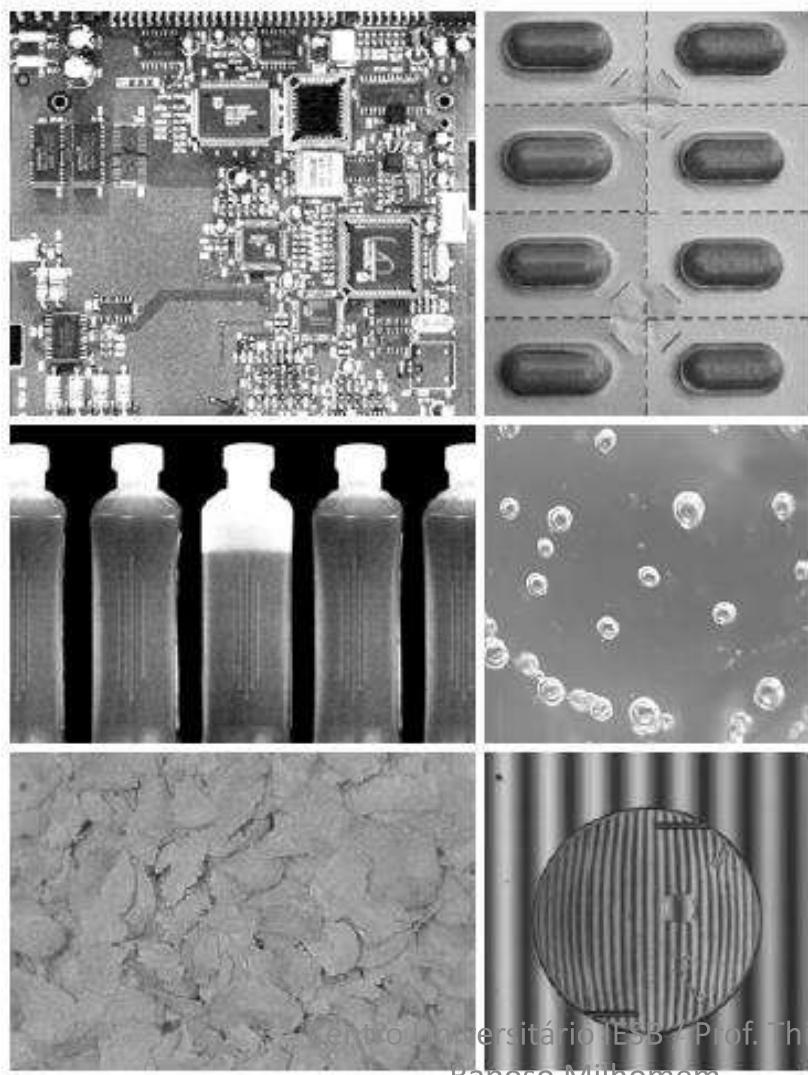


Introdução e Fundamentos

- Aplicações Industriais



a b
c d
e f

FIGURE 1.14
Some examples of manufactured goods often checked using digital image processing. (a) A circuit board controller.
(b) Packaged pills.
(c) Bottles.
(d) Bubbles in clear-plastic product.
(e) Cereal.
(f) Image of intraocular implant.
(Fig. (f) courtesy of Mr. Pete Sites, Perceptics Corporation.)

Introdução e Fundamentos

- Outras aplicações

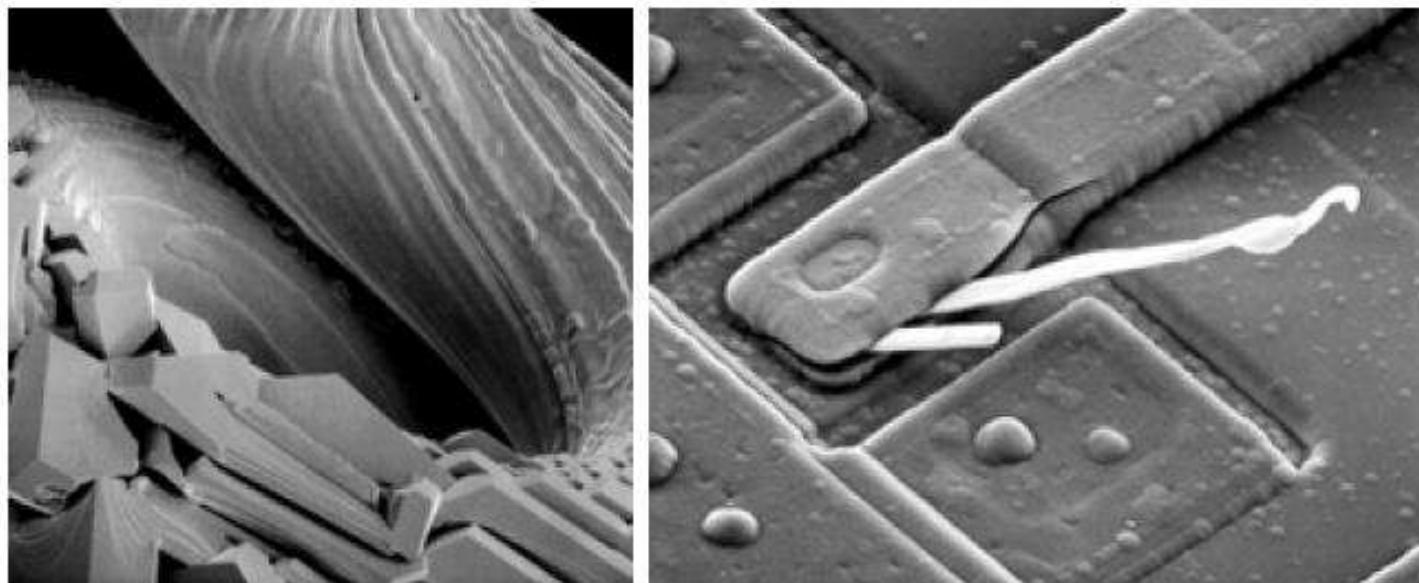


a
b
c
d

FIGURE 1.15
Some additional examples of imaging in the visual spectrum.
(a) Thumb print.
(b) Paper currency.
(c) and (d) Automated license plate reading. (Figure (a) courtesy of the National Institute of Standards and Technology. Figures (c) and (d) courtesy of Dr. Juan Herrera, Perceptics Corporation.)

Introdução e Fundamentos

- Outras aplicações

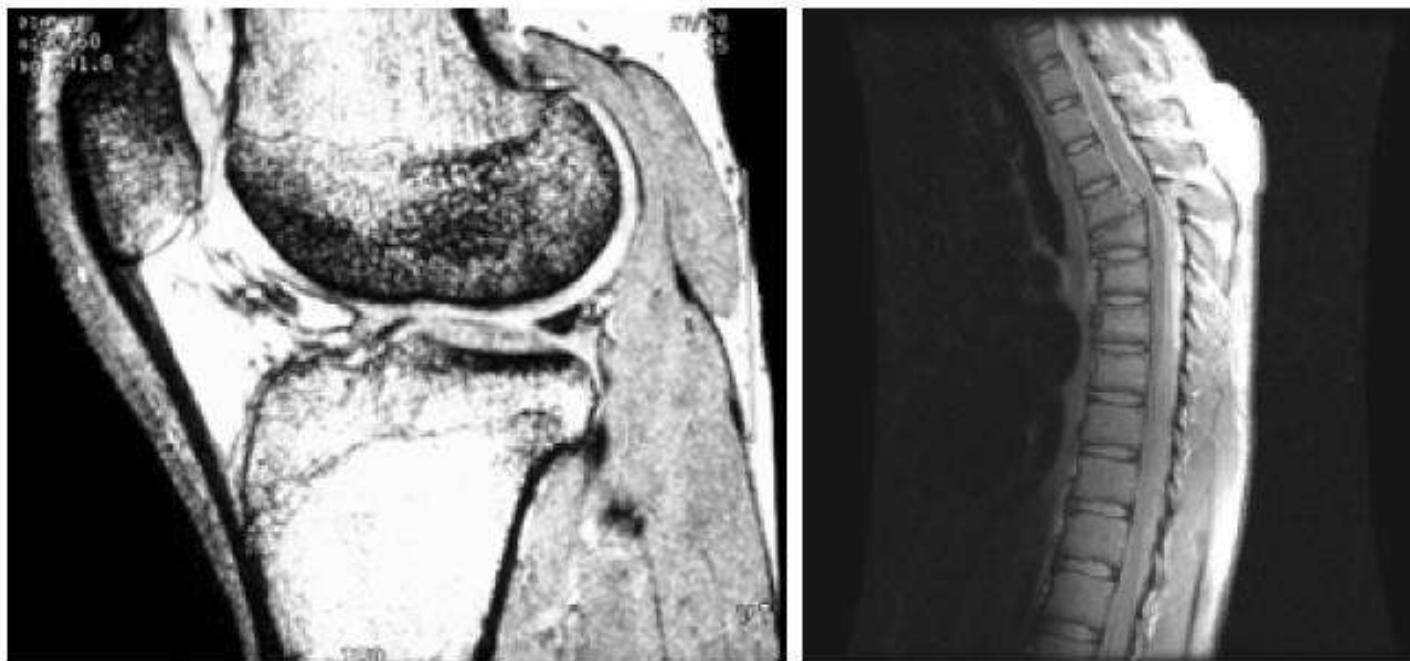


a b

FIGURE 1.21 (a) $250\times$ SEM image of a tungsten filament following thermal failure. (b) $2500\times$ SEM image of damaged integrated circuit. The white fibers are oxides resulting from thermal destruction. (Figure (a) courtesy of Mr. Michael Shaffer, Department of Geological Sciences, University of Oregon, Eugene; (b) courtesy of Dr. J. M. Hudak, McMaster University, Hamilton, Ontario, Canada.)

Introdução e Fundamentos

- Aplicações médicas – MRI

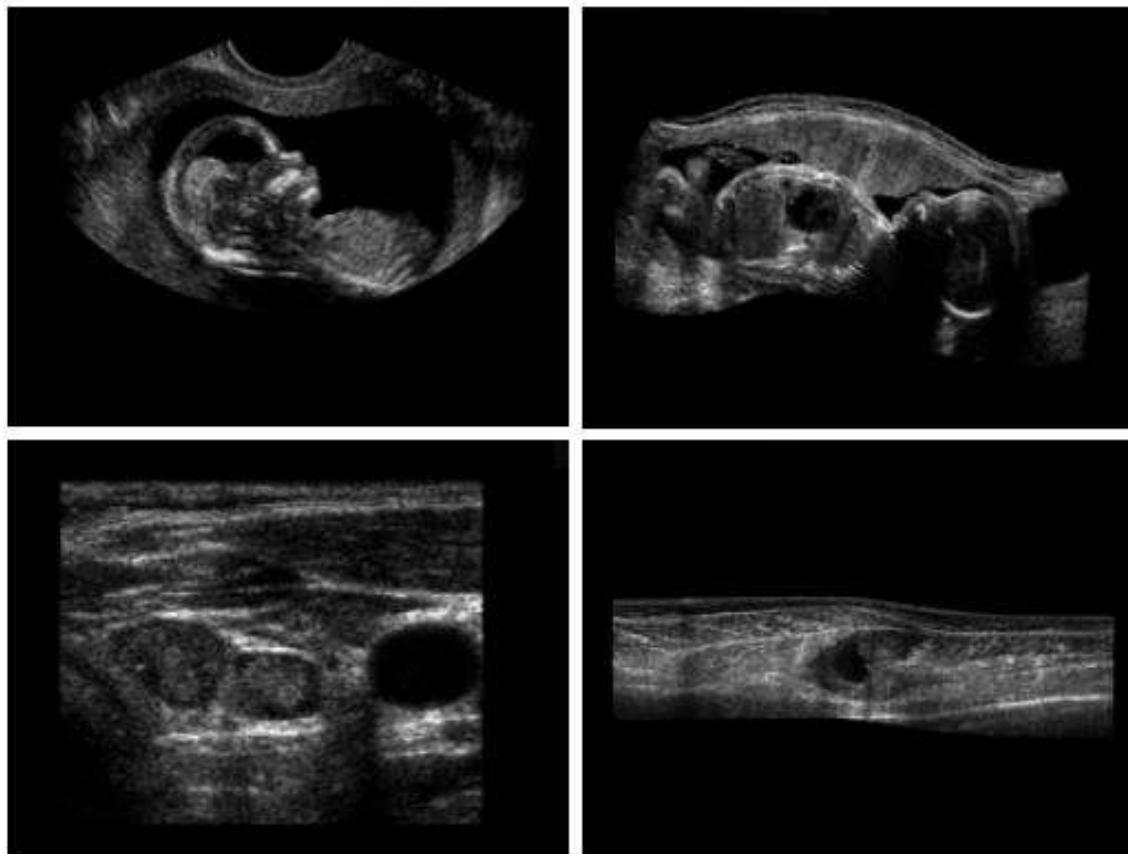


a b

FIGURE 1.17 MRI images of a human (a) knee, and (b) spine. (Image (a) courtesy of Dr. Thomas R. Gest, Division of Anatomical Sciences, University of Michigan Medical School, and (b) Dr. David R. Pickens, Department of Radiology and Radiological Sciences, Vanderbilt University Medical Center.)

Introdução e Fundamentos

- Aplicações médicas – ultrassom

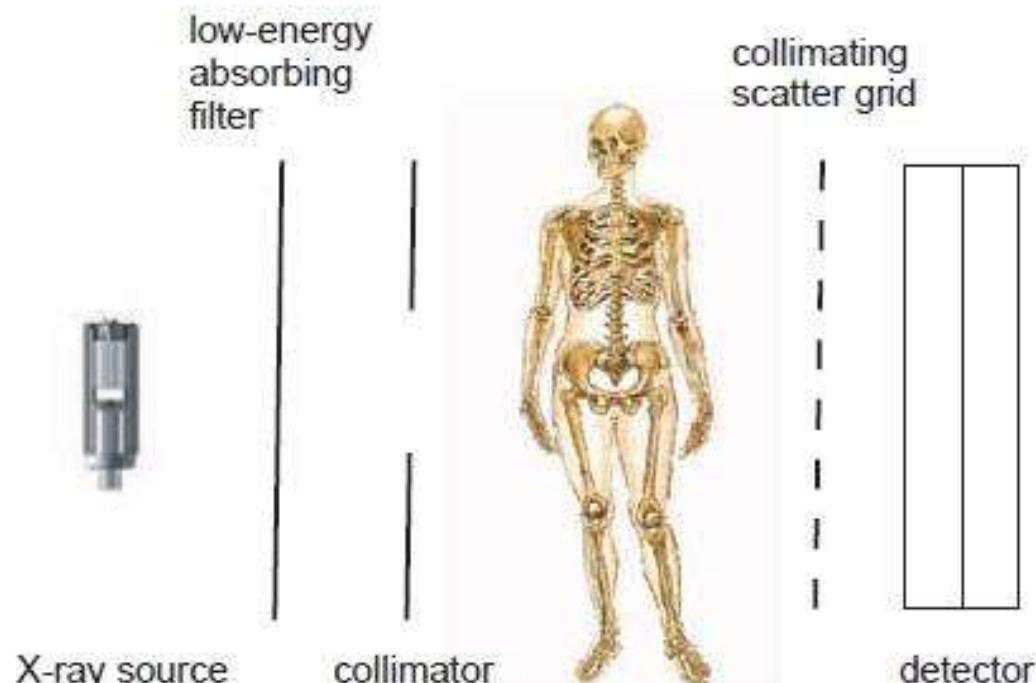


a
b
c
d

FIGURE 1.20
Examples of ultrasound imaging. (a) Baby.
(2) Another view of baby.
(c) Thyroids.
(d) Muscle layers showing lesion.
(Courtesy of Siemens Medical Systems, Inc., Ultrasound Group.)

Introdução e Fundamentos

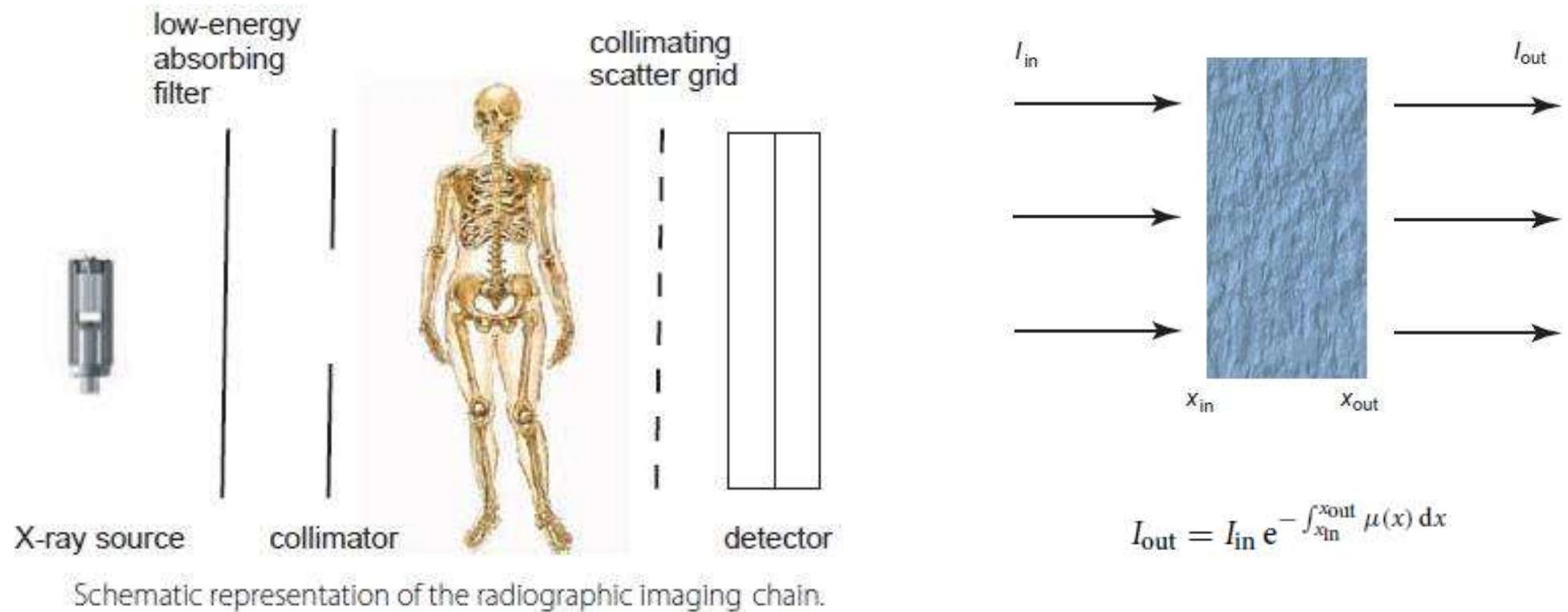
- Aplicações médicas - radiografia



Schematic representation of the radiographic imaging chain.

Introdução e Fundamentos

- Aplicações médicas - radiografia

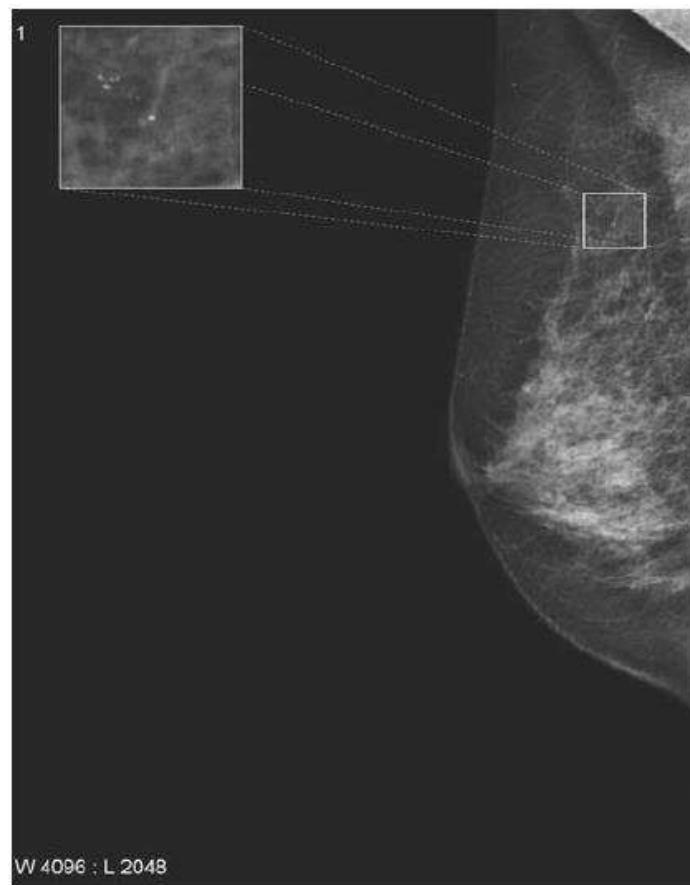


Introdução e Fundamentos

- Aplicações médicas - radiografia



(a)

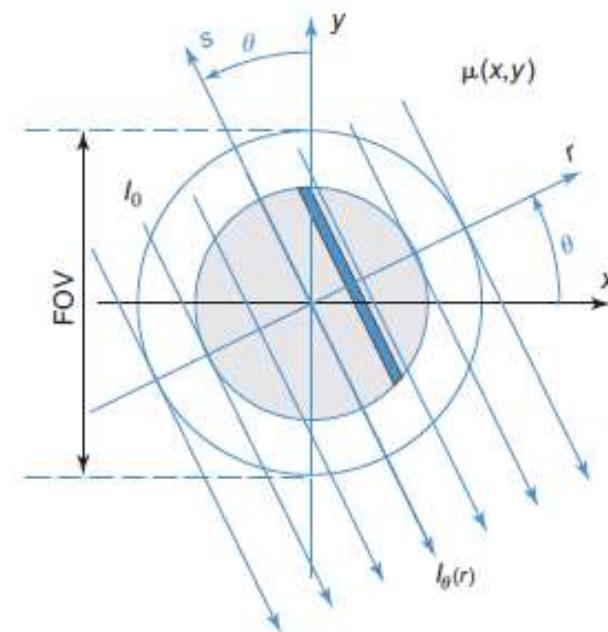
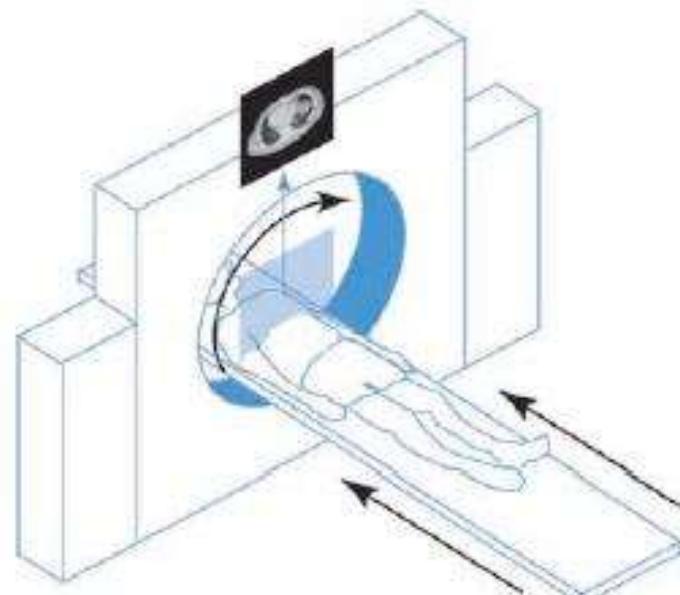


(b)

- (a)** Dense opacity with spicular border in the cranial part of the right breast; histological proven invasive ductal carcinoma.
(b) Cluster of irregular microcalcifications suggesting a low differentiated carcinoma. (Courtesy of Dr. Van Ongeval, Department of Radiology.)

