

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)

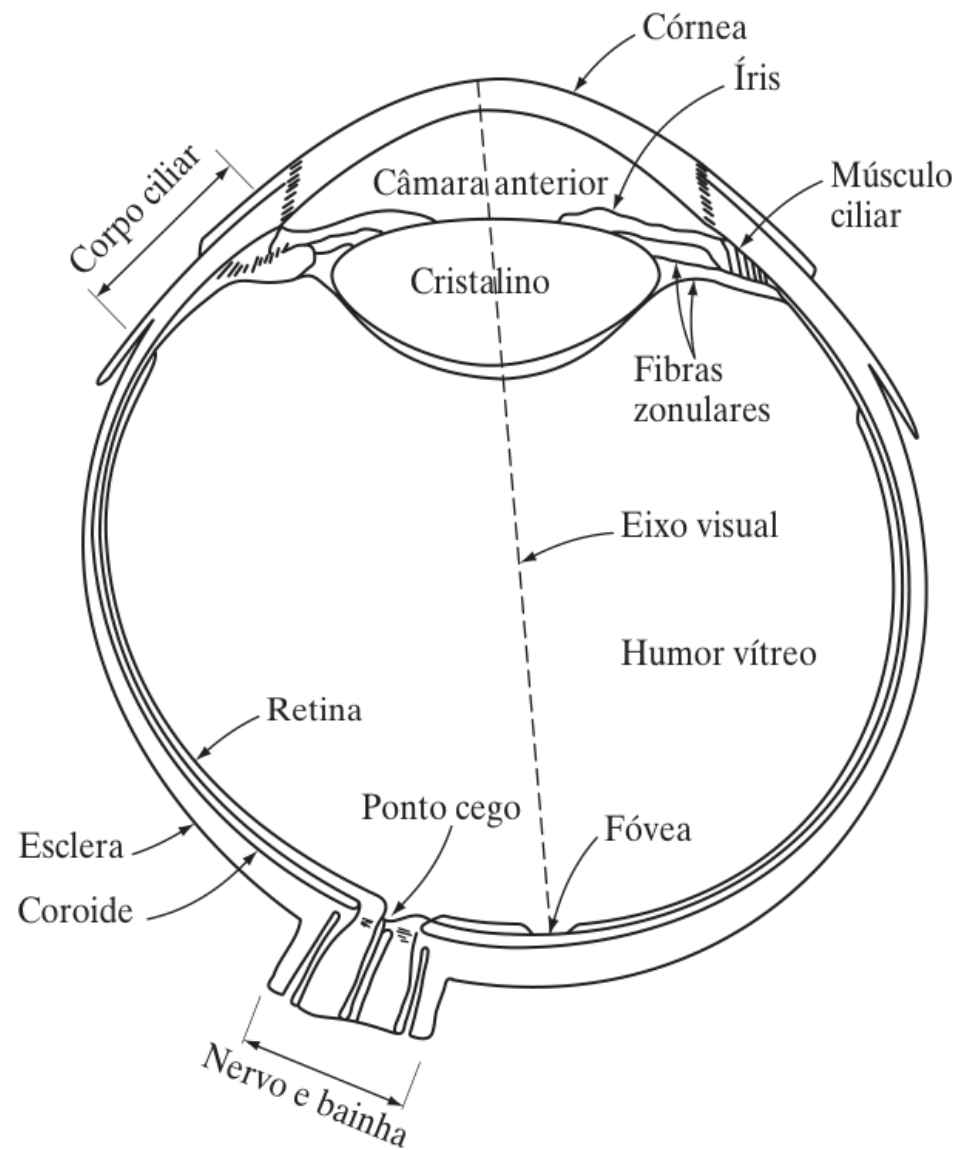


Figura 2.1 Diagrama simplificado de um corte transversal do olho humano.

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.

