

Computação Visual

Ciência da Computação

Prof. André Kishimoto
2024

Referências

Este material foi baseado e adaptado a partir das seguintes referências:

- **Biology for AP® Courses**

ZEDALIS, J. et al.

OpenStax, 2018.

- **Computação Gráfica: teoria e prática vol. 2**

AZEVEDO, E.; CONCI, A.; LETA, F.

Alta Books, 2022.

- **Processamento digital de imagens, 3ª ed.**

GONZALES, R. C.; WOODS, R. C.

Pearson Prentice Hall, 2010.

- **Fundamentos da Imagem Digital (slides de aula)**

CRUNIVEL, L., 2012.

Olho humano e visão

- O olho é uma quase esfera com diâmetro médio de ~20mm.
- Três membranas revestem o olho:
 - Córnea e a cobertura externa da esclera
 - Coroide
 - Retina (mais interna)

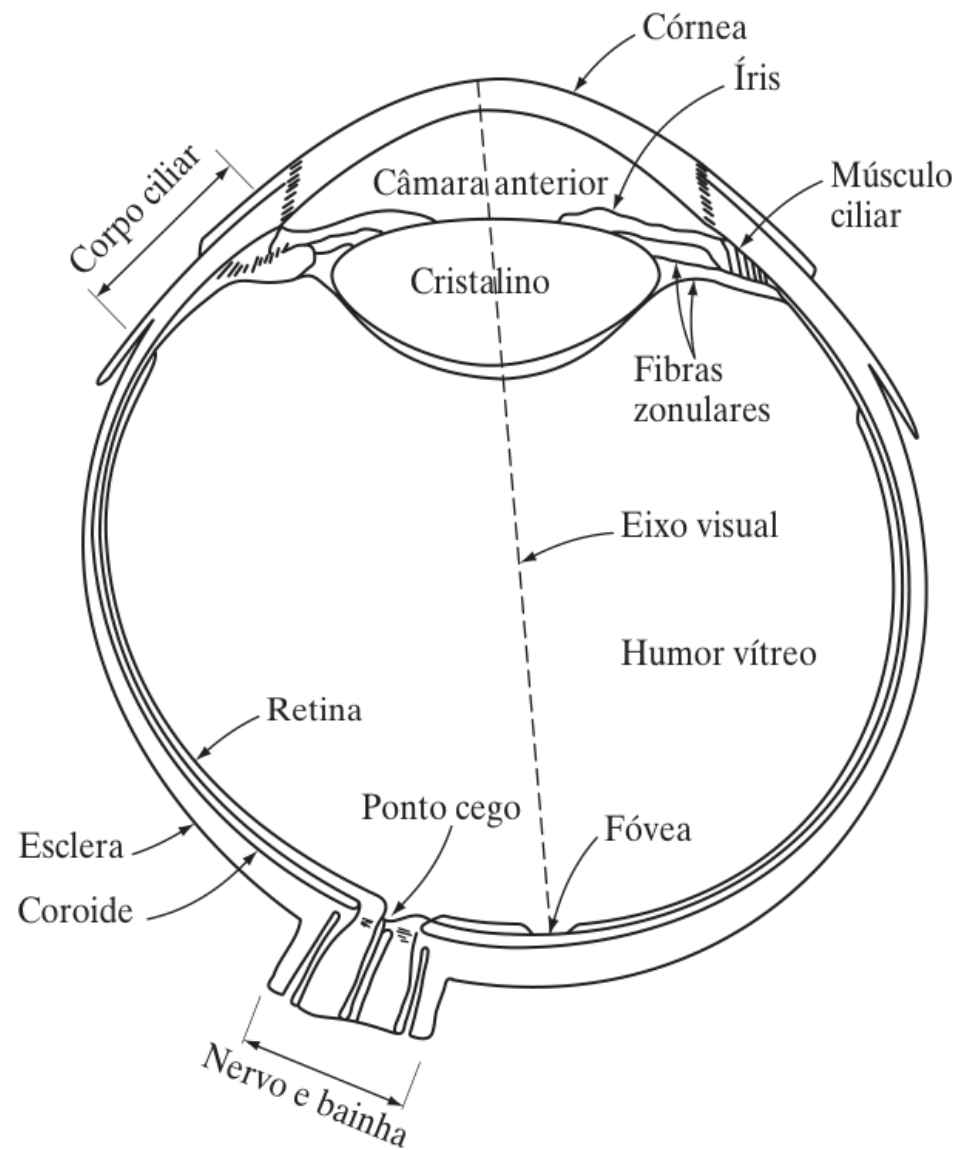


Figura 2.1 Diagrama simplificado de um corte transversal do olho humano.

Olho humano e visão

Principais partes do olho:

- **Íris:** Responsável pelo controle da quantidade de luz que entra no olho (regula a abertura da pupila).
- **Pupila:** Abertura central da íris.
 - Ambiente escuro? Pupila dilata.
 - Ambiente claro? Pupila contrai.
- **Cristalino:** Lente biconvexa responsável pelo foco.
- **Retina:** Reveste toda a parte posterior do globo ocular. Composta por células fotorreceptoras, responsáveis por converter raios de luz em impulso neural (formação de imagem).

Olho humano e visão

Receptores de luz encontram-se na região da retina e são classificados como:

- **Cones:** Cada olho possui ~6-7 milhões.
- **Bastonetes:** Cada olho possui ~75-150 milhões.

Olho humano e visão

Cones:

- Localizados principalmente na região central da retina (fóvea).
- Sensíveis à cor (percepção de cores).
- Cada cone é conectado à sua própria terminação nervosa.
 - Distinção de pequenos detalhes.
- Visão fotópica / visão de luz clara.
 - Daytime, color vision.

Olho humano e visão

Bastonetes:

- Distribuídos pela superfície da retina.
- Sensíveis a baixo níveis de iluminação (percepção de claro e escuro).
- Vários bastonetes conectados a uma única terminação nervos.
 - Imagem geral do campo de visão.
- Visão escotópica / visão de luz escura.
 - Peripheral and nighttime vision.

