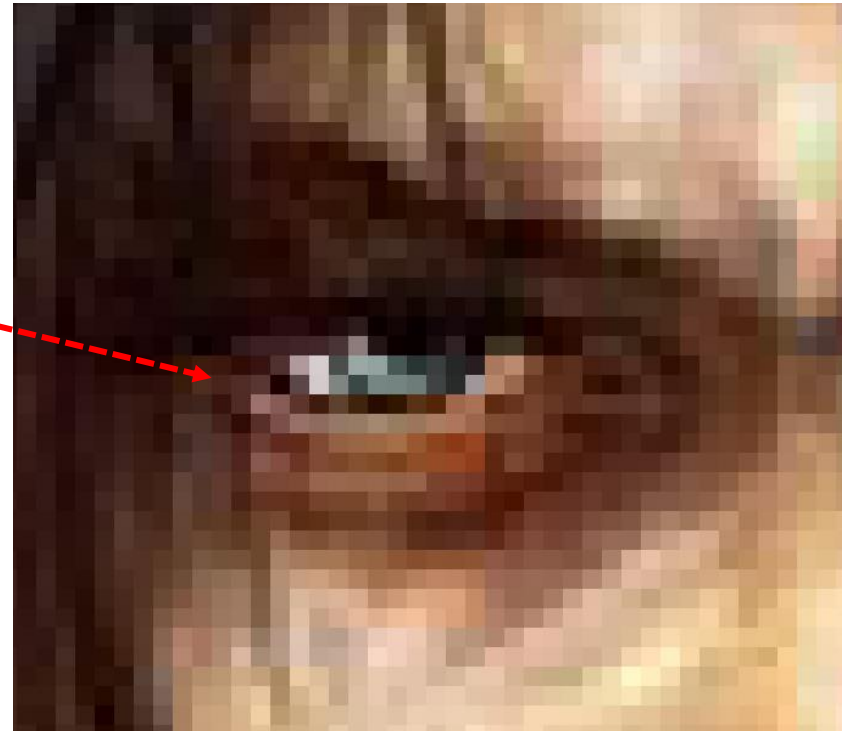
O que é uma imagem digital?

- Uma imagem digital é descrita por uma matriz $N \times M$ de valores inteiros positivos, que indicam a intensidade de cor em cada posição $[x,y]$ da imagem. Cada elemento da imagem é denominado *pixel* (*picture element*).



O que é uma imagem digital?

- Um *pixel* é caracterizado pelo valor de tonalidade de cor e pela sua localização na imagem (x, y).



Processamento de Imagens

- Envolve as técnicas de transformação de imagens em que tanto a imagem de partida quanto a imagem resultado apresentam-se sob uma representação visual.
- As transformações visam, em geral, melhorar as características visuais da imagem, como aumentar o contraste, foco, reduzir ruídos e distorções.

Processamento de Imagens



Processamento de Imagens



Layout de uma imagem

- Uma imagem bidimensional (2D) discreta e digital $I(m, n)$ representa a resposta de algum sensor (ou simplesmente um valor de interesse) em uma série de posições fixas ($m = 1, 2, \dots, M$; $n = 1, 2, \dots, N$) em coordenadas cartesianas bidimensionais.
- Os índices m e n designam, respectivamente, as linhas e colunas da imagem. Os elementos individuais da imagem ou *pixels** são referidos por seus índices 2D (m, n) .
- *O termo *pixel* é uma aglutinação do termo em inglês *picture element* [elemento de imagem] e designa a menor unidade de uma imagem digital.

