



SEL 0449 - Processamento Digital de
Imagens Médicas

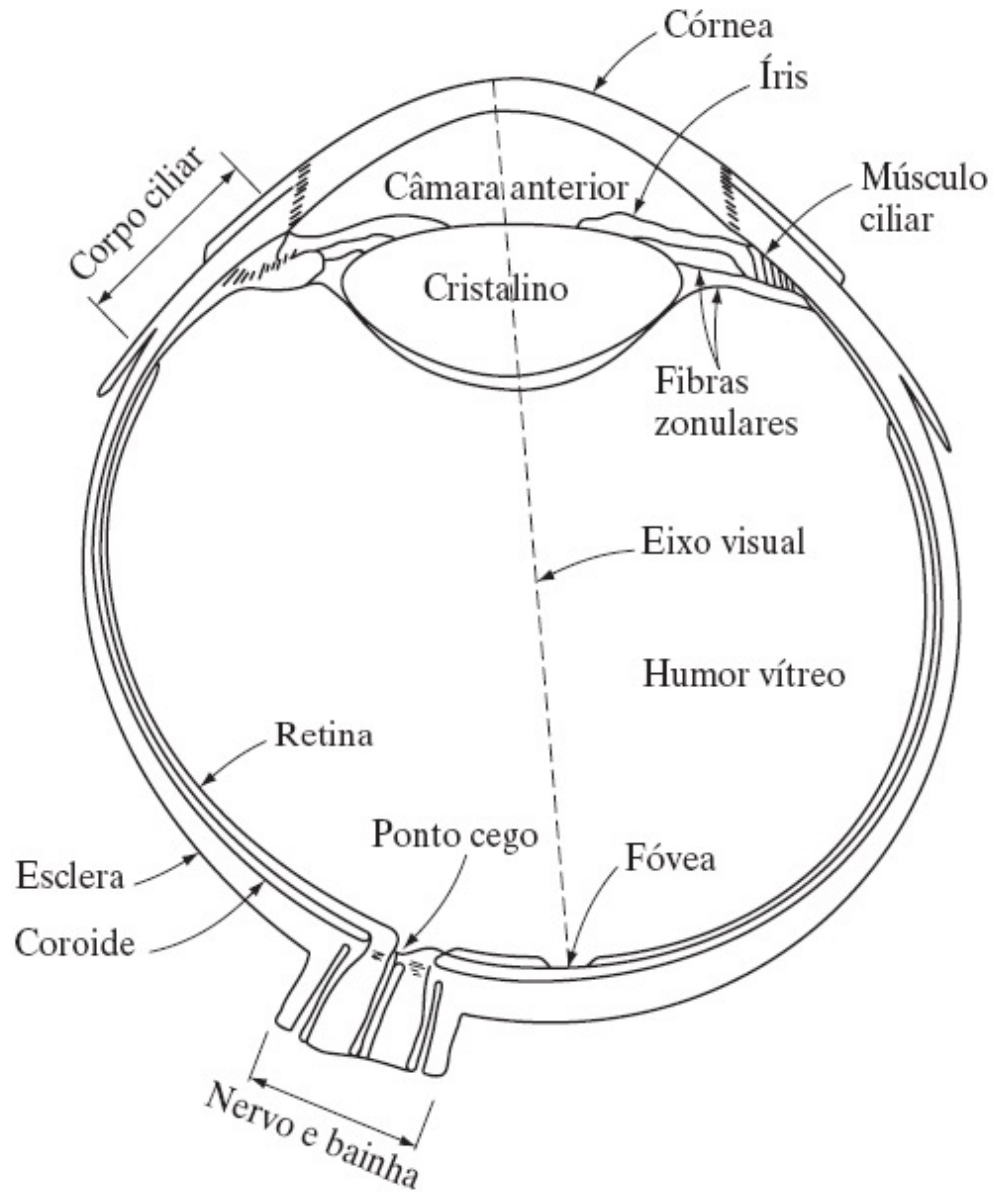
SEL 5895 – Introdução ao
Processamento Digital de Imagens

Aula 2 – Aquisição de Imagens Digitais

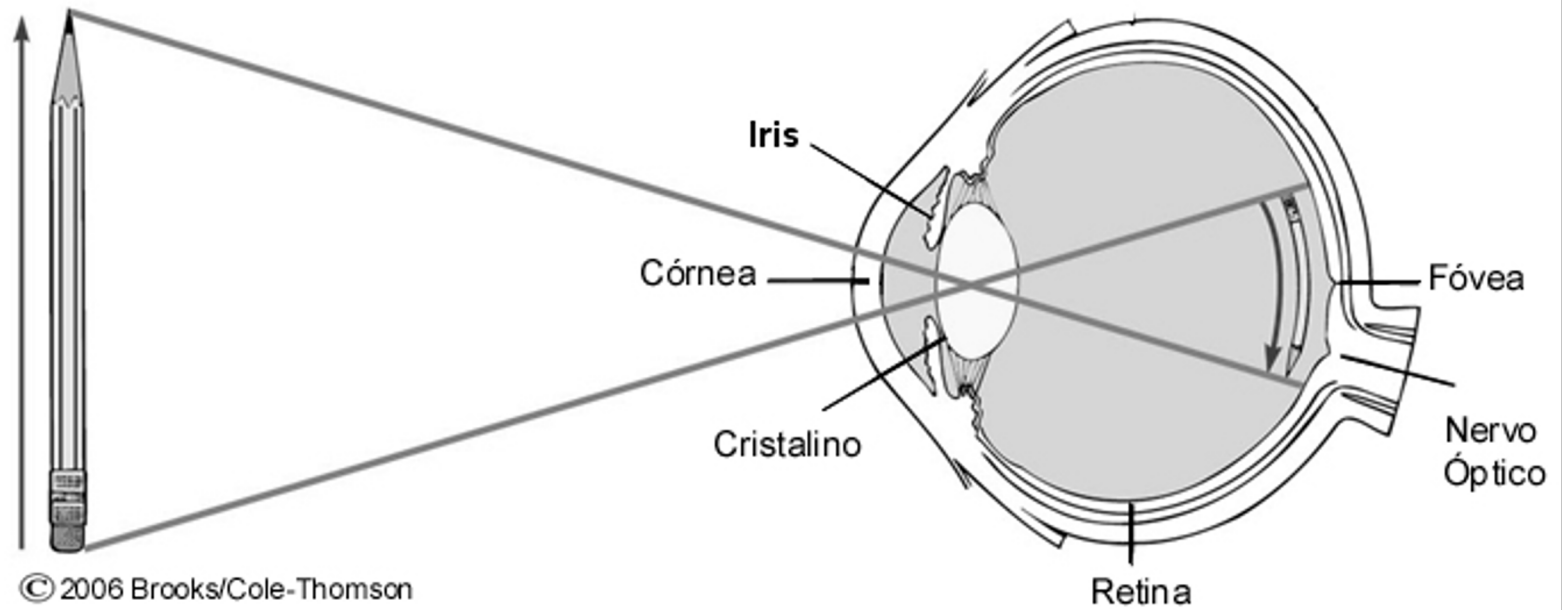
Prof. Dr. Marcelo Andrade da Costa Vieira

mvieira@sc.usp.br

O Olho Humano



Formação da imagem no olho humano



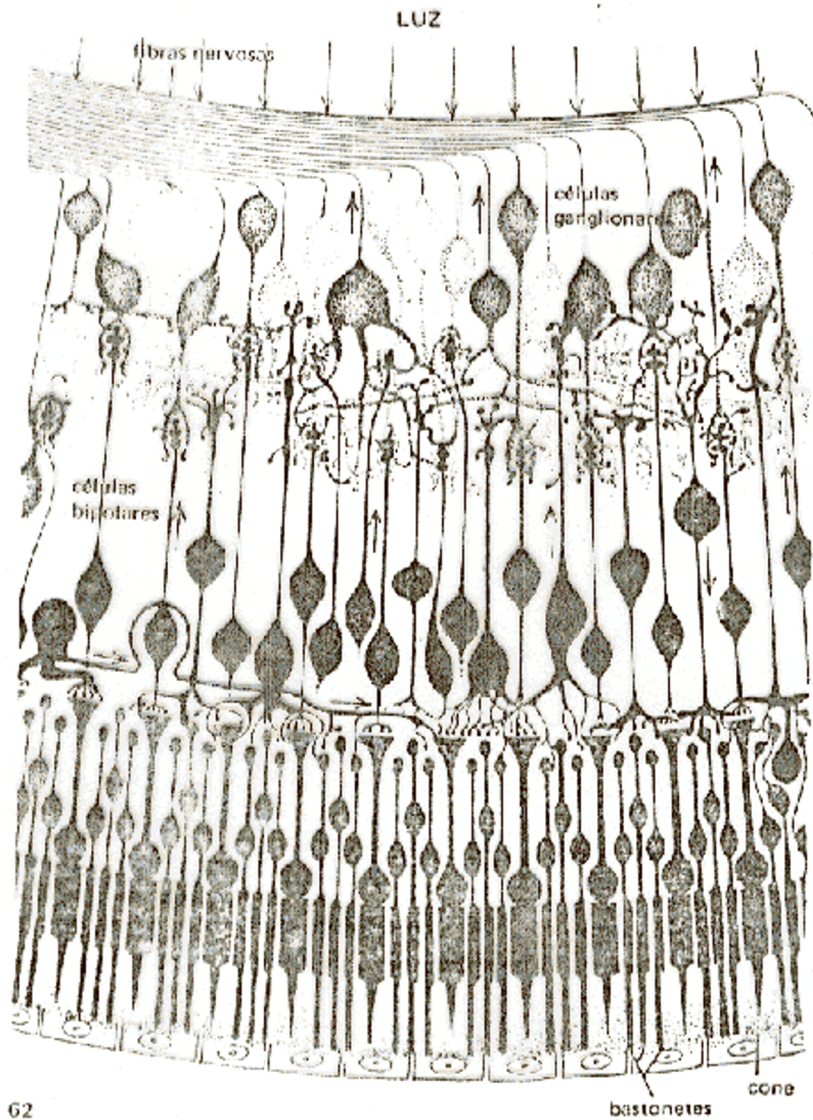
Ponto Cego



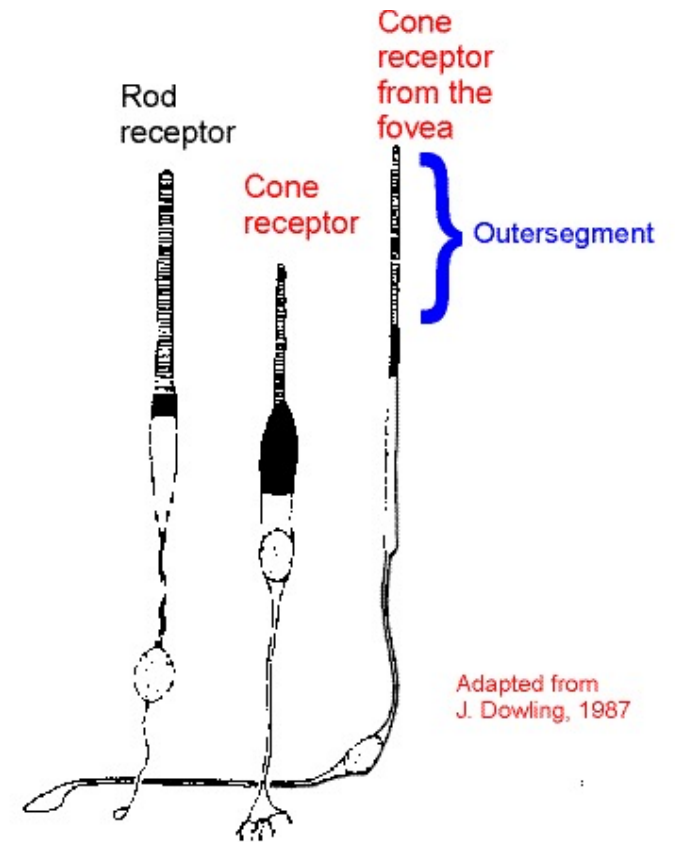
Percepção das Cores

- No olho, as imagens são formadas sobre a retina, numa área sensível à luz localizada no fundo do olho. Na retina estão localizados dois tipos de células foto-receptoras: os bastonetes e os cones;
- Os bastonetes distinguem a presença e a ausência de luz ou tons intermediários;
- Os cones percebem as cores. Existem três tipos de cones no olho e cada tipo é capaz de distinguir uma cor: vermelho, verde e azul. A quantidade de cones varia para cada cor.