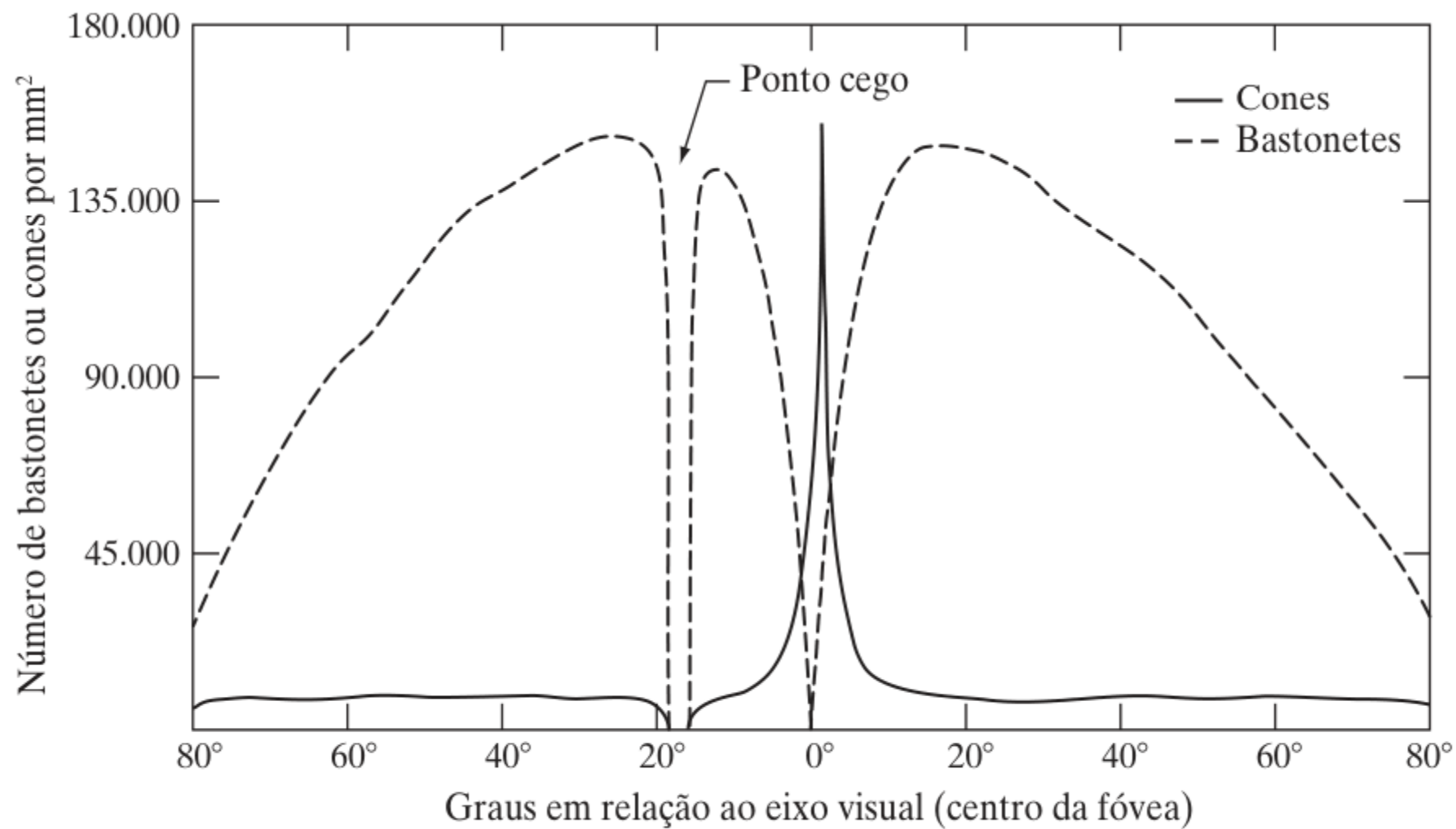


Figura 2.2 Distribuição de bastonetes e cones na retina.

Olho humano e visão

Formação da imagem no olho

- A imagem é refletida na região da fóvea (retina).
- A focalização da imagem é obtida com a variação no formato do cristalino.
 - Objetos próximos:
 - As fibras zonulares espessam o cristalino.
 - Distância entre o centro do cristalino e a retina ~14mm.
 - Objetos distantes (~3m+):
 - As fibras zonulares achatam o cristalino.
 - Distância entre o centro do cristalino e a retina ~17mm.

Como curiosidade, conhecendo-se as dimensões do globo ocular e a distância do objeto focado em relação ao observador, é possível determinar o tamanho que a imagem desse objeto vai assumir na retina (Figura 2.5).

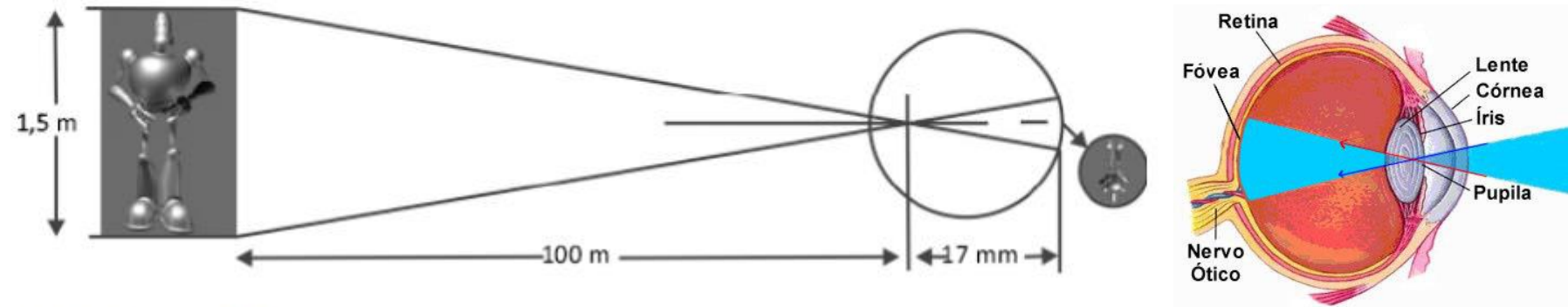


FIGURA 2.5. *Relações de tamanho.*

Assim pela Figura 2.5, tem-se:

$$\frac{1,5}{100} = \frac{x}{17}$$
$$x = 0,255 \text{ mm}$$

Portanto, a imagem do robô de 1,5 m projetada dentro do olho humano terá o tamanho de 0,255 mm.

Olho humano e visão

Adaptação do olho ao brilho

- A escala de níveis de intensidade luminosa que o sistema visual humano pode ser adaptar é da ordem de 10^{10} .
 - Escala do limiar escotópico ao limite de ofuscamento.
- O sistema visual humano não consegue operar simultaneamente ao longo dessa escala.
 - Variação é obtida por meio de mudanças na sensibilidade global, fenômeno conhecido como *adaptação ao brilho*.
 - A escala de níveis de brilho que o olho pode perceber é bem menor do que a escala total de adaptação.
 - Nível atual de sensibilidade é denominado *nível de adaptação ao brilho* (pontos B_a e B_b).

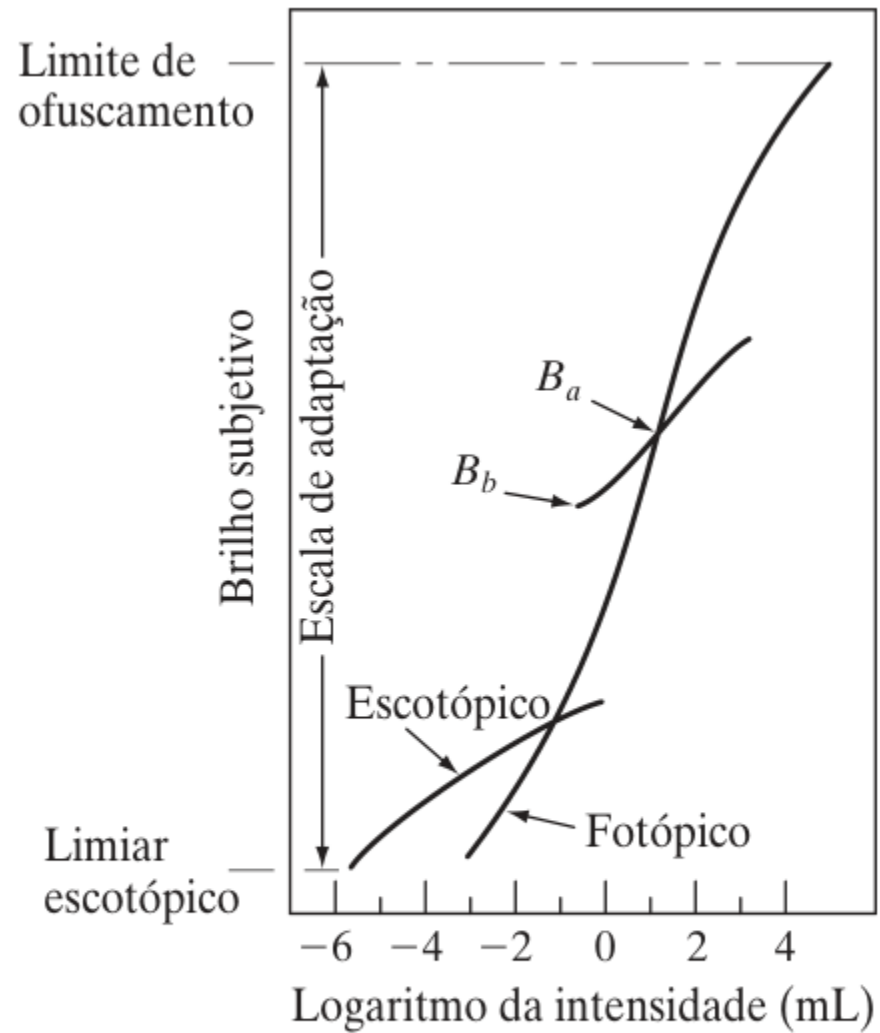


Figura 2.4 Escala de sensações subjetivas ao brilho mostrando um nível particular de adaptação.

Olho humano e visão

Mudança de intensidade da luz

- O brilho percebido (subjetivo) não é uma função de intensidade.
- **Bandas de Mach** (Ernst Mach, 1865): O sistema visual tende a subestimar ou superestimar os contornos entre as regiões de diferentes intensidades.
- **Contraste simultâneo**: O brilho percebido de uma região não depende simplesmente de sua intensidade.