Layout de uma imagem

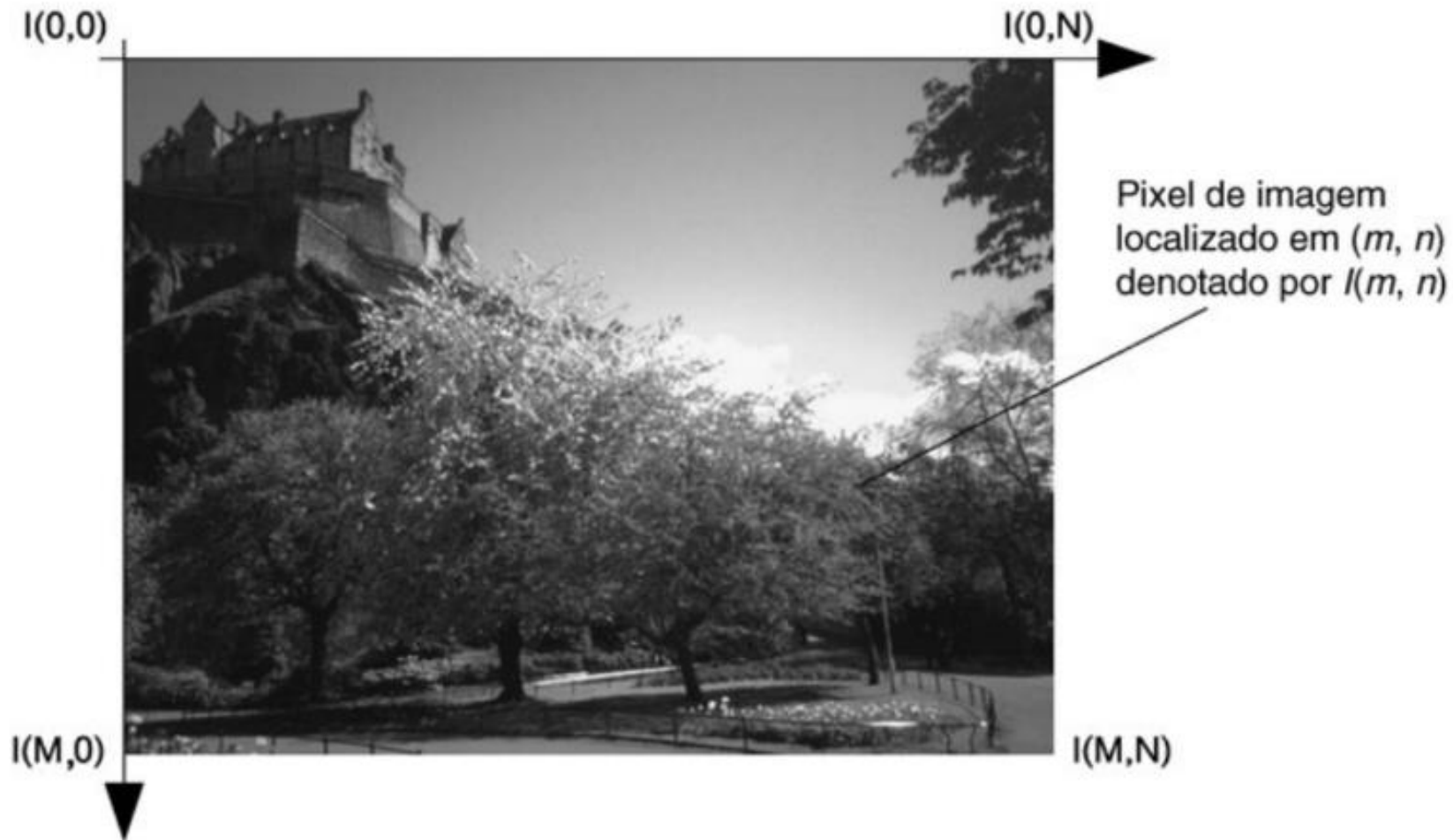


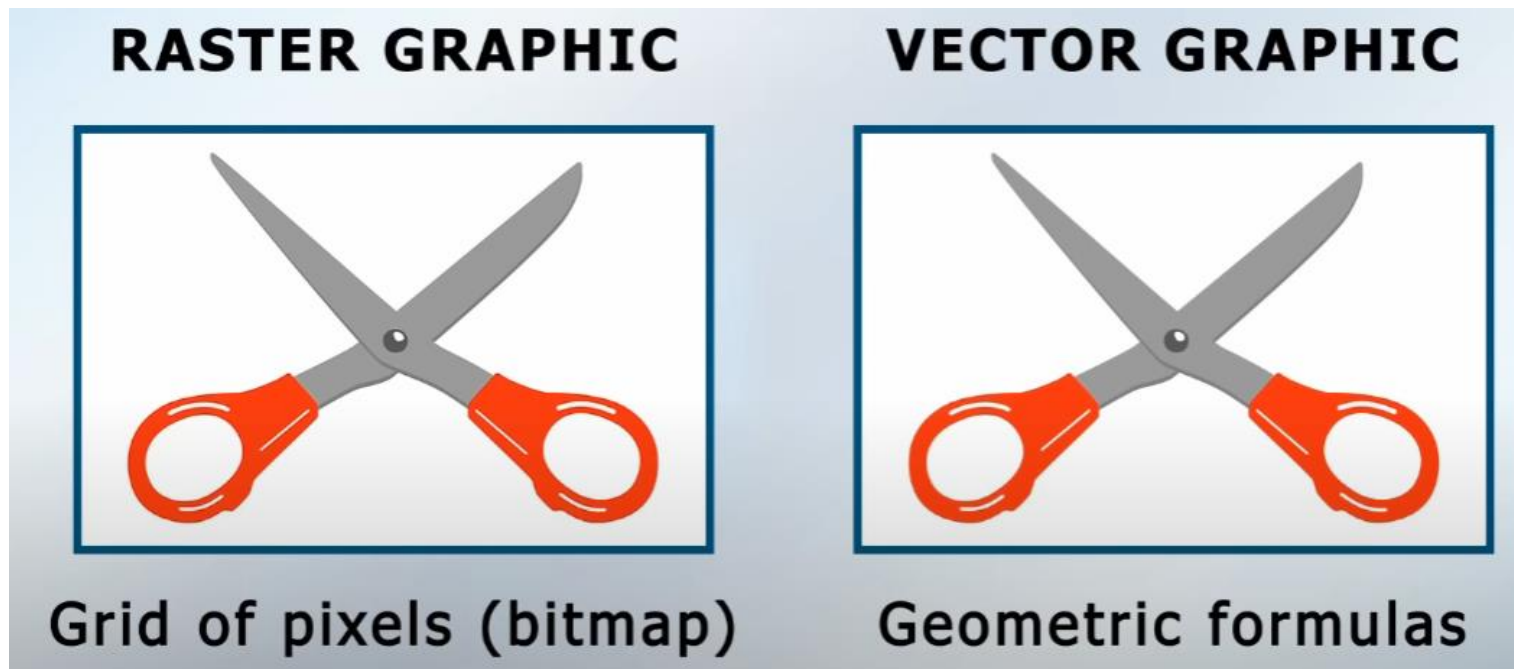
Figura 1.1 Espaço bidimensional de coordenadas cartesianas de uma imagem digital $M \times N$.

Conceitos de Imagem Digital

- Imagens Vetoriais vs Rasterizadas
- Compressão com perda (*Lossy*)
- Compressão sem perda (*Lossless*)
- Espaço de cores (*Colour Spaces*)
- Profundidade de bits (*Bit Depht*)
- Canal Alpha (*Alpha Channel*)

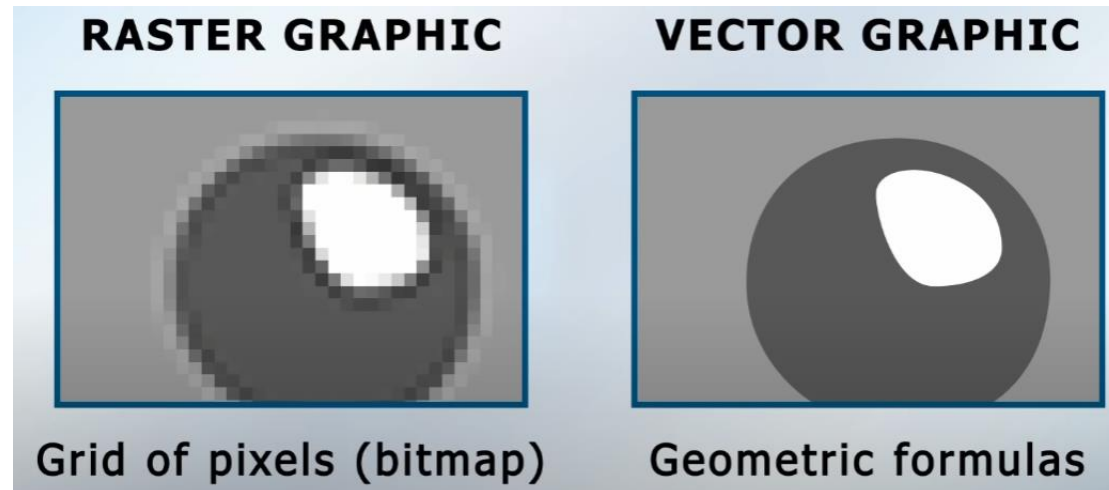
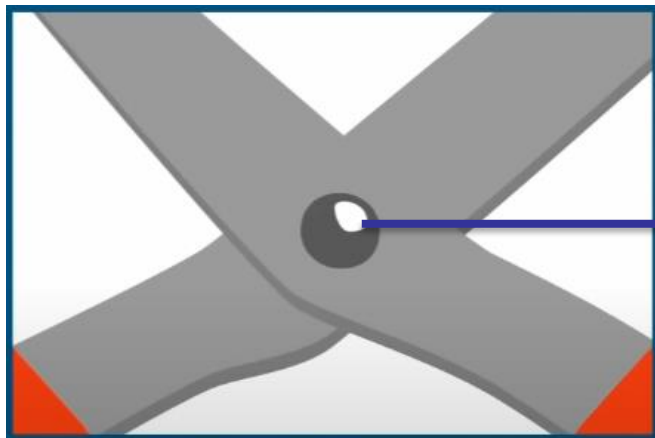
Imagens Vetoriais vs Rasterizadas

- **Imagem Rasterizada** armazena uma imagem como uma matriz de pixels (bitmap).
- **Imagem Vetorial** armazena cada parte de uma imagem como uma conjunto de fórmulas geométricas.



Gráficos Vetoriais vs Rasterizados

- Ao aumentar as imagens rasterizadas é possível ver a arestas com serrilhado.
- Ao aumentar as imagens vetoriais os dados são recalculados através das fórmulas, evitando a perda de qualidade.



Reduzindo tamanho do arquivo

- A maioria dos formatos de imagens rasterizadas aplica alguma forma de compressão:
 - **Lossy Compression** (Compressão com perda): descarta informação de pixels, reduzindo a qualidade da imagem. Ex. Transformada Discreta do Cosseno (DCT).
 - **Non-lossy Compression** (Compressão sem perda): reduz o tamanho da imagem preservando toda a informação dos pixels. Ex. Run-Lenght Encoding (RLE).