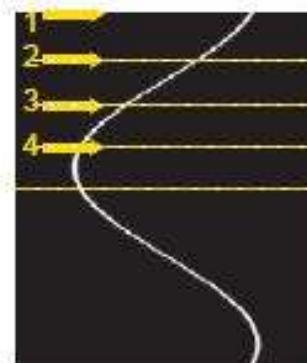
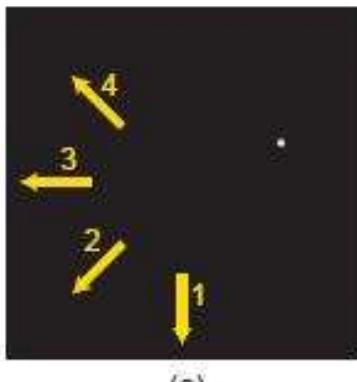
Introdução e Fundamentos

- Aplicações médicas - CT

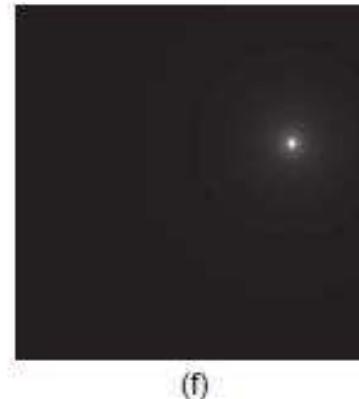
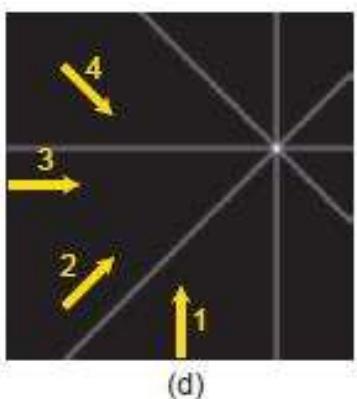


Introdução e Fundamentos

- Aplicações médicas - CT



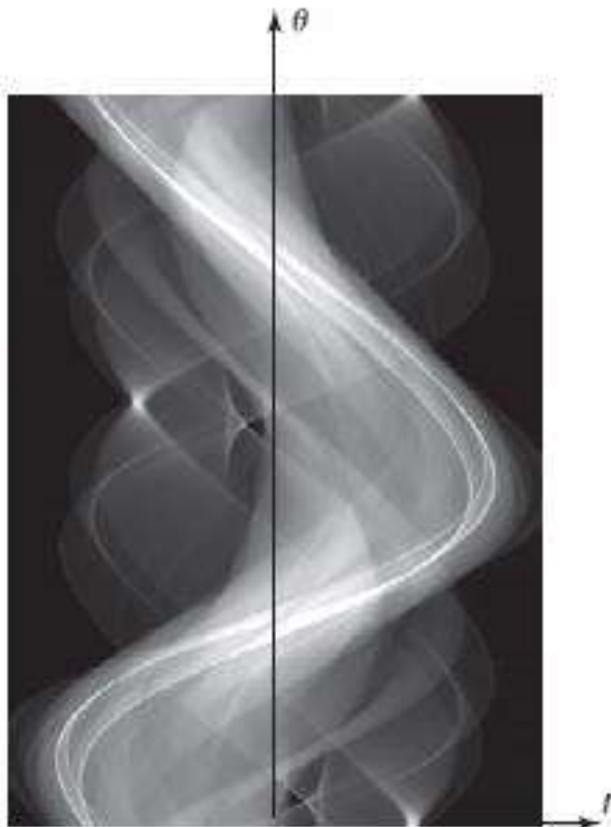
(a and b) Image and surface plot of a distribution $\mu(x,y)$ containing one single dot. The arrows indicate four arbitrary projection directions.
(c) 360°-sinogram obtained by projecting $\mu(x,y)$. The arrows indicate the views that correspond to the four projection directions in (a).



(d) Backprojection of the four views chosen in (a).
(e and f) Surface plot and image of the straightforward backprojection of the entire sinogram in (c).

Introdução e Fundamentos

- Aplicações médicas – CT (sinograma)



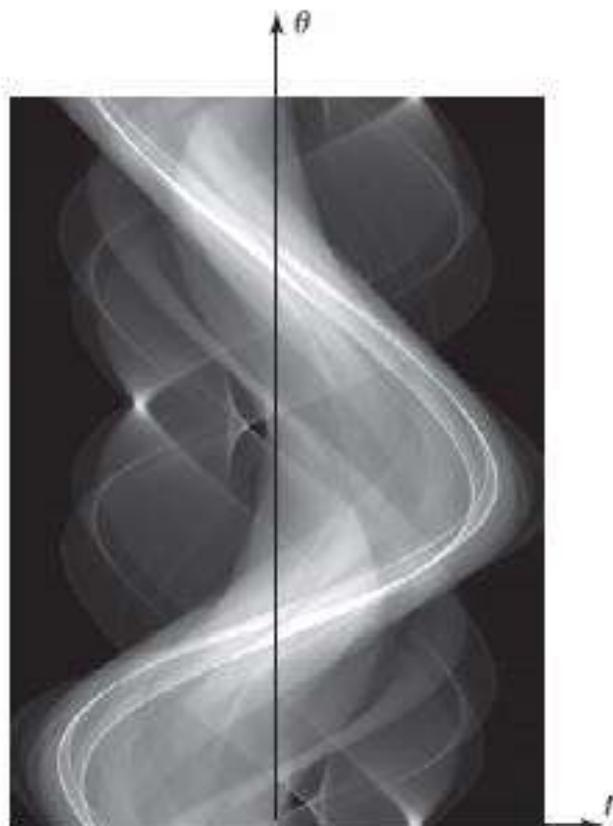
A sinogram is a 2D dataset $p(r, \theta)$ obtained by stacking the 1D projections $p_\theta(r)$.

In mathematics, the transformation of any function $f(x, y)$ into its sinogram $p(r, \theta)$ is called the *Radon transform*:

$$p(r, \theta) = \mathcal{R}\{f(x, y)\} = \int_{-\infty}^{\infty} f(r \cdot \cos \theta - s \cdot \sin \theta, r \cdot \sin \theta + s \cdot \cos \theta) ds.$$

Introdução e Fundamentos

- Aplicações médicas – CT (sinograma)



A sinogram is a 2D dataset $p(r, \theta)$ obtained by stacking the 1D projections $p_\theta(r)$.

In mathematics, the transformation of any function $f(x, y)$ into its sinogram $p(r, \theta)$ is called the *Radon transform*:

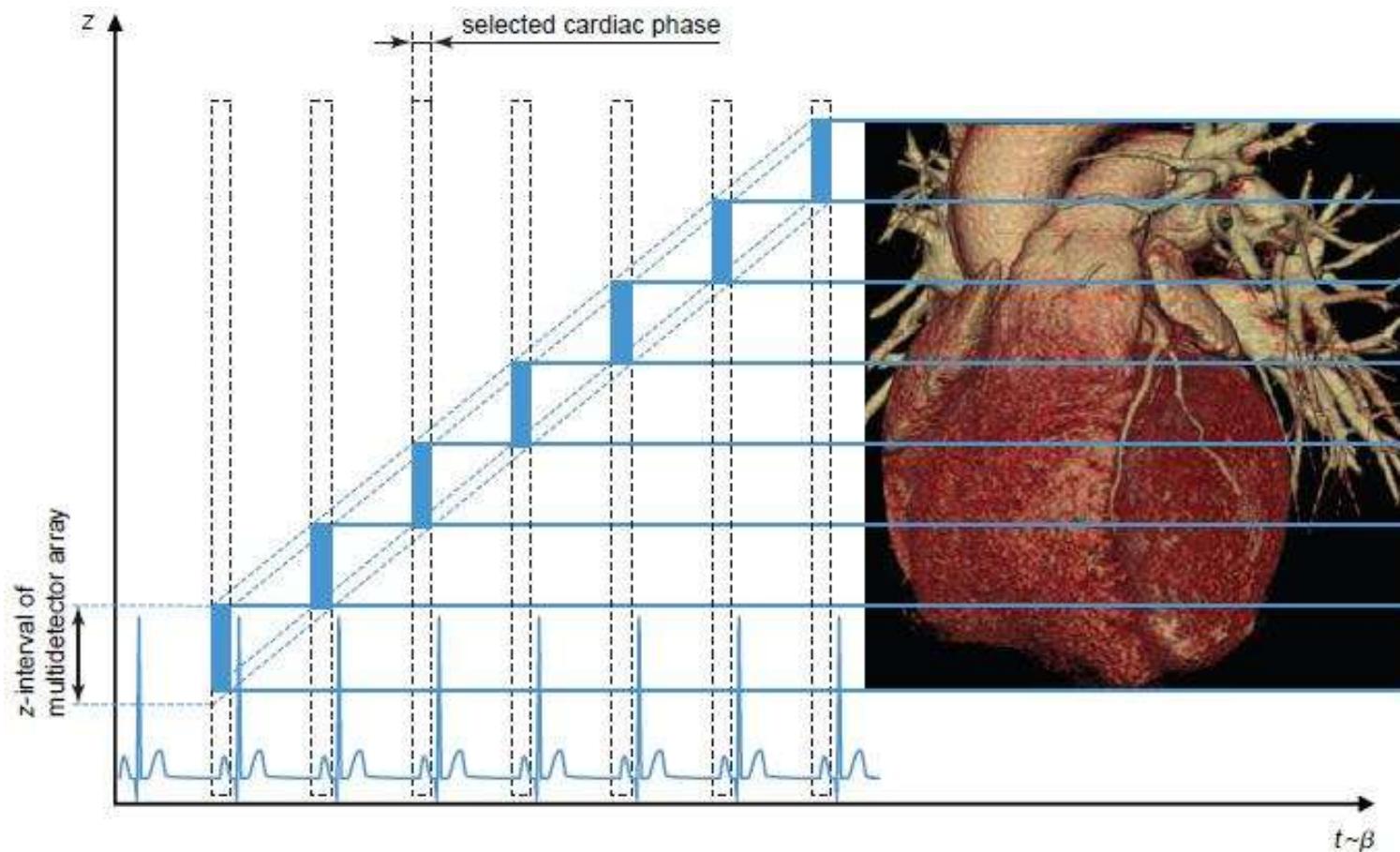
$$p(r, \theta) = \mathcal{R}\{f(x, y)\} = \int_{-\infty}^{\infty} f(r \cdot \cos \theta - s \cdot \sin \theta, r \cdot \sin \theta + s \cdot \cos \theta) ds.$$

Obtém-se o *sinograma* da imagem
- Sua *projeção* – transformada de Radon

Recuperação da imagem: *retroprojeção*
- Transformada de Radon inversa $f(x, y) = R^{-1}\{p(r, \theta)\}$

Introdução e Fundamentos

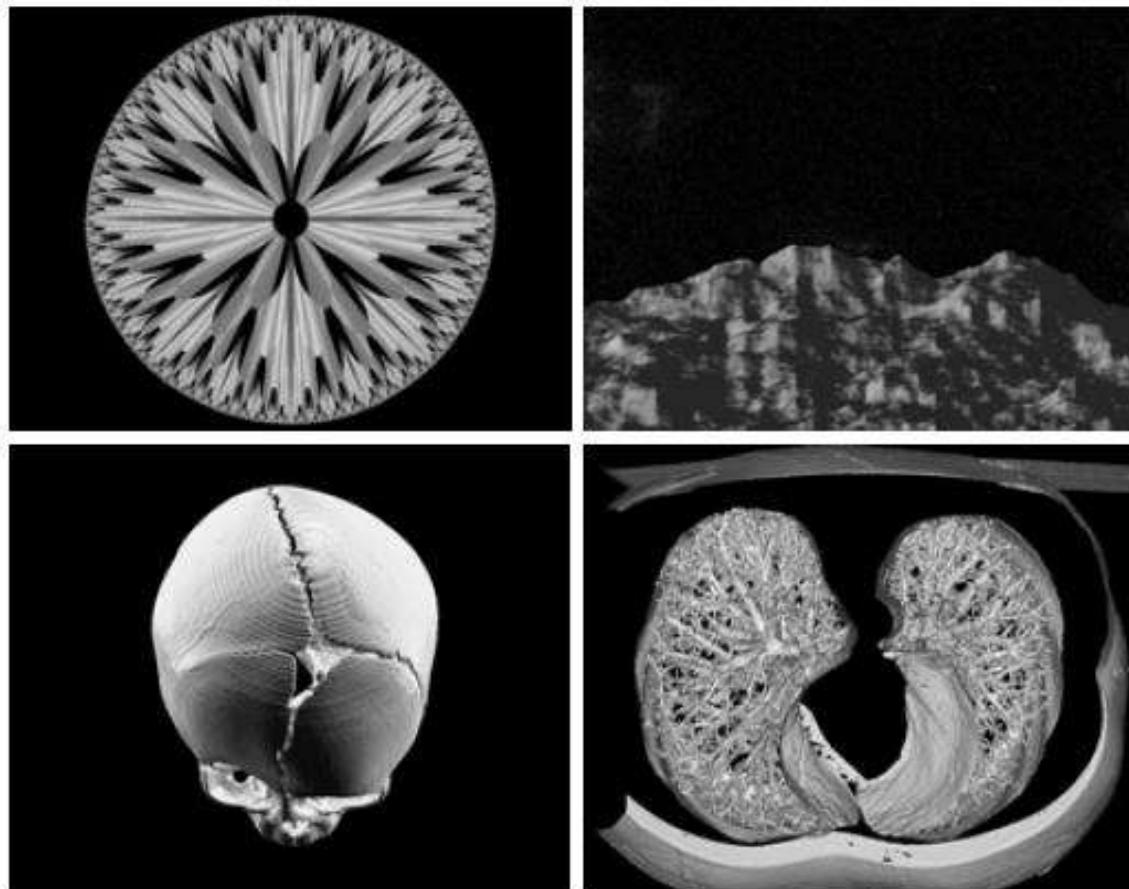
- Aplicações médicas – CT (imageamento cardíaco)



Principle of data acquisition for helical cardiac CT. The oblique lines represent the z -interval of the multidetector array as a function of time or angular tube position β .

Introdução e Fundamentos

- Imagens geradas digitalmente



a b
c d

FIGURE 1.22
(a) and (b) Fractal images. (c) and (d) Images generated from 3-D computer models of the objects shown.
(Figures (a) and (b) courtesy of Ms. Melissa D. Binde, Swarthmore College, (c) and (d) courtesy of NASA.)

Introdução e Fundamentos

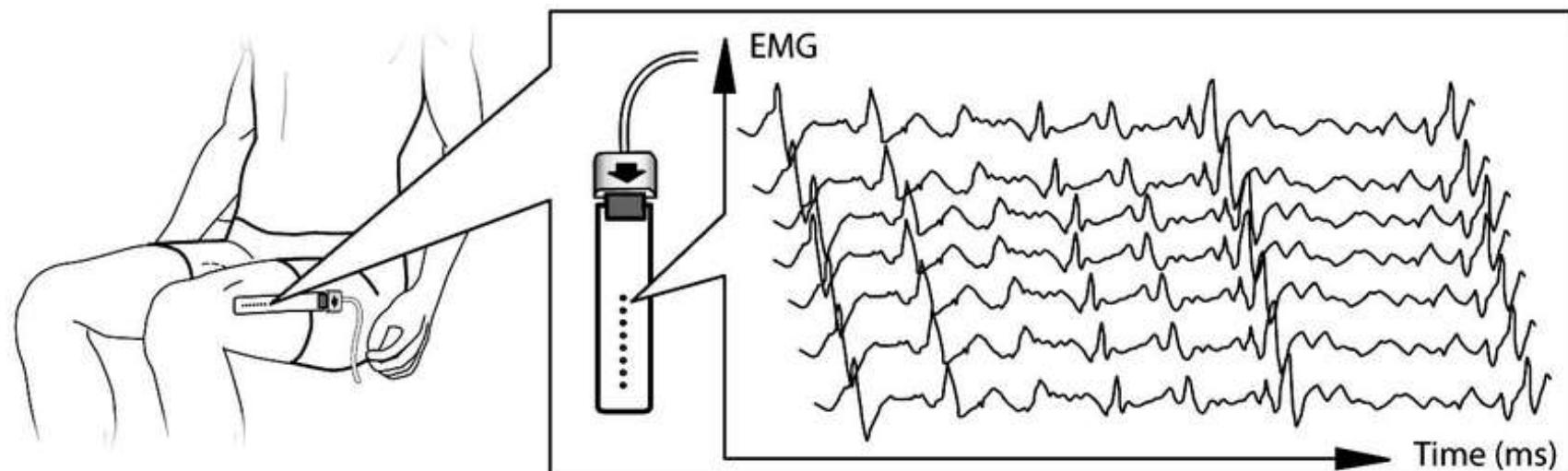
- Informações que originalmente não constituem imagens

Introdução e Fundamentos

- Informações que originalmente não constituem imagens
 - Recuperação de sinais gravados em mídias físicas

Introdução e Fundamentos

- Informações que originalmente não constituem imagens
 - Recuperação de sinais gravados em mídias físicas
 - Estimação de velocidade de propagação de sinais eletrofisiológicos (detecção multicanal)