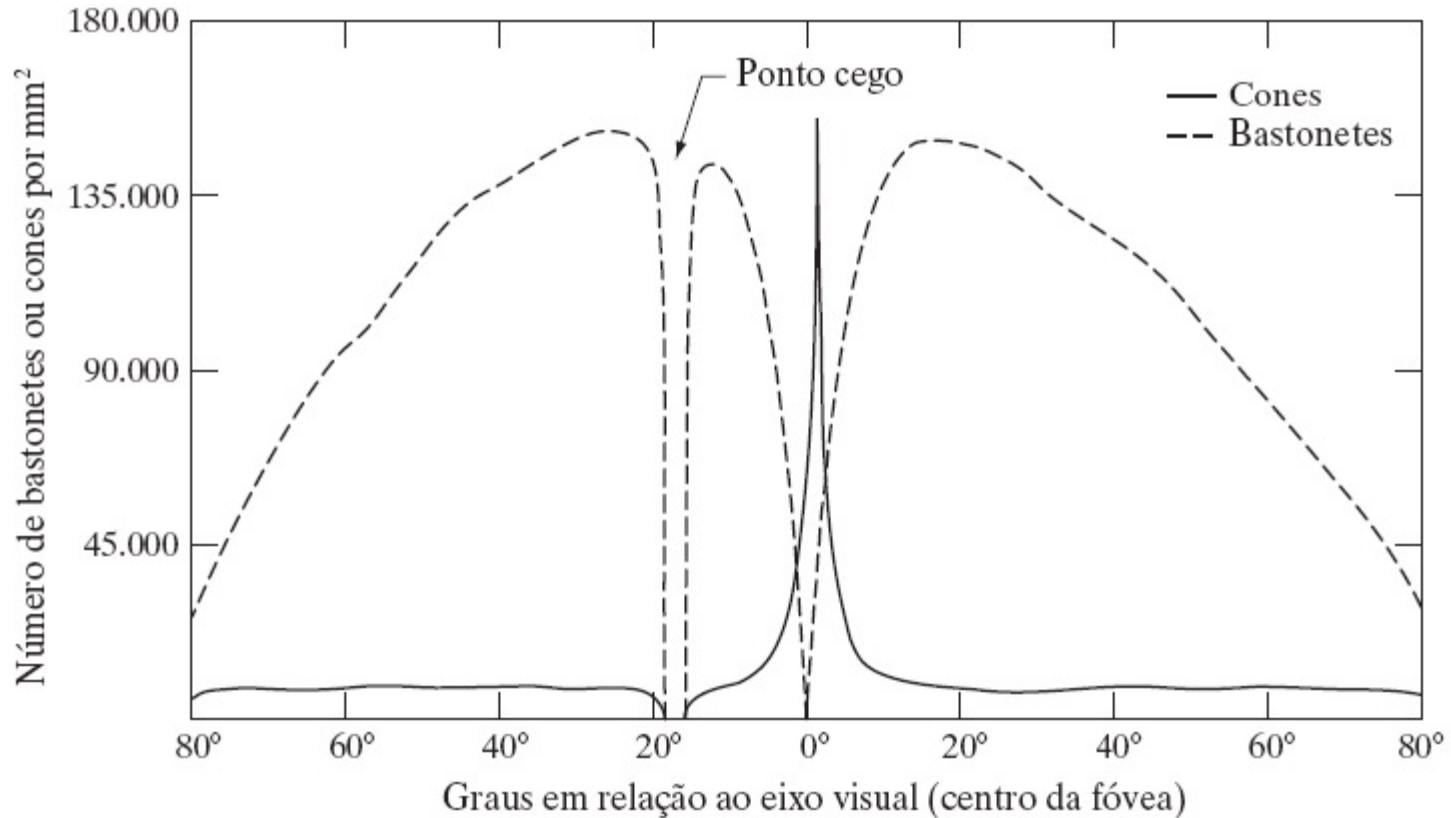
Retina



Cones e Bastonetes:



Distribuição de Cones e Bastonetes na Retina



Cones ==> 6 a 7 milhões (em cada olho) ==> sensível a cores (RGB)

Bastonetes ==> 75 a 150 milhões (em cada olho) ==> sensível a brilho

Imagem na Retina



Foto em tons de cinza – Listas coloridas! O cérebro preenche o resto!



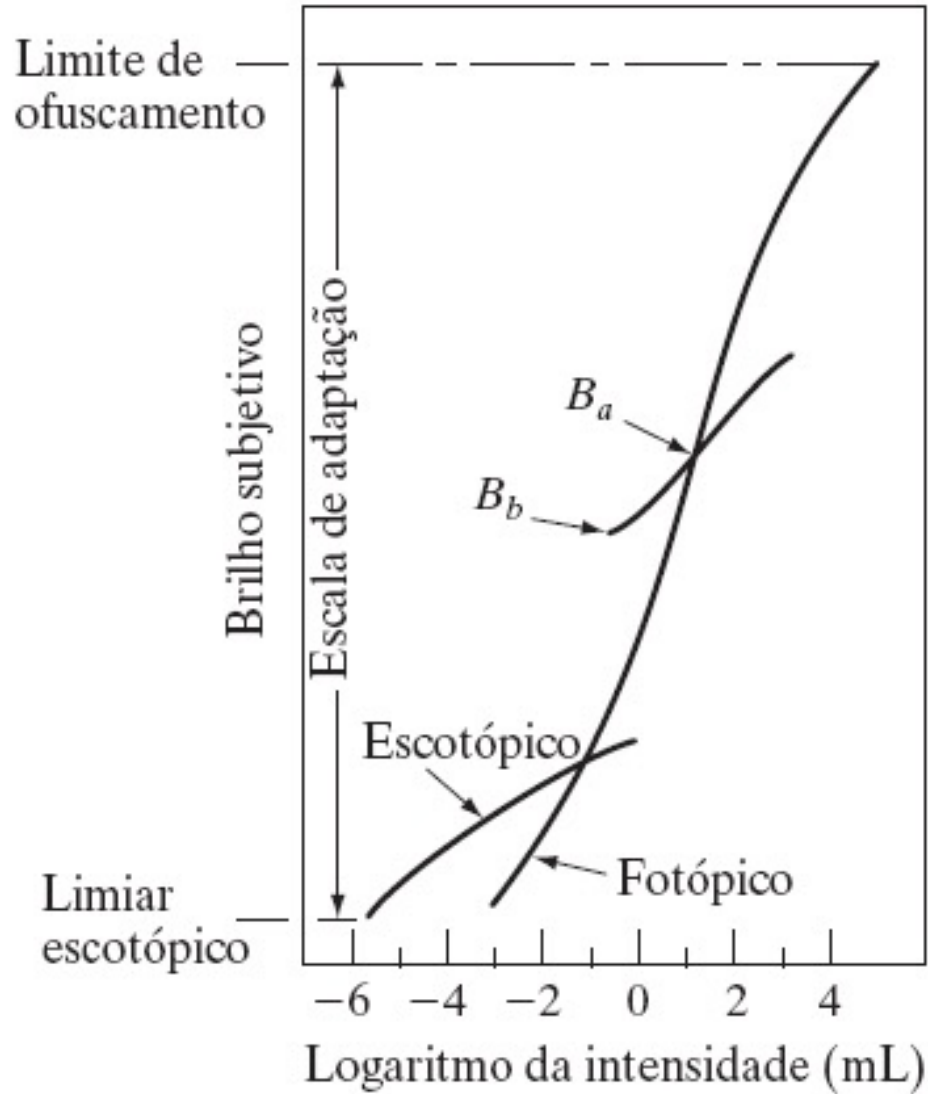
Visão baseada em aprendizado



Visão baseada em aprendizado

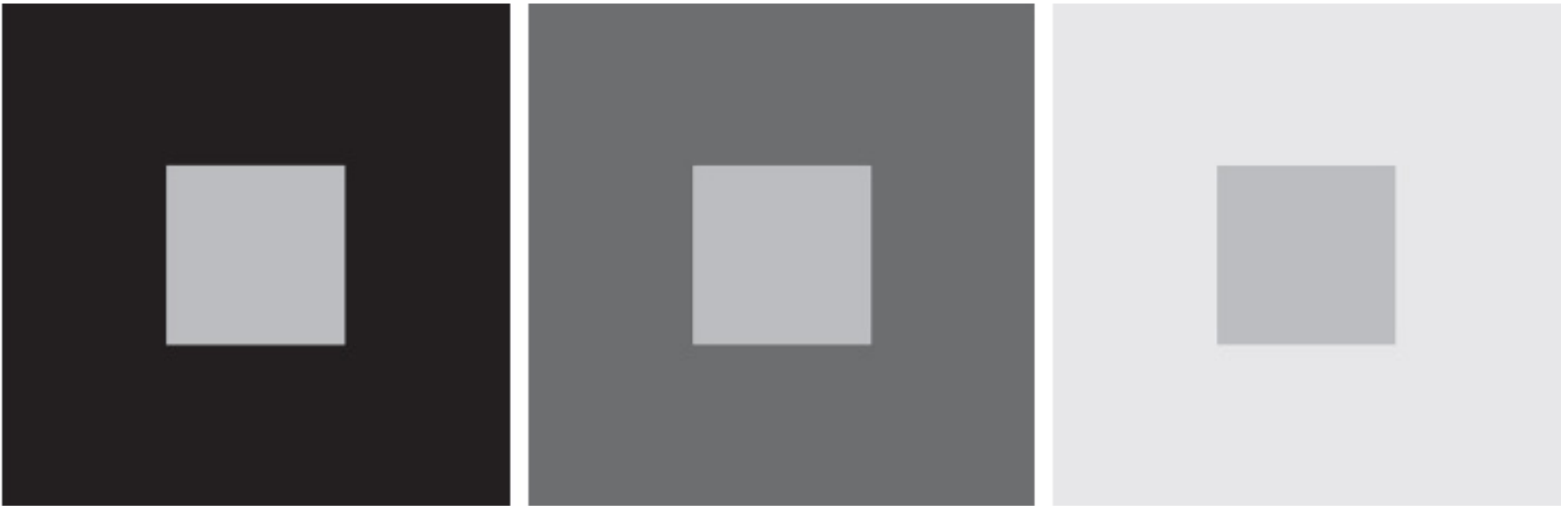
"Sem dúvida, você é capaz de ler e entender este texto com letras trocadas"

Adaptação ao Brilho



Adaptação ao Brilho

Os quadrados centrais têm a mesma intensidade!



a b c

Fundamentos de Imagens Digitais

Ocorre a formação de uma imagem quando um sensor de imagem registra a radiação que interagiu com objetos físicos.