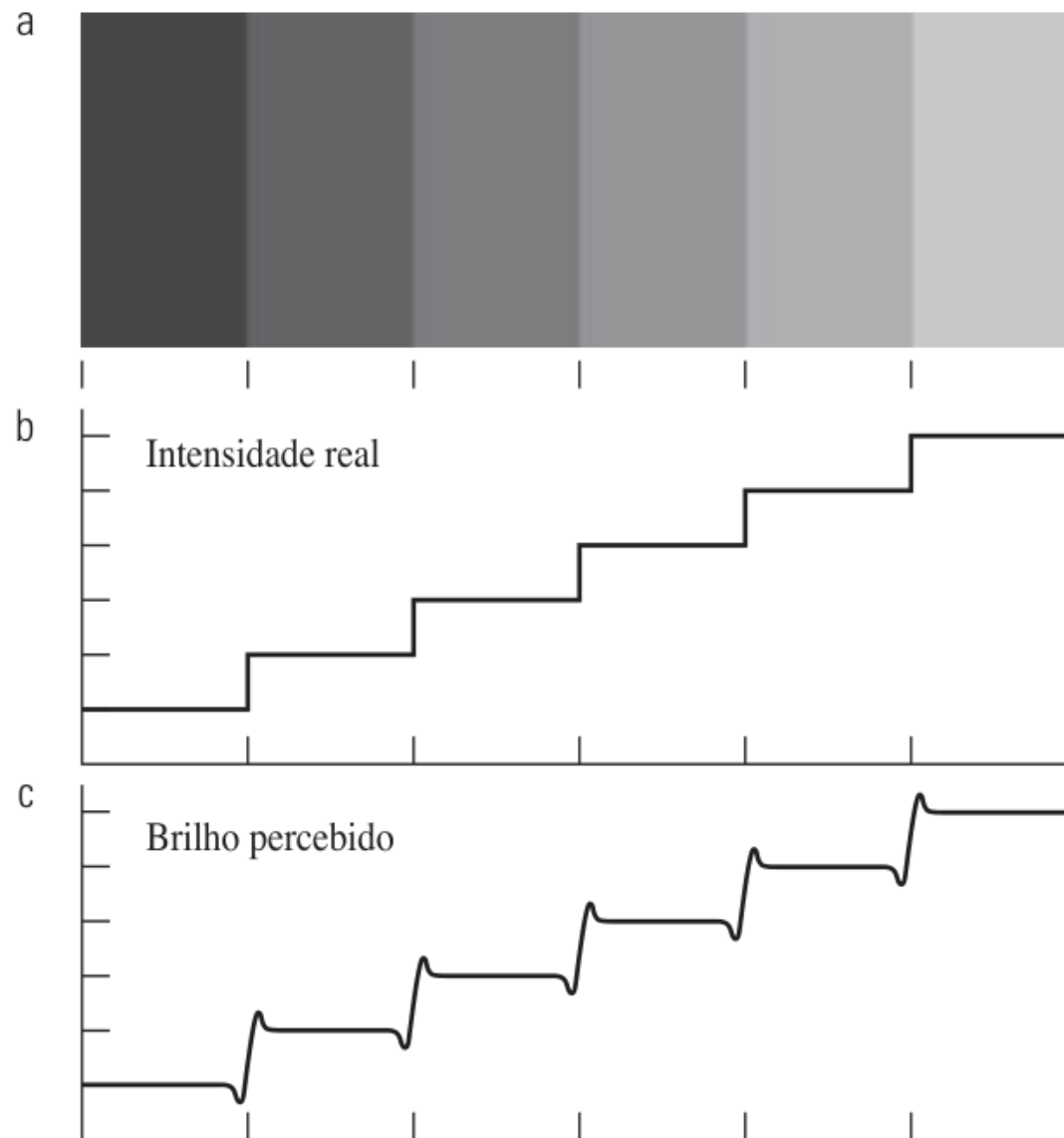


Figura 2.7 Ilustração do efeito de bandas de Mach. O brilho percebido não é uma simples função da intensidade real.