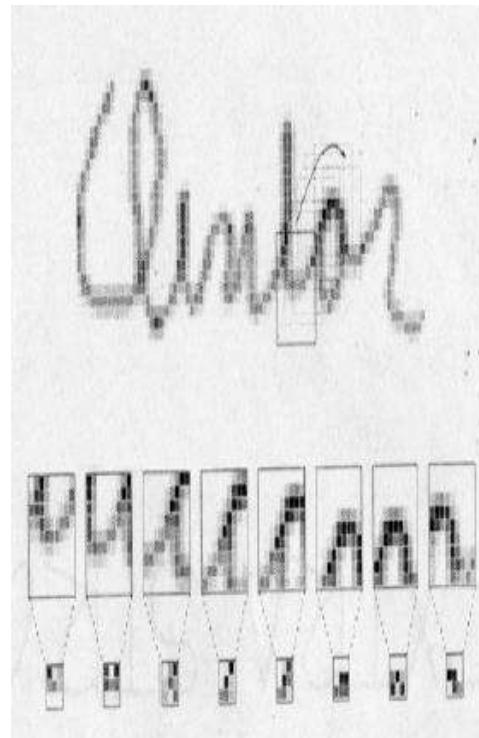
Introdução e Fundamentos

- Detecção e reconhecimento facial



Introdução e Fundamentos

- Reconhecimento de grafia



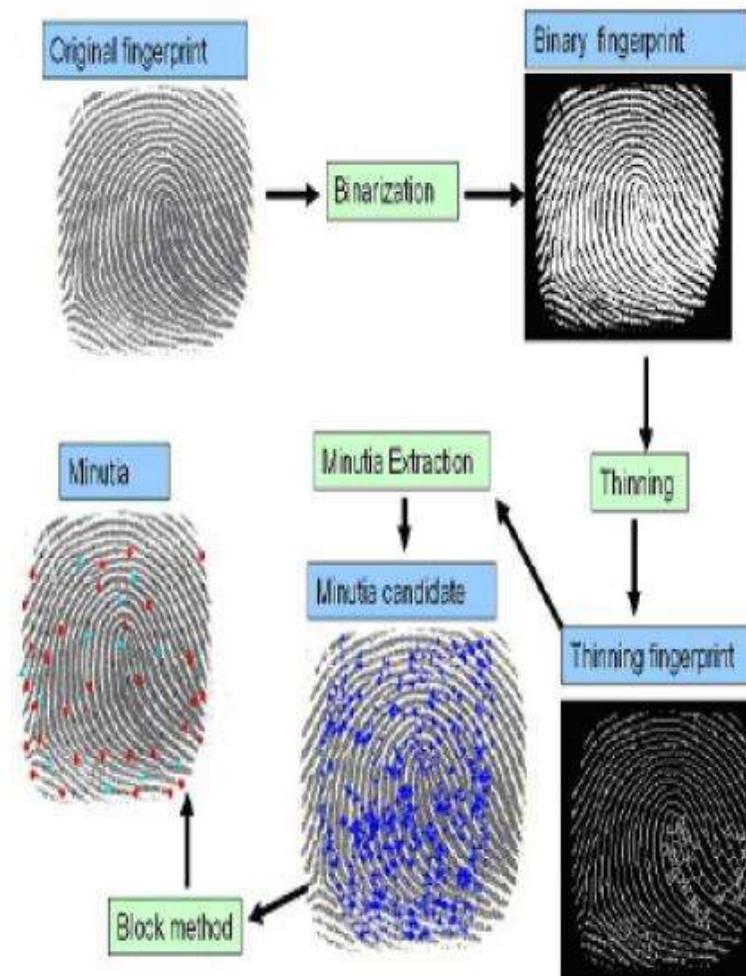
1 1 1 1 1 3 3 9 9
0 1 2 3 4 5 6 7 8 9

1 1 1 2 2 9 4 7 6 8
0 1 2 3 4 5 6 7 8 9

1 1 1 1 6 4 4 2 6 4
0 1 2 3 4 5 6 7 8 9

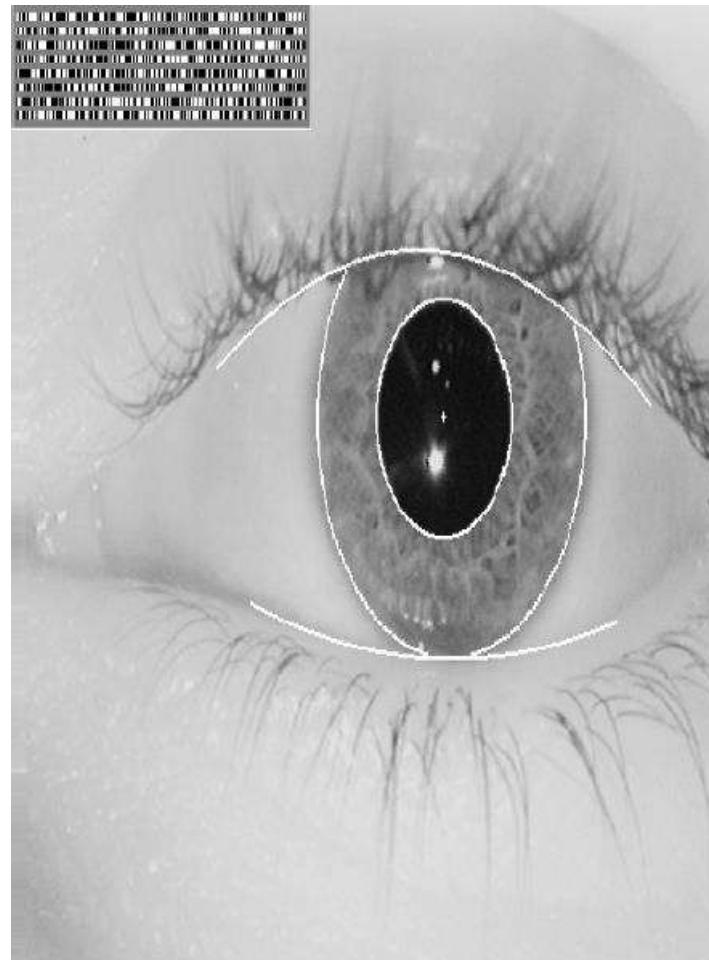
Introdução e Fundamentos

- Biometria – impressão digital



Introdução e Fundamentos

- Biometria – íris

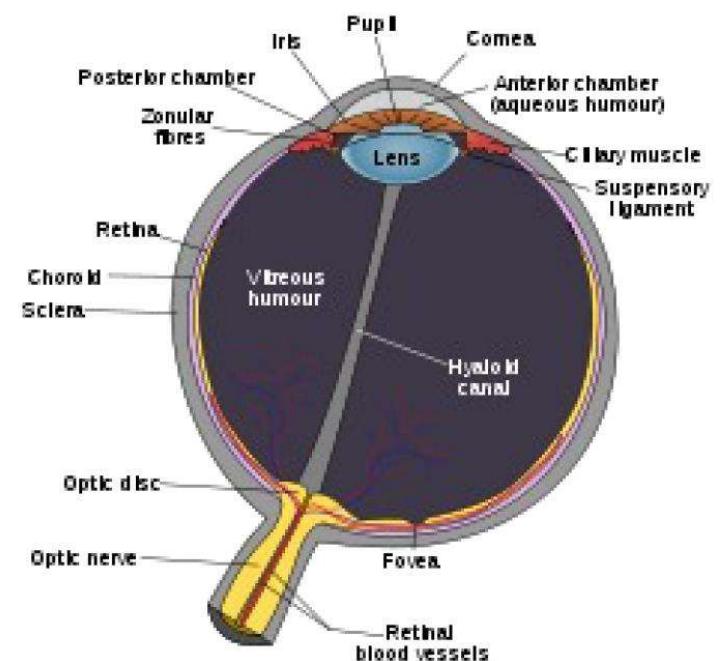
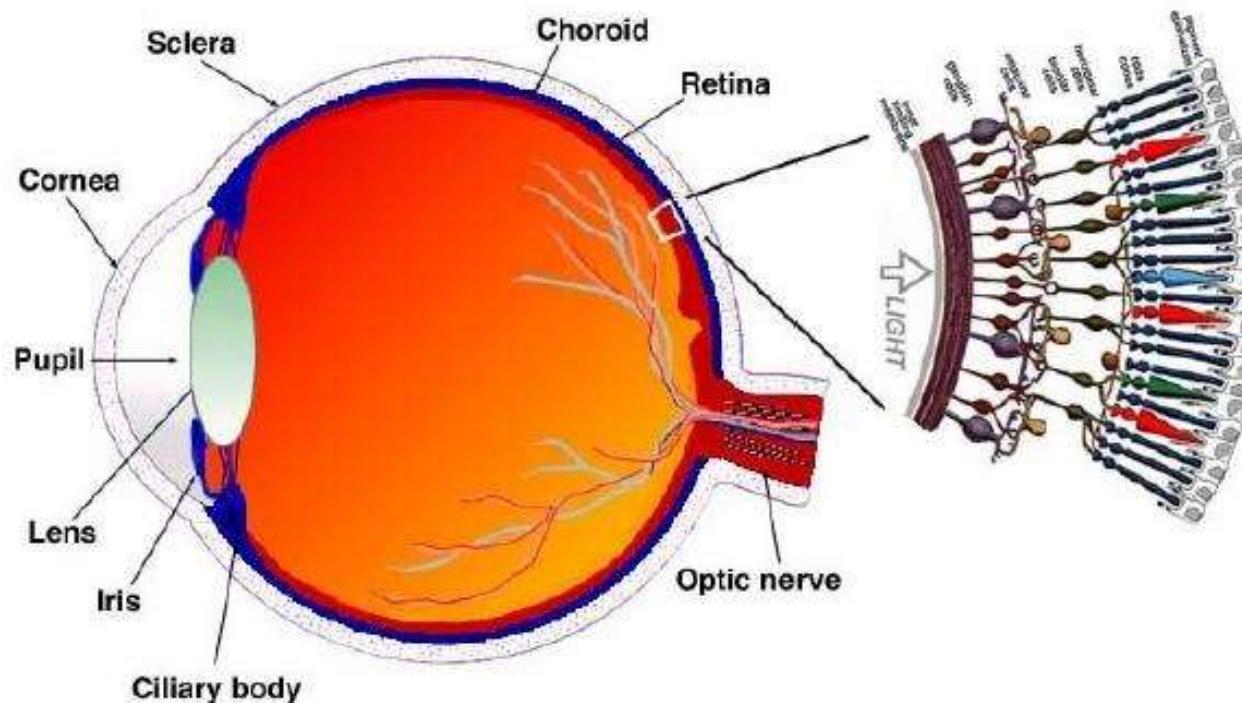


Introdução e Fundamentos

Sistema Visual Humano

Introdução e Fundamentos

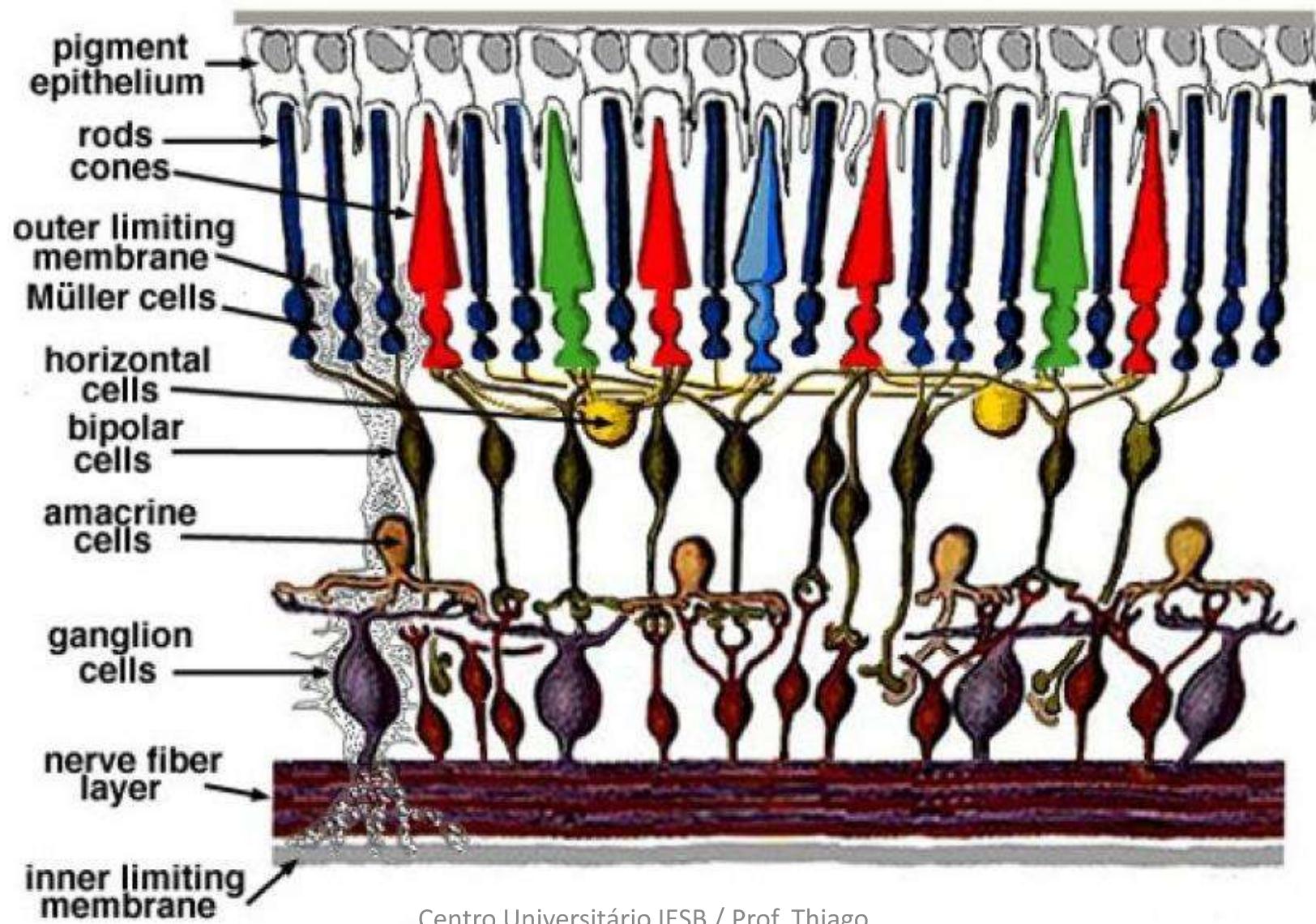
- Sistema Visual Humano



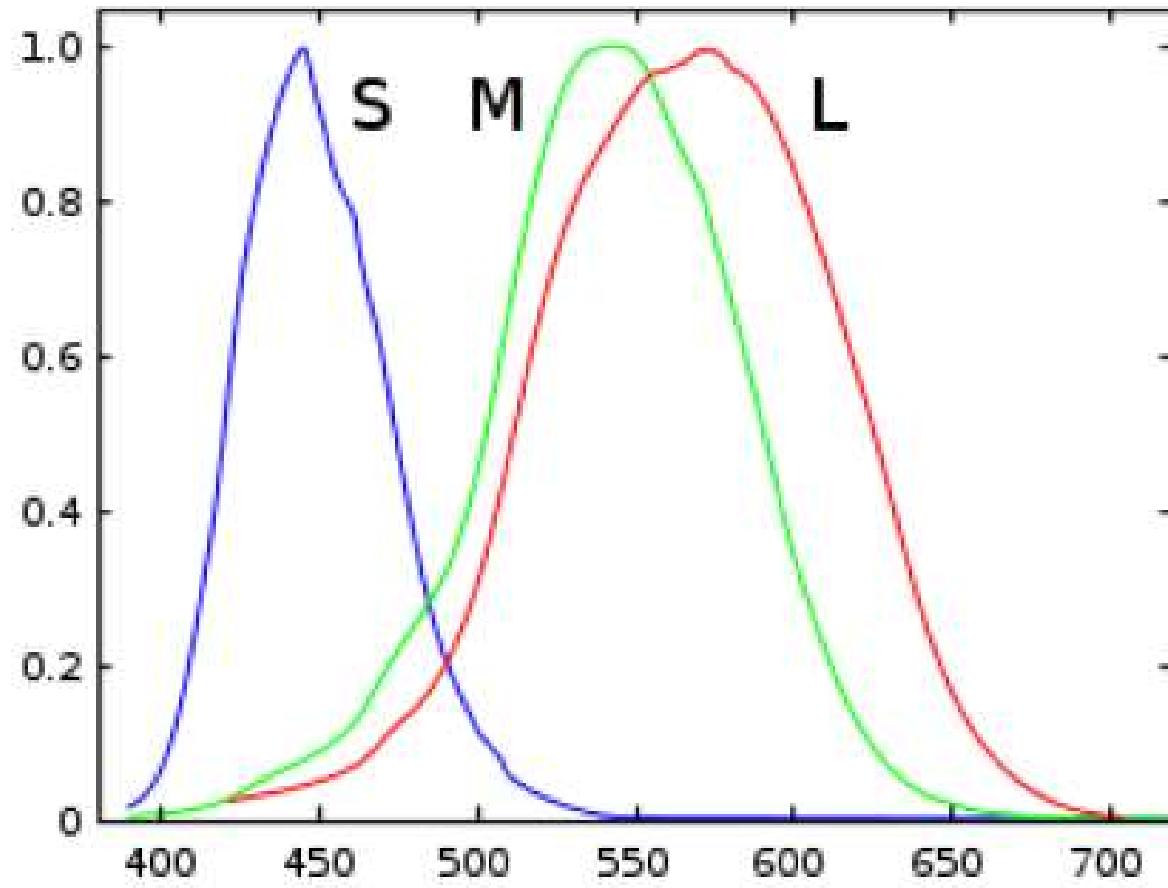
Introdução e Fundamentos

- Cones
 - (S,M,L)
 - ~ 5 milhões
 - Percepção luminosa
 - Intensidade luminosa média
 - Centro da retina
 - Detalhes da imagem
- Bastonetes
 - Intensidade luminosa baixa
 - ~ 100 milhões
 - Distribuídos ao longo da retina

Introdução e Fundamentos

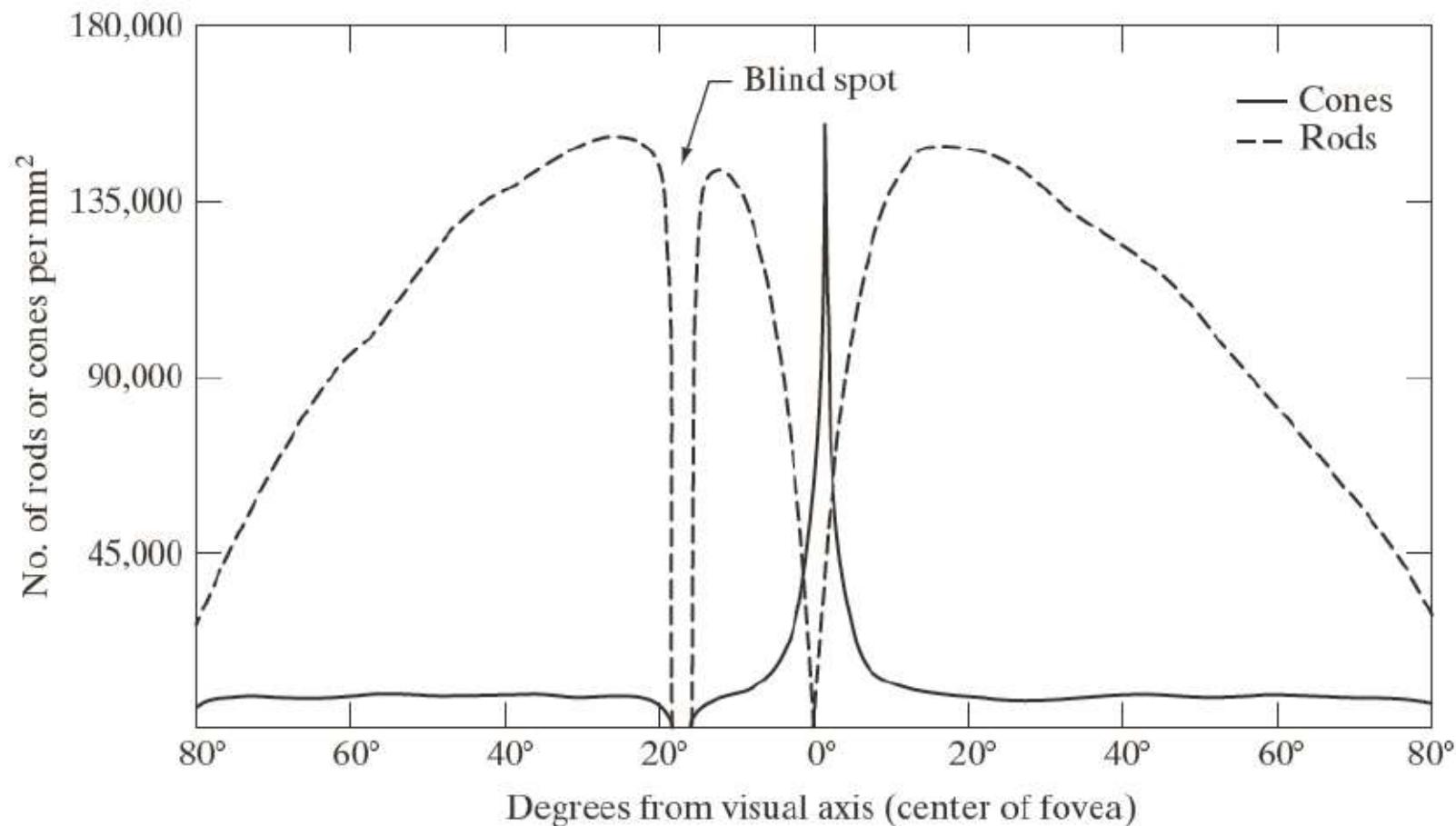


Introdução e Fundamentos



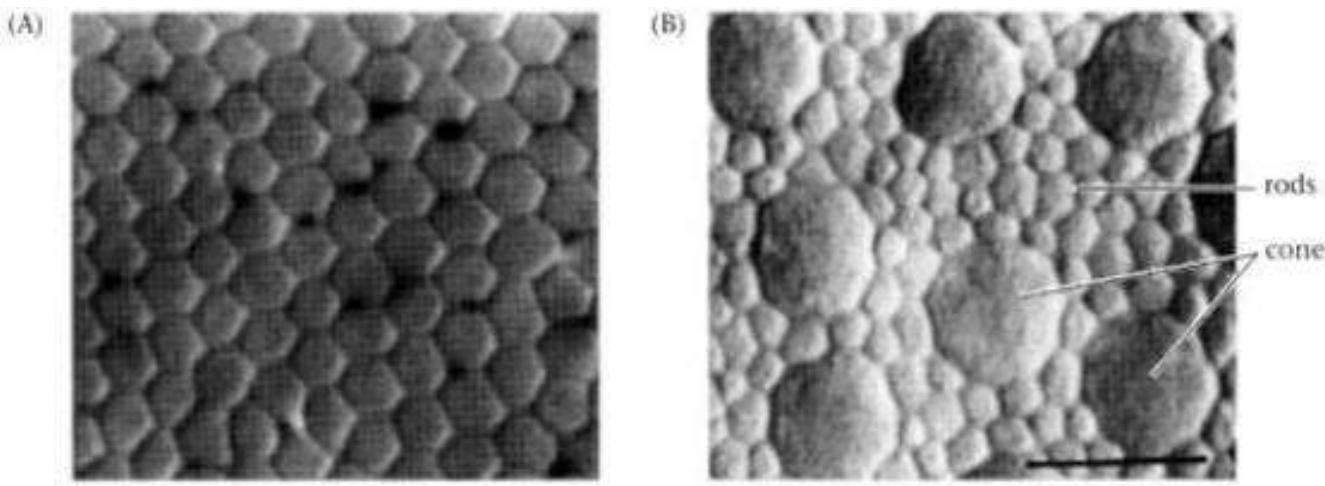
Introdução e Fundamentos

- Distribuição de cones e bastonetes
 - Densidade ao longo da retina



Introdução e Fundamentos

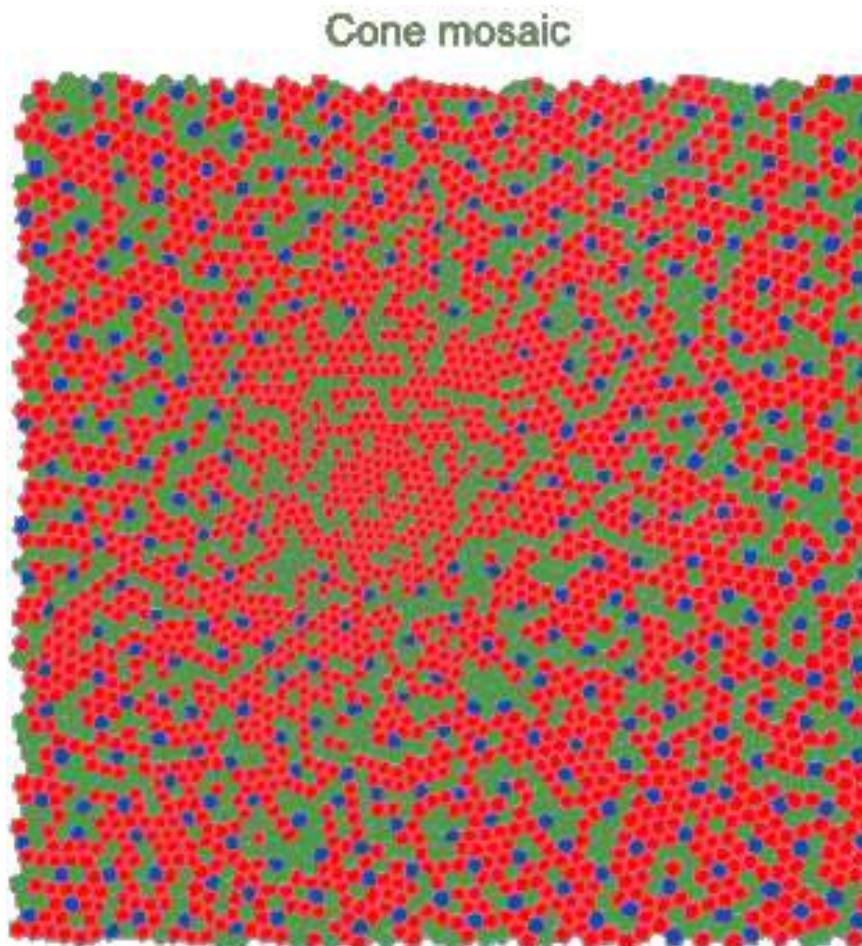
- Distribuição de cones e bastonetes
 - Densidade ao longo da retina