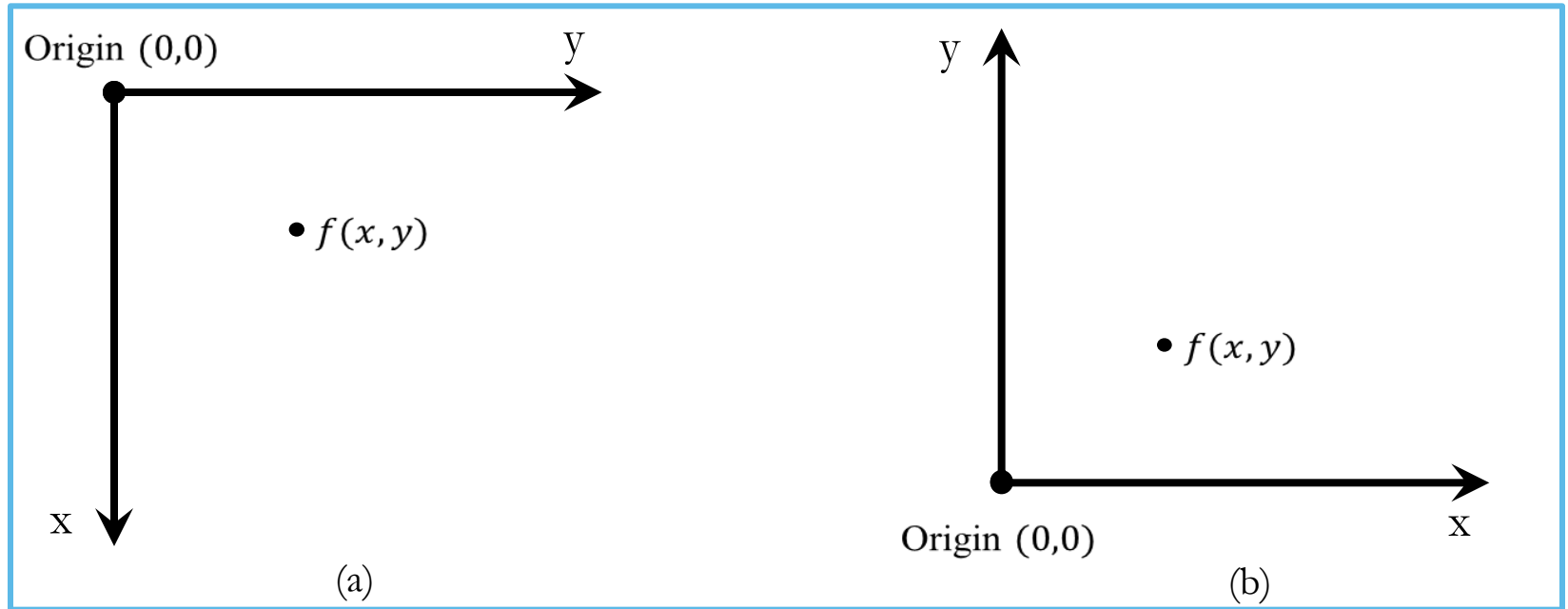
- Uma imagem monocromática é uma função bidimensional da intensidade da luz $f(x,y)$, na qual x e y denotam as coordenadas espaciais (largura x altura) e o valor de f em qualquer ponto corresponde ao brilho (nível de cinza) da imagem naquele ponto.

- A intensidade de luz pode ser modelada como: $f(x,y) = i(x,y) \cdot r(x,y)$

- \mathbf{i} = iluminação do ambiente $0 \leq i(x,y) \leq \infty$

- \mathbf{r} = refletância dos objetos $0 \leq r(x,y) \leq 1$

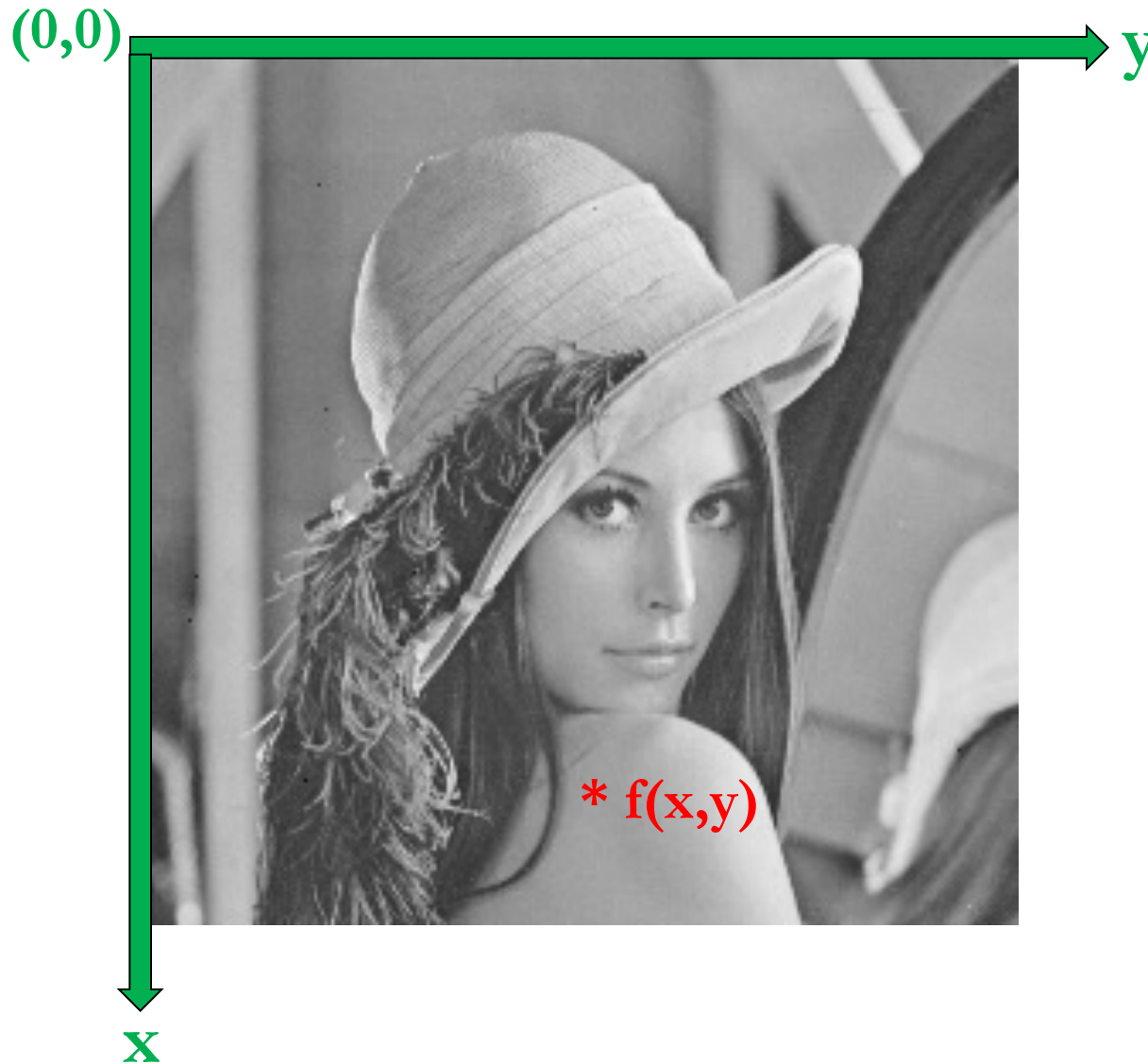
Convenção utilizada para os eixos x e y.



a) Convenção utilizada em Processamento de Imagens e em Visão Computacional

b) Convenção utilizada em Computação Gráfica

Fundamentos de Imagens Digitais



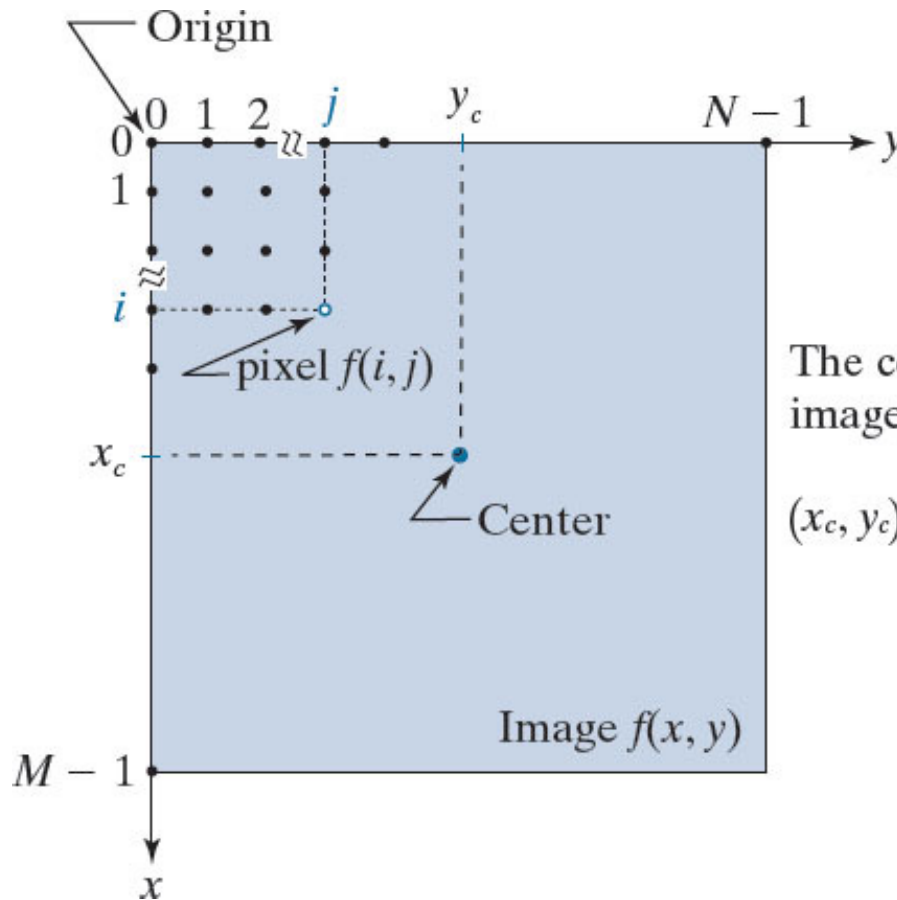
Fundamentos de Imagens Digitais

Uma Imagem Digital é uma imagem contínua amostrada em um arranjo matricial $M \times N$, sendo o valor de cada elemento da matriz o nível de cinza do pixel correspondente no plano de imagem.

$$f(x, y) = \begin{bmatrix} f(0, 0) & f(0, 1) & \cdots & f(0, N-1) \\ f(1, 0) & f(1, 1) & \cdots & f(1, N-1) \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ f(M-1, 0) & f(M-1, 1) & \cdots & f(M-1, N-1) \end{bmatrix}$$

Convenção utilizada para os eixos x e y.