Cor de imagens

- Uma imagem contém um ou mais canais de cor que definem a intensidade ou cor em uma dada localização de pixel $I(m, n)$.
- No caso mais simples, cada posição de pixel contém somente um valor numérico representando o nível de sinal naquele ponto na imagem.
- A conversão entre este conjunto de números para uma imagem real (visualizada) é feita através de um **mapa de cor**.
- Um mapa de cor aloca um tom específico de cor a cada nível numérico na imagem para a produção de uma representação visual dos dados.
- O mapa de cor mais comum é a escala de cinza, que aloca todos os tons de cinza, do preto (zero) ao branco (máximo), segundo o nível de sinal.

Cor de imagens

- Além de imagens em escala de cinza, nas quais temos um único valor numérico associado a cada posição de pixel, também temos imagens em cores reais, em que o completo espectro de cores pode ser representado como um vetor de três componentes, em geral, as componentes (R, G, B)* em cada posição de pixel.
- *R de red (vermelho), G de green (verde) e B de blue (azul), as cores básicas. (N.T.)
- Outras representações de cores também são possíveis e largamente empregadas, como o mapa de cor (H, S, V) (Hue ou matiz, tonalidade; Saturation ou saturação; Value ou valor, intensidade).
- Nesta representação, a intensidade V da cor é desacoplada da informação cromática, contida nas componentes H e S

Melhoria da Informação Visual

- Observe a imagem a seguir... O que está escrito nela?



- O fato do olho humano não perceber a diferença entre tons próximos não quer dizer que eles não existam...

Melhoria da Informação Visual

- Mesma imagem com aumento de brilho (143%) e contraste (79%)....



- A mensagem já estava presente; apenas intensificamos as diferenças entre os tons....

Resolução e Quantização

- O tamanho da grade (ou malha) de pixels 2D juntamente com o tamanho dos dados armazenados para cada pixel determinam a resolução espacial e a quantização de cor da imagem.
- O poder de representação (ou tamanho) de uma imagem é definido por sua **resolução**.
- A resolução de uma fonte de imagens (como uma câmera) pode ser especificada em termos de três grandezas:
 - Resolução Espacial;
 - Resolução Temporal;
 - Resolução de Bit.

Resolução e Quantização

- **Resolução Espacial:**

- As dimensões colunas (C) *versus* linhas (R) de uma imagem definem o número de pixels usados para cobrir o espaço visual capturado pela imagem.
- Esta grandeza está relacionada à amostragem do sinal de imagem e, algumas vezes, é referida como resolução de pixel ou digital da imagem.
- É comumente denotada como $C \times R$ (por exemplo, 640x480, 800x600, 1024x768, etc.).

Resolução e Quantização

- **Resolução Temporal:**

- No caso de um sistema de captura contínua, como vídeo, esta grandeza representa o número de imagens capturadas em um dado intervalo de tempo.
- É comumente dada em quadros por segundo (qps), sendo cada imagem individual referida como um quadro de vídeo.

Resolução e Quantização

- **Resolução de Bit:**

- Esta grandeza define o número de valores possíveis de intensidade/cor que um pixel pode ter e está relacionada à quantização da informação da imagem. Por exemplo:
 - uma imagem binária (2-bits) tem somente duas cores (preto ou branco);
 - uma imagem em escala de cinza (8-bits) tem, em geral, 256 diferentes tons de cinza, variando do preto ao branco;
 - uma imagem colorida (24/32-bits) tem uma resolução de bit que depende do espectro de cores em uso.
- A resolução de bit é comumente dada pelo número de bits binários necessários para o armazenamento da informação.
- O intervalo de valores que um pixel pode assumir é, muitas vezes, referido como faixa dinâmica (*dynamic range*) da imagem.

Resolução e Quantização (Resumo)

- Em termos de imagem, a **amostragem (resolução)** cria a matriz referente à imagem (define as *dimensões da matriz*).
- A **quantização** define resolução de cor da imagem.

Formatos de Imagens

- De um ponto de vista matemático, qualquer conjunto bidimensional de números que faça algum sentido pode ser considerado como uma imagem.
- Os formatos de imagem consistem em um cabeçalho de arquivo (que contem informação sobre a forma exata em que os dados foram armazenados) e os valores numéricos de pixels.

Formatos de Imagens

- Formatos de imagens comuns e correspondentes propriedades:

Acrônimo	Denominação*	Propriedades
GIF	<i>Graphics interchange format</i> [Formato para intercâmbio de imagens]	Limitado a apenas 256 cores (8 bits); compressão sem perda
JPEG	<i>Joint Photographic Experts Group</i> [Grupo Misto de Especialistas Fotográficos]	Formato de uso mais comum atualmente; compressão com perda, existe variante sem perda
BMP	<i>Bit map picture</i> [Imagem em mapa de bit]	Formato básico de imagem; conversão sem perda (em geral) limitada; existem variantes com perda
PNG	<i>Portable network graphics</i> [Imagens portáteis para redes]	Novo formato de compressão sem perda; projetado para substituir GIF
TIF/TIFF	<i>Tagged image (file) format</i> [Formato (de arquivo) de imagem com rótulo]	Formato muito flexível, detalhado e adaptável; existem variantes comprimidas/descomprimidas

Formatos de Imagens - GIF

- **G**raphics **I**nterchange **F**ormat foi criado pela CompuServe em 1987, usa a extensão .png
- GIFs armazenam imagens rasterizadas, no formato RGB. Usa compressão sem perda.
- Suporta apenas 8-bit color (paleta de cores com valor máximo de 256).
- Pode armazenar animações (sequência de imagens).

Formatos de Imagens - JPEG

- Criado pelo **J**oint **P**hotographic **E**xperts **G**roup em 1992, usa a extensão .jpg ou .jpeg
- JPEGs armazenam imagens rasterizadas, tanto no formato RGB ou CMYK. Usa compressão com perda (DCT).
- Não possui canal alpha e a profundidade de bits é limitada a 8bpc, ou seja suporta um máximo de 24-bit.
- Formato ideal par salvar/compartilhar fotos, mas não é ideal para trabalhos de impressão.

Formatos de Imagens - PNG

- **P**ortable **N**etwork **G**raphic foi criado em 1994, usa a extensão .png
- PNGs armazenam imagens rasterizadas, no formato RGB. Usa compressão sem perda.
- Possui canal alpha.
- PNG8 (8-bit – escala de cinza), PNG24 (24-bit - RGB), PNG32 (32-bit – RGB + canal alpha (8bpc RGBA)).

Formatos de Imagens - TIFF

- **T**agged **I**mage **F**ile **F**ormat foi criado em 1986, usa a extensão .tif
- TIFFs armazenam imagens rasterizadas.
- Usa compressão com/sem perda e também sem compressão.
- Possui canal alpha.
- Suporta RGB, CMYK e B&W com 8, 16 ou 32bpc.