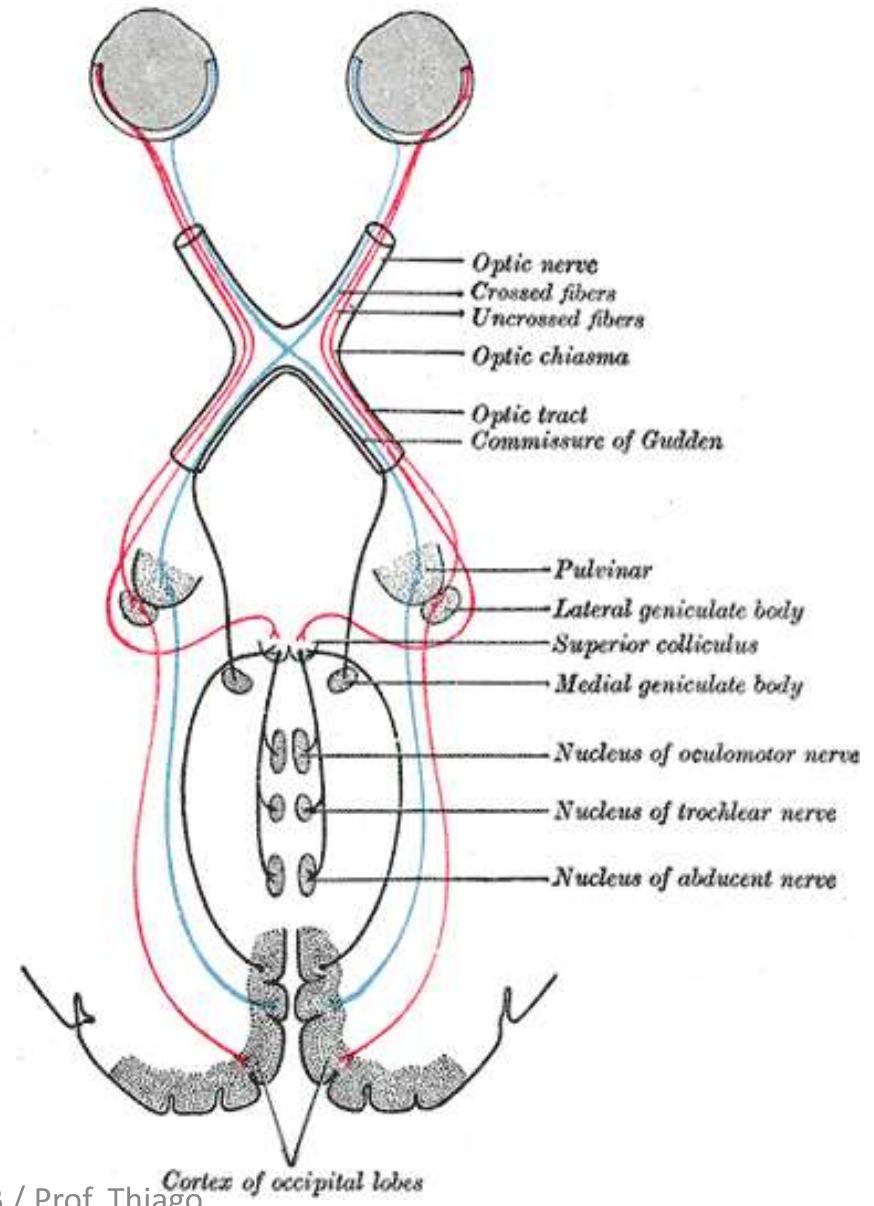
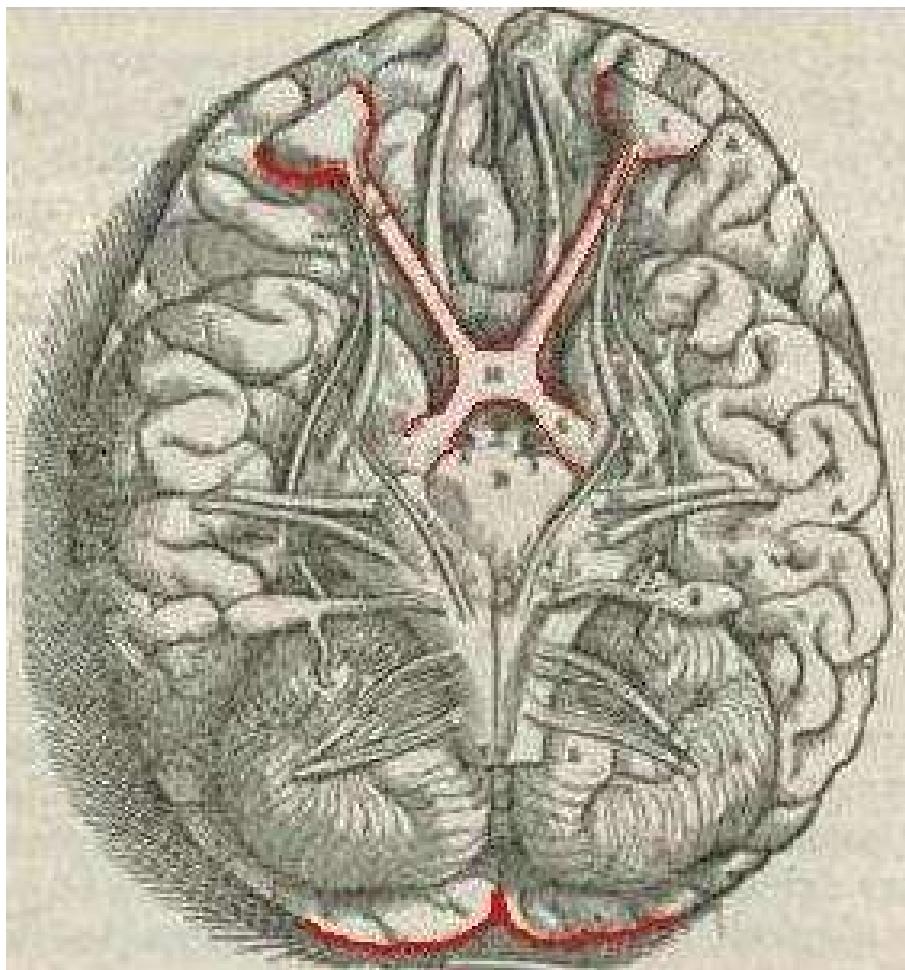
3.4 THE SPATIAL MOSAIC OF THE HUMAN CONES. Cross sections of the human retina at the level of the inner segments showing (A) cones in the fovea, and (B) cones in the periphery. Note the size difference (scale bar = $10 \mu\text{m}$), and that, as the separation between cones grows, the rod receptors fill in the spaces. (C) Cone density plotted as a function of distance from the center of the fovea for seven human retinas; cone density decreases with distance from the fovea. Source: Curcio et al., 1990.

Introdução e Fundamentos

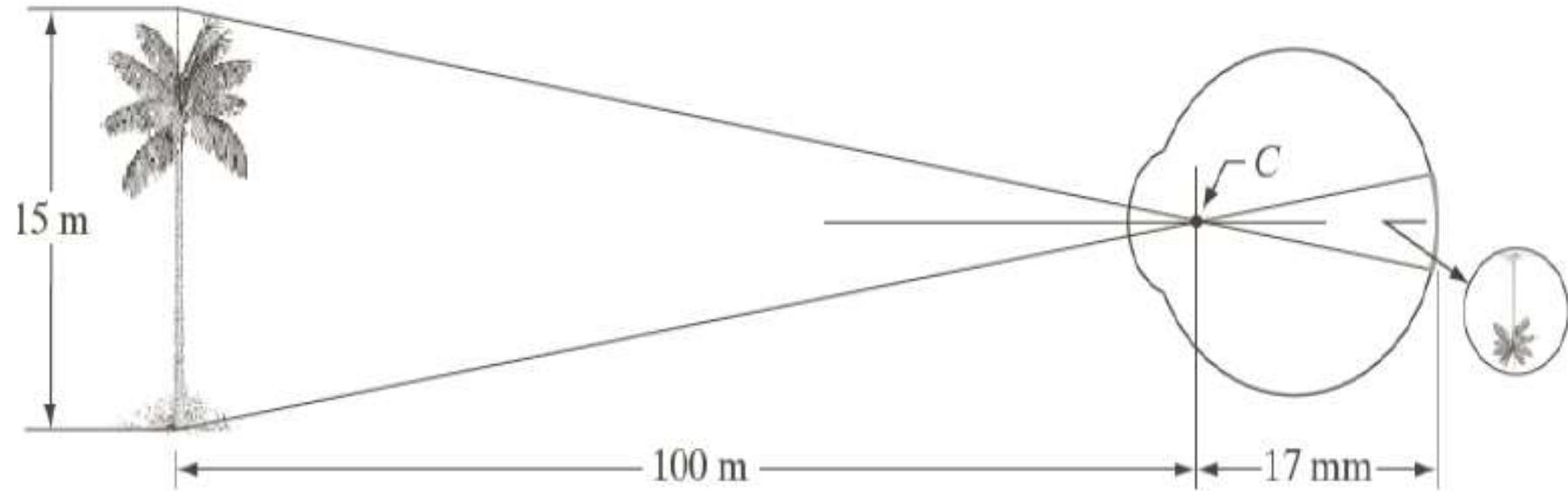
- Distribuição – fotorreceptores



Introdução e Fundamentos



Introdução e Fundamentos



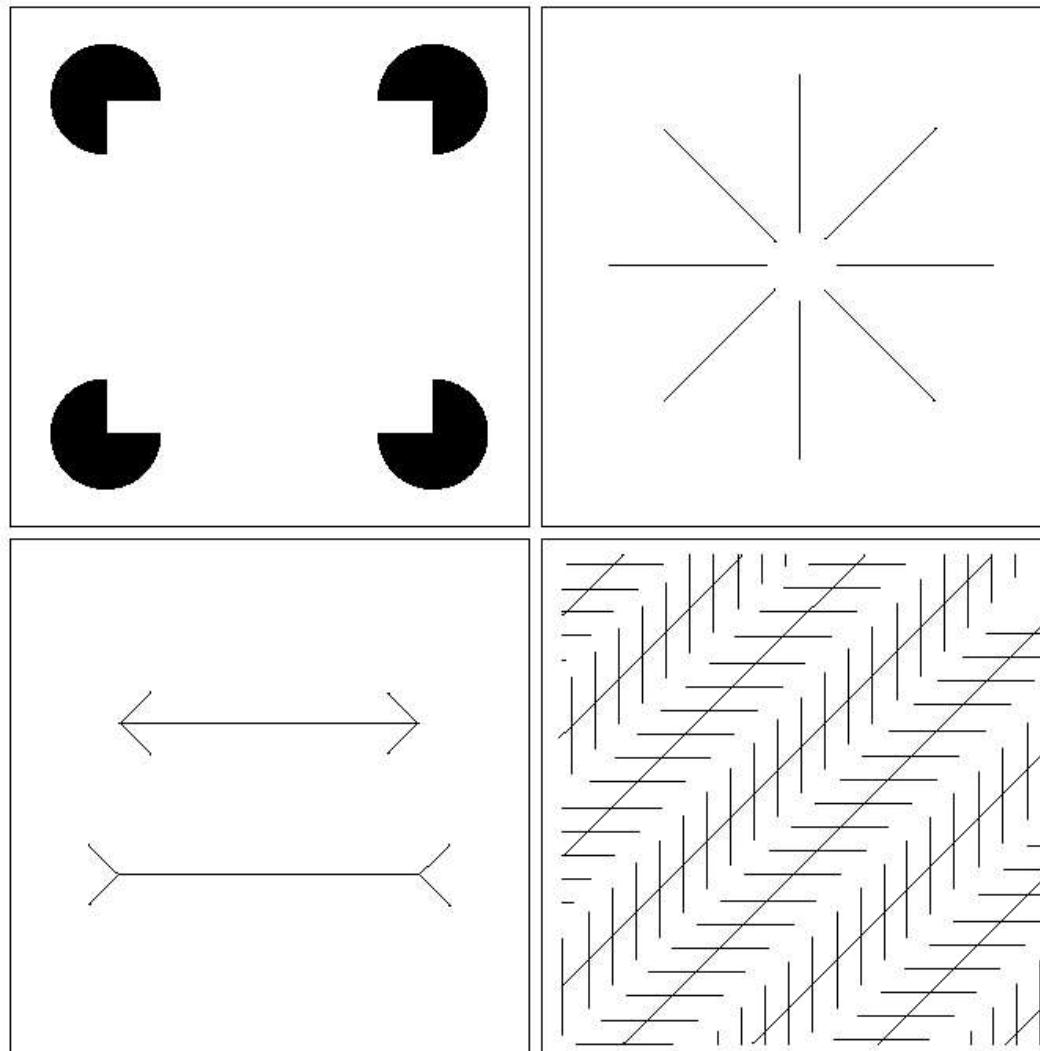
Graphical representation of the eye looking at a palm tree. Point C is the optical center of the lens.

Introdução e Fundamentos

Percepção – sistema visual humano

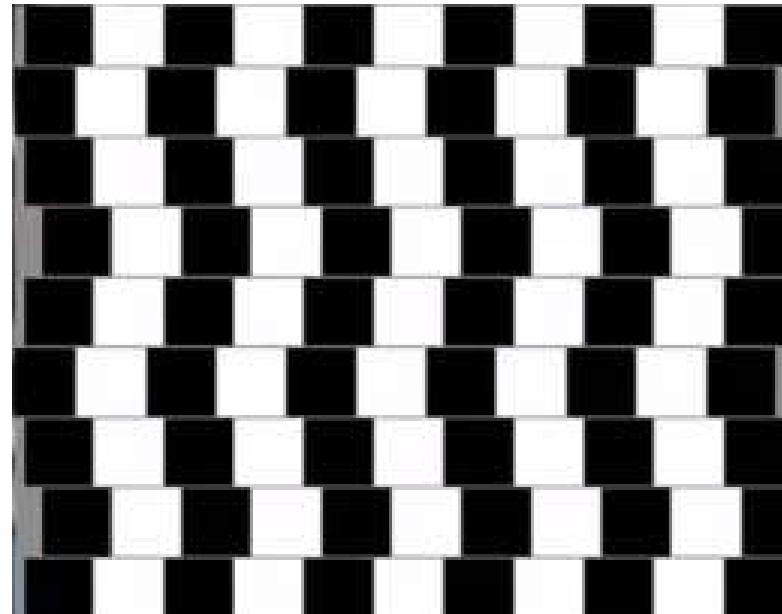
a
b
c
d

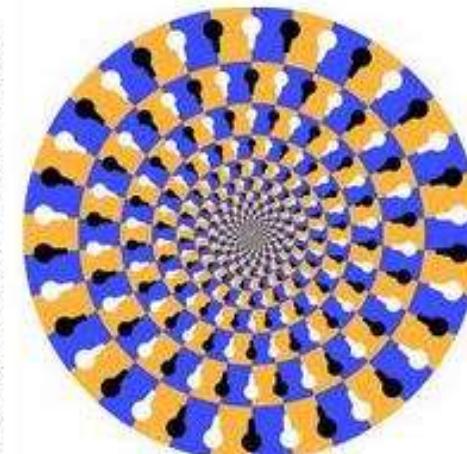
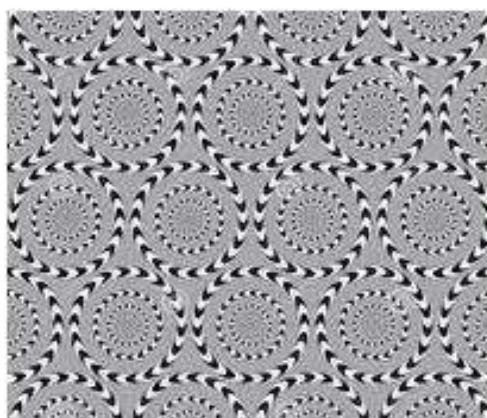
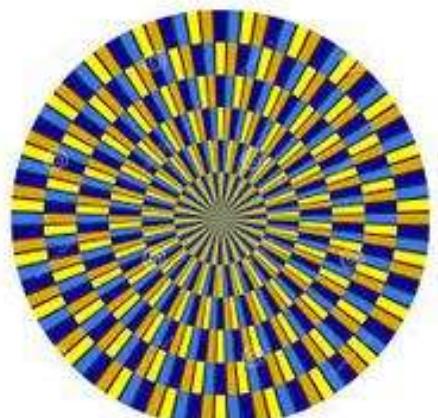
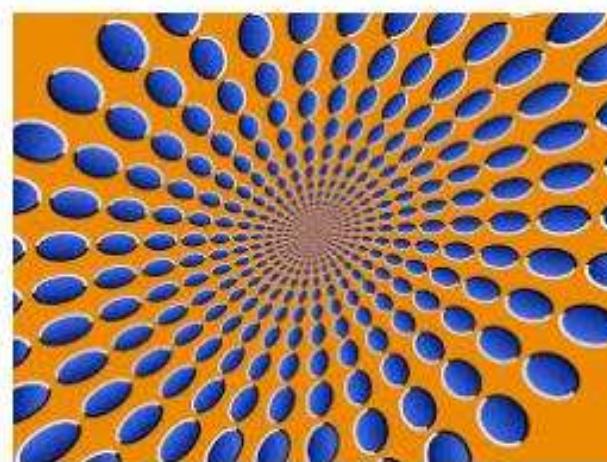
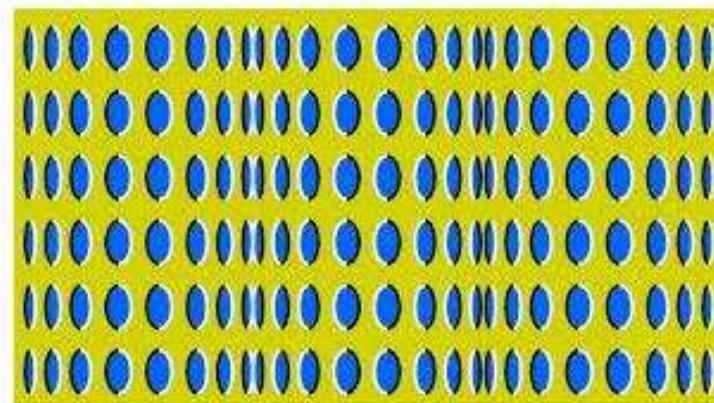
FIGURE 2.9 Some well-known optical illusions.