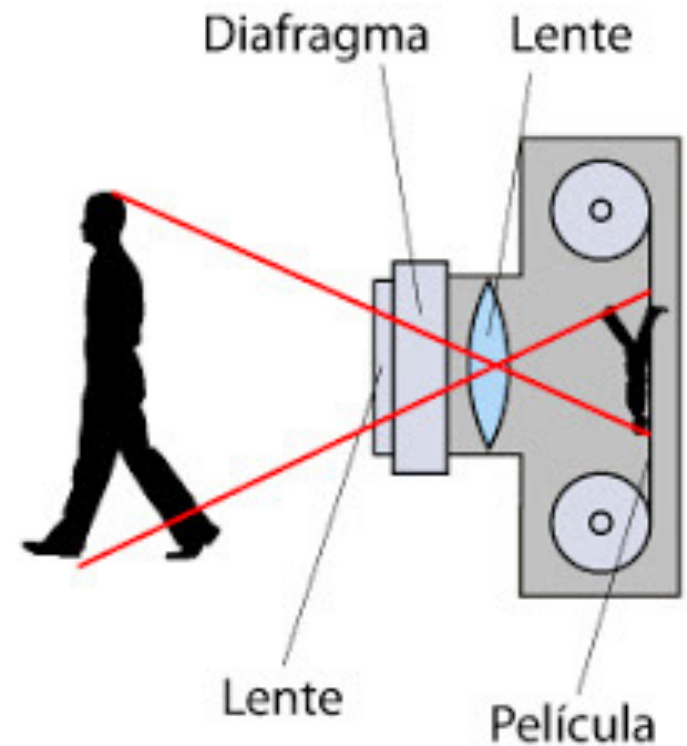
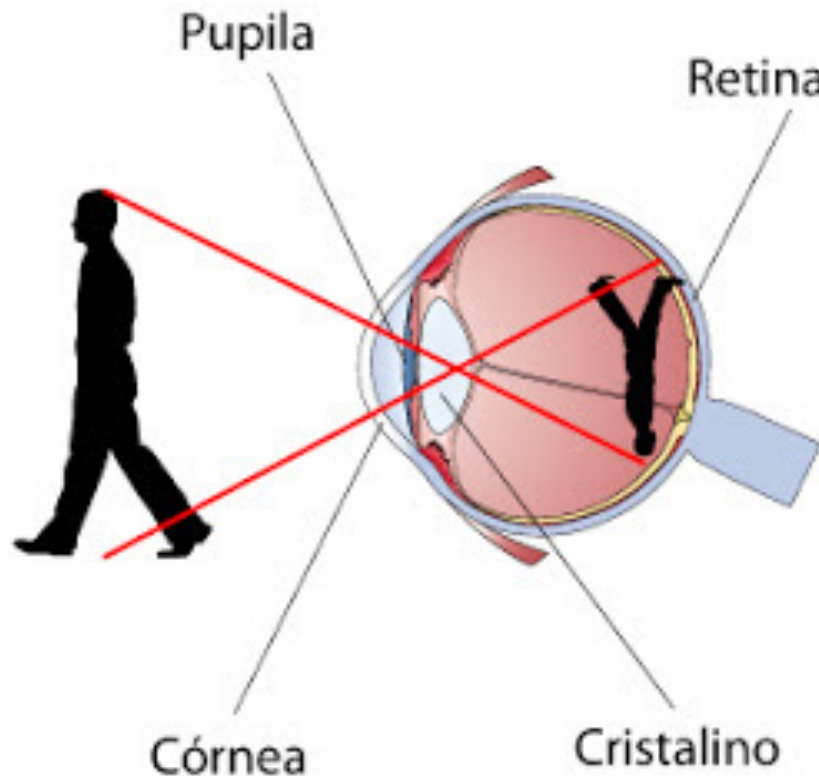
$$(0,0) \leq (x,y) \leq (M-1,N-1)$$



The coordinates of the image center are

$$(x_c, y_c) = \left(\text{floor}\left(\frac{M}{2}\right), \text{floor}\left(\frac{N}{2}\right) \right)$$

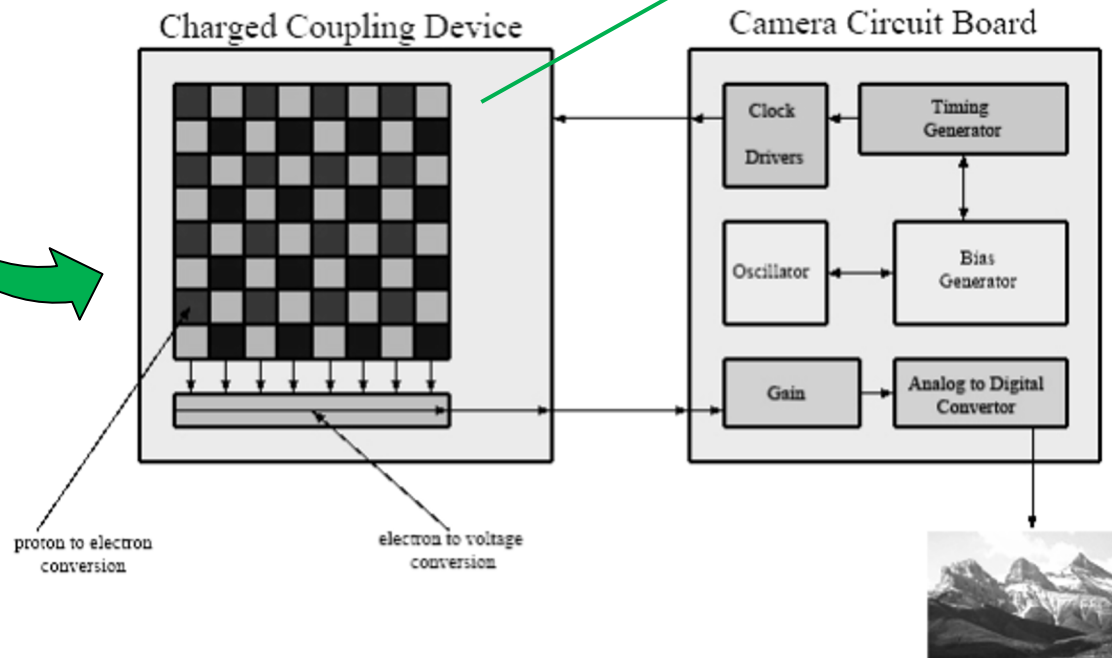
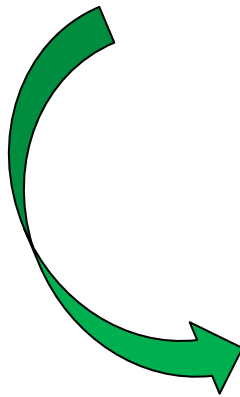
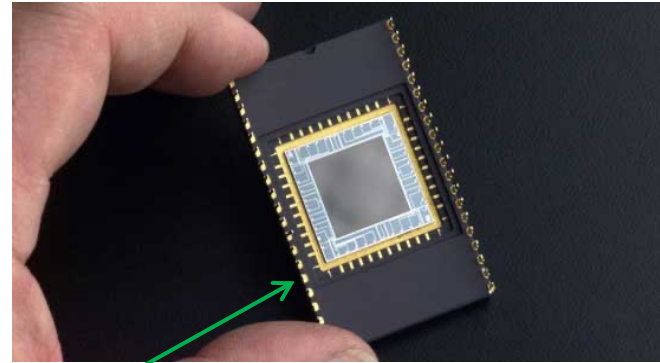
Formação da imagem em uma máquina fotográfica



Máquina Fotográfica Digital



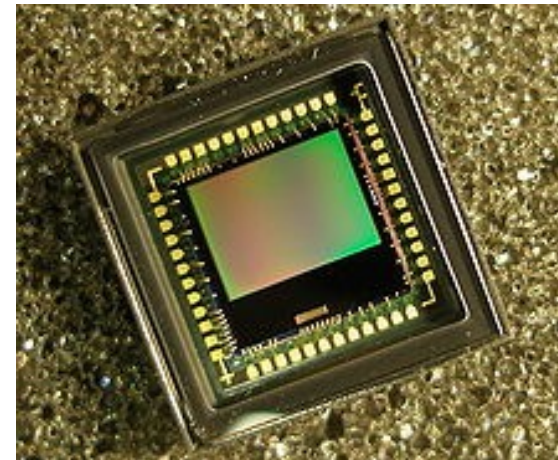
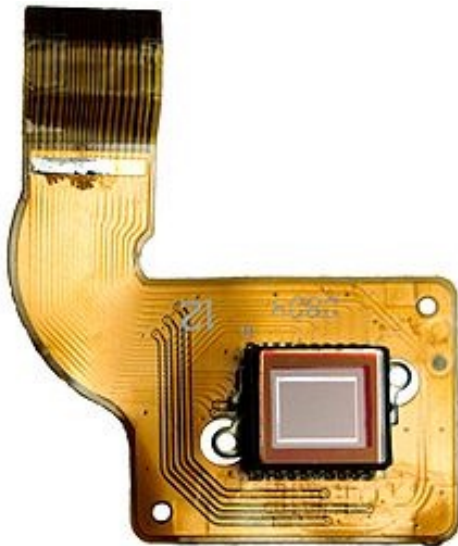
Máquina Fotográfica Digital



Sensores de imagem

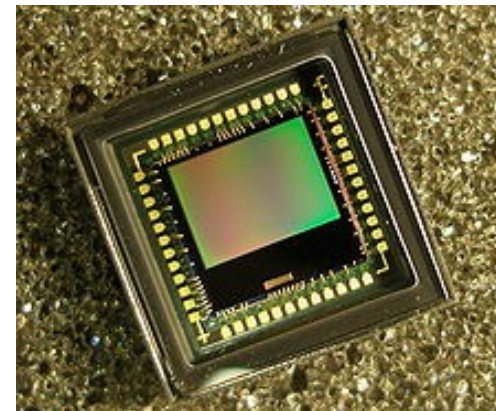
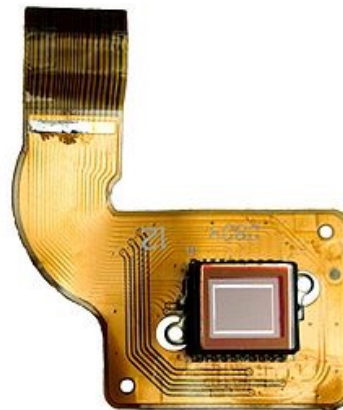
Nas máquinas digitais, no lugar do filme, as imagens são capturadas por uma matriz de sensores que detectam energia luminosa e transformam em tensão elétrica proporcional.

Normalmente são de tecnologia **CCD** (Charged Coupled Device) ou **CMOS** (Complementary Metal – Oxide – Semiconductor)

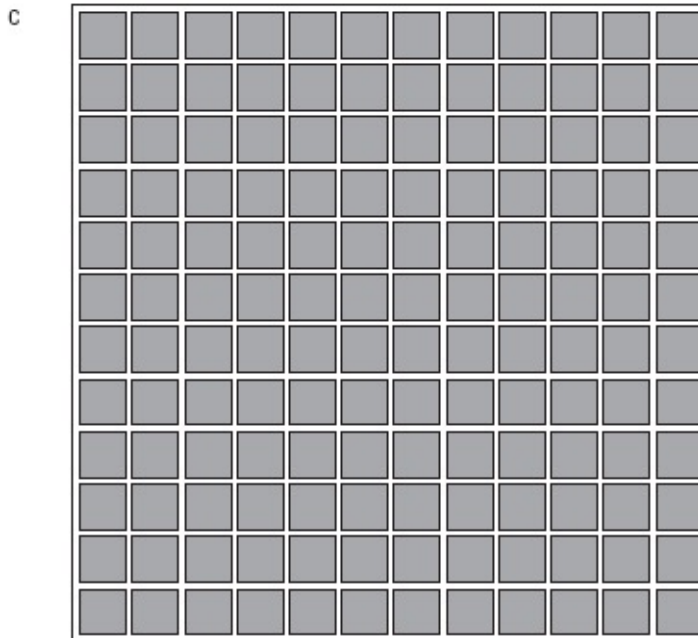
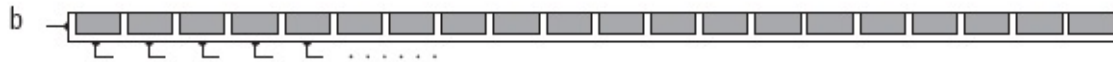
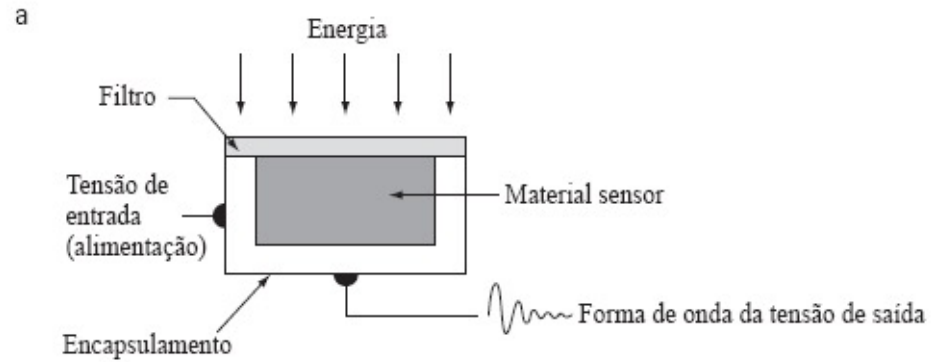