Tipos de Dados de Imagens

- A escolha do formato de imagem pode, em grande parte, ser determinado não apenas pelo conteúdo da imagem, mas também pelo tipo de dados de imagem necessários ao armazenamento.
- Além da resolução de bit de uma dada imagem, há vários outros aspectos associados a imagens:

Tipos de Dados de Imagens

- **Imagens Binárias:**

- São matrizes (ou conjuntos) bidimensionais (2D) que alocam um valor numérico do conjunto $\{0, 1\}$ a cada pixel de imagem.

- Tais imagens são, as vezes, referidas como imagens lógicas;

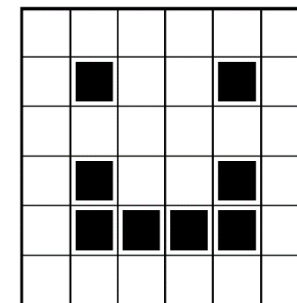
- o preto corresponde a zero (um pixel “desligado” ou de “fundo”).
- o branco, à unidade (pixel “ligado” ou “frontal”).



Imagem: binária

Tipo de Dado de Pixel: inteiro (0 ou 1)

Formato da Imagem: PNG



1	1	1	1	1	1
1	0	1	1	0	1
1	1	1	1	1	1
1	0	1	1	0	1
1	0	0	0	0	1
1	1	1	1	1	1

Tipos de Dados de Imagens

- **Imagens de intensidade ou escala de cinza:**
 - São matrizes (ou conjuntos) 2D que alocam um valor numérico a cada pixel que representa a intensidade em um ponto.
 - O intervalo de valores assumidos pelo pixel é limitado pela resolução de bit da imagem.
 - Este tipo de imagem é armazenado como imagens de inteiros de N bits, em um dado formato.



Imagem: escala de cinza de 8 bits
Tipo de Dado de Pixel: inteiro (0 → 255)
Formato da Imagem: GIF

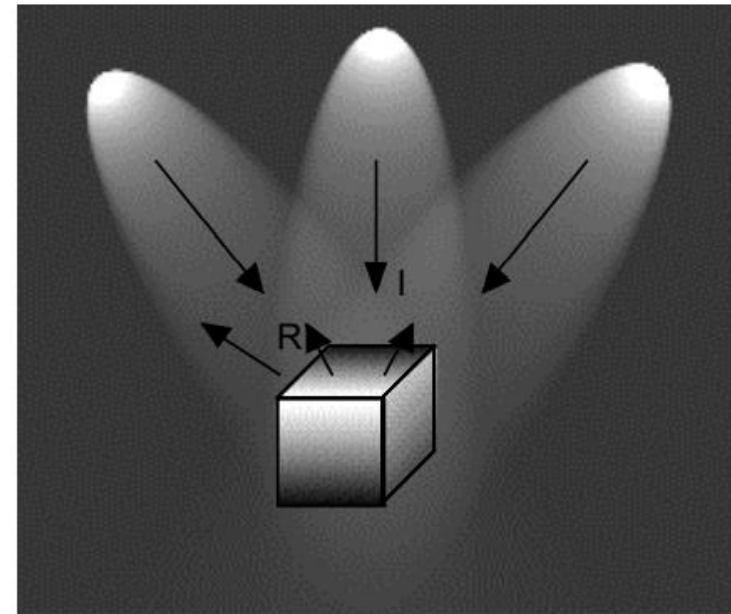
Imagens de intensidade ou escala de cinza

- Uma imagem monocromática pode ser descrita matematicamente por uma função $f(x,y)$ da intensidade luminosa, sendo seu valor, em qualquer ponto de coordenadas espaciais (x,y) , proporcional ao brilho (ou nível de cinza) da imagem naquele ponto.
- A figura abaixo mostra uma imagem monocromática e a convenção utilizada para o par de eixos (x,y) .



Imagens de intensidade ou escala de cinza

- A função $f(x,y)$ representa o produto da interação entre:
 - **Iluminância** $i(x,y)$ – que exprime a quantidade de luz que incide sobre o objeto e,
 - As propriedades de **Refletância**, que podem ser representadas pela função $r(x,y)$, cujo valor exprime a fração de luz incidente que o objeto vai transmitir ou refletir ao ponto (x,y) .



- Matematicamente:

Os componentes iluminância (I) e refletância (R) de uma imagem.

$$f(x, y) = i(x, y) \cdot r(x, y)$$

com:

$$0 < i(x, y) < \infty \quad \text{e}$$

$$0 < r(x, y) < 1$$

Imagens de intensidade ou escala de cinza

- As tabelas abaixo apresentam valores típicos de **Iluminância e Refletância**:

Exemplos de valores para $i(x,y)$ [em lux ou lúmen/m²]

$i(x,y)$	
900	dia ensolarado
100	dia nublado
10	iluminação média de escritório
0,001	noite clara de lua cheia

Exemplos de valores para $r(x,y)$

$r(x,y)$	
0,93	neve
0,80	parede branco-fosca
0,65	aço inoxidável
0,01	veludo preto

Imagens de intensidade ou escala de cinza

- A intensidade de uma imagem monocromática f nas coordenadas (x,y) é denominada **nível de cinza** (ou tom de cinza) (L) da imagem naquele ponto. Este valor estará no intervalo:

$$L_{min} \leq L \leq L_{max}$$

sendo L_{min} e L_{max} valores positivos e finitos.

- O intervalo $[L_{min}, L_{max}]$ é denominado **escala de cinza da imagem**.
- É comum deslocar este intervalo numericamente para o intervalo dos inteiros $[0, W)$, onde $L = 0$ significa pixel preto e $L = W-1$ representa pixel branco.

Tipos de Dados de Imagens

- **Imagens RGB ou de cores reais:**

- São matrizes (ou conjuntos) tridimensionais (3D) que alocam três valores numéricos a cada pixel;
- Cada valor corresponde, respectivamente, a uma das componentes vermelho, verde e azul (RGB) do canal de imagem.



Imagem: em cor RGB de 24 bits
Tipo de Dado de Pixel: $3 \times$ inteiro (0 \rightarrow 255)
Formato da Imagem: JPEG

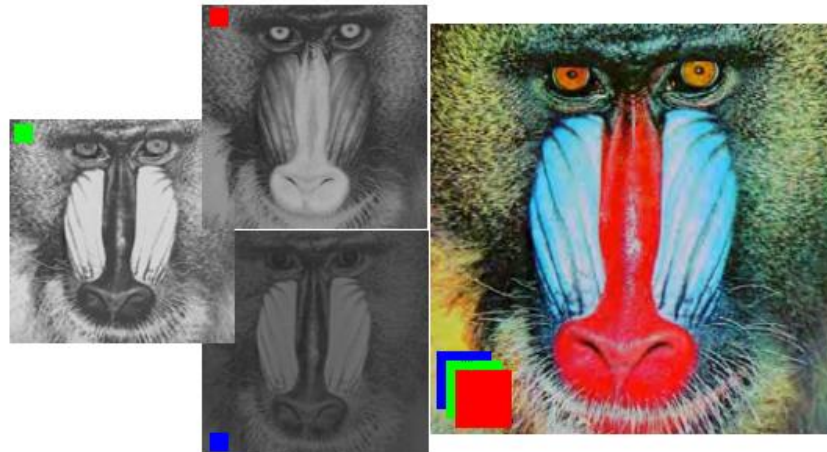
Tipos de Dados de Imagens

- **Imagens RGB ou de cores reais:**
 - Em uma imagem digital colorida no sistema RGB, um pixel pode ser visto como um vetor cujas componentes representam as intensidades de vermelho, verde e azul de sua cor.
 - A imagem colorida pode ser vista como a composição de três imagens monocromáticas, i.e.:

$$f(x, y) = f_R(x, y) + f_G(x, y) + f_B(x, y),$$

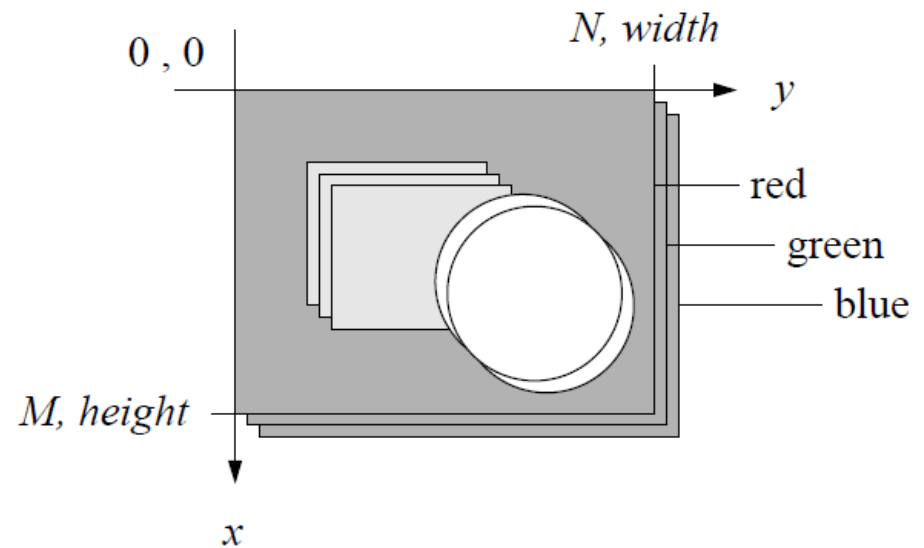
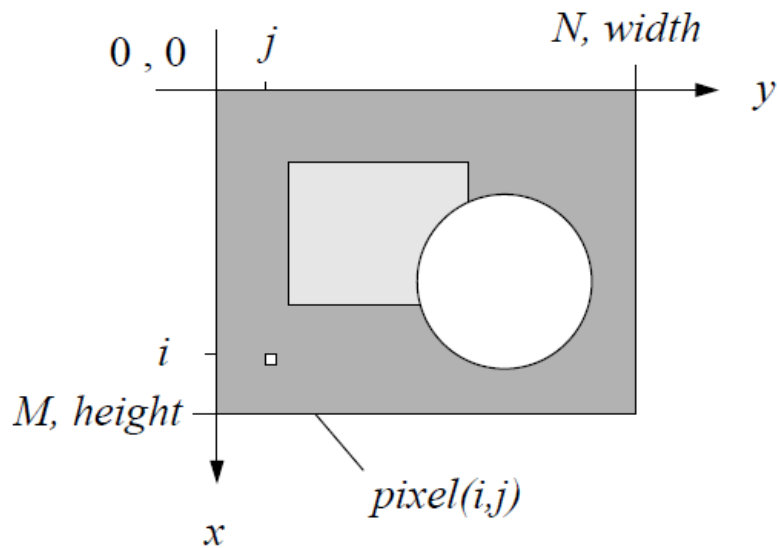
Tipos de Dados de Imagens

- **Imagens RGB ou de cores reais:**
 - Na qual $f_R(x,y)$, $f_G(x,y)$, $f_B(x,y)$ representam, respectivamente, as intensidades luminosas das componentes vermelha, verde e azul da imagem, no ponto (x,y) .
 - Na figura abaixo, são apresentados os planos monocromáticos de uma imagem e o resultado da composição dos três planos. Os mesmos conceitos formulados para uma imagem digital monocromática aplicam-se a cada plano de uma imagem colorida.



Tipos de Dados de Imagens

- Representação de uma imagem em escala de cinza e de uma imagem colorida (RGB):



- Note que a imagem em escala de cinza é composta por uma matriz com a informação de intensidade dos pixels, enquanto uma imagem colorida é composta por 3 matrizes (uma para cada canal de cor).

Tipos de Dados de Imagens

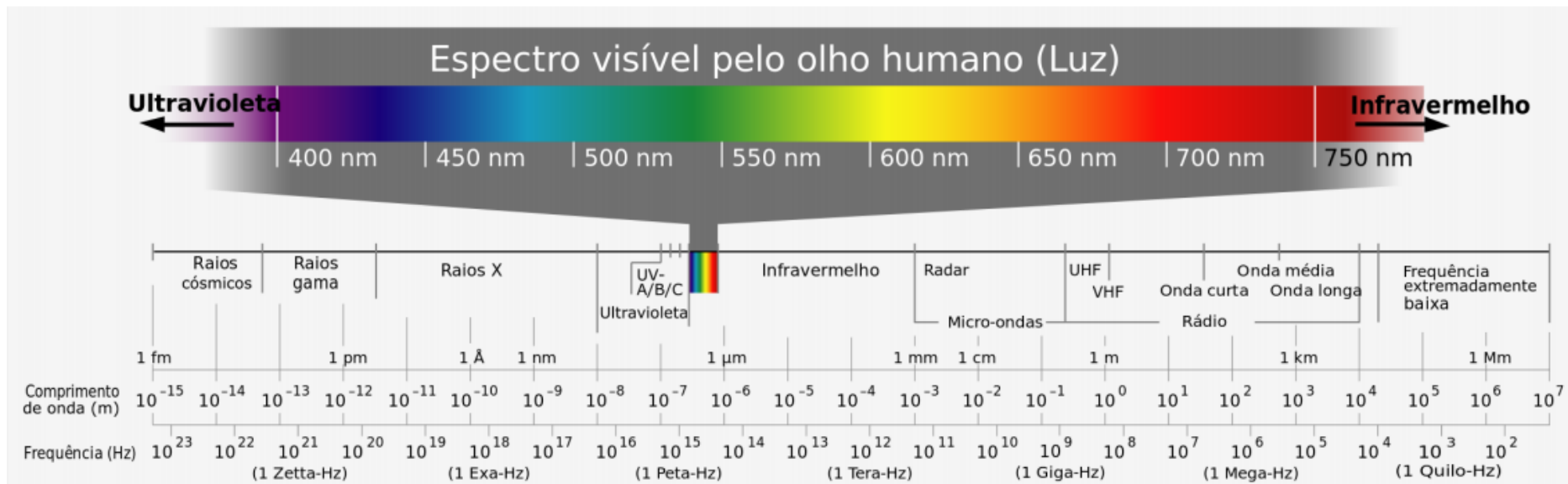
- **Imagens em ponto flutuante:**
 - Por definição, não armazenam valores inteiros de cores, mas sim, um numero em ponto flutuante que, em um dado intervalo definido pela precisão de ponto flutuante da resolução de bit da imagem, representa a intensidade.
 - Imagens em ponto flutuante são comumente armazenadas no formato TIFF ou algum formato mais especializado de domínio publico (como o DICOM médico).