Introdução e Fundamentos

Percepção – sistema visual humano

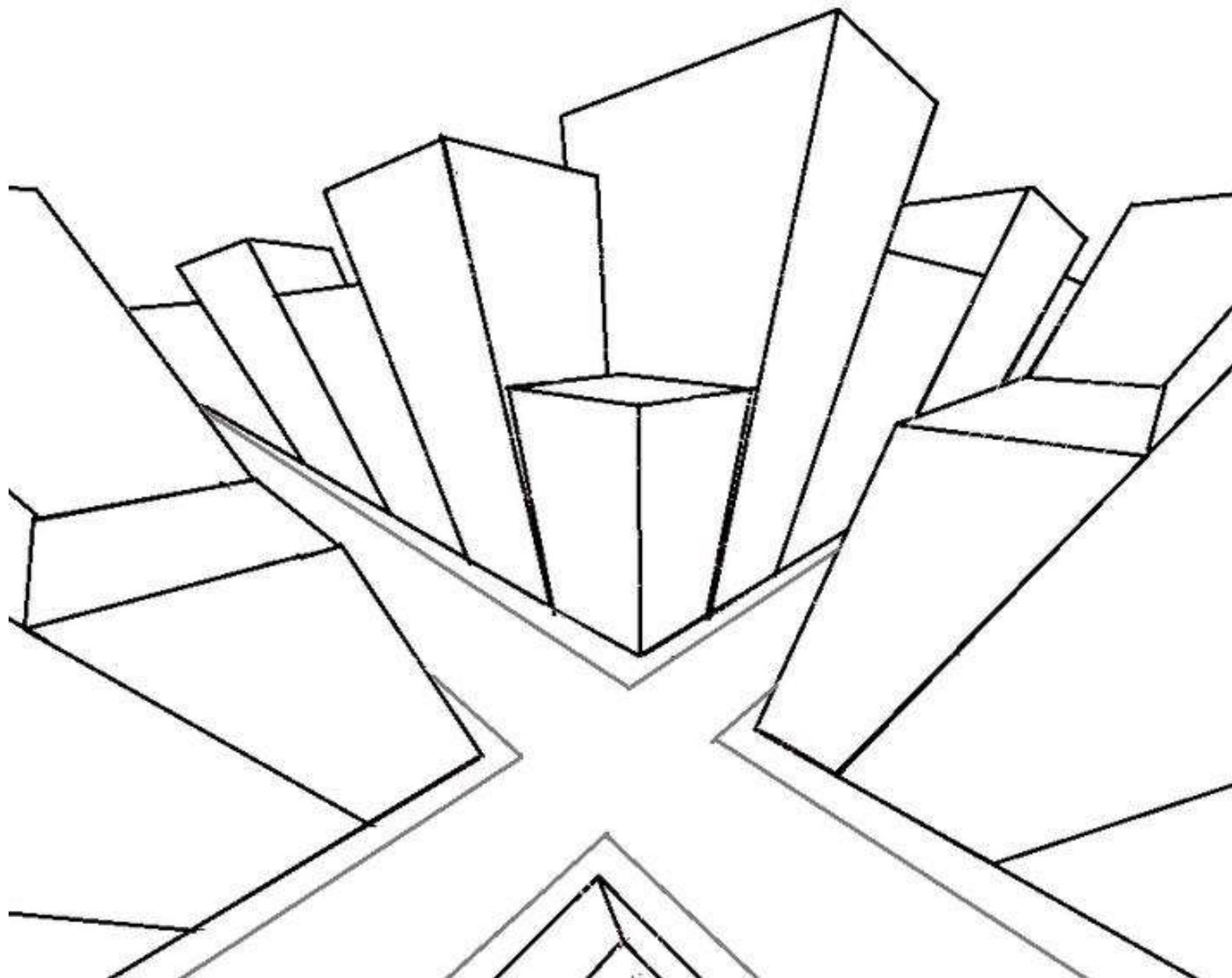




Centro Universitário IESB / Prof. Thiago
Raposo Milhomem



Centro Universitário IESB / Prof. Thiago
Raposo Milhomem



Centro Universitário IESB / Prof. Thiago
Raposo Milhomem

Introdução e Fundamentos

- Percepção – intensidade luminosa

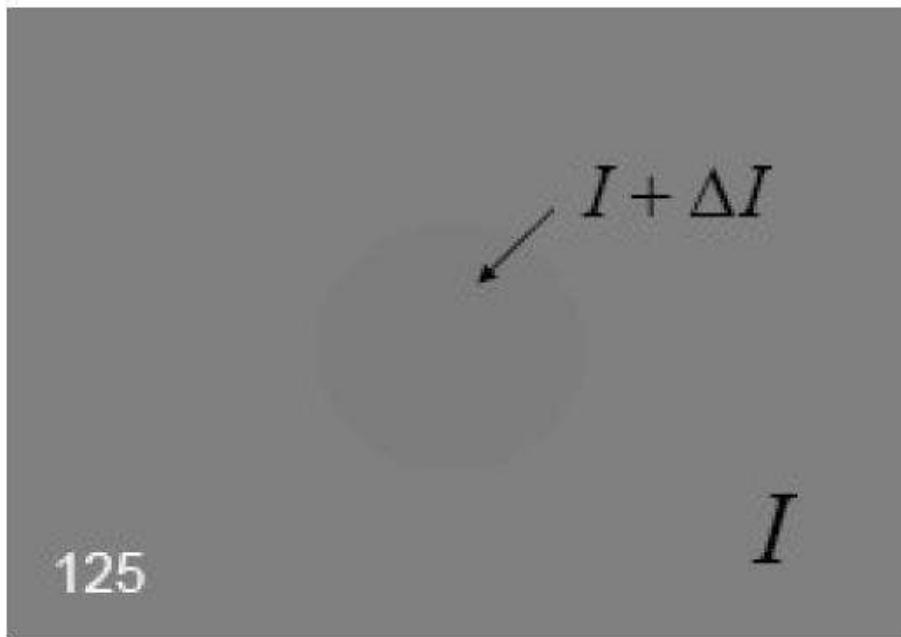


FIGURE 2.5 Basic experimental setup used to characterize brightness discrimination.

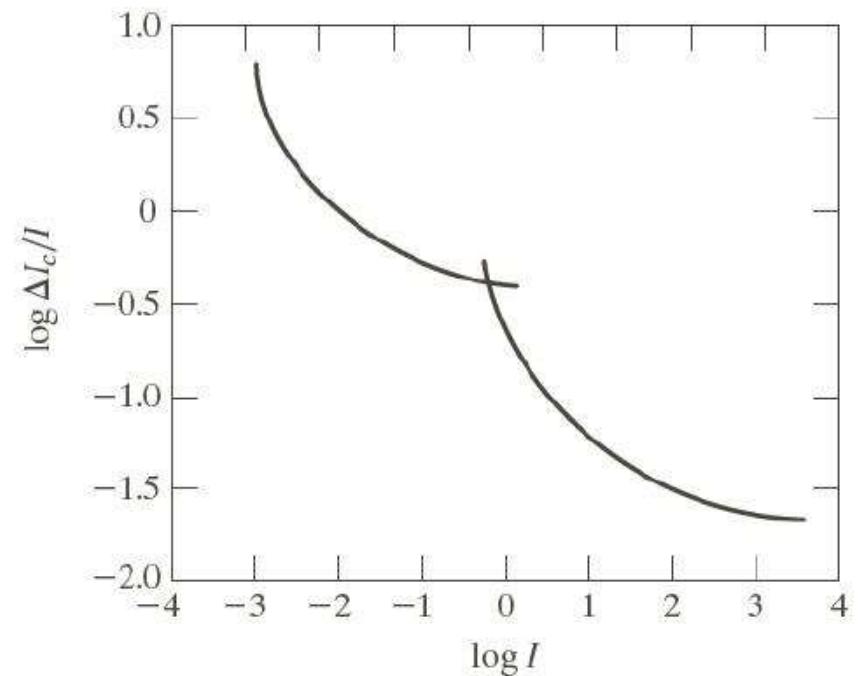


FIGURE 2.6
Typical Weber ratio as a function of intensity.

Introdução e Fundamentos

- Percepção – intensidade luminosa

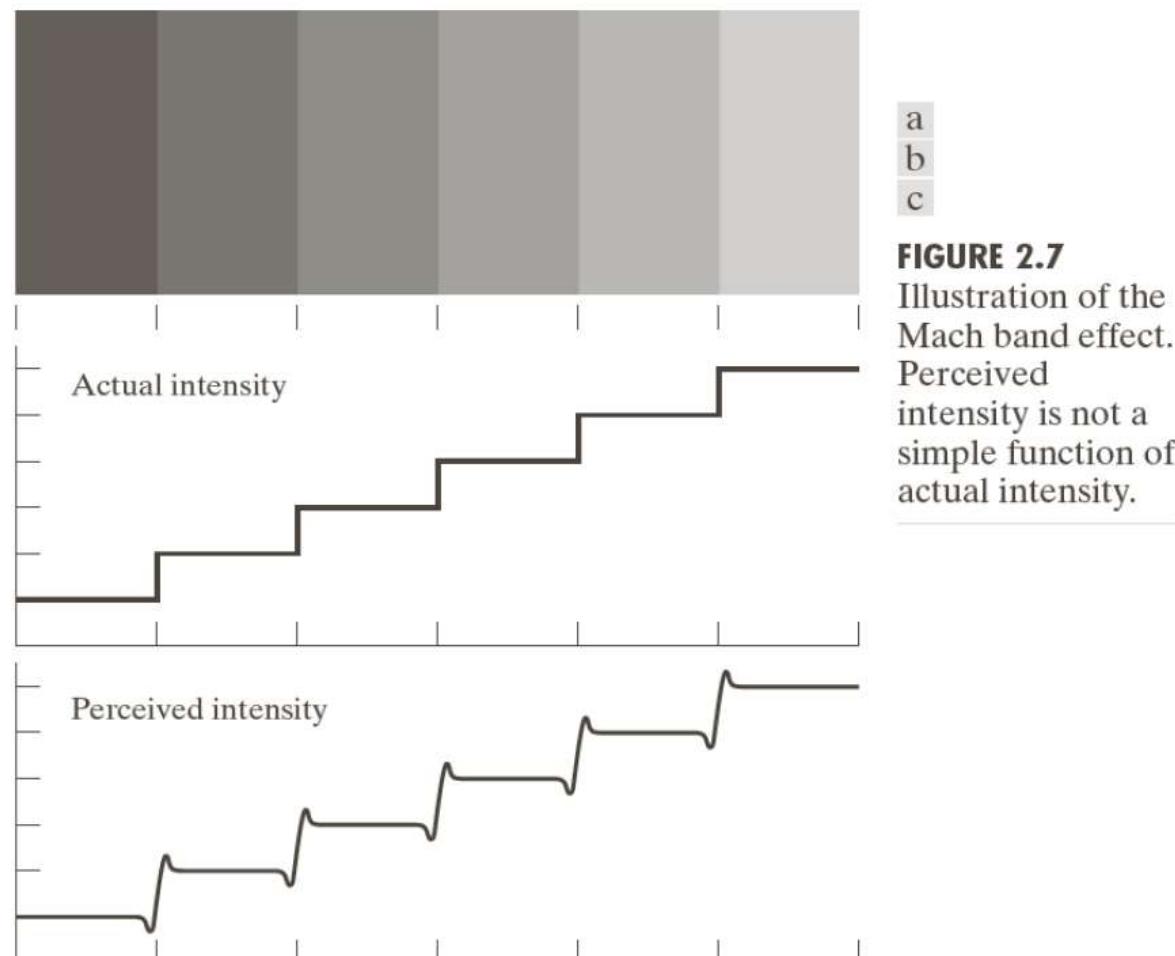
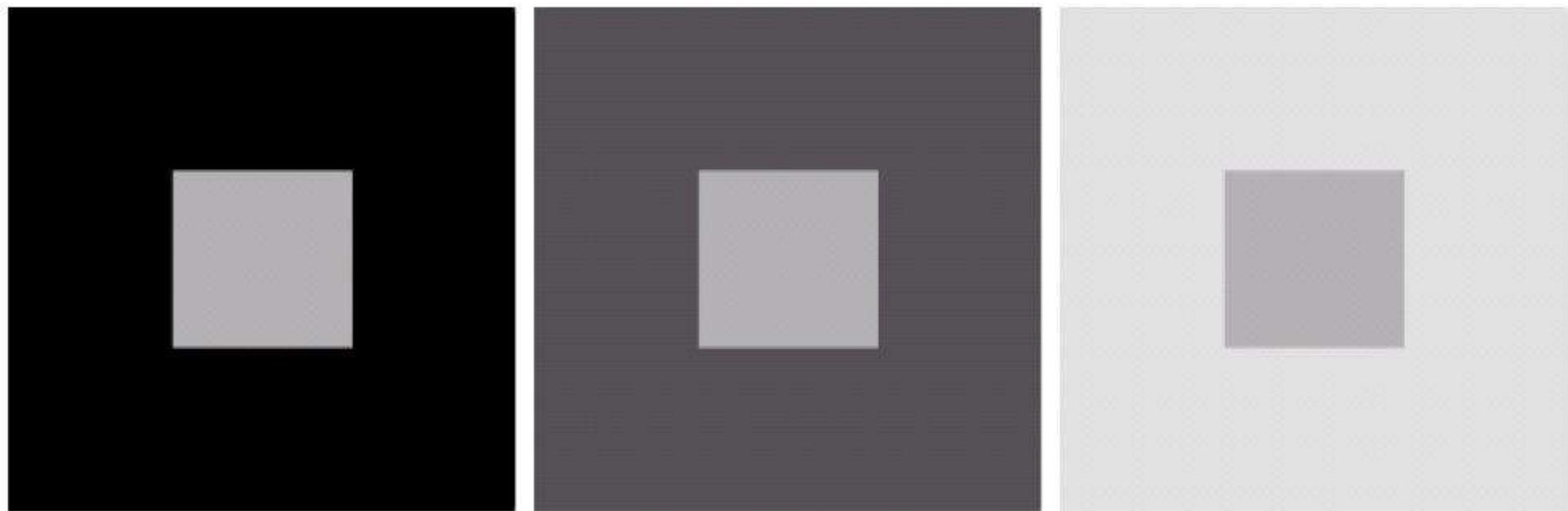


FIGURE 2.7
Illustration of the
Mach band effect.
Perceived
intensity is not a
simple function of
actual intensity.

Introdução e Fundamentos

- Percepção – intensidade luminosa

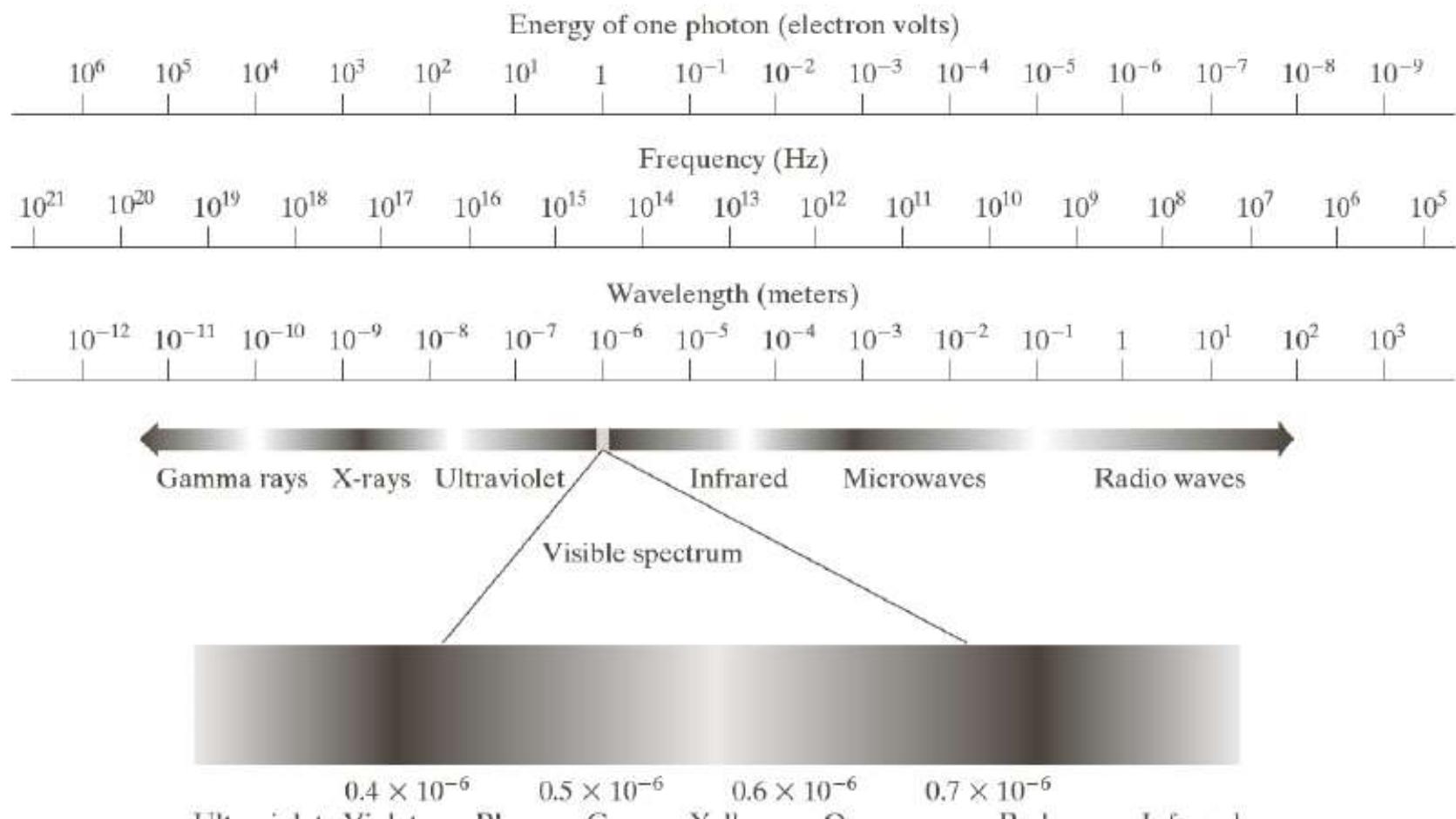


a b c

FIGURE 2.8 Examples of simultaneous contrast. All the inner squares have the same intensity, but they appear progressively darker as the background becomes lighter.