Sensores CMOS x CCD

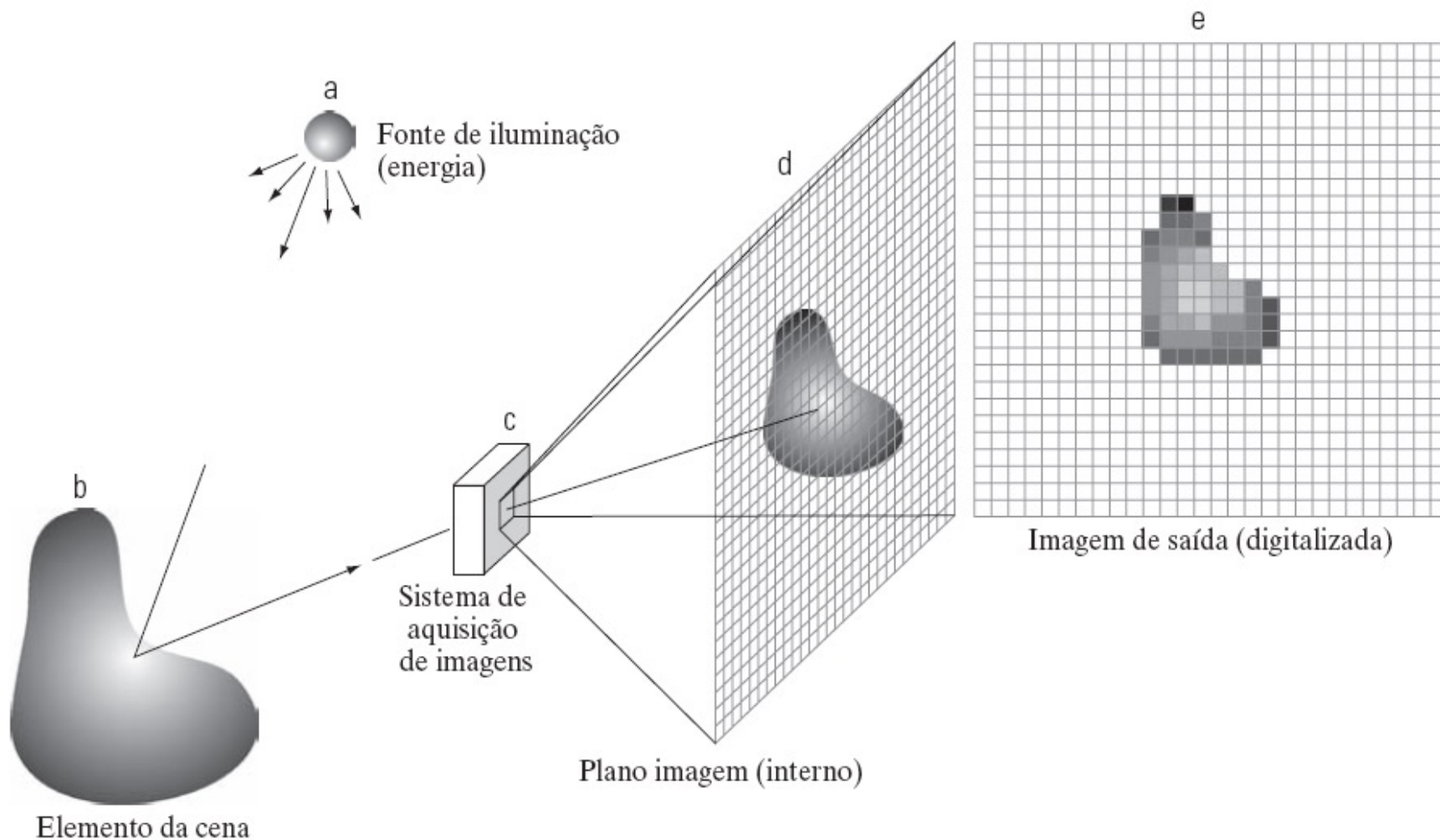
- Os sensores CCD são chamados de *pixel-passivo* pois são analógicos até a formação do sinal de imagem. O sinal só é digitalizado no final.
- Os sensores CMOS são chamados de *pixel-ativo* pois não há a transferência de carga e a formação do sinal analógico, como no CCD. O sinal do CMOS já é digitalizado no próprio sensor, pixel por pixel, e sua saída já é digital.
- Os sensores CMOS são mais utilizados atualmente pois consomem menos energia e são mais baratos que o CCD, porém possuem qualidade inferior (maior ruído e menor sensibilidade)



Sensores de aquisição de imagem (CCD)



Aquisição de imagem digital



Amostragem e Quantização

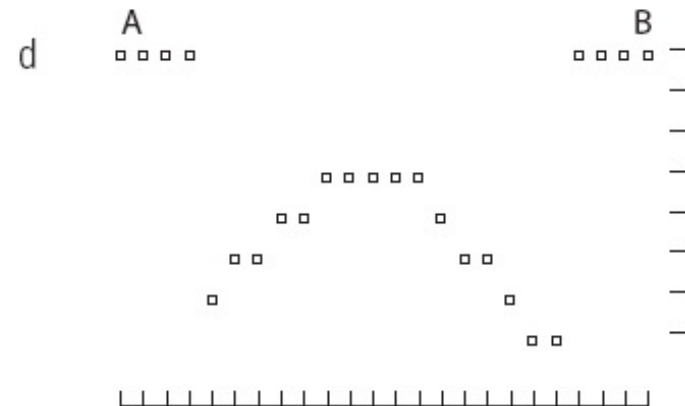
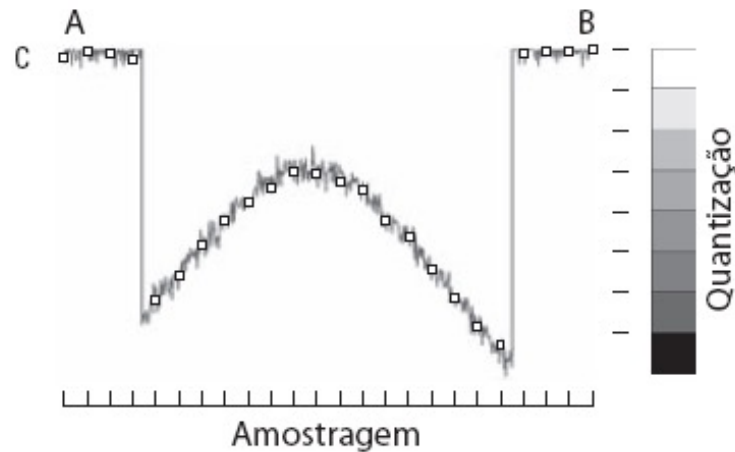
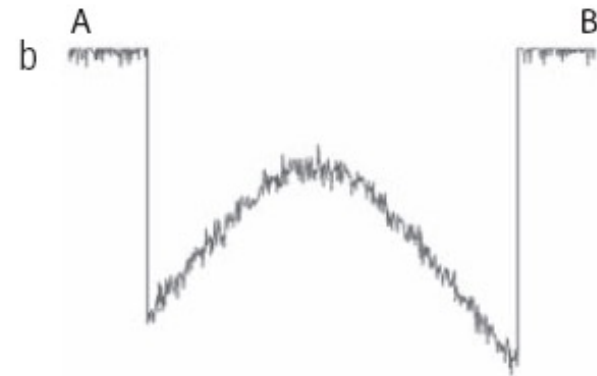
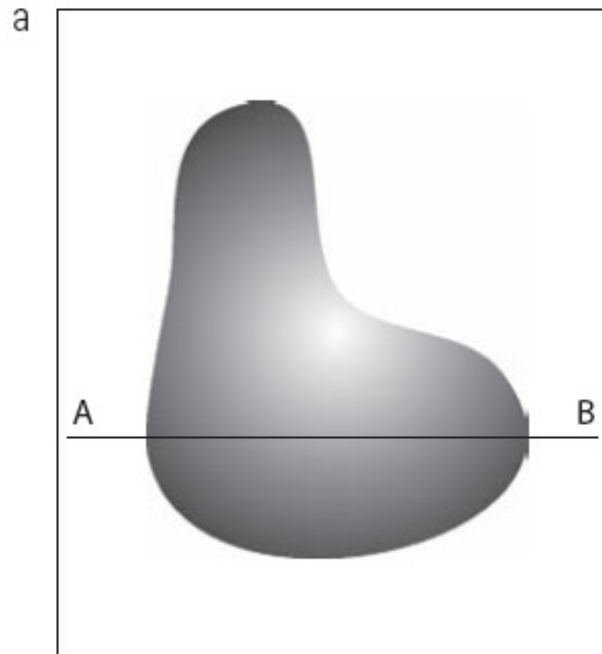


Imagem Digital

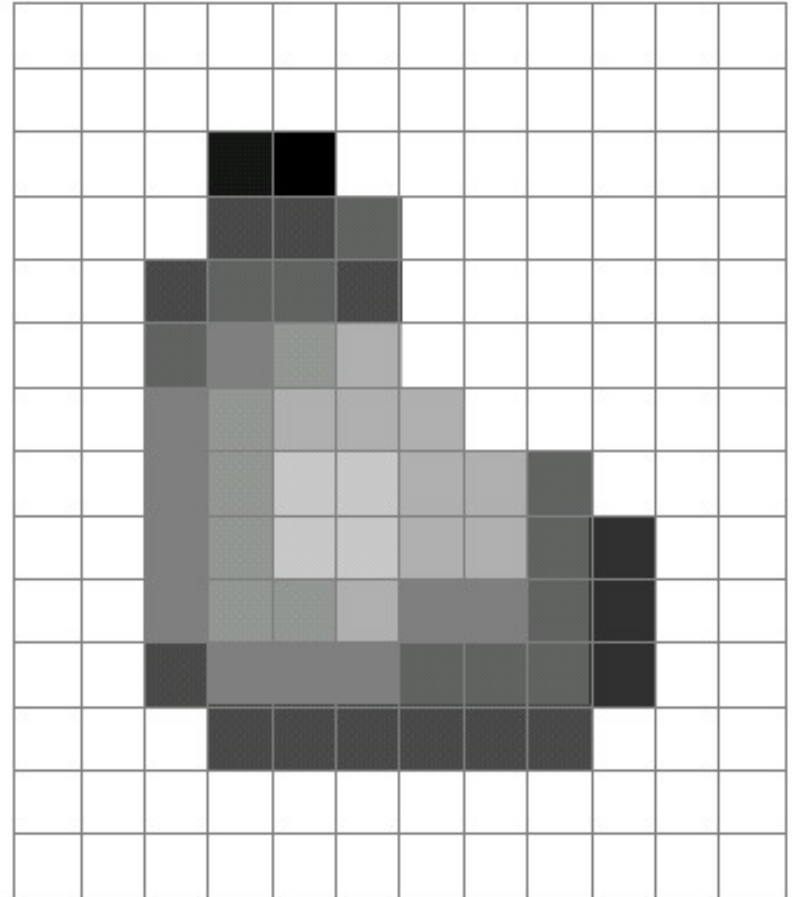
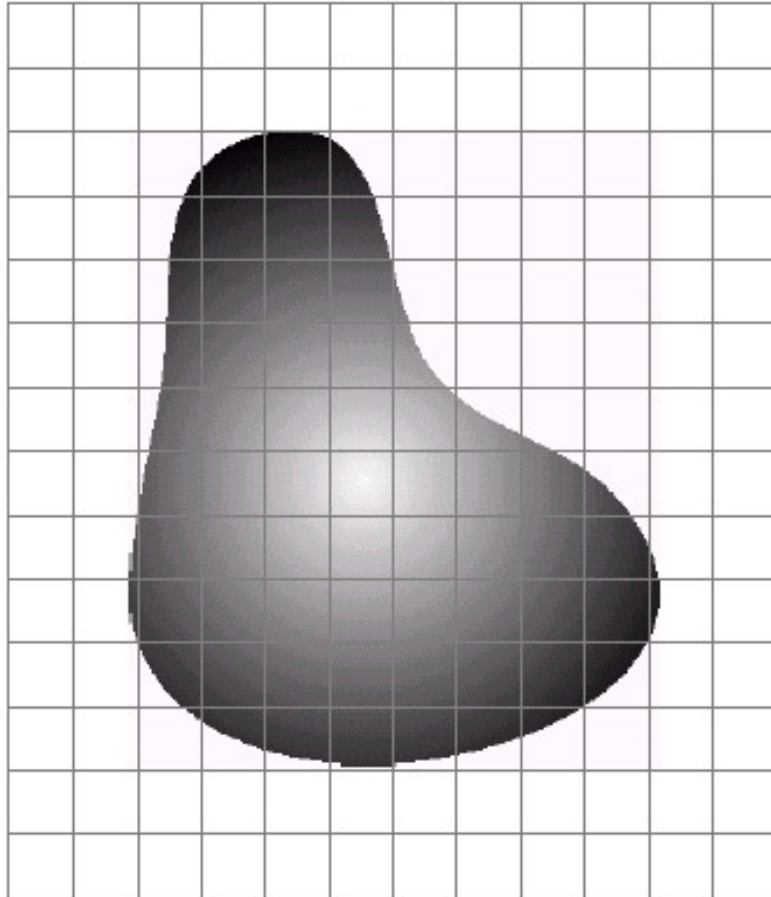
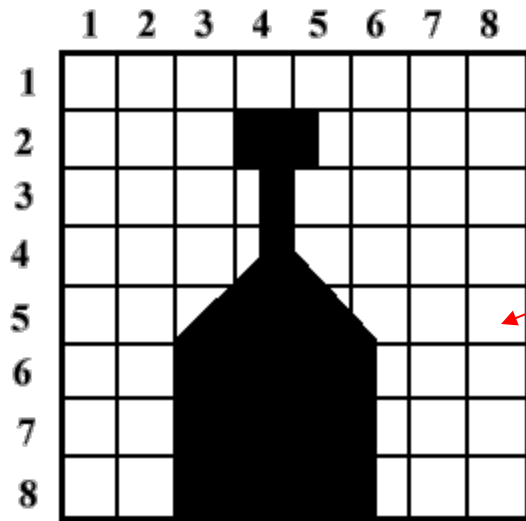