Imagem: em ponto flutuante
Tipo de Dado de Pixel: valores em ponto flutuante
Formato da Imagem: TIFF (*Copyright: Tim Lukin, University of Edinburgh*)

Espectro visível pelo olho humano (Luz)

- Cor é a nossa percepção de diferentes comprimentos de onda luz.
- A luz é um fenômeno físico, mas a cor depende da interação da luz com o sistema visual, sendo, assim, um fenômeno psicofísico.

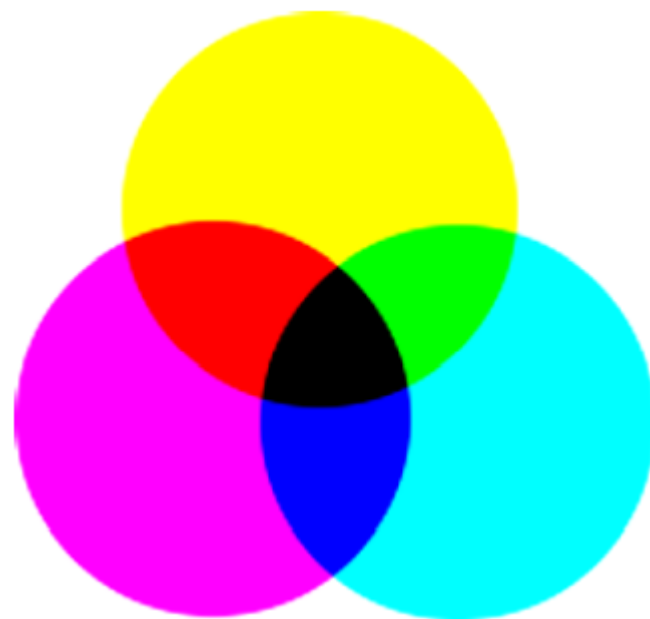


Cor

- Luz acromática: seu único atributo é a intensidade (ou quantidade).
- Luz cromática: engloba o espectro de energia eletromagnética visível.
- Os cones são os sensores dos olhos responsáveis pela visão das cores e existem em três principais categorias: sensíveis ao vermelho (65%), ao verde (33%) e ao azul (2%).
- Por isso é comum modelar as cores por meio da combinação dos componentes **vermelha** (R, red), **verde** (G, green) e **azul** (B, blue).

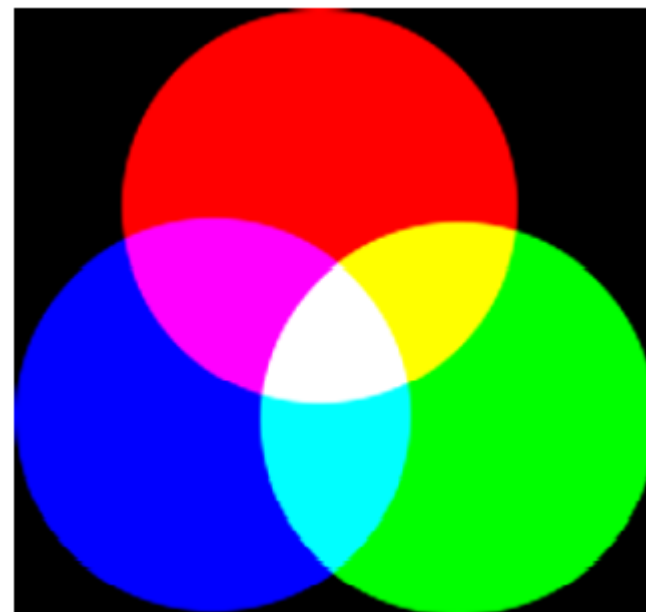
Composição da Cor

- Cores primárias: azul, amarelo e vermelho (usando lápis de cor):
 - Azul + Amarelo = Verde
 - Vermelho + Azul = Roxo
 - Vermelho + Amarelo = Marrom
- As cores primárias nesse caso, são na verdade: ciano, amarelo e magenta.
- Modelo **subtrativo**, usado para pigmentos (tinta, lápis, etc.) que absorvem certos comprimentos de onda do espectro.
- Quanto mais pigmento, mais escura a cor.



Composição da Cor

- Em monitores, projetores e TVs, o modelo usado é **aditivo**.
- A adição de luz em diferentes comprimentos de onda gera a mistura.
- Quanto mais luz, mais clara a cor.
- Azul + Verde = Ciano
- Vermelho + Azul = Roxo
- Vermelho + Verde = Amarelo



Espaços de Cor

- Espaço de Cores, também conhecido como Perfil de Cores é um modelo matemático para representar o alcance de um conjunto de cores.
- Através dele é possível estabelecer um padrão para visualização da cor de uma imagem.
- *A representação usada para armazenar as cores e especificar o número e a natureza dos canais de cor é geralmente referida como espaço de cor.*

Espaços de Cor (RGB)

- O **RGB** é a sigla representante de **Red** (vermelho), **Green** (verde) e **Blue** (azul).



Imagem original



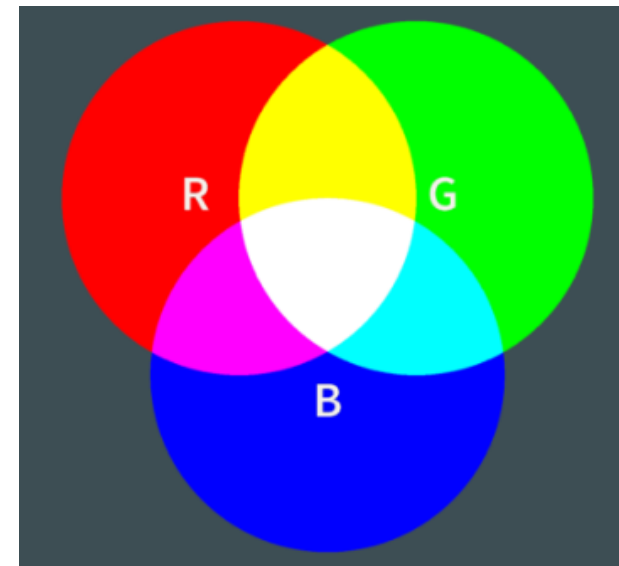
Componente-R



Componente-G



Componente-B



Espaços de Cor (RGB)

- Imagens RGB (ou em cores reais) são matrizes 3D que podem ser conceitualmente consideradas como três planos 2D distintos, cada um correspondendo a um dos três canais de cor – **vermelho (R)**, **verde (G)** e **azul (B)**.
- RGB é o espaço de cor mais usado para a representação de imagens digitais, pois corresponde às três cores primárias que são misturadas para exibição de imagens em um monitor ou dispositivo similar.



RGB



R



G



B

Espaços de Cor (RGB)

- As cores apresentadas em uma imagem real são, quase sempre, uma mistura dos componentes de cor dos três canais.
- Um erro conceitual comum é que, por exemplo, itens percebidos como azul aparecerão somente no canal azul, e assim por diante.
- Embora itens percebidos como azul certamente apareçam mais intensos no canal azul (ou seja, contém mais luz azul do que de outras cores), também terão componentes mais fracas de vermelho e verde.