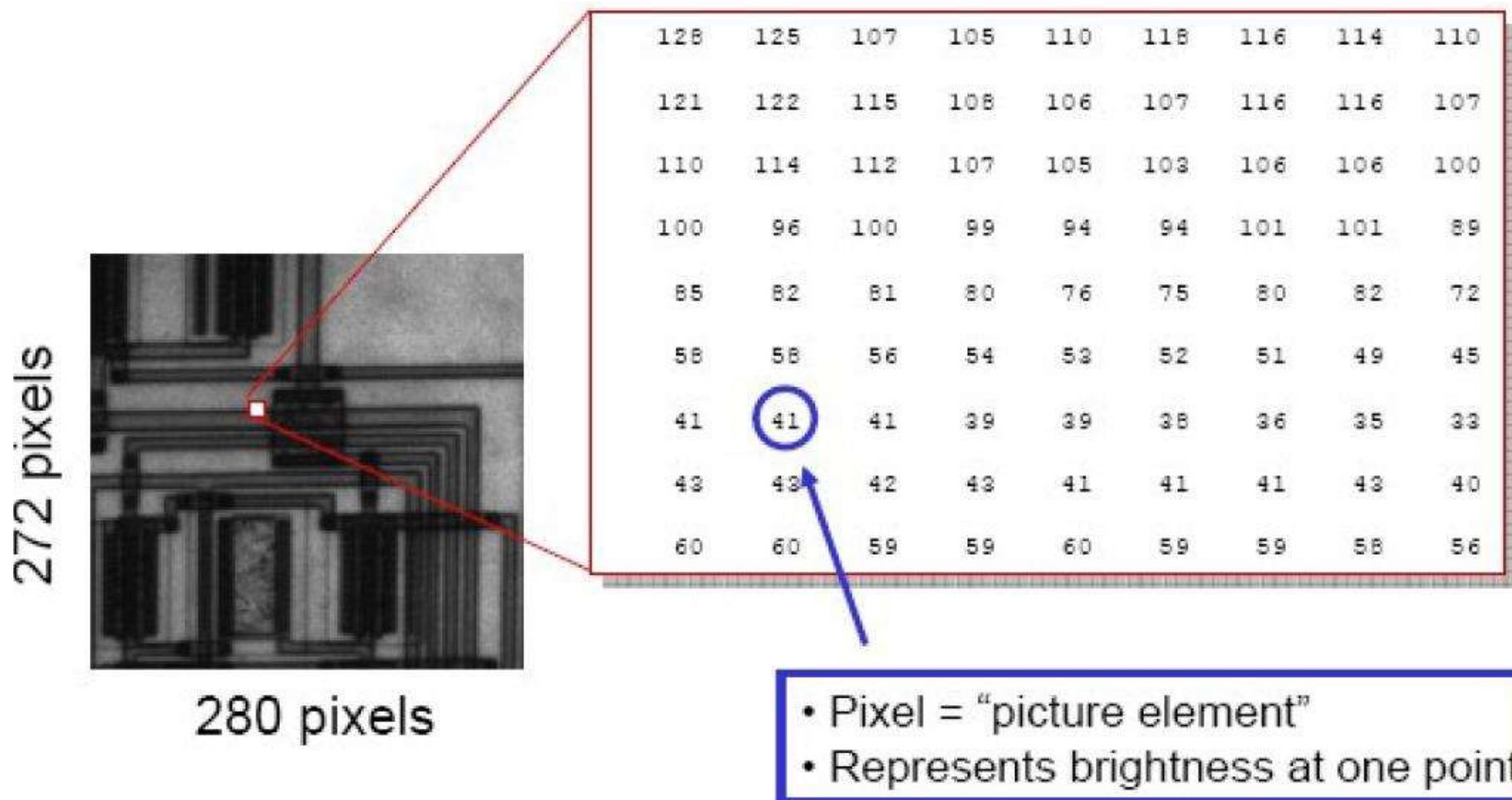
Introdução e Fundamentos

- Espectro Eletromagnético



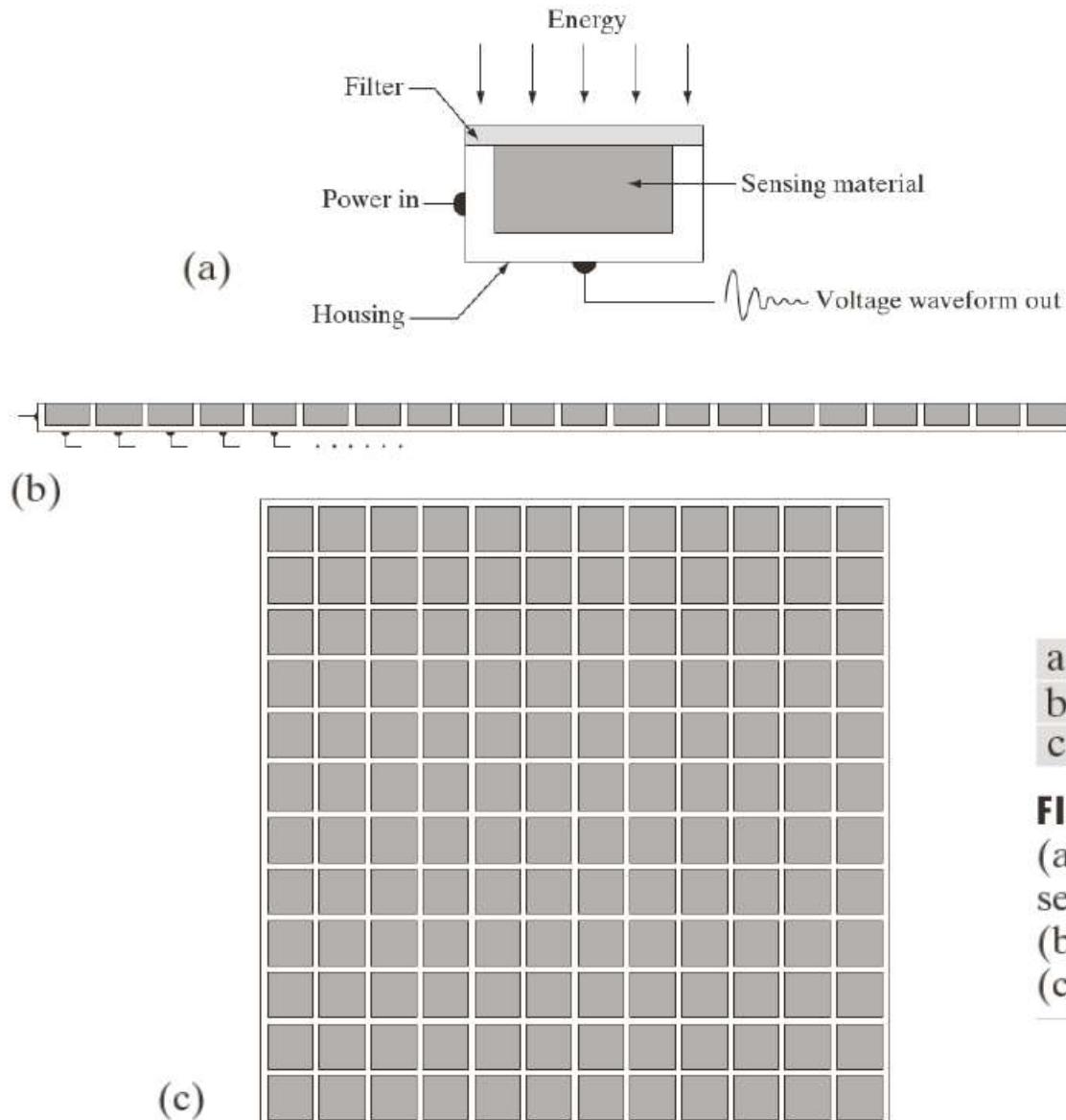
Introdução e Fundamentos

- Representação de uma imagem na forma digital



Introdução e Fundamentos

- Aquisição

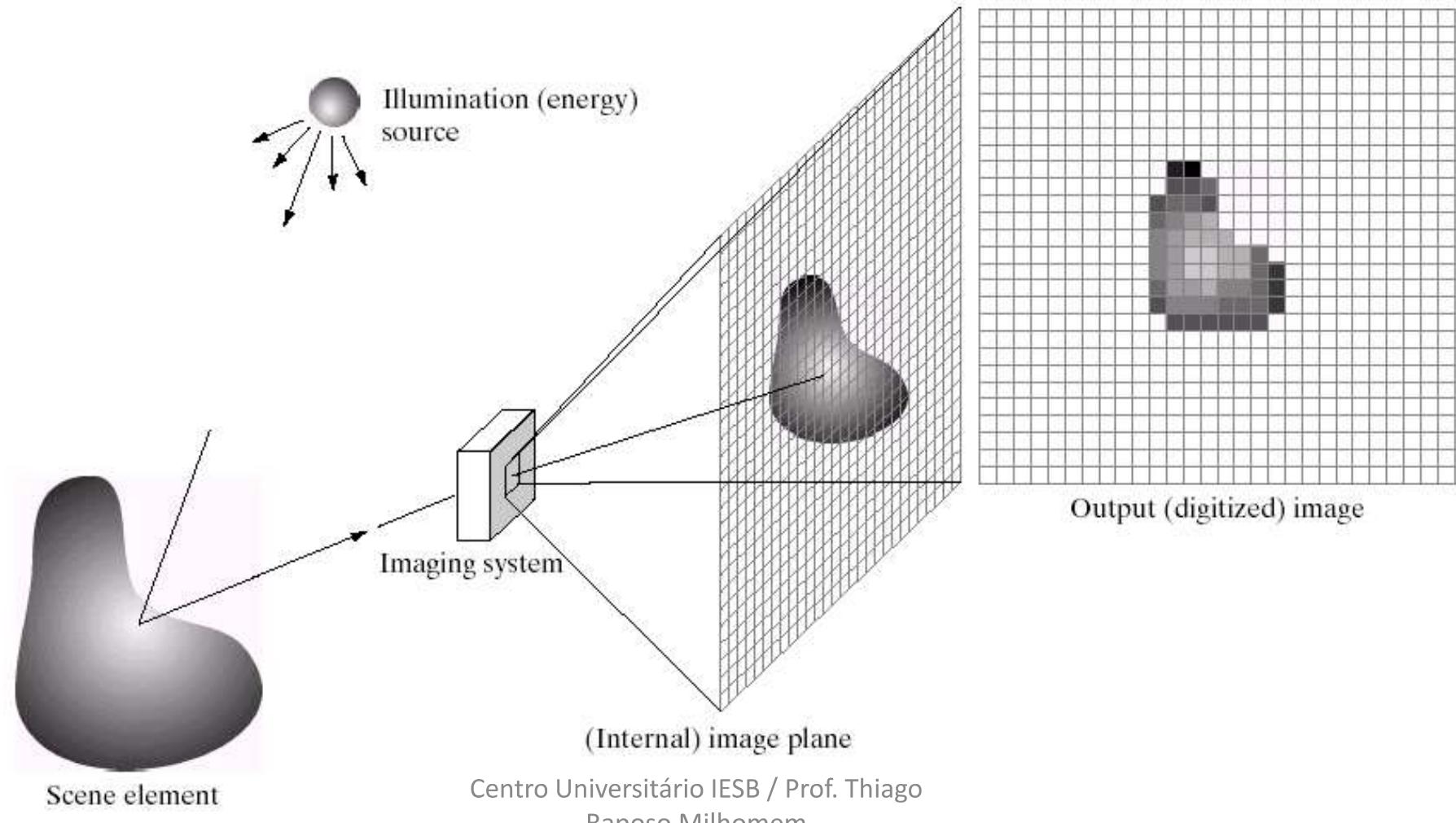


a
b
c

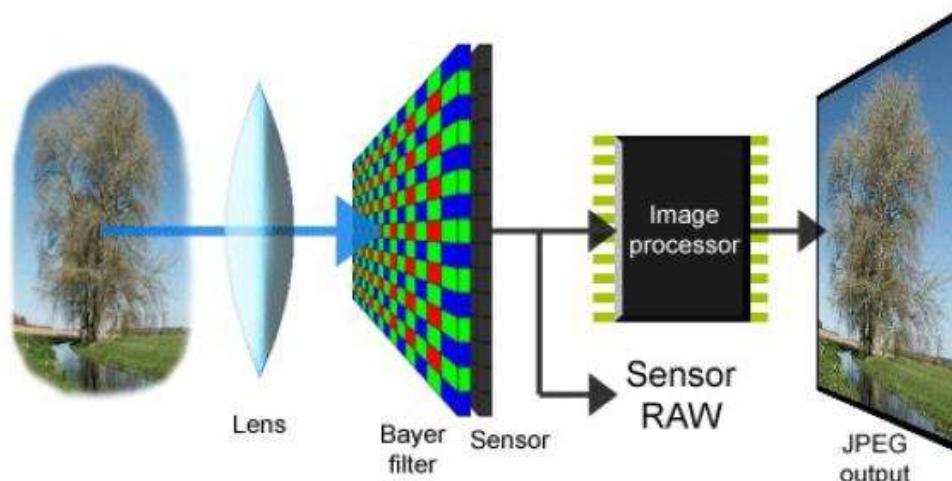
FIGURE 2.12
(a) Single imaging sensor.
(b) Line sensor.
(c) Array sensor.

Introdução e Fundamentos

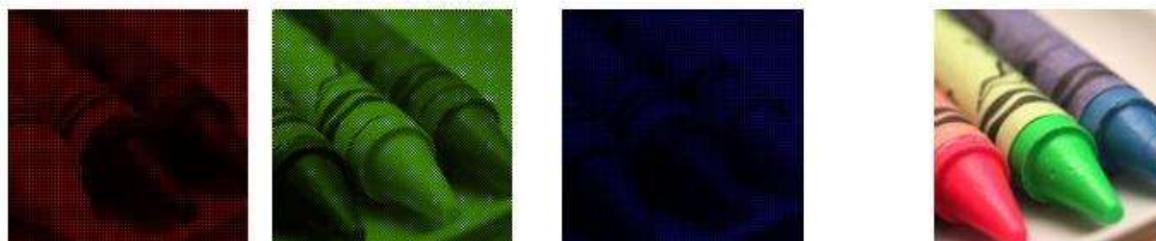
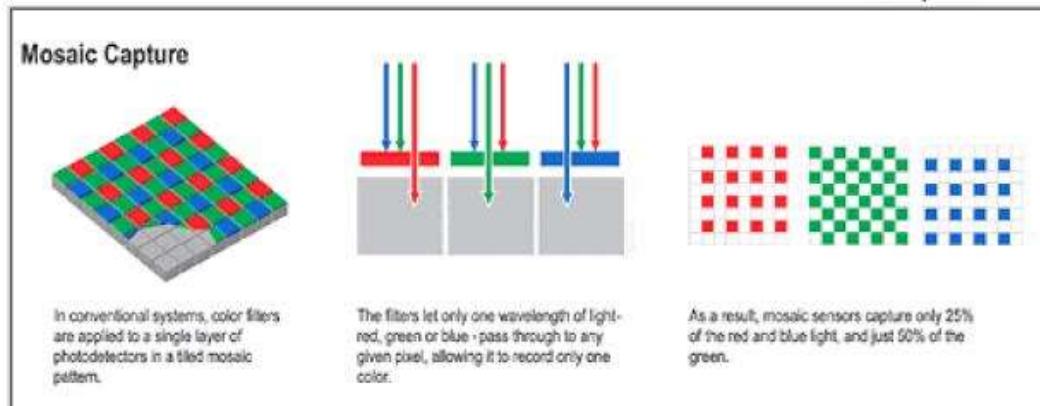
- Aquisição



Introdução e Fundamentos

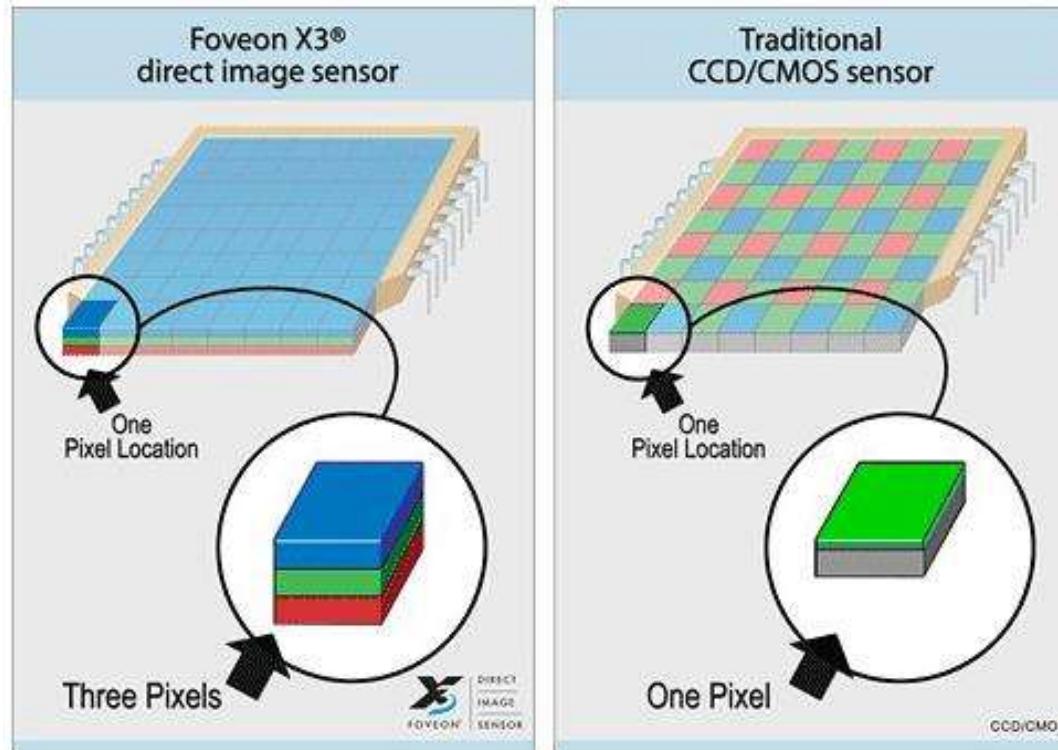


- Aquisição
– Cores



Introdução e Fundamentos

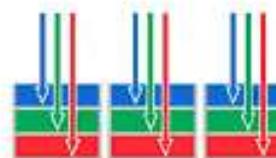
- Foveon X3



Foveon® X3™ Capture



A Foveon® X3™ image sensor features three separate layers of photodetectors embedded in silicon.



Since silicon absorbs different colors of light at different depths, each layer captures a different color. Stacked together, they create full-color pixels.



As a result, only Foveon X3 image sensors capture red, green and blue light at every pixel location.

Introdução e Fundamentos

- Comparativo

Filtro em mosaico



Filtro Foveon



Aquisição e Representação

- Modelo de uma imagem
 - Amplitude $f(x,y)$ no plano
 - Intensidade num ponto (x_0,y_0) proporcional à amplitude $f(x,y)$ em $(x,y) = (x_0,y_0)$
 - Maiores amplitudes: regiões mais claras
 - Menores amplitudes: regiões mais escuras
- Imagem $f(x,y)$ observada
 - Dada por $f(x,y) = i(x,y).r(x,y)$
 - Componente $i(x,y)$: intensidade/ilumunação da imagem
 - Componente $r(x,y)$: reflectância da imagem

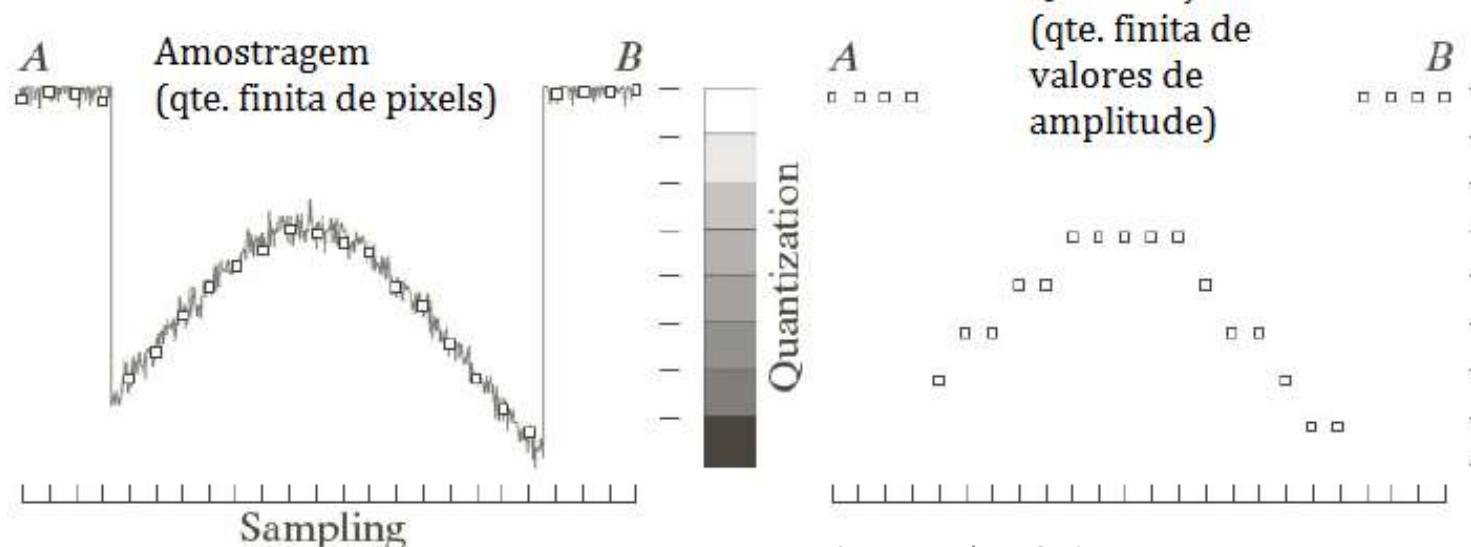
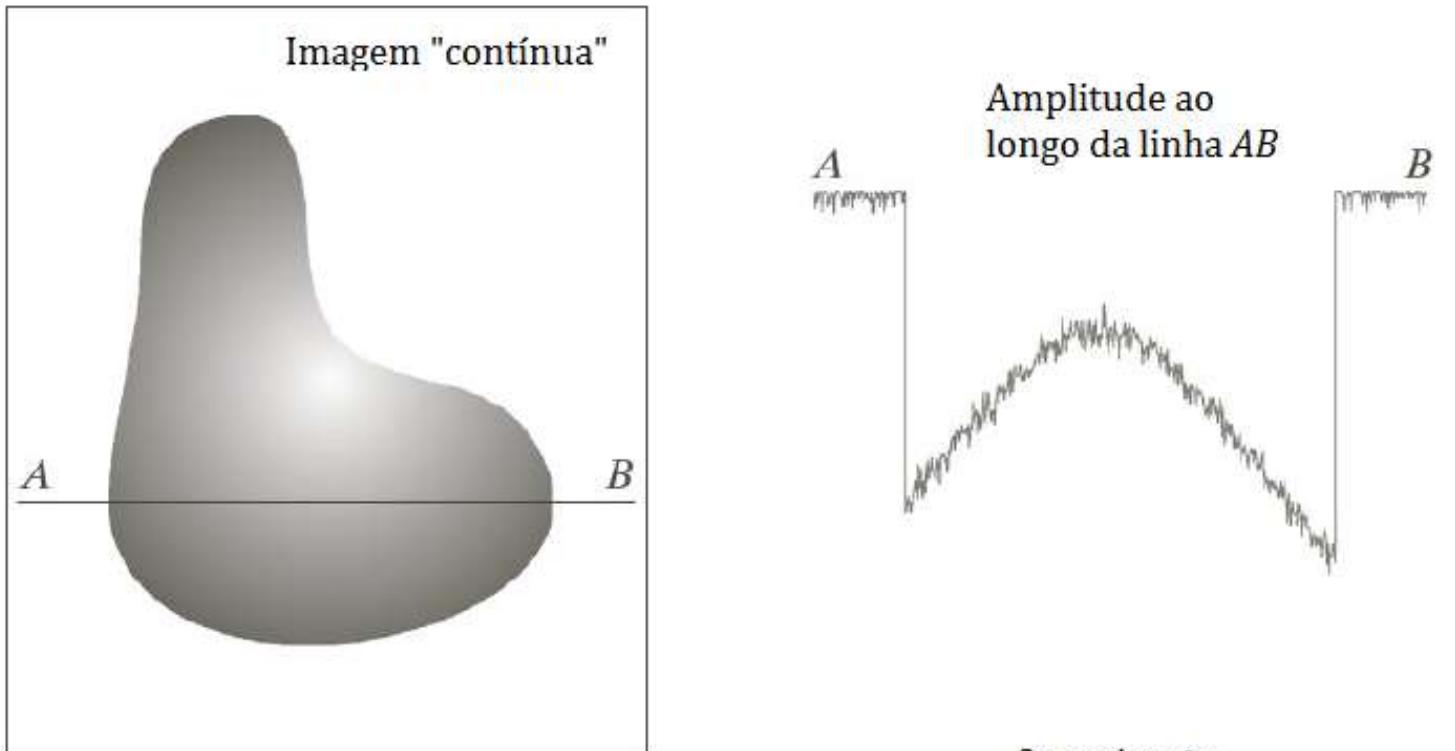
Aquisição e Representação

- Imagem $f(x,y)$ observada
 - Dada por $f(x,y) = i(x,y).r(x,y)$
 - Componente $i(x,y)$: intensidade/ilumunação da imagem, onde $0 \leq i(x,y) < \infty$
 - Intrínseco do objeto / fonte que ilumina o objeto
 - Componente $r(x,y)$: reflectância da imagem observada, onde $0 \leq r(x,y) < 1$
 - Parte da iluminação que o objeto reflete
- Ou seja, $f(x,y)$ é a “fração” da intensidade luminosa $i(x,y)$ da imagem; parte que chega ao receptor

Aquisição e Representação

- Para imagens digitais
 - Valores inteiros para as coordenadas (x,y)
 - *Pixel*: picture element
 - Valores discretizados de amplitude $f(x,y)$
 - Representações comuns
 - Ponto flutuante: $0 \leq f(x,y) \leq 1$
 - Inteiros (8 bits): $0 \leq f(x,y) \leq 255$
 - Representação na forma de matriz $M \times N$