Imagem Digital



Imagem

Grade de amostragem

Pixel
(Picture Element)

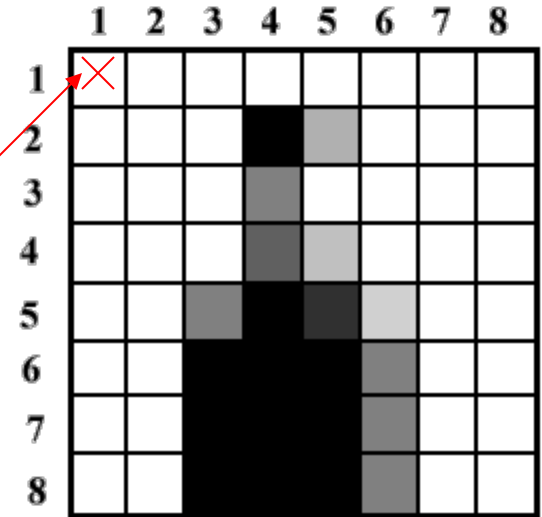


Imagem digitalizada

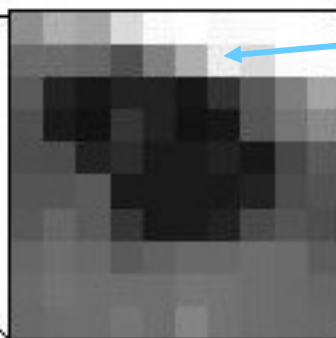
	1	2	3	4	5	6	7	8
1	255	255	255	255	255	255	255	255
2	255	255	255	0	176	255	255	255
3	255	255	255	128	255	255	255	255
4	255	255	255	96	192	255	255	255
5	255	255	128	0	48	208	255	255
6	255	255	0	0	0	128	255	255
7	255	255	0	0	0	128	255	255
8	255	255	0	0	0	128	255	255

Matriz em 256 níveis de Cinza (8bits)
0, 1,..... 255
(Preto).....(Branco)

Imagem Digital

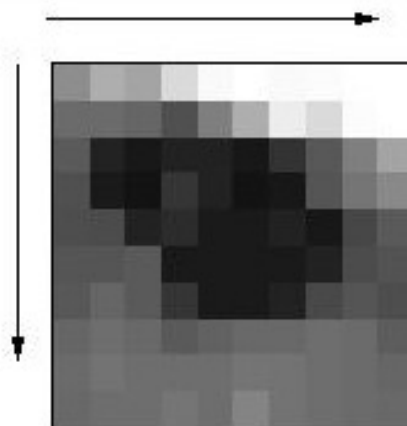


Imagem Digital



Pixel

Nível de cinza do pixel



142	174	164	218	250	255	250	252	255	255
107	107	102	80	127	174	237	218	252	255
90	34	24	34	34	24	51	88	127	164
80	26	19	53	34	19	24	85	117	137
78	76	34	44	26	26	34	24	71	90
85	85	90	26	26	26	26	34	76	83
88	102	90	53	26	26	34	73	85	78
102	110	105	90	98	105	105	110	107	93
107	115	110	110	110	117	115	110	107	102
105	110	110	117	110	132	115	110	107	105

Imagem é uma matriz bidimensional

Imagem Digital

- Imagem Digital é uma função m-vetorial $f(x,y)$ de valores discretos, sendo (x,y) um par de coordenadas inteiras e,

$$0 \leq f(x,y) \leq W$$

onde $W = (2^n - 1)$ e n é o número de bits utilizado na quantização.

- O ponto (x,y) é conhecido como **Pixel** (**P**icture **e**lement) e o valor de $f(x,y)$ é o nível de cinza (**graylevel**) do ponto (x,y) . W é o máximo valor da escala de cinza.
- Uma Imagem Digital é uma função contínua que é representada por amostras medidas em intervalos regulares.
- A intensidade luminosa é quantizada em números diferentes de níveis de cinza.

Imagem Digital

- Uma imagem $f(x,y)$ é amostrada resultando em

M linhas e N colunas.

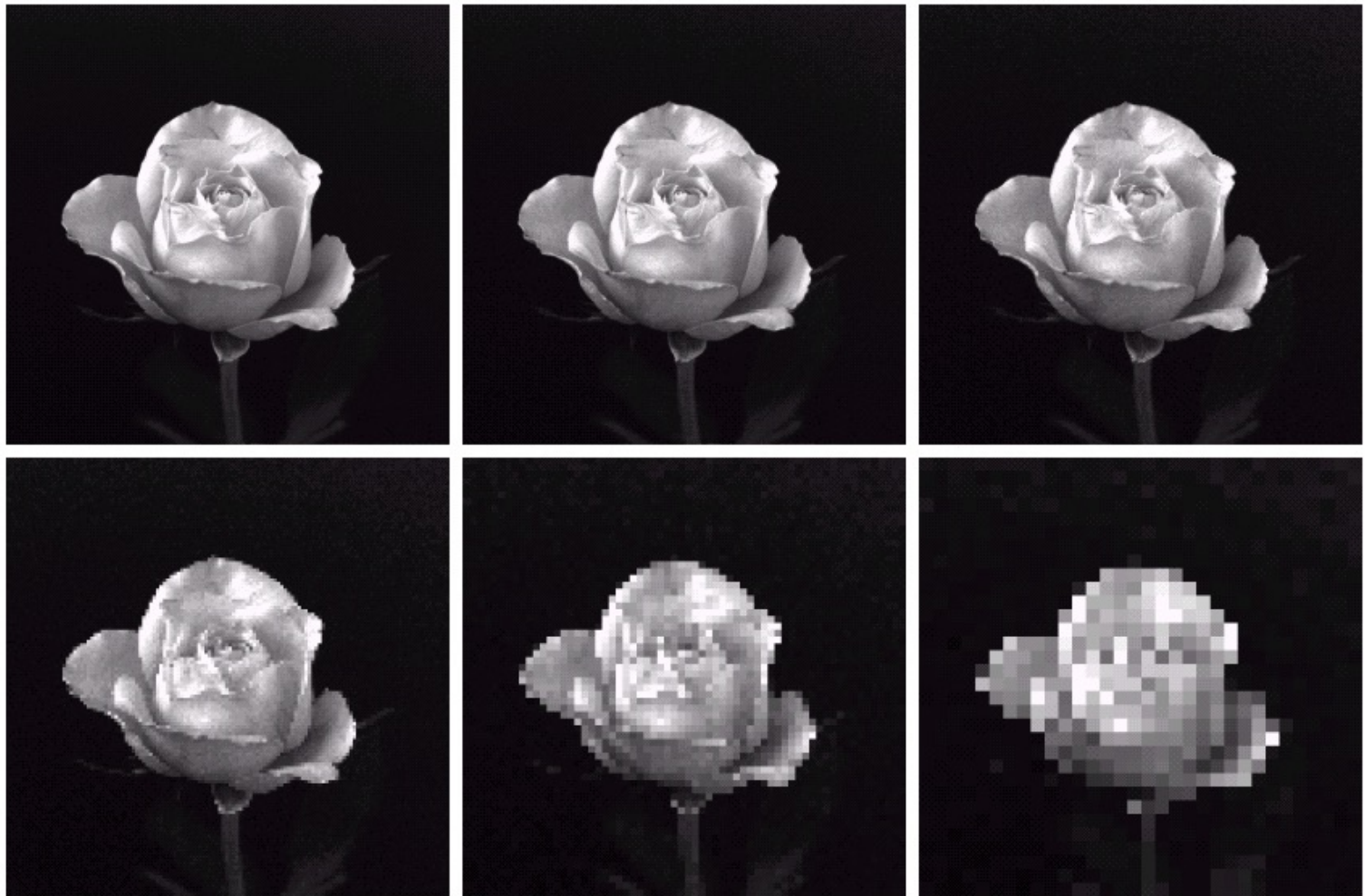
- Esta imagem tem tamanho: **M x N**
- Os valores das coordenadas (x,y) são discretos: valores inteiros e positivos
- Os valores dos níveis de cinza $f(x,y)$ são discretos: valores reais e positivos

- **Amostragem** → Digitalização dos valores das coordenadas (posição)
- **Quantização** → Digitalização dos valores de intensidade de luz (brilho)

Resolução da Escala de Cinza

- ❑ É definida pelo número de bits (n) utilizado para codificar cada pixel da imagem.
- ❑ Se $n = 8$, cada pixel tem resolução de 256 níveis de cinza, ou seja, 8 bits/pixel.
- ❑ A escala de cinza é o intervalo de variação: $0 \leq f(x,y) \leq W$, sendo $W = (2^n - 1)$
- ❑ Uma imagem com 2 níveis de cinza ($n = 1$) é denominada de **Imagem Binária** e seus valores serão representados por (0 e 1).

Resolução espacial



a	b	c
d	e	f

FIGURE 2.20 (a) 1024×1024 , 8-bit image. (b) 512×512 image resampled into 1024×1024 pixels by row and column duplication. (c) through (f) 256×256 , 128×128 , 64×64 , and 32×32 images resampled into 1024×1024 pixels.