RGB



R



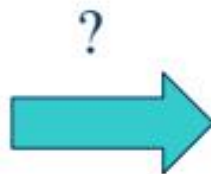
G



B

Espaços de Cor (RGB)

- Converter cor RGB para tons de cinza:



- $I = (R+G+B)/3$

$$\left(\text{Red Channel Image} + \text{Green Channel Image} + \text{Blue Channel Image} \right) / 3$$

Espaços de Cor (RGB Normalizado)

- Espaço RGB \Rightarrow mesma cor mas diferentes intensidades:
 - Exemplo: $[1 \ 2 \ 3] = [2 \ 4 \ 6] = [4 \ 8 \ 12] \dots$
 - Problema \Rightarrow se a intensidade luminosa varia, não é possível distinguir cores usando RGB.
- RGB normalizado:
 - Desacopla cor e intensidade;
 - Possibilita distinguir objetos pelo cor, independente da luminosidade do ambiente.

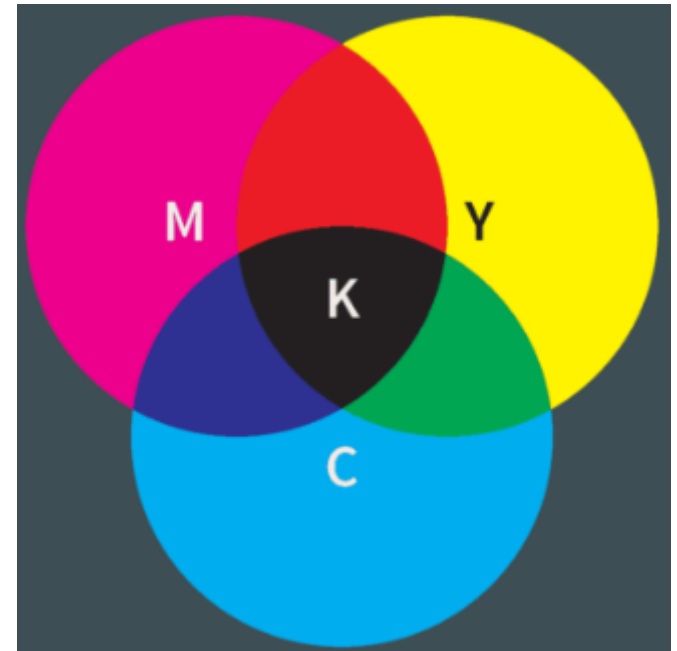
$$r = \frac{R}{R+G+B}; \quad g = \frac{G}{R+G+B}; \quad b = \frac{B}{R+G+B}$$

$$r + g + b = 1$$

Espaços de Cor (CMYK)

- O **CMYK** é a sigla representativa das cores de impressão e correspondem ao Cian, Magenta, Yellow e Key (Preto).

$$\begin{bmatrix} C \\ M \\ Y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix}$$



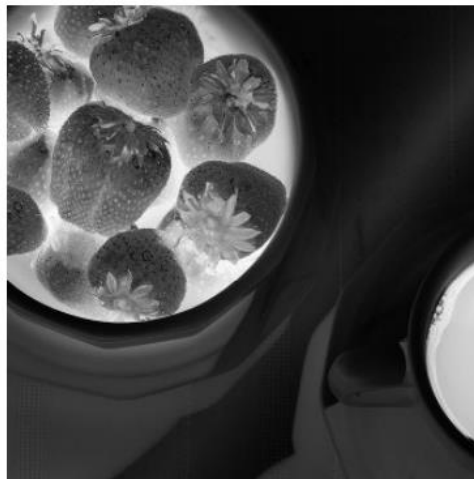
Espaços de Cor (CMYK)

- Nesse sistema é possível ver que o ciano não reflete o vermelho $C = 1 - R$, e de forma similar, o magenta não reflete verde e o amarelo não reflete azul.
- Essa transformação, no entanto causa problemas principalmente na cor preta, que fica mais próxima de um verde escuro, o que ocasiona diferenças entre a cor vista no monitor e a impressa.
- CMYK foi uma tentativa de adicionar um canal preto K para melhorar a compatibilidade entre os modelos de cor.

Espaços de Cor (CMYK)



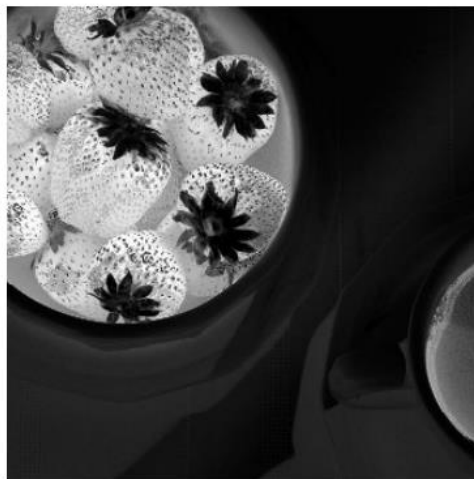
RGB



K



C



M



Y

Converter RGB para CMYK

RGB to CMYK conversion formula

The R,G,B values are divided by 255 to change the range from 0..255 to 0..1:

$$R' = R/255$$

$$G' = G/255$$

$$B' = B/255$$

The black key (K) color is calculated from the red (R'), green (G') and blue (B') colors:

$$K = 1 - \max(R', G', B')$$

The cyan color (C) is calculated from the red (R') and black (K) colors:

$$C = (1 - R' - K) / (1 - K)$$









The magenta color (M) is calculated from the green (G') and black (K) colors:

$$M = (1 - G' - K) / (1 - K)$$

The yellow color (Y) is calculated from the blue (B') and black (K) colors:

$$Y = (1 - B' - K) / (1 - K)$$

RGB to CMYK table

Color	Color name	(R,G,B)	Hex	(C,M,Y,K)
	Black	(0,0,0)	#000000	(0,0,0,1)
	White	(255,255,255)	#FFFFFF	(0,0,0,0)
	Red	(255,0,0)	#FF0000	(0,1,1,0)
	Green	(0,255,0)	#00FF00	(1,0,1,0)
	Blue	(0,0,255)	#0000FF	(1,1,0,0)
	Yellow	(255,255,0)	#FFFF00	(0,0,1,0)
	Cyan	(0,255,255)	#00FFFF	(1,0,0,0)
	Magenta	(255,0,255)	#FF00FF	(0,1,0,0)

Converter CMYK para RGB

CMYK to RGB conversion formula

The R, G, B values are given in the range of 0..255.

The red (R) color is calculated from the cyan (C) and black (K) colors:

$$R = 255 \times (1 - C) \times (1 - K)$$









The green color (G) is calculated from the magenta (M) and black (K) colors:

$$G = 255 \times (1 - M) \times (1 - K)$$

The blue color (B) is calculated from the yellow (Y) and black (K) colors:

$$B = 255 \times (1 - Y) \times (1 - K)$$

CMYK to RGB table

Color	Color name	(C,M,Y,K)	(R,G,B)	Hex
	Black	(0,0,0,1)	(0,0,0)	#000000
	White	(0,0,0,0)	(255,255,255)	#FFFFFF
	Red	(0,1,1,0)	(255,0,0)	#FF0000
	Green	(1,0,1,0)	(0,255,0)	#00FF00
	Blue	(1,1,0,0)	(0,0,255)	#0000FF
	Yellow	(0,0,1,0)	(255,255,0)	#FFFF00
	Cyan	(1,0,0,0)	(0,255,255)	#00FFFF
	Magenta	(0,1,0,0)	(255,0,255)	#FF00FF