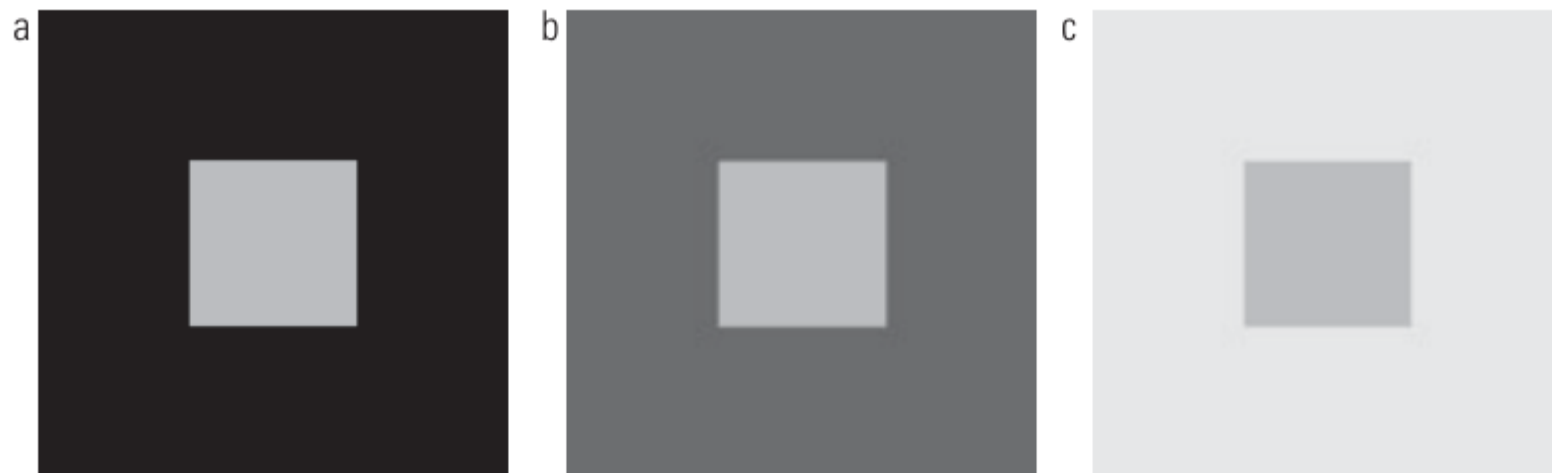
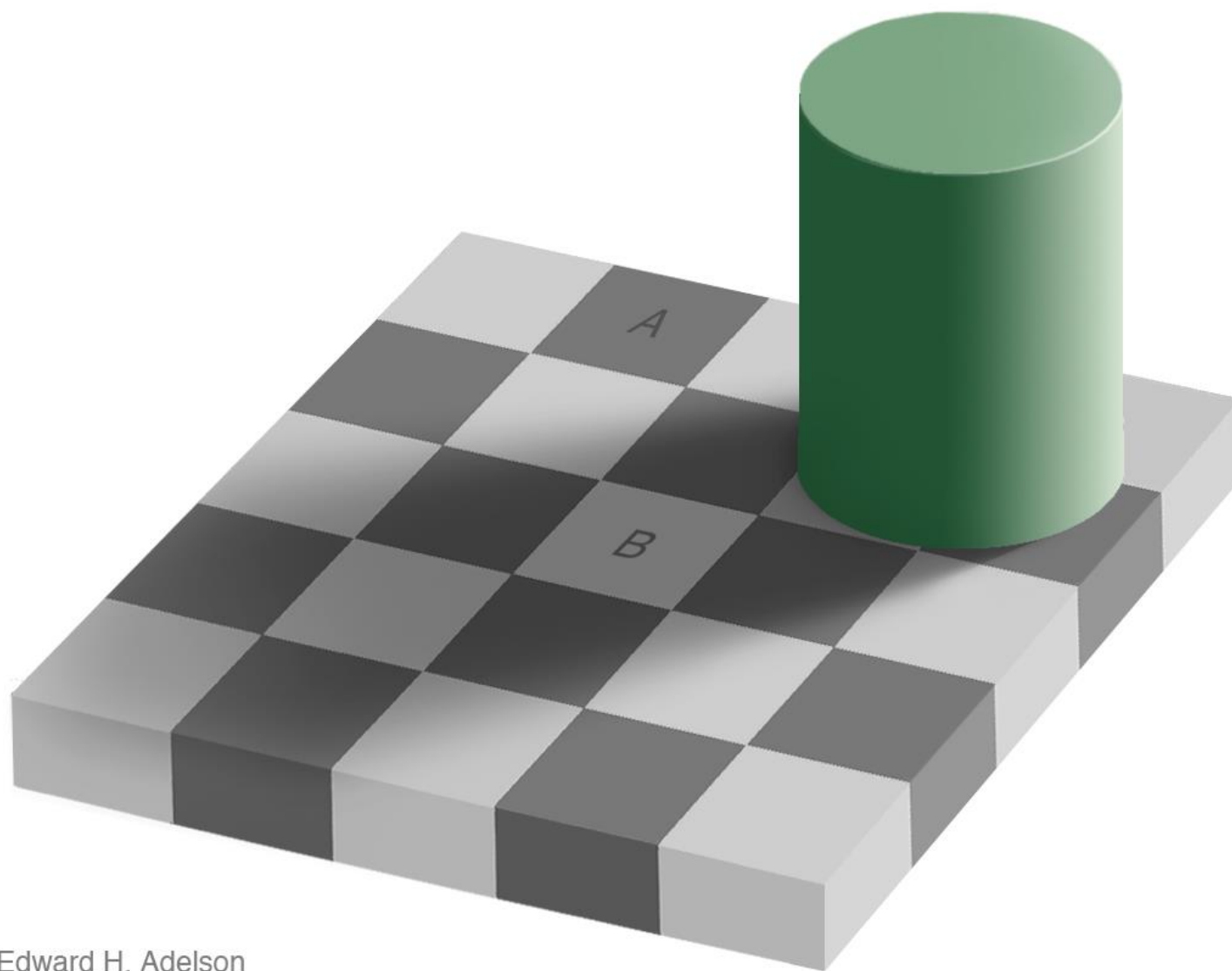
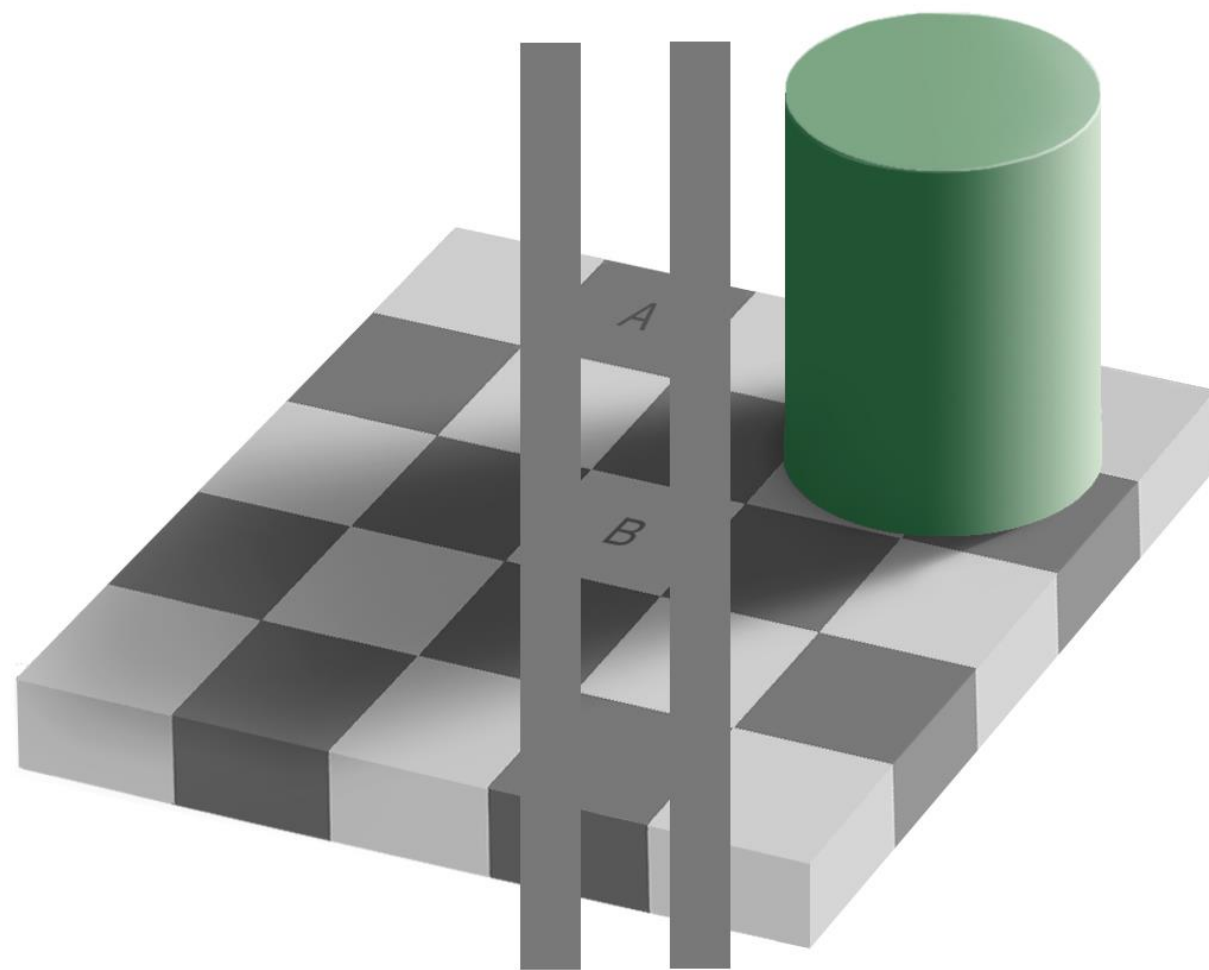
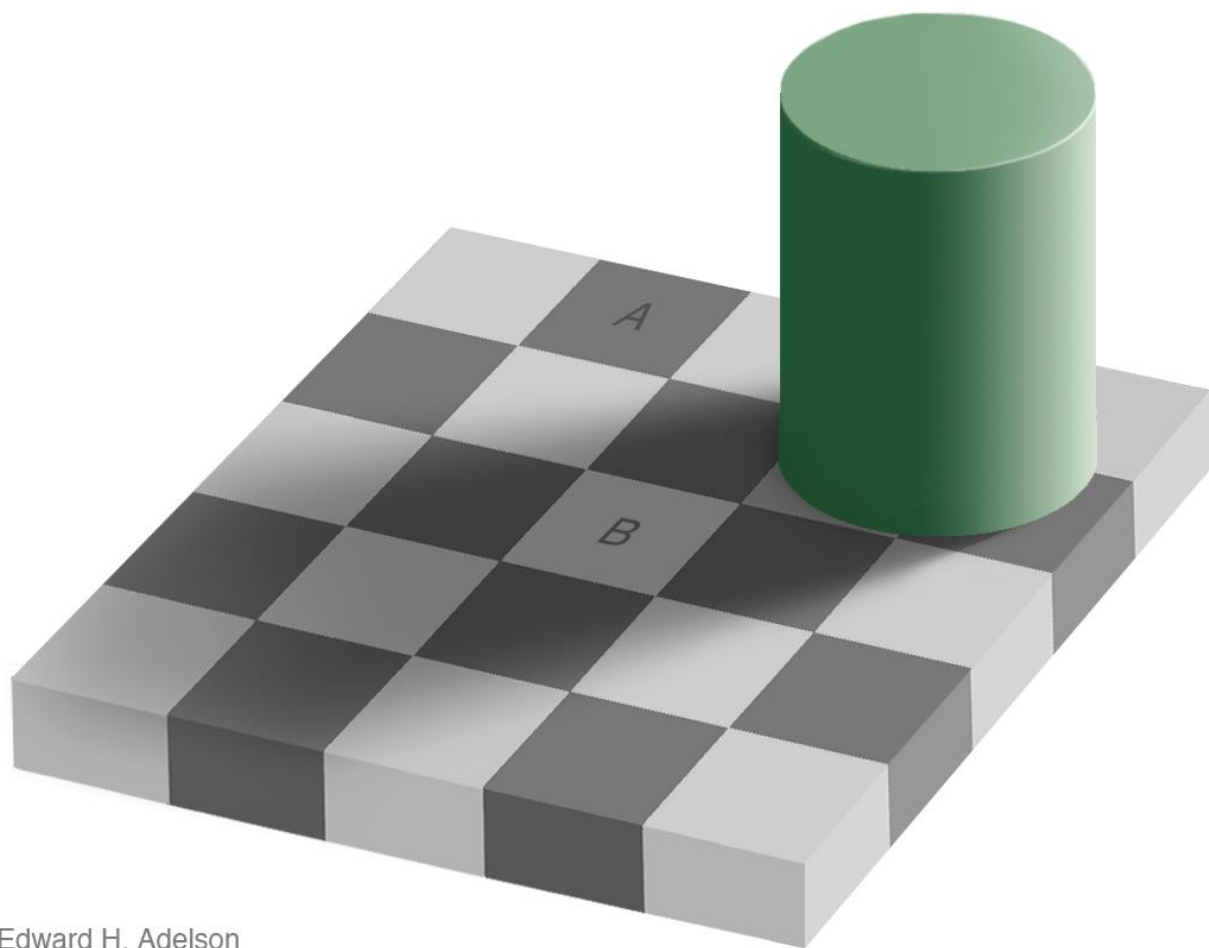


Figura 2.8 Exemplos de contraste simultâneo. Todos os quadrados menores possuem exatamente o mesmo nível de cinza, mas parecem progressivamente mais escuros à medida que o fundo da imagem fica mais claro.