Resolução de níveis de cinza

256



128



64



32



Resolução de níveis de cinza

16



8



4



2 (Binária)



Resolução Espacial x Escala de Cinza

- ❑ Baixa resolução espacial causa efeito de pixelização na imagem;
- ❑ Esse efeito é amenizado se diminuir o tamanho do detector ou aumentar o número de pixels utilizados na aquisição da imagem;
- ❑ Baixa resolução de escala de cinza causa efeito de falsos contornos na imagem;
- ❑ A percepção desses falsos contornos praticamente não é detectada com 32 níveis e desaparece com 64 níveis de cinza



ARMAZENAMENTO

Armazenamento

- O espaço utilizado para armazenamento de uma imagem digital é geralmente expresso em **bytes**.
- 1 byte corresponde a 8 bits.
- Quantidade de níveis de cinza (L) representáveis na imagem:
 - Geralmente é uma potência de 2 ($L = 4, 16, 64, 256, \text{etc.}$).
 - Se $L = 256$ significa que cada pixel pode ter um valor entre 0 (preto) e 255 (branco), e ocupa um byte de espaço de armazenamento no computador ($8 \text{ bits} \rightarrow 2^8 = 256$).
 - Nesse caso, diz-se que a profundidade da imagem é de 8 bits por pixel.

Exemplo: para uma imagem de 640 x 480 e 8 bits de profundidade são necessários:

$640 \times 480 \times 1 = 307200 \text{ bytes} = 300 \text{ Kbytes}$ de memória

Armazenamento

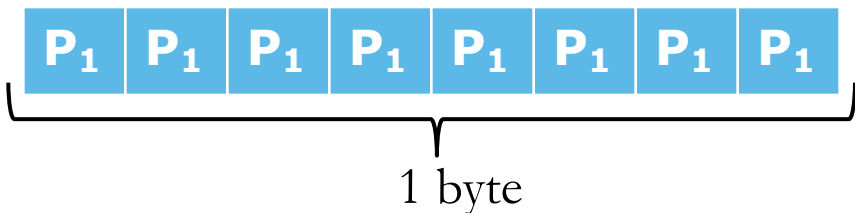
Tabela 2.1 Grandezas Usadas para Abreviar Valores em Computação

Nome da unidade	Valor em potência de 2	Valor em unidades
1K (1 quilo)	2^{10}	1024
1M (1 mega)	$1024K = 2^{20}$	1.048.576
1G (1 giga)	$1024M = 2^{30}$	1.073.741.824
1T (1 tera)	2^{40}	1.099.511.627.776
1P (1 peta)	2^{50}	1.125.899.906.843.624
1Ex (1 exa)	2^{60}	1.152.921.504.607.870.976
1Z (1 zeta)	2^{70}	1.180.591.620.718.458.879.424
1Y (1 yotta)	2^{80}	1.208.925.819.615.701.892.530.176

Armazenamento

- O cálculo do espaço de armazenamento de uma imagem em bytes **não** deve ser feito calculando-se o número de bits e dividindo o resultado por 8.
- O cálculo deve ser feito diretamente em **bytes**, determinando-se quantos bytes por pixel são gastos no armazenamento.
- Imagens de 5, 6, 7 e 8 bits de profundidade ocupam 1 byte por pixel e, portanto, o mesmo espaço para armazenamento.

8 bits



7 bits



6 bits



5 bits



Armazenamento

- Uma imagem de 4 bits de profundidade ocupa $\frac{1}{2}$ byte por pixel, e portanto, a metade do espaço para armazenamento que uma imagem de 5, 6, 7 ou 8 bits.
- Uma imagem de 3 bits ocupa o mesmo espaço que uma imagem de 4 bits de profundidade, já que em um byte só é possível armazenar 2 pixels.
- Imagens de 2 bits armazenam 4 pixels em 1 byte.
- Imagens binárias (1 bit) armazenam 8 pixels em 1 byte.

4 bits



3 bits



2 bits



1 bit



Armazenamento

Para uma imagem de 640 x 480 e 8, 7, 6 ou 5 bits de profundidade são necessários:

$$640 \times 480 \times 1 = 307200 \text{ bytes} = 300 \text{ Kbytes de memória}$$

Para uma imagem de 640 x 480 e 4 ou 3 bits de profundidade são necessários:


$$640 \times 480 \times 1/2 = 153600 \text{ bytes} = 150 \text{ Kbytes de memória}$$

Para uma imagem de 640 x 480 e 2 bits de profundidade são necessários:

$$640 \times 480 \times 1/4 = 76800 \text{ bytes} = 75 \text{ Kbytes de memória}$$

Para uma imagem binária de 640 x 480 são necessários:

$$640 \times 480 \times 1/8 = 38400 \text{ bytes} = 37,5 \text{ Kbytes de memória}$$



**RAZÃO DE ASPECTO
E MEDIDAS DE
RESOLUÇÃO ESPACIAL**

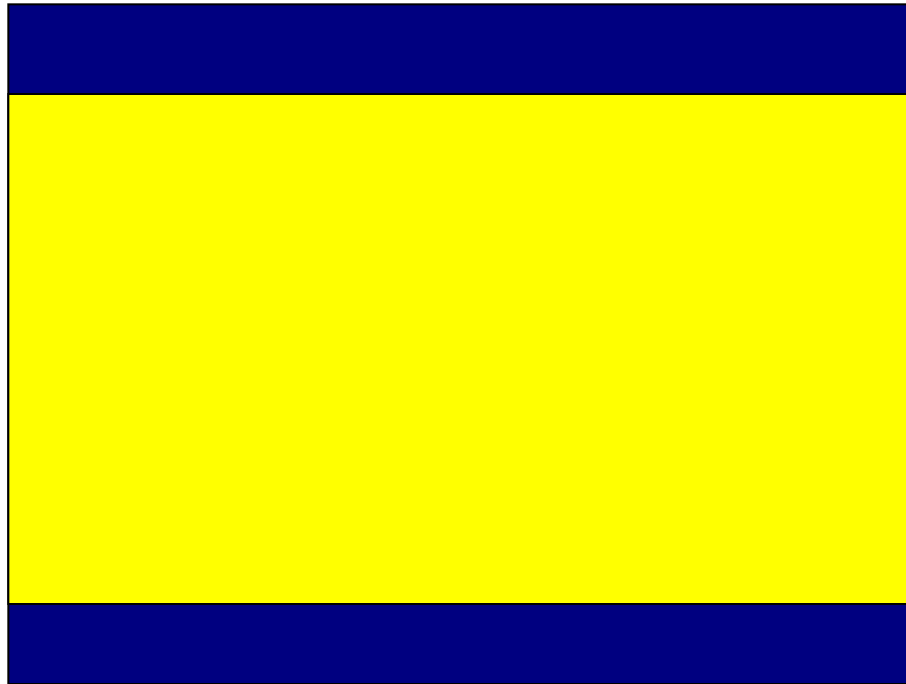
RAZÃO DE ASPECTO

4:3 e 16:9



RAZÃO DE ASPECTO

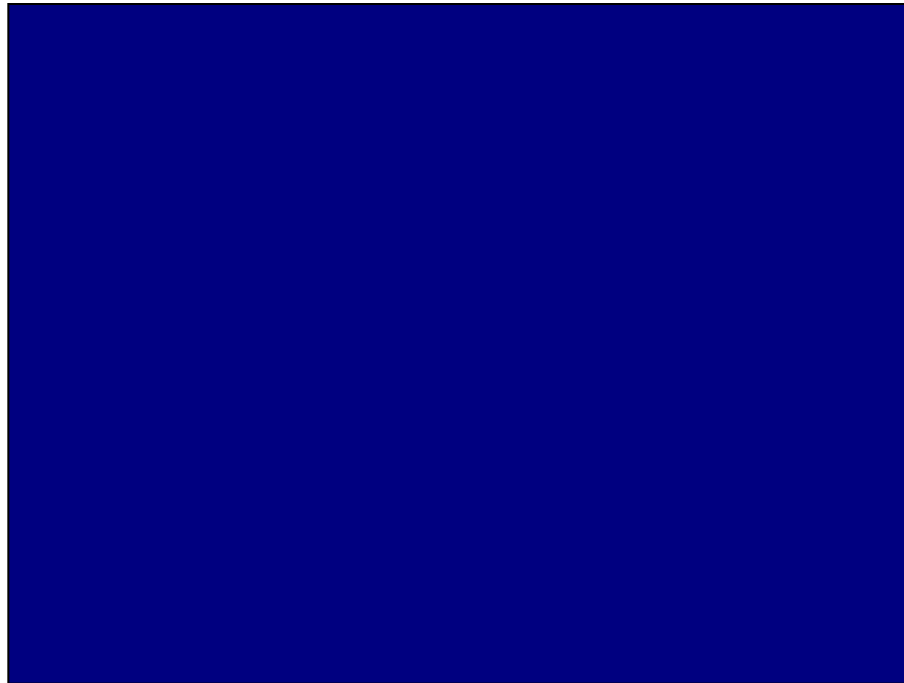
4:3 e 16:9



Câmera Fotográfica Digital

Número total de Pixels
(em MP = *Mega-Pixels*)