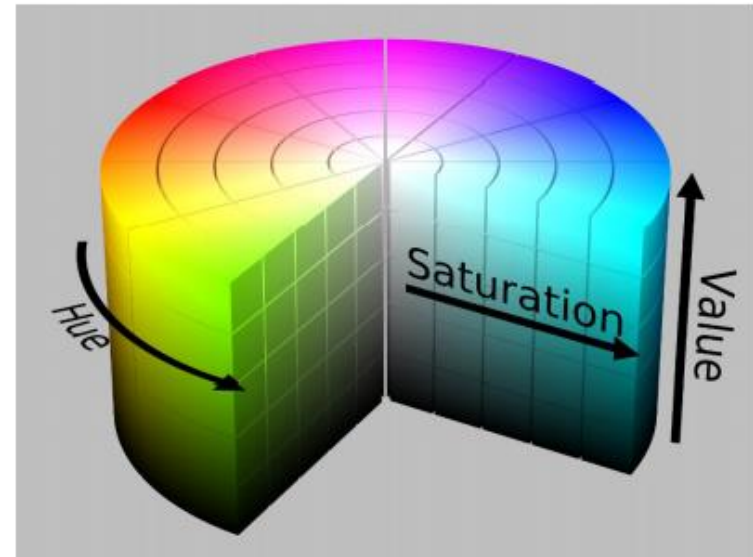
Espaços de Cor (HSV)

- Se fosse possível definir um canal de cor (0-255) de forma que cada valor significasse o **matiz**, ou componente cromático de uma determinada cor, teríamos algo como o círculo ao lado, que inicia em 0 e faz a volta até 255.
- Nesse círculo, cores opostas são chamadas complementares: sua mistura gera um tom de cinza.
- Para gerar as misturas, dois outros canais de cor são definidos: **saturação** e **brilho**.



Espaços de Cor (HSV)

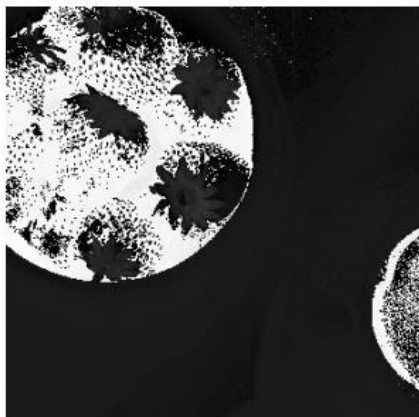
- **Hue (matiz):** define o componente de cor, ou a posição no círculo. Medido em graus °
- **Saturation (saturação):** define o quão pura é a cor, ou se ela está misturada com outra(s) cor(es) (complementar), tornando-a mais pálida. Medido em %
- **Value (brilho):** define a quantidade de luz na mistura. Quanto mais luz, mais clara a cor (na ausência de valor, a imagem é toda preta). Medido em %



Espaços de Cor (HSV)



RGB



H



RGB



Modificação no matiz



S



V



Saturação máxima



Valor máximo

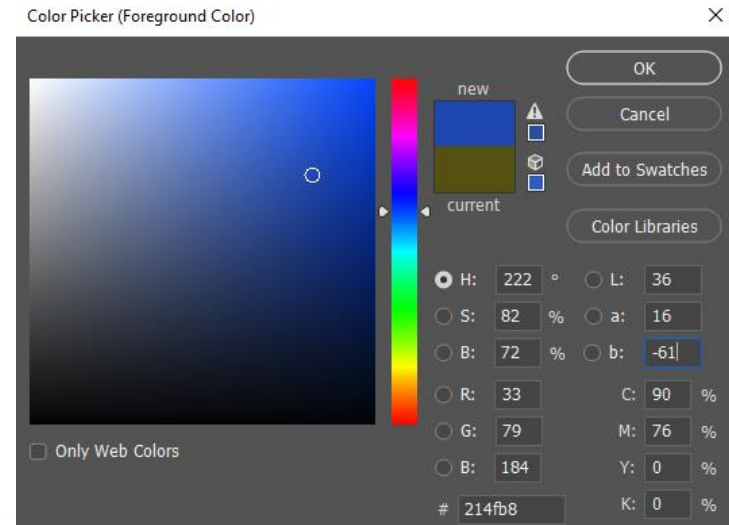
Converter RGB para HSV

- Sendo a cor RGB definida por valores entre 0.0 e 1.0:

$$H = \begin{cases} 60 \times \frac{G-B}{MAX-MIN} + 0 & \text{se } MAX = R \text{ e } G \geq B \\ 60 \times \frac{G-B}{MAX-MIN} + 360 & \text{se } MAX = R \text{ e } G < B \\ 60 \times \frac{B-R}{MAX-MIN} + 120 & \text{se } MAX = G \\ 60 \times \frac{R-G}{MAX-MIN} + 240 & \text{se } MAX = B \end{cases}$$

$$S = \frac{MAX - MIN}{MAX}$$

$$V = MAX$$



Converter HSV para RGB

HSV to RGB conversion formula

When $0 \leq H < 360$, $0 \leq S \leq 1$ and $0 \leq V \leq 1$:

$$C = V \times S$$

















$$X = C \times (1 - |(H / 60^\circ) \bmod 2 - 1|)$$

$$m = V - C$$

$$(R', G', B') = \begin{cases} (C, X, 0) & , 0^\circ \leq H < 60^\circ \\ (X, C, 0) & , 60^\circ \leq H < 120^\circ \\ (0, C, X) & , 120^\circ \leq H < 180^\circ \\ (0, X, C) & , 180^\circ \leq H < 240^\circ \\ (X, 0, C) & , 240^\circ \leq H < 300^\circ \\ (C, 0, X) & , 300^\circ \leq H < 360^\circ \end{cases}$$

$$(R, G, B) = ((R' + m) \times 255, (G' + m) \times 255, (B' + m) \times 255)$$

HSV to RGB color table

Color	Color name	(H,S,V)	Hex	(R,G,B)
	Black	(0°,0%,0%)	#000000	(0,0,0)
	White	(0°,0%,100%)	#FFFFFF	(255,255,255)
	Red	(0°,100%,100%)	#FF0000	(255,0,0)
	Lime	(120°,100%,100%)	#00FF00	(0,255,0)
	Blue	(240°,100%,100%)	#0000FF	(0,0,255)
	Yellow	(60°,100%,100%)	#FFFF00	(255,255,0)
	Cyan	(180°,100%,100%)	#00FFFF	(0,255,255)
	Magenta	(300°,100%,100%)	#FF00FF	(255,0,255)
	Silver	(0°,0%,75%)	#BFBFBF	(191,191,191)
	Gray	(0°,0%,50%)	#808080	(128,128,128)
	Maroon	(0°,100%,50%)	#800000	(128,0,0)
	Olive	(60°,100%,50%)	#808000	(128,128,0)
	Green	(120°,100%,50%)	#008000	(0,128,0)
	Purple	(300°,100%,50%)	#800080	(128,0,128)
	Teal	(180°,100%,50%)	#008080	(0,128,128)
	Navy	(240°,100%,50%)	#000080	(0,0,128)

Exercício 1

- Utilizando a linguagem de programação de sua escolha, crie um programa contendo funções para:
 - Normalizar um valor RGB.
 - Converter um valor RGB para HSV.
 - Converter um valor HSV para RGB.
 - Converter um valor RGB para CMYK.
 - Converter CMYK para RGB.
 - Converter um valor RGB para Escala de Cinza.