Edward H. Adelson

Fonte: <https://persci.mit.edu/gallery/checkershadow> (ADELSON, E. H., 1995)



Edward H. Adelson

Olho humano e visão

Ilusão de ótica

- O olho preenche lacunas de informação na imagem.
- Percebe propriedades geométricas de objetos de maneira equivocada.

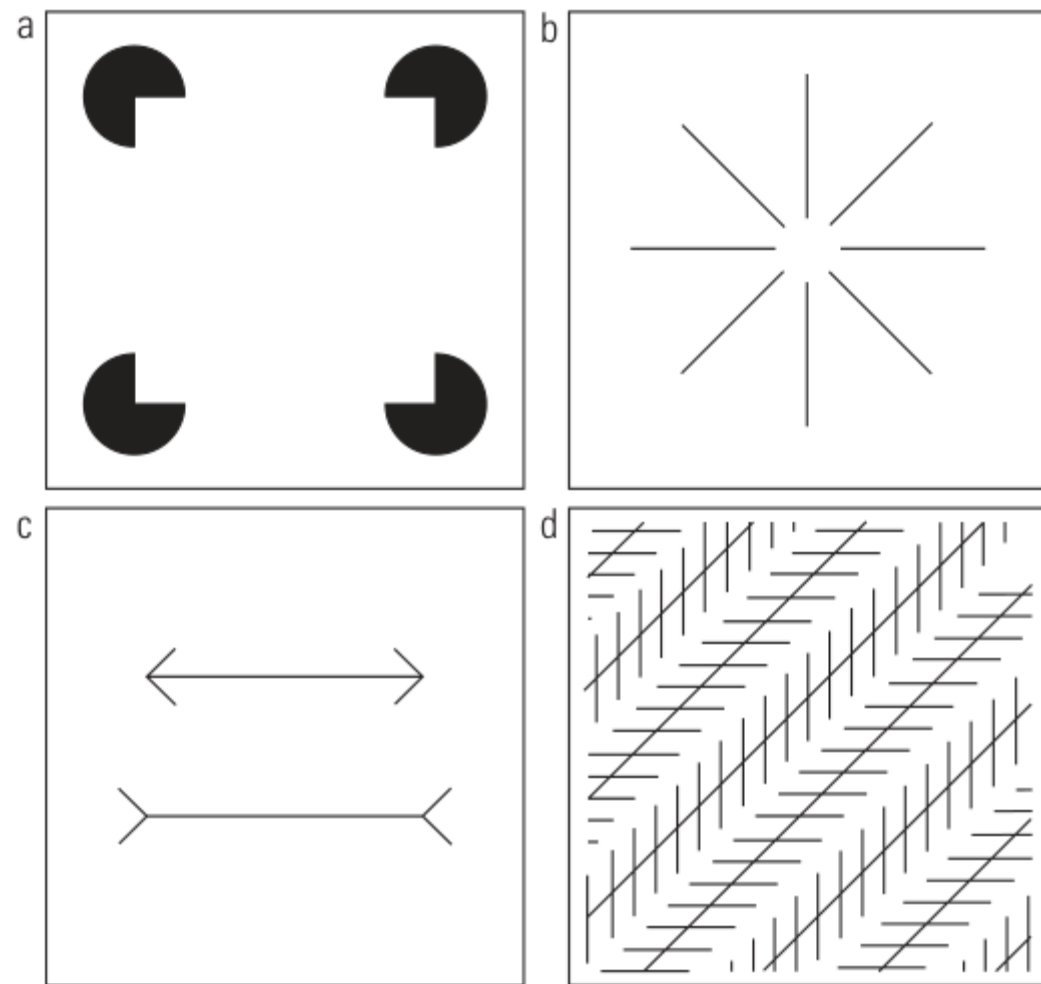


Figura 2.9 Algumas ilusões de ótica conhecidas.

Luz e espectro eletromagnético

- A variedade de cores observadas pelo sistema visual humano representa uma parcela muito pequena do **espectro eletromagnético**.
- Espectro formado por ondas senoidais com as seguintes características:
 - Vários comprimentos.
 - Se deslocam em um padrão ondulatório.
 - Se movem na velocidade da luz.
- Espectro eletromagnético pode ser expresso em termos de comprimento de onda, frequência ou energia.

Luz e espectro eletromagnético

- **Comprimento de onda** (λ) é medido em metros (m).
- Termos usados constantemente:
 - Mícrons (μm): equivalente a 10^{-6} m.
 - Nanômetros (nm): equivalente a 10^{-9} m.

Luz e espectro eletromagnético

- **Frequência de onda** é medida em Hertz (Hz).
- 1 Hz equivale a um ciclo de onda senoidal por segundo.
- Quanto menor o comprimento de onda, maior será a sua frequência.

Luz e espectro eletromagnético

- **Energia de onda** é representada através de fóton (elétron-volt).
- No espectro eletromagnético, a energia é proporcional à frequência.
 - Fenômenos eletromagnéticos de frequência mais alta (comprimento de onda mais curto) apresentam mais energia por fóton.
 - As ondas de rádio possuem fótons de baixa energia.
 - Os raios gama possuem energia mais alta dentro do espectro (por isso são tão perigosos aos organismos vivos).

Luz e espectro eletromagnético

- As ondas do espectro eletromagnético estão distribuídas em uma escala que varia entre:
 - **Ondas de rádio: Comprimentos de onda** bilhões de vezes **maiores** do que os da luz visível pelo sistema visual humano.
 - **Raios gama: Comprimentos de onda** bilhões de vezes **menores** do que os da luz visível pelo sistema visual humano.