a



b

Câmera Fotográfica Digital

2048 x 1536 = 3145728 pixels

$(3145728)/2^{20} = 3$ Mega-Pixel

2048



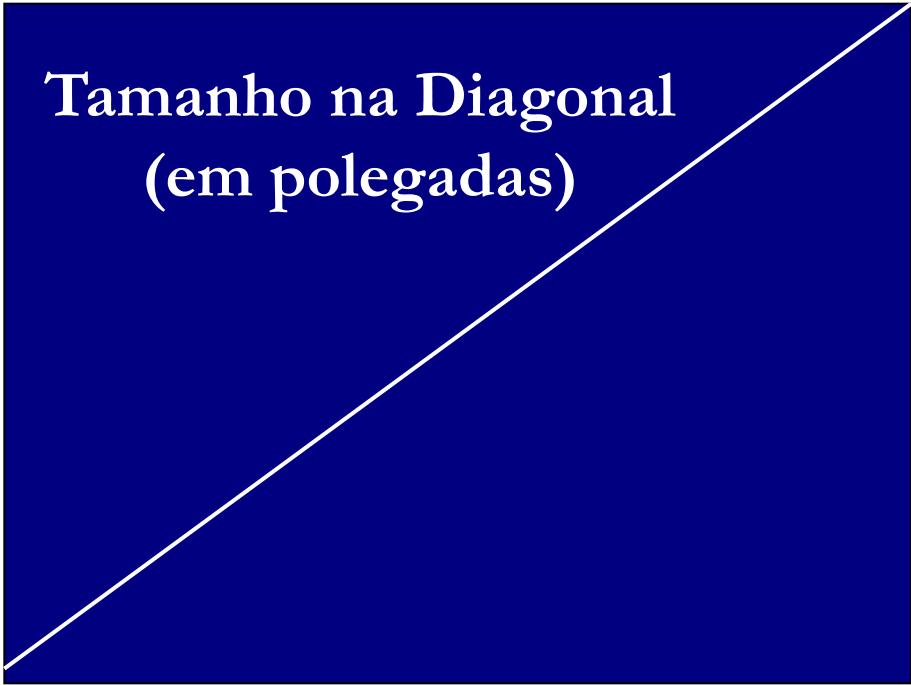
1536

Monitor de Vídeo

3.0 Mega-Pixel ou 5.0 Mega-Pixel?

R. número de pixels não é uma boa métrica!

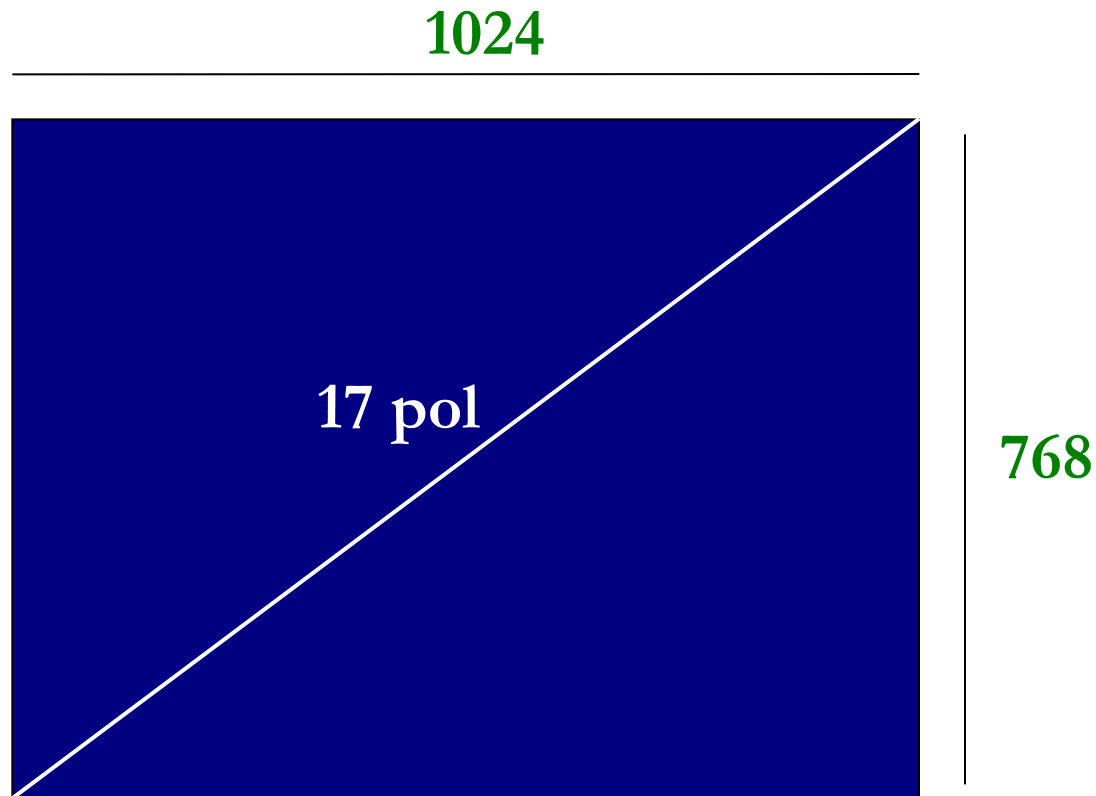
Ideal: Dot Pitch ou tamanho do pixel



**Tamanho na Diagonal
(em polegadas)**

Monitor de Vídeo

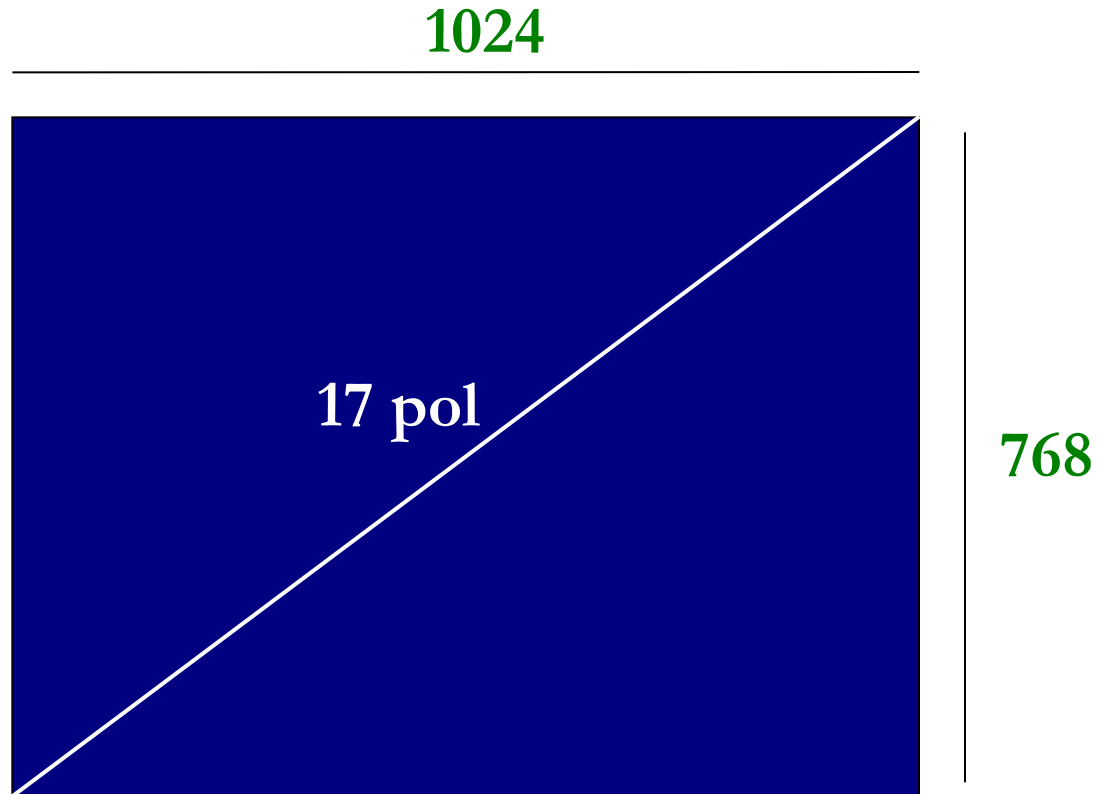
Exemplo: Calcule o Dot Pitch (tamanho do pixel) de um monitor de 17 polegadas com 1024 x 768 pixels
(Dado: 1 pol = 25,4 mm)



Monitor de Vídeo

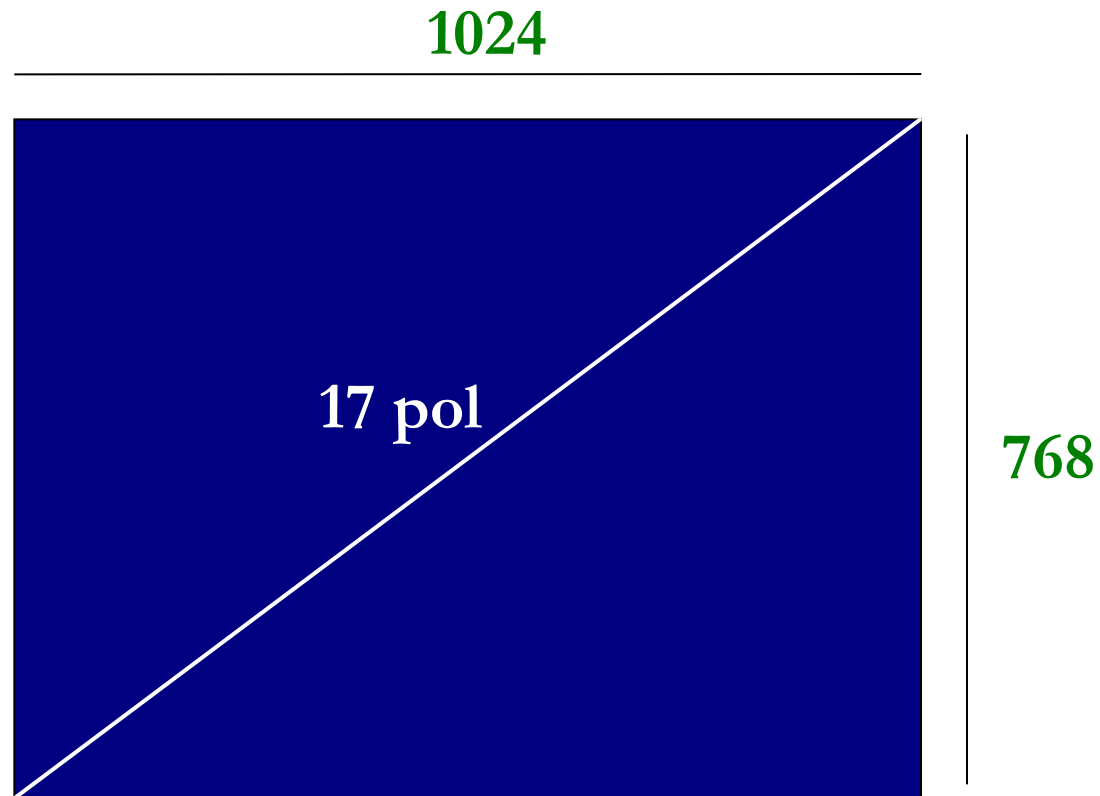
$$h^2 = (1024)^2 + (768)^2$$

$$h = 1280 \text{ pixels}$$



Monitor de Vídeo

1280 pixels = 17 x 25,4 mm
1 pixel = 0,3373 mm = Dot Pitch



Scanner ou Digitalizadores

Resolução em DPI (Dot per Inch)

Tamanho do pixel

Exemplo: 600 DPI

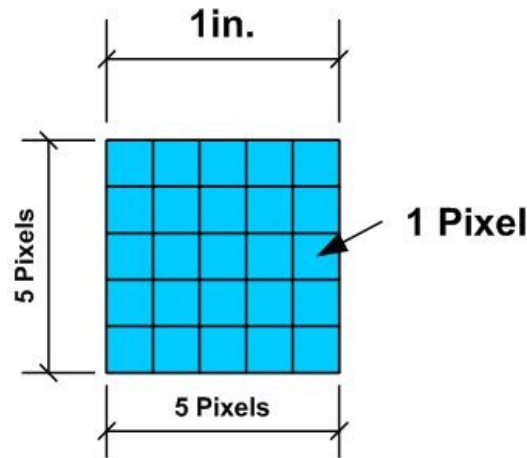
600 pontos (pixel) ----- 1 pol (25,4 mm)

1 ponto (pixel) ----- X

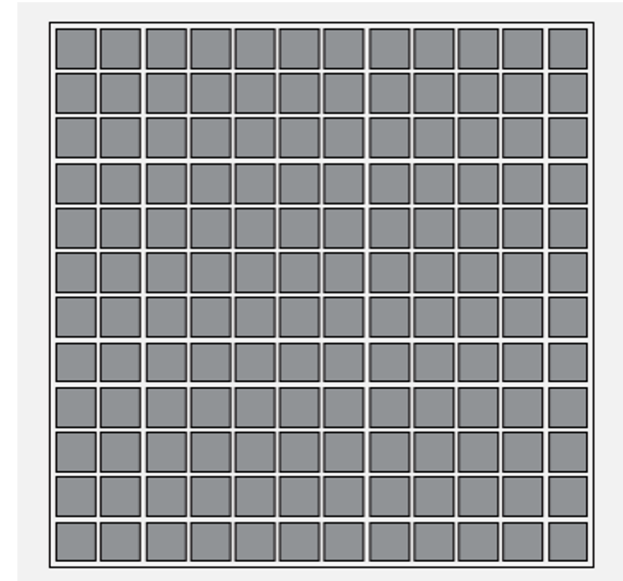
$$X = 0,042 \text{ mm}$$

Métricas para Resolução Espacial

- *Número de Pixels (MP)* → *Mq. fotográfica*
- *Dot Pitch* → *Monitores*
- *Dots per Inch (DPI)* → *sensores*
- *Pixel Size* → *sensores e monitores*



Resolution =
5 DPI (dots per inch)



Resolução em Níveis de Cinza

- *n° de bits*
- *n° de tons de cinza*
- *n° de cores*



Para Imagens Médicas

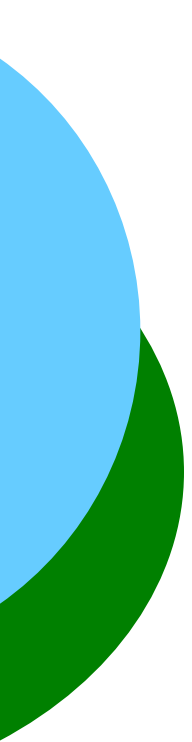
○ Resolução Espacial

- Sensores da ordem de 0,05mm
- Monitores com *dot pitch* da ordem de 0,15mm

○ Resolução de níveis de cinza

- Sensores CCD da ordem de 16 bits (65536 níveis de cinza)
- Monitores com 10 bits (1024 tons de cinza)





FIM