Aquisição e Representação



Aquisição e Representação

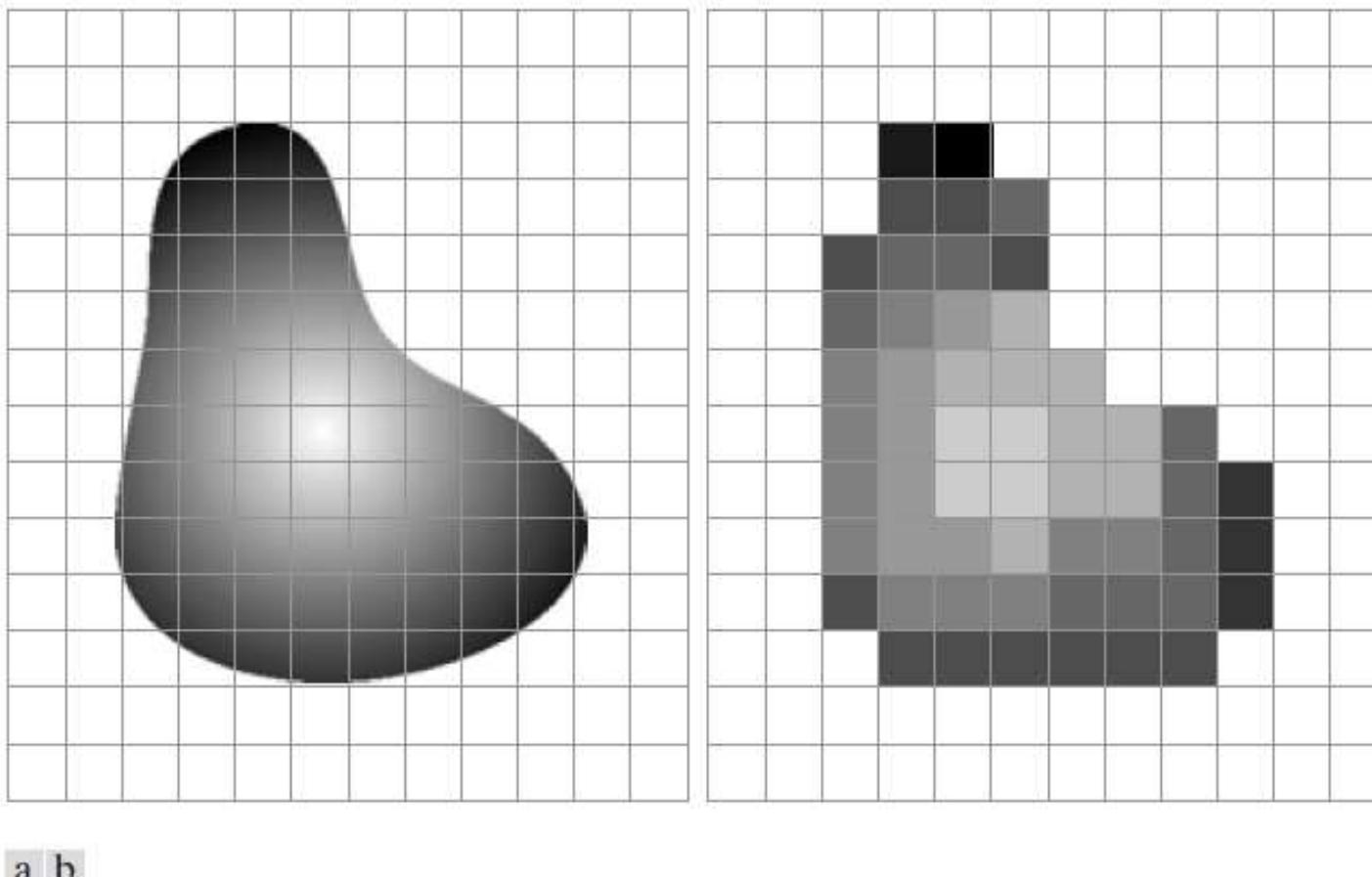
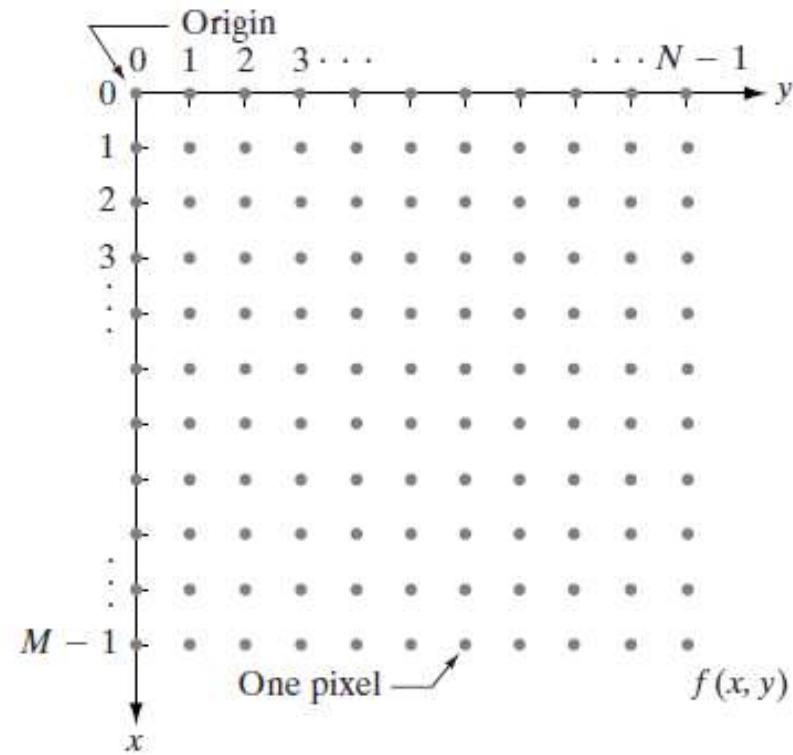


FIGURE 2.17 (a) Continuous image projected onto a sensor array. (b) Result of image sampling and quantization.

Aquisição e Representação



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

Aliasing espacial / Efeito de Moiré

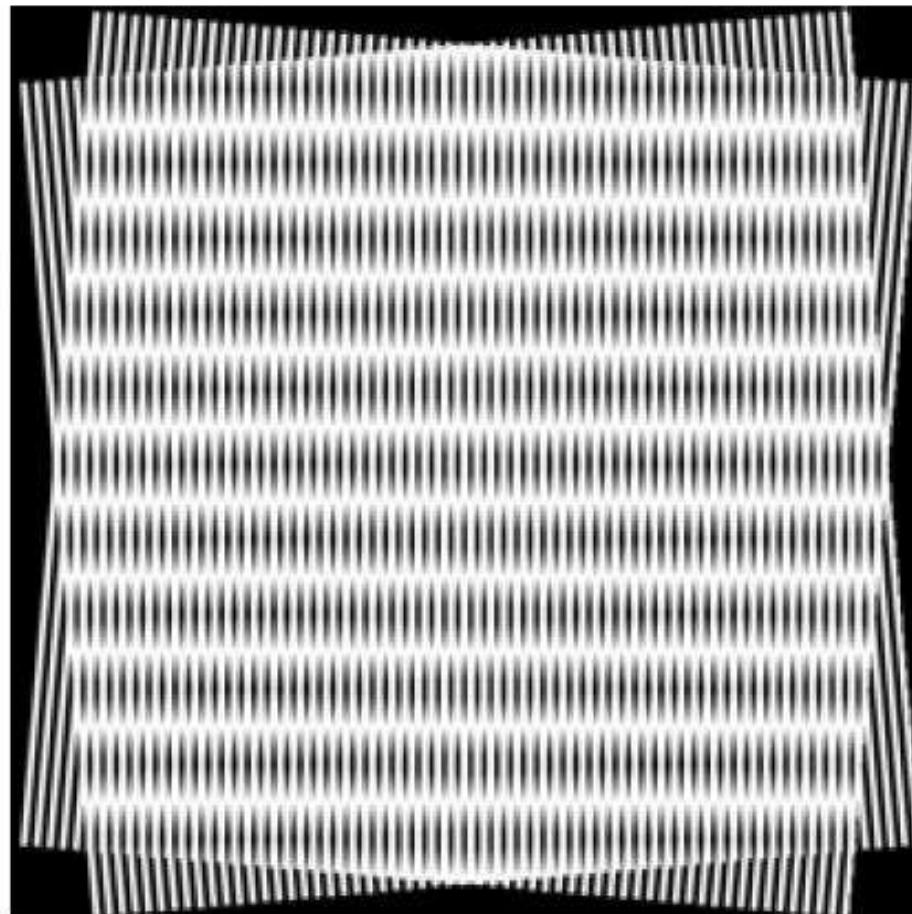


FIGURE 2.24 Illustration of the Moiré pattern effect.

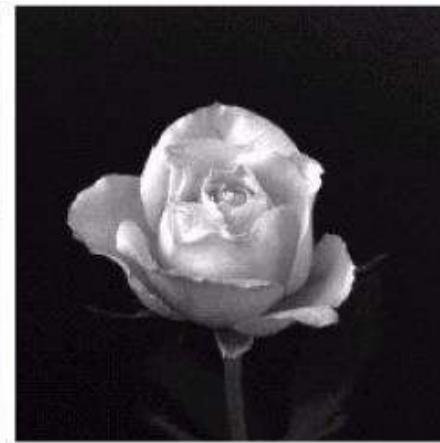
Aquisição e Representação

- Amostragem de uma imagem
 - Determina **resolução espacial**
 - Comumente chamado apenas por “resolução da imagem”
 - Detalhes espaciais percebidos da imagem
 - Detalhes das formas dos objetos
- Quantização de uma imagem
 - Determina **resolução em níveis de cinza** (quantidade de níveis possíveis)
 - Detalhes em níveis de cinza (diferenças de intensidade) percebidos da imagem

Amostragem / Resolução Espacial



1024



512



128



32

FIGURE 2.19 A 1024×1024 , 8-bit image subsampled down to size 32×32 pixels. The number of allowable gray levels was kept at 256.

Amostragem / Resolução Espacial (reamostrando...)

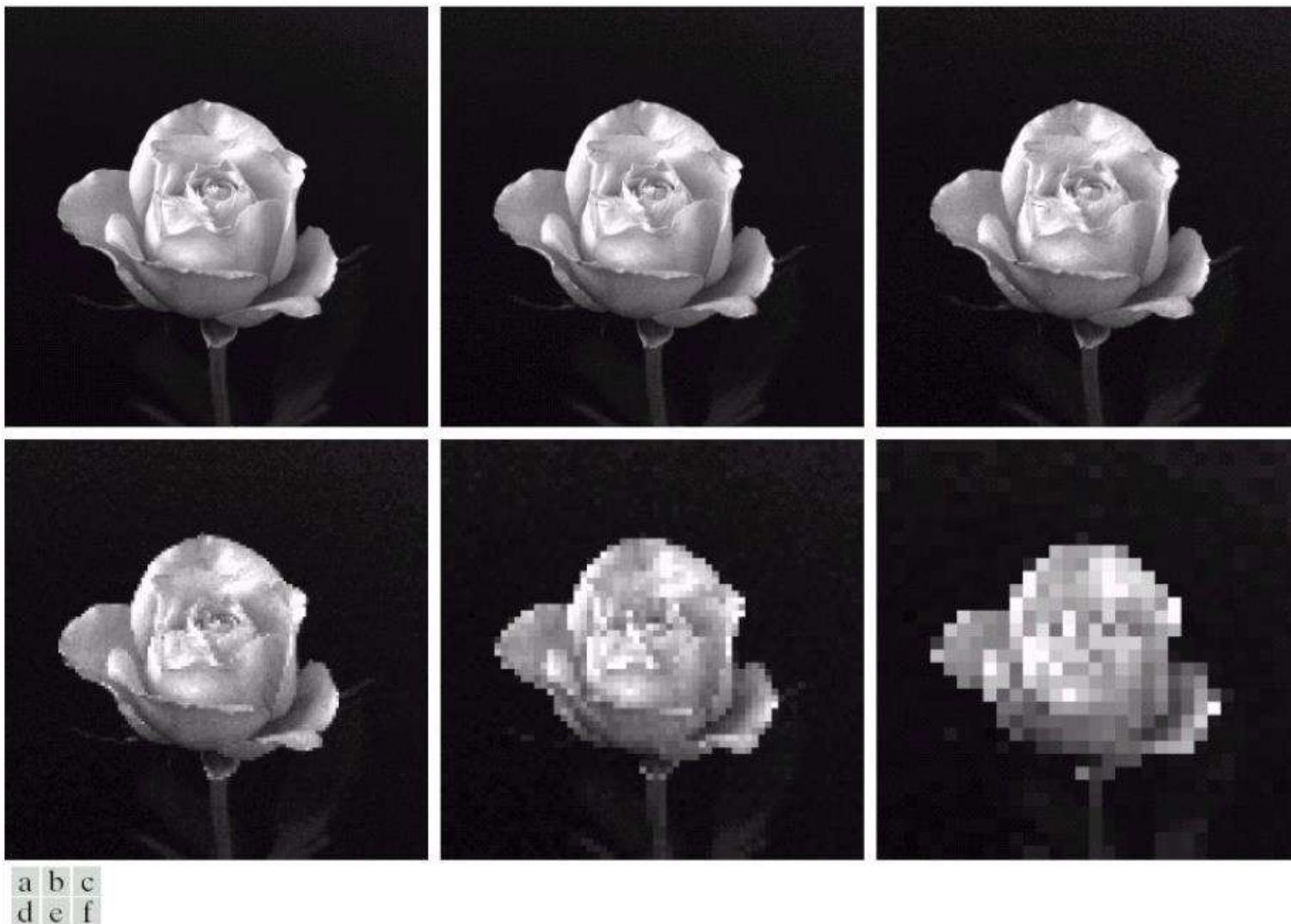
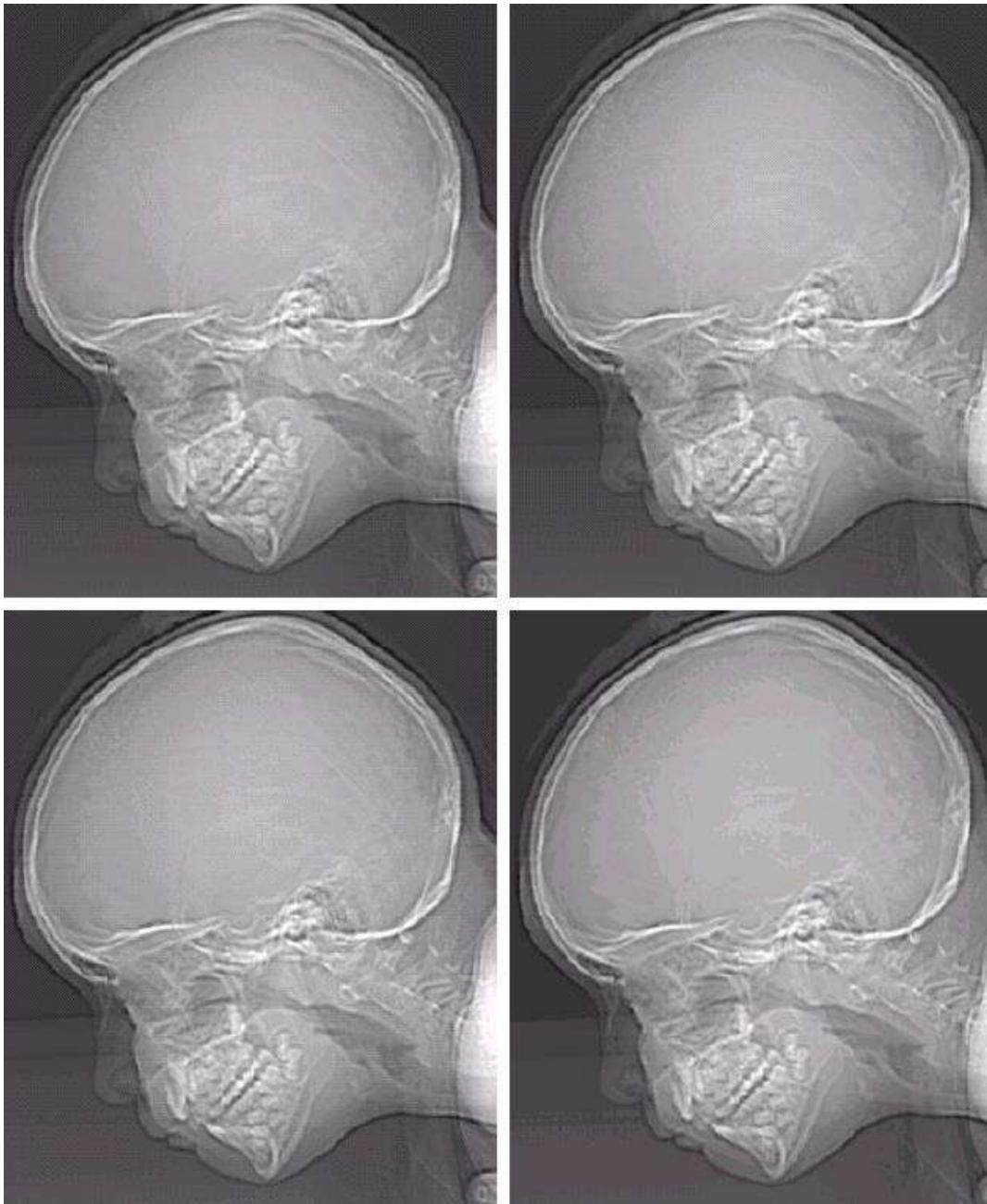


FIGURE 2.20 (a) 1024×1024 , 8-bit image. (b) 512×512 image resampled into 1024×1024 pixels by row and column duplication. (c) through (f) 256×256 , 128×128 , 64×64 , and 32×32 images resampled into 1024×1024 pixels.

Quantização / Resolução de Intensidade (níveis de cinza)



a b
c d

FIGURE 2.21
(a) 452×374 ,
256-level image.
(b)–(d) Image
displayed in 128,
64, and 32 gray
levels, while
keeping the
spatial resolution
constant.

Quantização / Resolução de Intensidade (níveis de cinza)

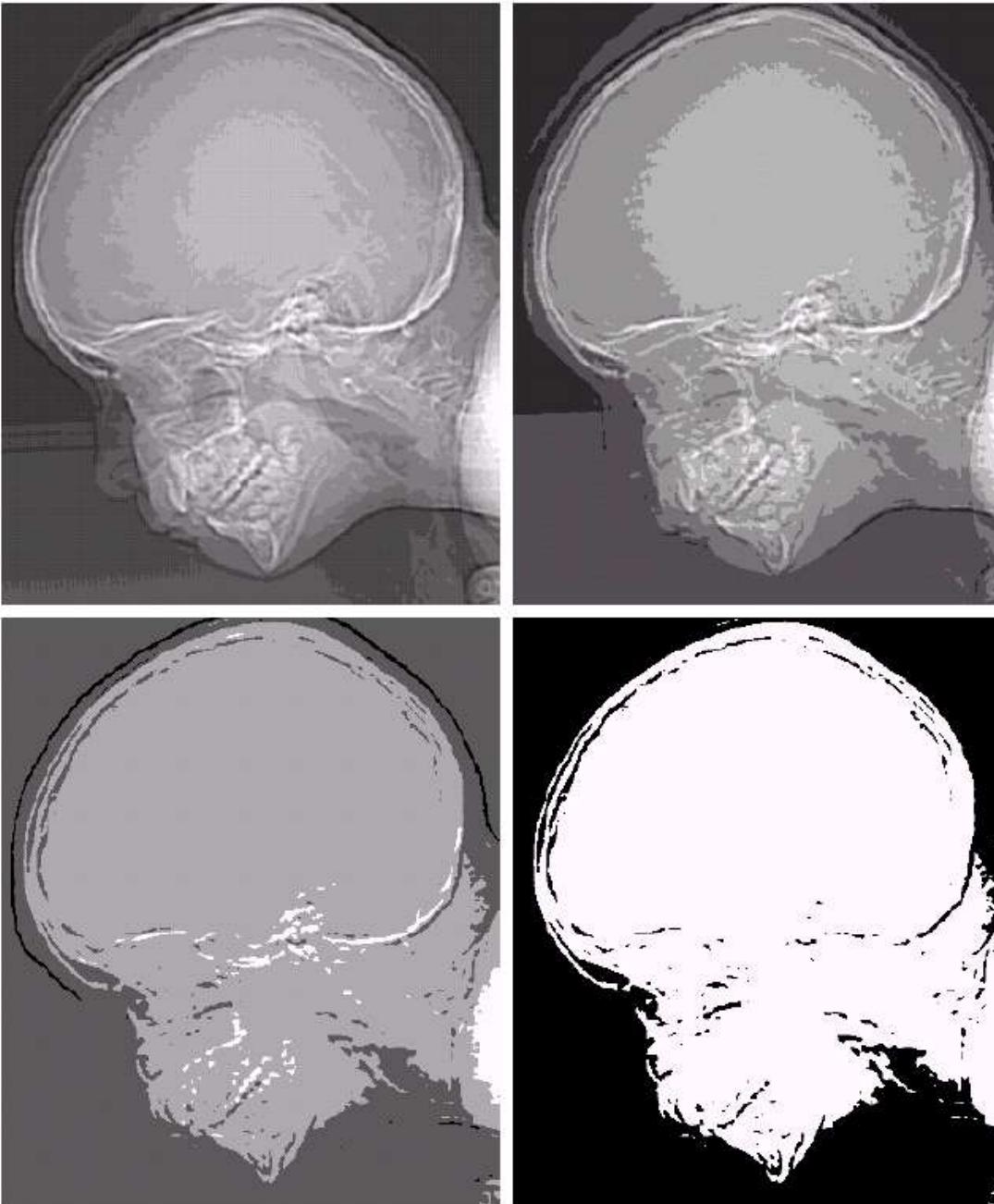


FIGURE 2.21
(Continued)
(e)–(h) Image displayed in 16, 8, 4, and 2 gray levels. (Original courtesy of Dr. David R. Pickens, Department of Radiology & Radiological Sciences, Vanderbilt University Medical Center.)