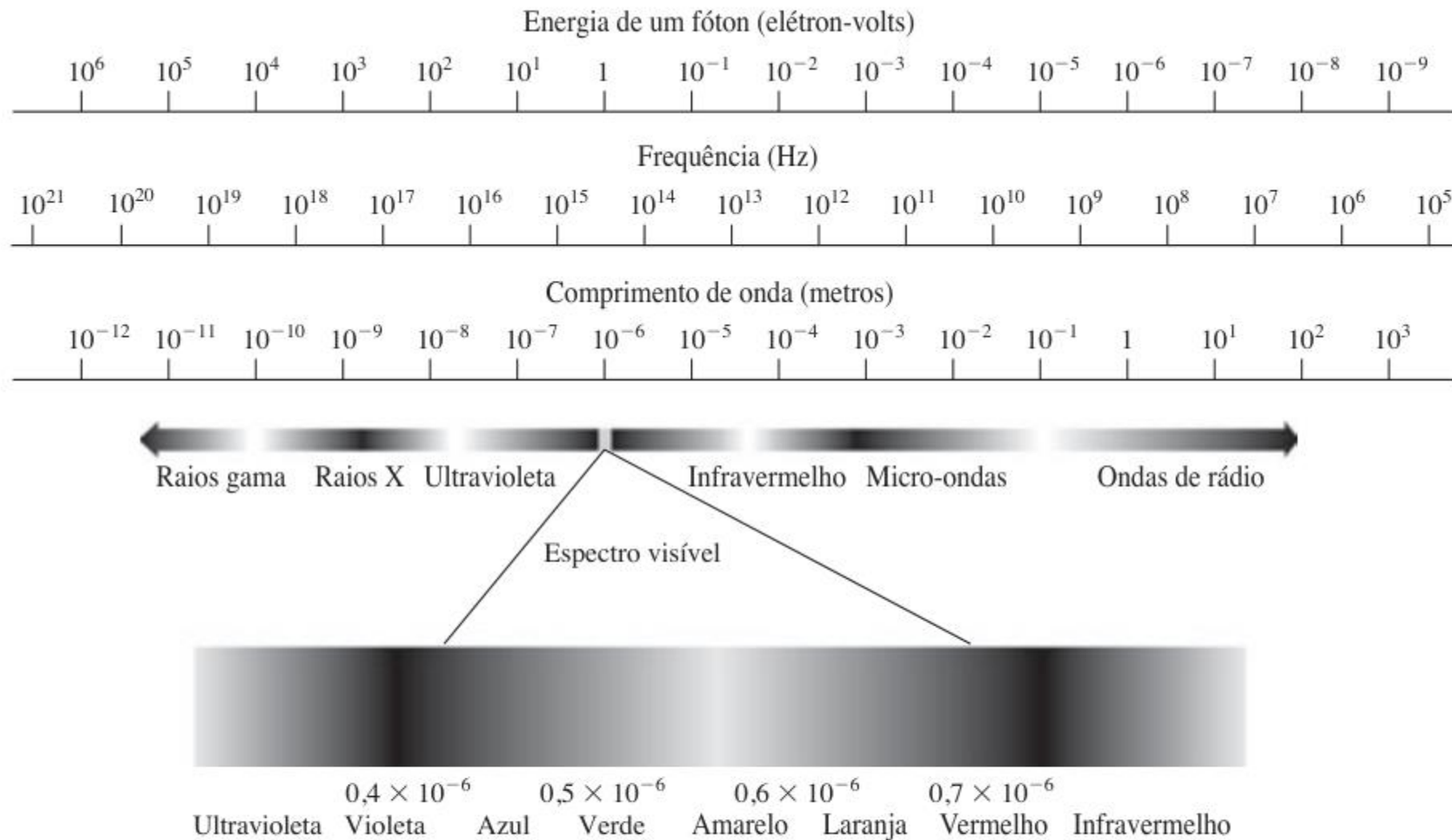
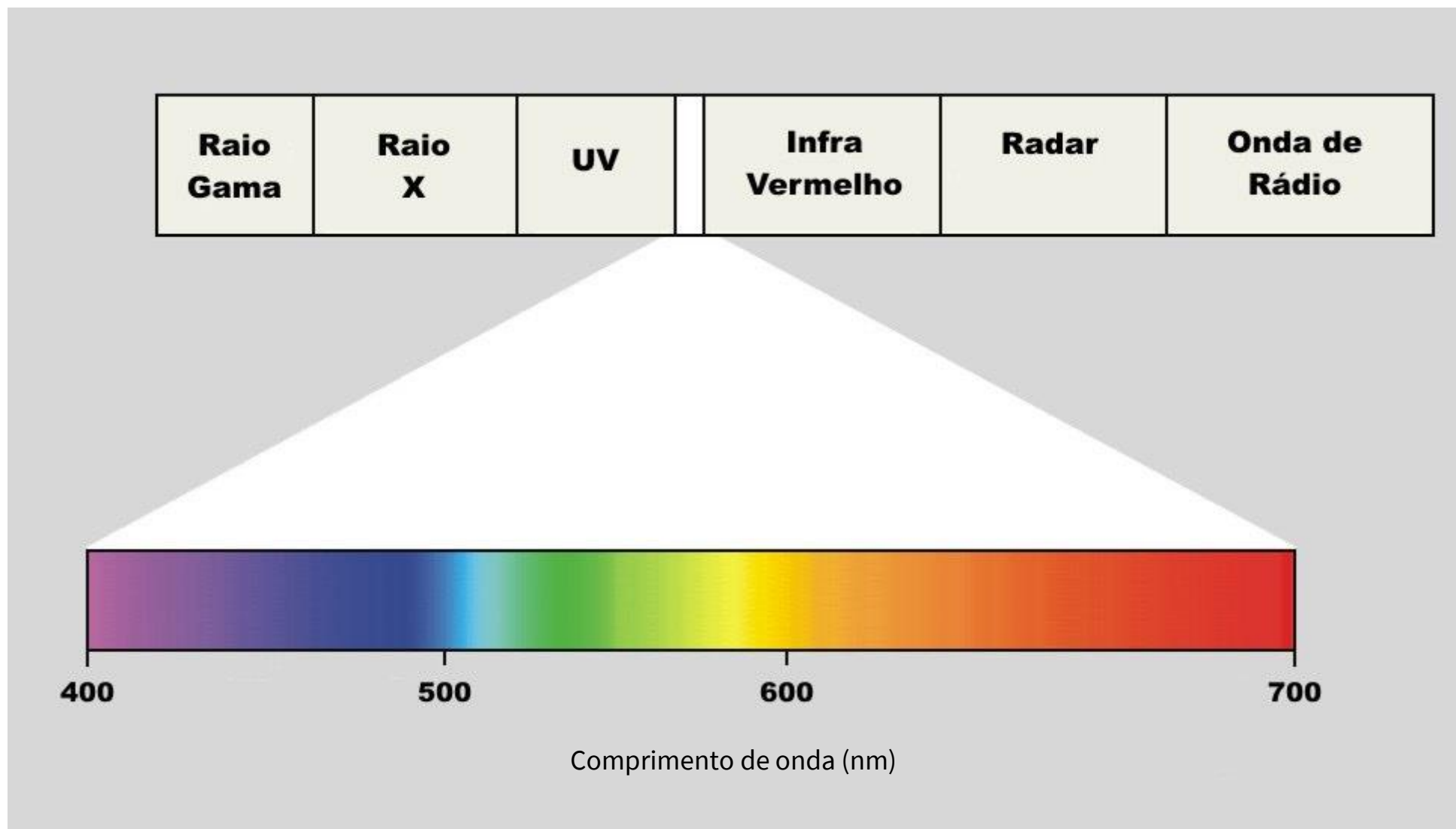


Figura 2.10 Espectro eletromagnético. O espectro visível foi ampliado na figura para facilitar a explicação, mas observe que o espectro visível representa uma parcela relativamente estreita do espectro EM.



Luz e espectro eletromagnético

- A luz é uma radiação eletromagnética que pode ser percebida pelo olho.
- O espectro visível de cores cobre uma faixa entre:
 - Violeta: 400nm ($\sim 0,43 \mu\text{m}$)
 - Vermelho: 700nm ($\sim 0,79 \mu\text{m}$)
- O espectro de cores é dividido em seis regiões:
 - Violeta, Azul, Verde, Amarelo, Laranja, Vermelho.
 - Nenhuma cor (ou outro componente do espectro eletromagnético) termina abruptamente.
 - Cada faixa se mistura gradativamente à próxima.

Luz e espectro eletromagnético

- Ao incidir entre dois meios, podem ocorrer três fenômenos com o raio de luz:
 - **Reflexão:** Devolução da radiação por uma superfície sem modificar a frequência dos componentes acromáticos.
 - **Transmissão:** Passagem de raios de luz através de um meio (ex. vidro). Parte da luz se perde pela absorção.
 - **Absorção:** Uma parte da luz incidente é absorvida pela superfície (a luz não se propaga no outro meio nem retorna ao meio de origem).
- Ao sair de um meio e entrar em outro, pode ocorrer a **refração**, quando um raio de luz tem a sua direção modificada.
 - **Dispersão:** Separar luz branca nas suas cores componentes passando através de um prisma de refração.

Luz e espectro eletromagnético

- As cores percebidas pelos humanos em um objeto são determinadas pela natureza da luz refletida pelo objeto.
- Um corpo que reflete uma luz relativamente equilibrada em todos os comprimentos de onda visíveis é percebido como branco.
- Um corpo que favorece a refletância em uma faixa limitada do espectro visível exibe alguns tons de cor.
 - Objetos verdes refletem luz com comprimentos de onda na faixa entre 500 e 570 nm, enquanto absorvem a maior parte da energia em outros comprimentos de onda.

Luz e espectro eletromagnético

- A luz sem cor é chamada de **luz monocromática** ou **acromática**.
- O único atributo é sua **intensidade** (quantidade).
- Variações de preto a tons de cinza até chegar ao branco.
 - Níveis ou tons de cinza, escala de cinza.
- Imagens monocromáticas são comumente chamadas de imagens em escala de cinza.

Luz e espectro eletromagnético

- A **luz cromática (colorida)** cobre o espectro de energia eletromagnética na faixa de $\sim 0,43 \mu\text{m}$ a $\sim 0,79 \mu\text{m}$ (espectro visível).
- Três medidas básicas descrevem a qualidade de uma fonte de luz cromática: radiância, luminância e brilho.

Luz e espectro eletromagnético

- **Radiância:** Quantidade total de energia emitida pela fonte de luz (W, watts).
- **Luminância:** Quantidade de energia que um observador *percebe* de uma fonte de luz (lm, lumens).
 - Luz de uma fonte infravermelha pode ter energia significativa (radiância), mas dificilmente seria percebida por um observador (luminância quase zero).
- **Brilho:** Descritor subjetivo da percepção da luz (praticamente impossível de mensurar).
 - Incorpora noção acromática de intensidade.
 - Um dos principais fatores na descrição da sensação de cores.