Aquisição e Representação

- Curva de isopreferência
 - Qualidade subjetiva da imagem VS quantidade de níveis de cinza (resolução de amplitude)
 - Em geral, quanto mais detalhes na imagem, menos importa a resolução em níveis de cinza

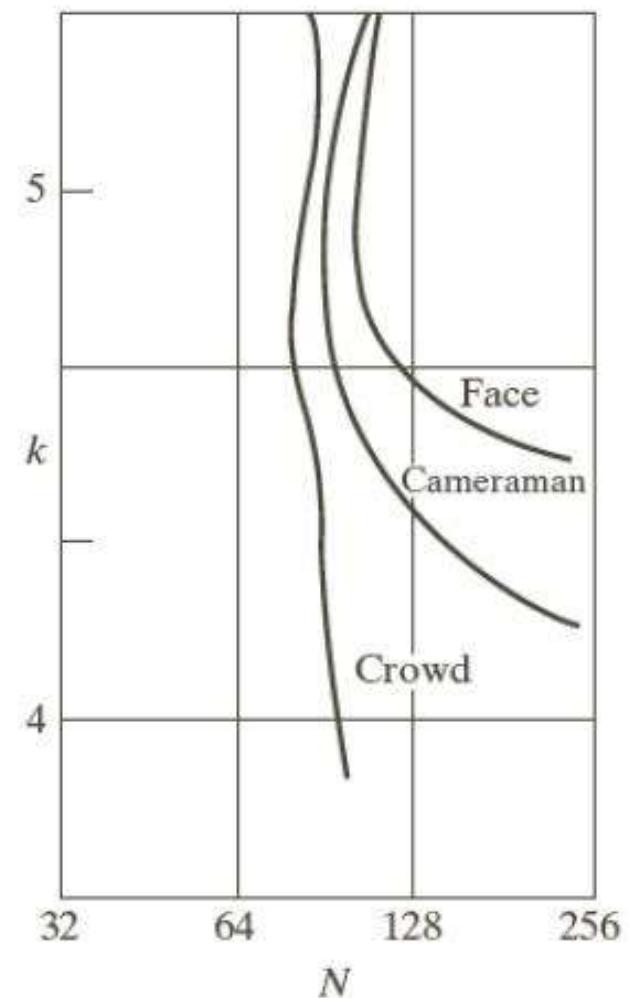
Exemplo



a b c

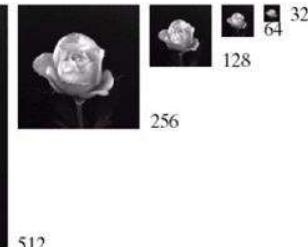
FIGURE 2.22 (a) Image with a low level of detail. (b) Image with a medium level of detail. (c) Image with a relatively large amount of detail. (Image (b) courtesy of the Massachusetts Institute of Technology.)

FIGURE 2.23
Typical
isopreference
curves for the
three types of
images in
Fig. 2.22,

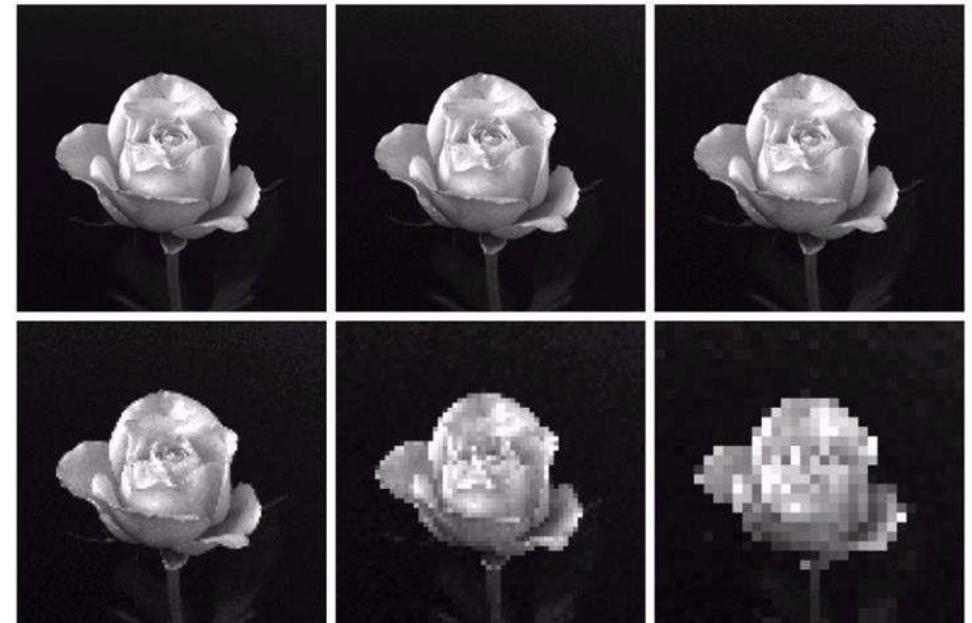


Voltando à reamostragem

- Por que, ao reamostrar, a qualidade subjetiva é baixa?



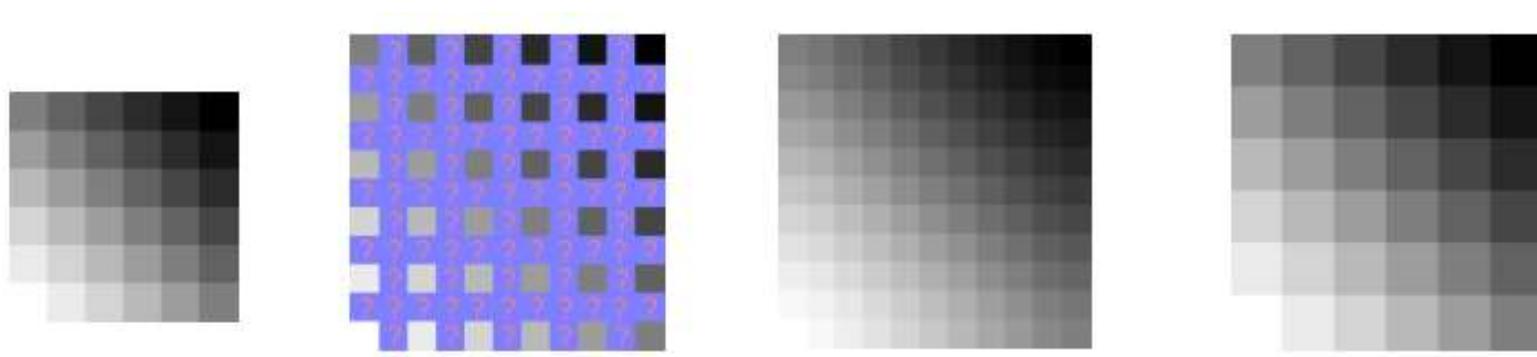
32
64
128



- Interpolação?
 - Minimizar o efeito “quadriculado” da imagem

Interpolação

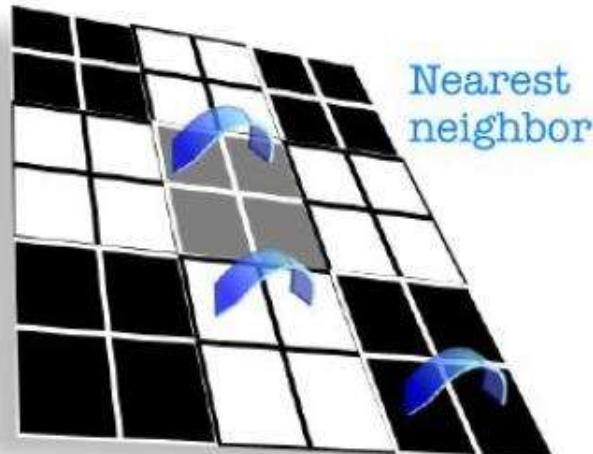
- Ao “esticar” uma imagem digital (sinal discreto em geral), devem-se preencher os “buracos” que ficam (pixels que não havia antes)



- Alguns tipos de interpolação
 - Vizinho mais próximo: copia-se o valor
 - Bilinear (horizontal + vertical)
 - Bicúbica (horizontal + vertical + diagonais)

Interpolação

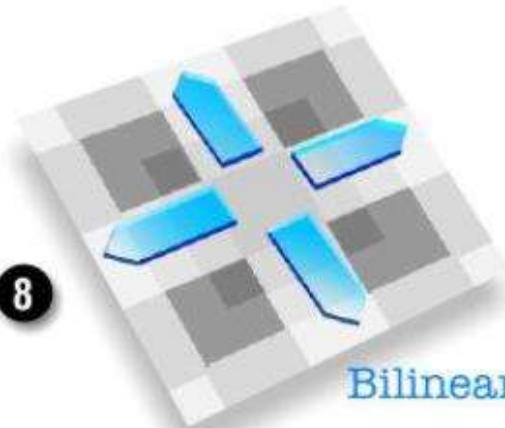
7



Nearest
neighbor

Nearest Neighbor calculation for new pixels uses the simplest of math for reassigning picture elements.

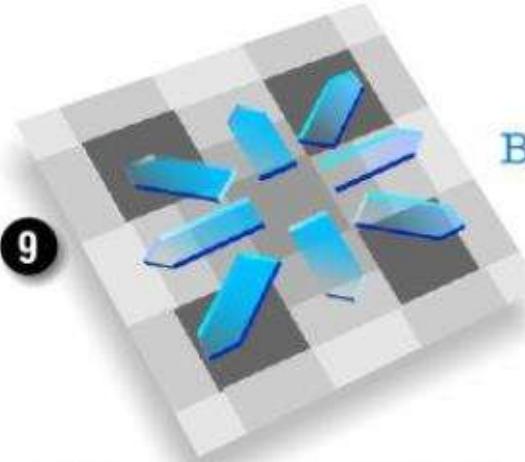
8



Bilinear

Bilinear Interpolation creates new pixels based on color averages from both the horizontal and vertical neighbors of the area to be resized.

9



Bicubic

Bicubic interpolation is the most artistically pleasing method for resampling an image.

Exemplo



FIGURE 2.24 (a) Image reduced to 72 dpi and zoomed back to its original size (3692×2812 pixels) using nearest neighbor interpolation. This figure is the same as Fig. 2.20(d). (b) Image shrunk and zoomed using bilinear interpolation. (c) Same as (b) but using bicubic interpolation. (d)–(f) Same sequence, but shrinking down to 150 dpi instead of 72 dpi [Fig. 2.24(d) is the same as Fig. 2.20(c)]. Compare Figs. 2.24(e) and (f), especially the latter, with the original image in Fig. 2.20(a).

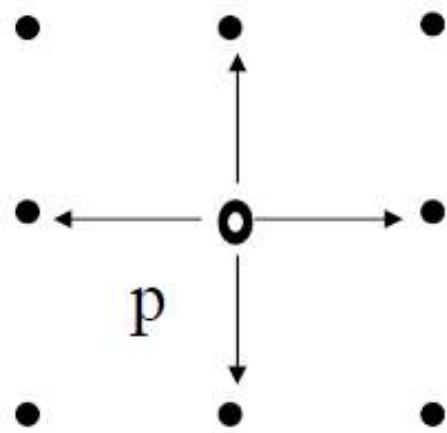
Relações entre pixels

- Vizinhança
 - Conjunto de pixels em um determinado conjunto contendo um determinado pixel “central”
 - N4
 - Pixels vizinhos na horizontal e vertical de um pixel p: $N_4(p)$
 - Nd
 - Pixels vizinhos na diagonal de um pixel p: $N_d(p)$
 - N8
 - União de $N_4(p)$ com $N_d(p)$: Vizinhos na horizontal, vertical ou diagonal

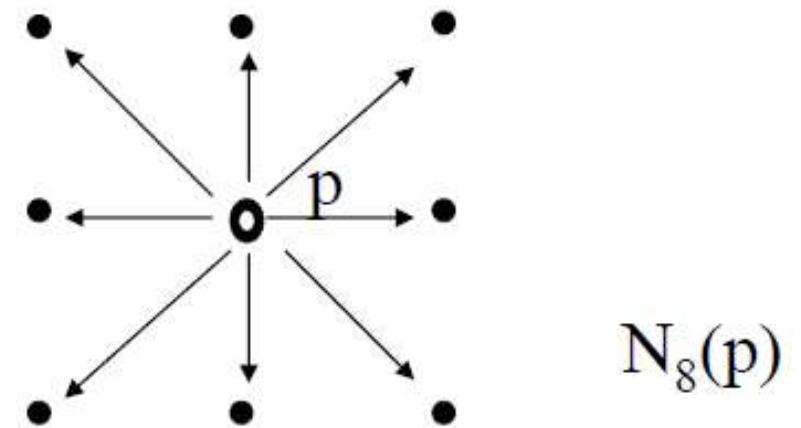
Relações entre pixels

- Vizinhança
 - Conjunto de pixels em um determinado conjunto contendo um determinado pixel “central”
 - N4
 - Se $p=(x,y)$: $N_4(p) = \{(x+1,y), (x,y+1), (x-1,y), (x,y-1)\}$
 - Nd
 - Se $p=(x,y)$: $N_d(p) = \{(x+1,y+1), (x-1,y-1), (x+1,y-1), (x-1,y+1)\}$
 - N8
 - $N_8(p) = N_4(p) \cup N_d(p)$

Vizinhança



$N_4(p)$



$N_8(p)$

N_D	N_4	N_D
N_4	P	N_4
N_D	N_4	N_D

Relações entre pixels

- Adjacência
 - Conjunto de pixels vizinhos com valores de intensidade pertencentes a um conjunto V
 - Isto é, dois pixels são adjacentes se, além de serem vizinhos, seus níveis de cinza são “similares” segundo algum critério definido
 - Adjacência-4
 - Adjacência-8
 - Adjacência-d
 - Adjacência-m

Adjacências

- Se p e q são vizinhos N4 e, além disso, suas amplitudes pertencem a um mesmo conjunto V
- As adjacências ‘d’ e ‘8’ se definem analogamente
- Adjacência-m:
 - Dois pixels p e q são m-adjacentes se:
 - q pertence a $N_4(p)$
 - q pertence a $N_d(p)$ e $N_4(p) \cap N_4(q) = \text{vazio}$

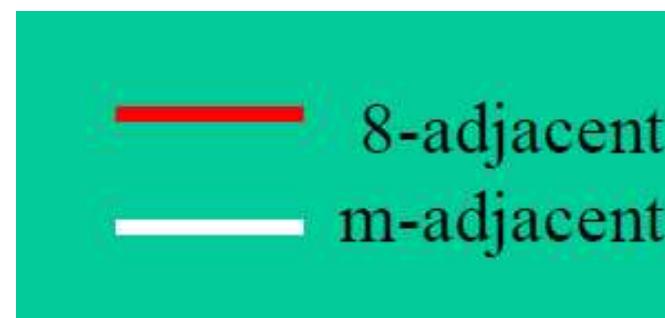
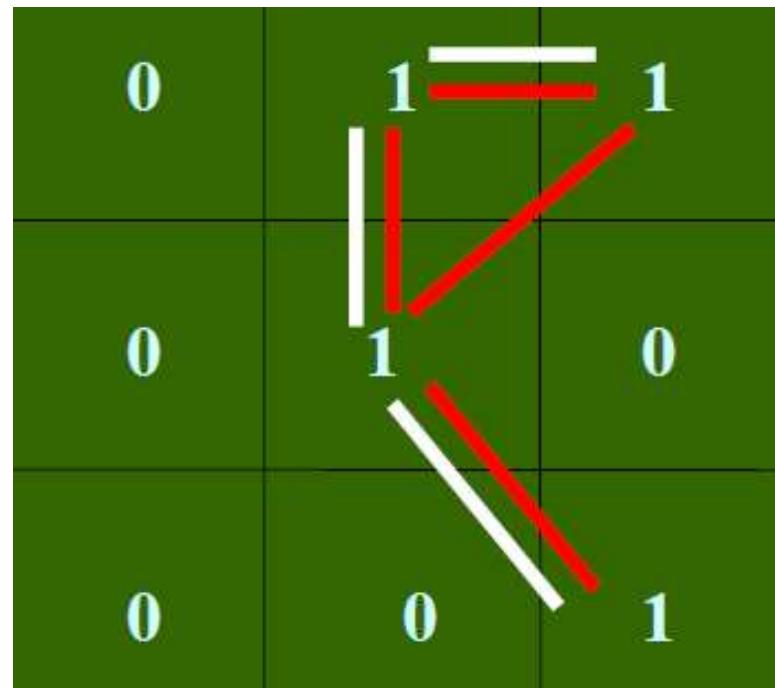
Adjacências

0	1	1		0	1	--	1	0	1	--	1
0	1	0		0	1	--	0	1	--	0	0
0	0	1		0	0	--	1	0	0	--	1
				0	0	0	0	0	0	0	0
	1	1	1		0	1	1	0	0	0	0
	1	0	1	R_i	0	1	1	0	0	1	0
	0	(1)	0		0	1	1	0	0	1	0
	0	0	(1)		0	1	(1)	1	0	1	0
a	b	c	R_j		0	1	1	1	0	1	0
d	e	f			0	0	0	0	0	0	0
1	1	1									

FIGURE 2.25 (a) An arrangement of pixels. (b) Pixels that are 8-adjacent (adjacency is shown by dashed lines; note the ambiguity). (c) m -adjacency. (d) Two regions that are adjacent if 8-adjacency is used. (e) The circled point is part of the boundary of the 1-valued pixels only if 8-adjacency between the region and background is used. (f) The inner boundary of the 1-valued region does not form a closed path, but its outer boundary does.

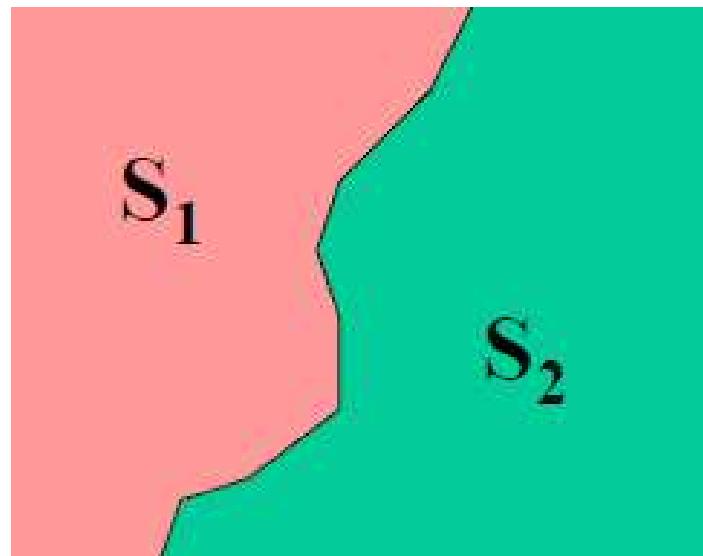
Adjacência

- Exemplo



Adjacência

- Dois subconjuntos S_1 e S_2 são *conjuntos adjacentes* se algum pixel de S_1 é adjacente a algum pixel de S_2



Caminhos e Conexidade

- Caminho
 - Sequência de pixels $(x_0, y_0); (x_1, y_1); \dots; (x_n, y_n)$ onde cada par $\{(x_{k-1}, y_{k-1}); (x_k, y_k)\}$ é adjacente.
 - Diz-se que n é o *comprimento* do caminho
 - Se $(x_0, y_0) = (x_n, y_n)$ diz-se que o caminho é *fechado*
- Conexidade
 - Dois pixels p e q são *conexos* se existe um caminho entre p e q .
 - Um *conjunto S de pixels* é *conexo* quando qualquer par de pixels em S é um par de pixels conexos.
 - Um *componente conexo* contendo um pixel p é a união de todos os conjuntos conexos contendo p .
 - Um conjunto S é um *conjunto conexo* quando só possui um componente conexo

Regiões e Contornos

- Um conjunto R é uma *região* de uma imagem quando é um conjunto conexo.
- A *borda* de uma região R é o conjunto de pixels pertencentes a R que são vizinhos de pelo menos um pixel no complemento de R (também chamado de *background*)
- Note que todas estas definições dependerão do tipo de adjacência e vizinhança que escolhemos!

Distância entre pixels

- Sejam p , q e z pixels de uma imagem. Diz-se que uma função D é uma distância quando satisfaz as propriedades:
 - 1) $D(p,q) \geq 0$ ($D(p,q) = 0$ sss $p=q$)
 - 2) $D(p,q) = D(q,p)$
 - 3) $D(p,q) + D(q,z) \geq D(p,z)$

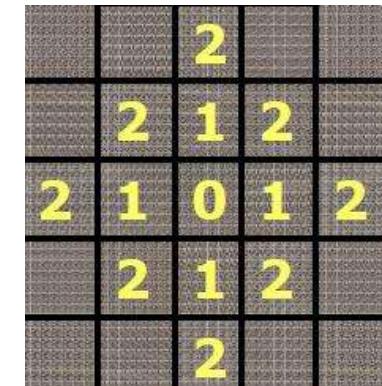
Distância entre pixels

- Considere $p=(x,y)$, $q=(s,t)$
- Distância euclidiana

$$D_e(p,q) = [(x-s)^2 + (y-t)^2]^{1/2}$$

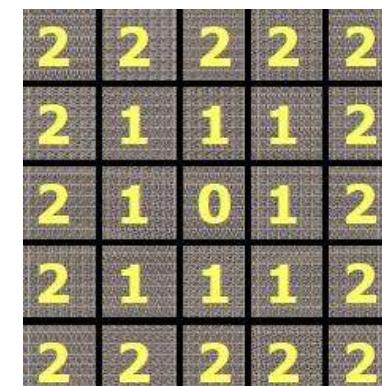
- Distância D4 (*city block*)

$$D_4(p,q) = |x-s| + |y-t|$$



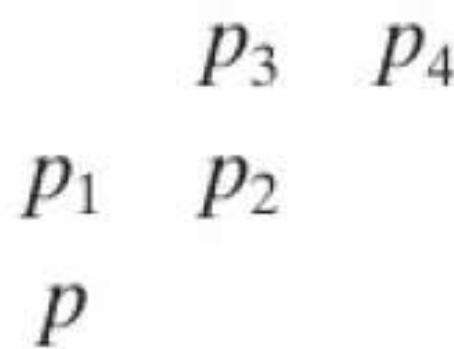
- Distância D8 (tabuleiro de xadrez)

$$D_8(p,q) = \max(|x-s|, |y-t|)$$



Distância entre pixels

- Distância D_m (menor caminho-m)
 - Considere que os valores em p , p_2 e p_4 sejam 1
 - Se os valores em p_1 e p_3 são 0:
 - Então: $D_m(p, p_4) = 2$
 - Mas, se o valor em p_1 é 1:
 - Então: $D_m(p, p_4) = 3$



Conceito de vizinhança

- Várias operações sobre imagens podem ser realizadas sobre vizinhanças de pixels
- Em geral, a “intensidade” da operação varia com a escolha da vizinhança e dos “pesos” atribuídos aos pixels vizinhos