Luz e espectro eletromagnético

- Se um sensor capaz de detectar energia irradiada por uma banda do espectro eletromagnético puder ser desenvolvido, é possível criar imagens de eventos de interesse nessa banda.
- O comprimento de onda de uma onda eletromagnética que é necessário para “ver” um objeto deve ser do mesmo tamanho ou menor que o objeto.
- Exemplo: Molécula de água:
 - Diâmetro na ordem de 10^{-10}m .
 - Necessário fonte capaz de emitir na região ultravioleta/raio X.

Wavelength
(meters)



About the size of...



Buildings



Humans



Honeybee



Pinpoint



Protozoans



Molecules

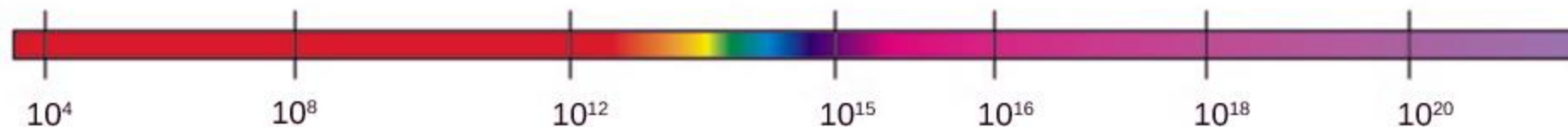


Atoms



Atomic nuclei

Frequency
(Hz)

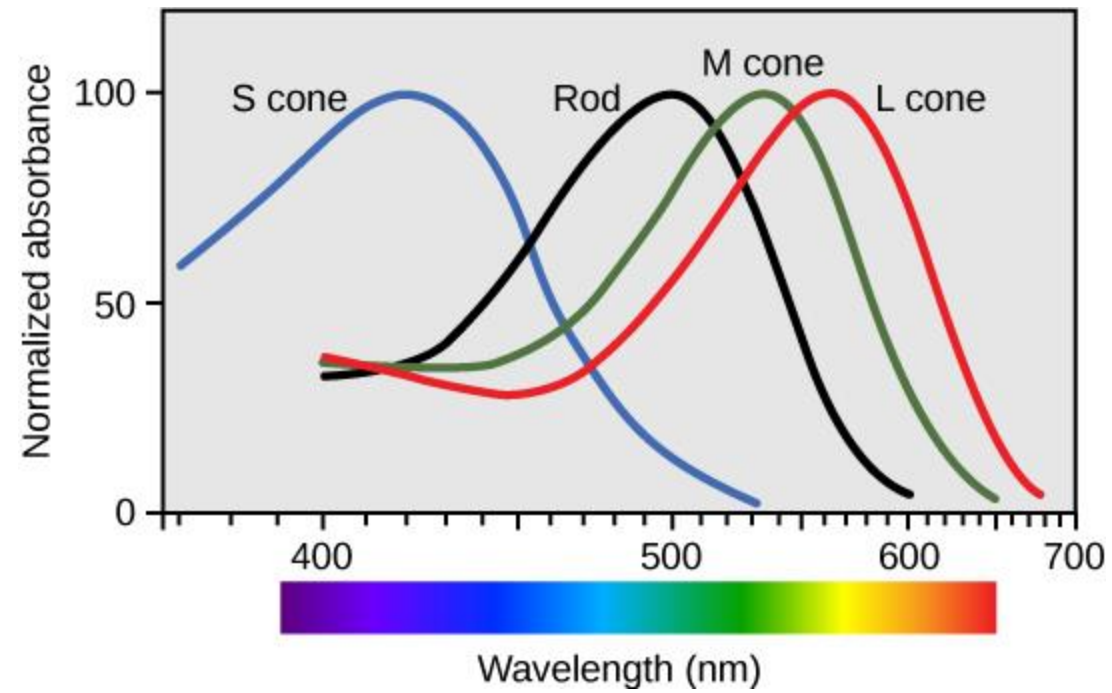


Teoria Tricromática

Apenas três tipos de receptores da retina são necessários operando com sensibilidades a diferentes comprimentos de onda. É baseada na existência de três tipos de cores primárias.

Teoria de Maxwell

Os três cones existentes na retina são sensíveis respectivamente ao vermelho (R), ao verde (G) e ao azul (B), chamadas *cores primárias de luz*.



Sensores e aquisição de imagens

- A maioria das imagens que estamos interessados é gerada pela combinação de uma fonte de “iluminação” e a reflexão ou absorção de energia dessa fonte pelos elementos da “cena”.
- Três principais tipos de sensores usados para transformar a energia de iluminação em imagens digitais:
 - Único sensor: Gera uma saída em forma de onda.
 - Sensores de linha: Usados em scanners e satélites.
 - Sensores de área: Usados em câmeras digitais.

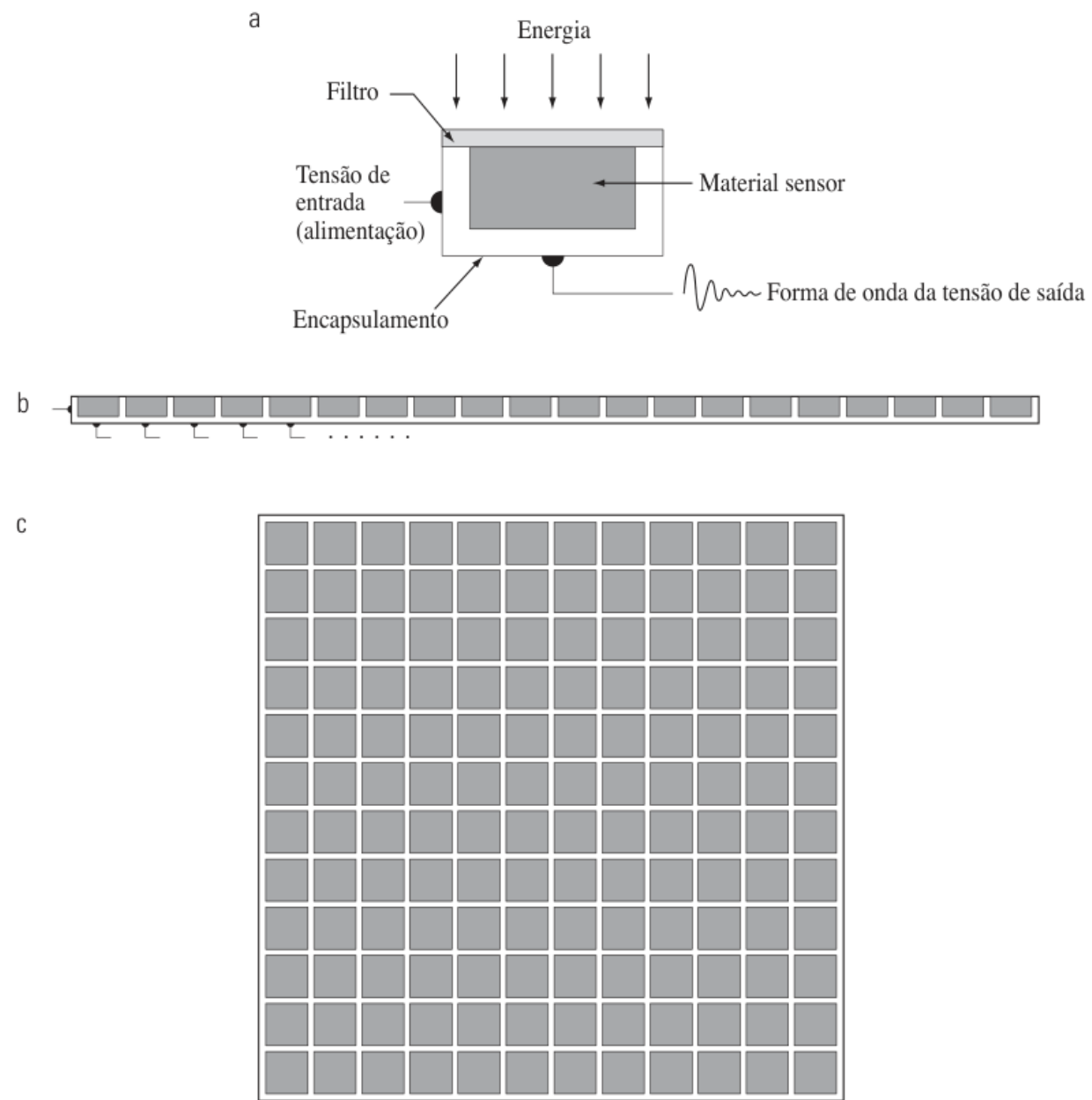


Figura 2.12 (a) Um único sensor de aquisição de imagens. (b) Sensores de linha. (c) Sensores de área (matricial).

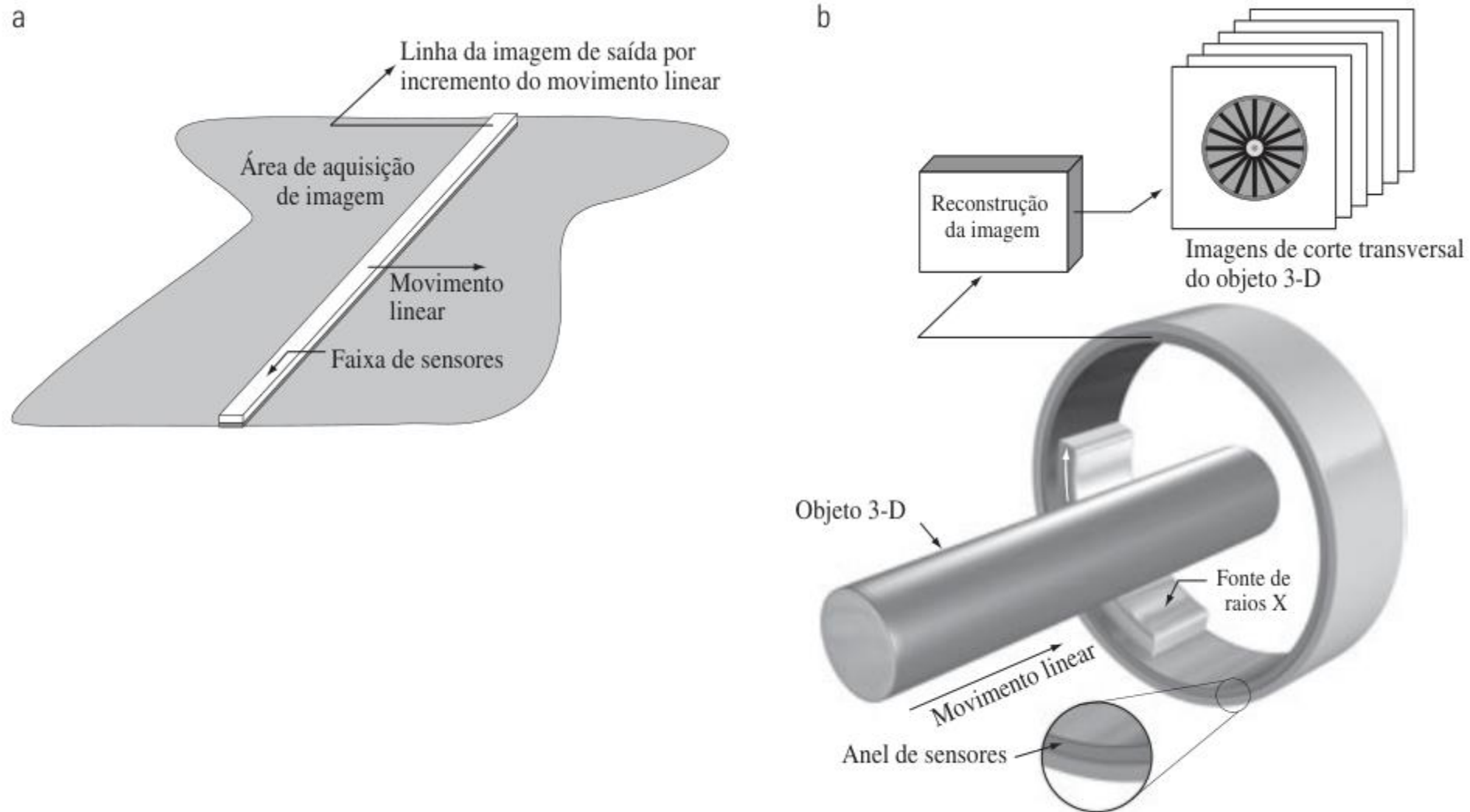


Figura 2.14 (a) Aquisição de imagens utilizando um arranjo plano de sensores por varredura de linha. (b) Aquisição de imagens utilizando um arranjo circular de sensores por varredura de linha.

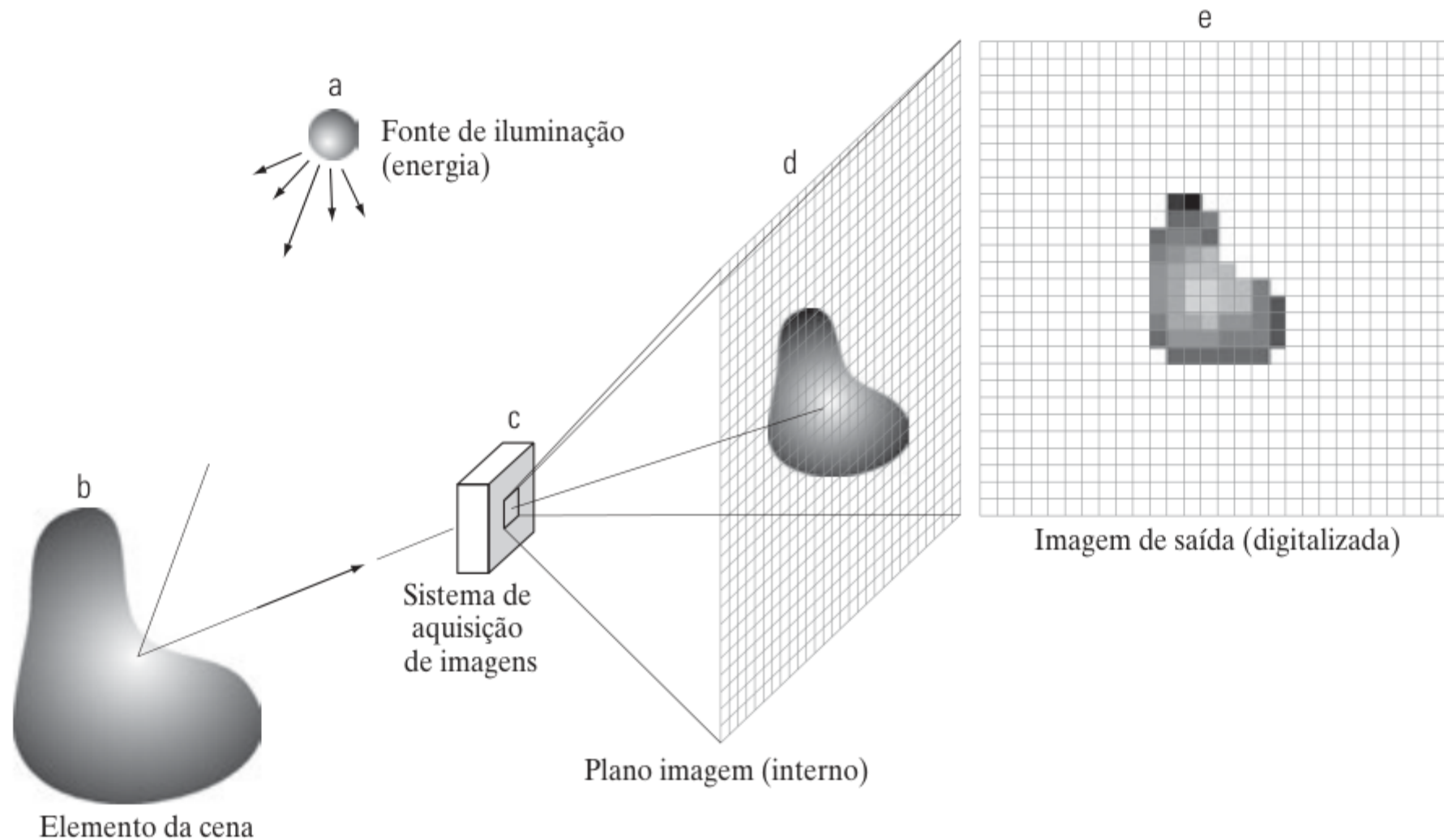


Figura 2.15 Exemplo do processo de aquisição de uma imagem digital (a) Fonte de energia (“iluminação”). (b) Um elemento de uma cena. (c) Sistema de aquisição de imagens. (d) Projeção da cena no plano imagem. (e) Imagem digitalizada.