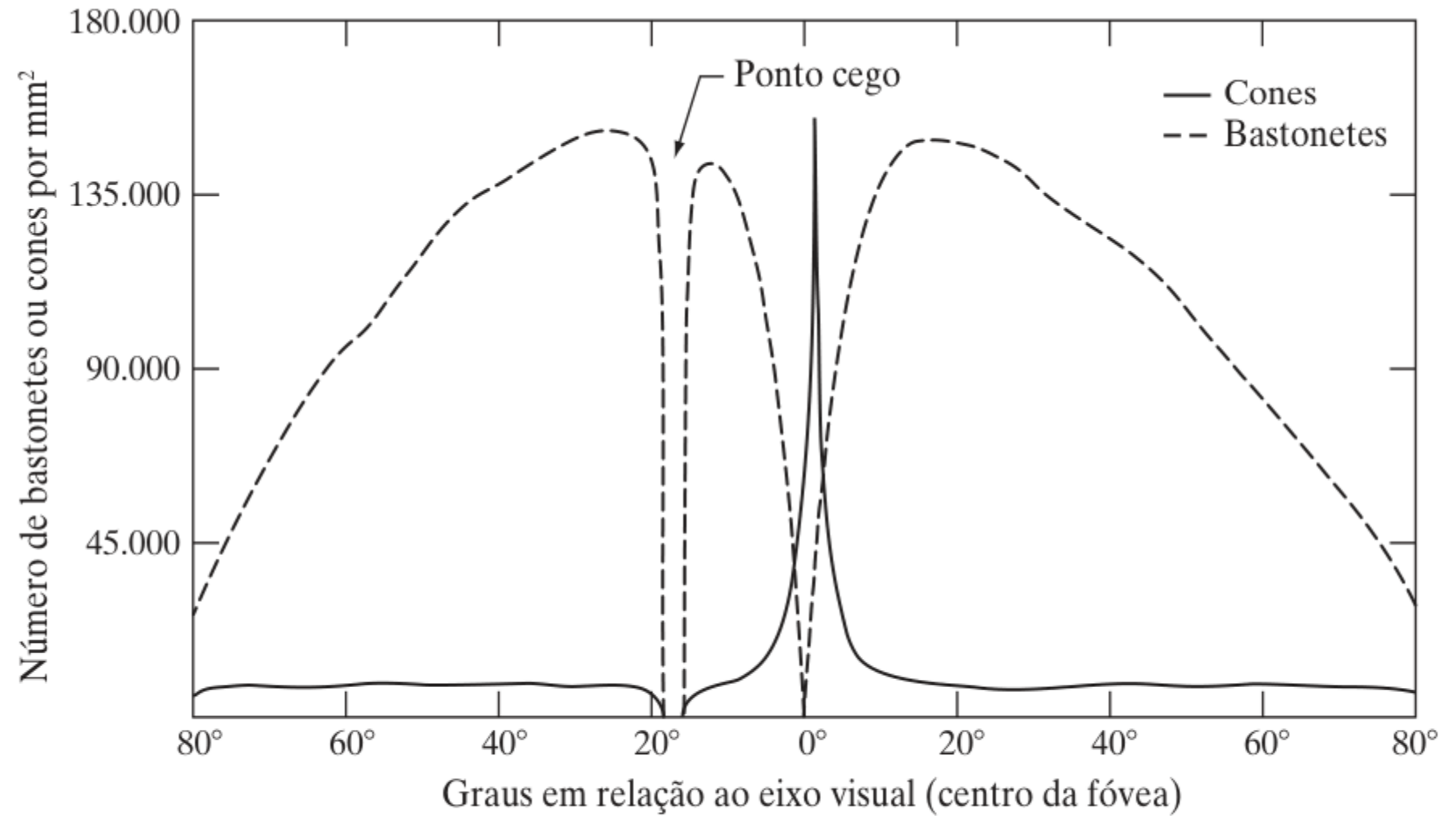


Figura 2.2 Distribuição de bastonetes e cones na retina.

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).

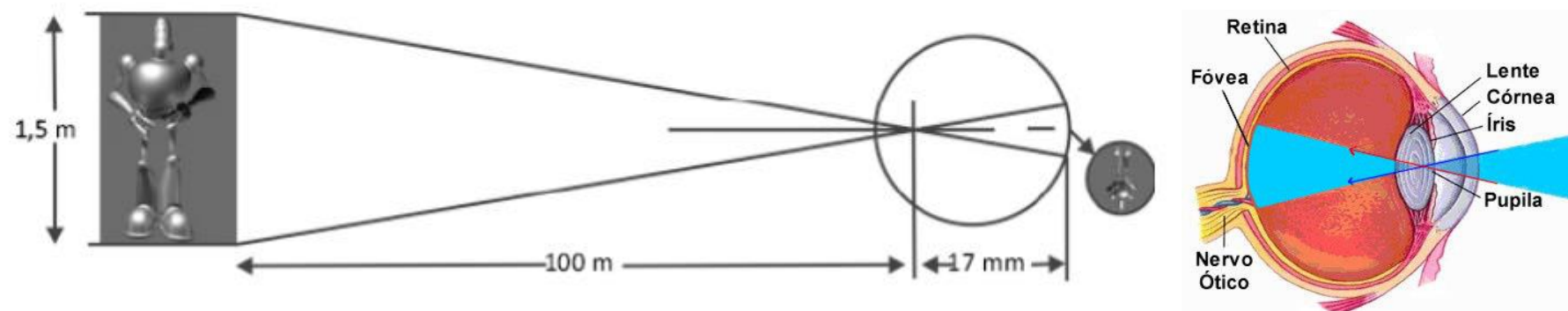


FIGURA 2.5. *Relações de tamanho.*

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).

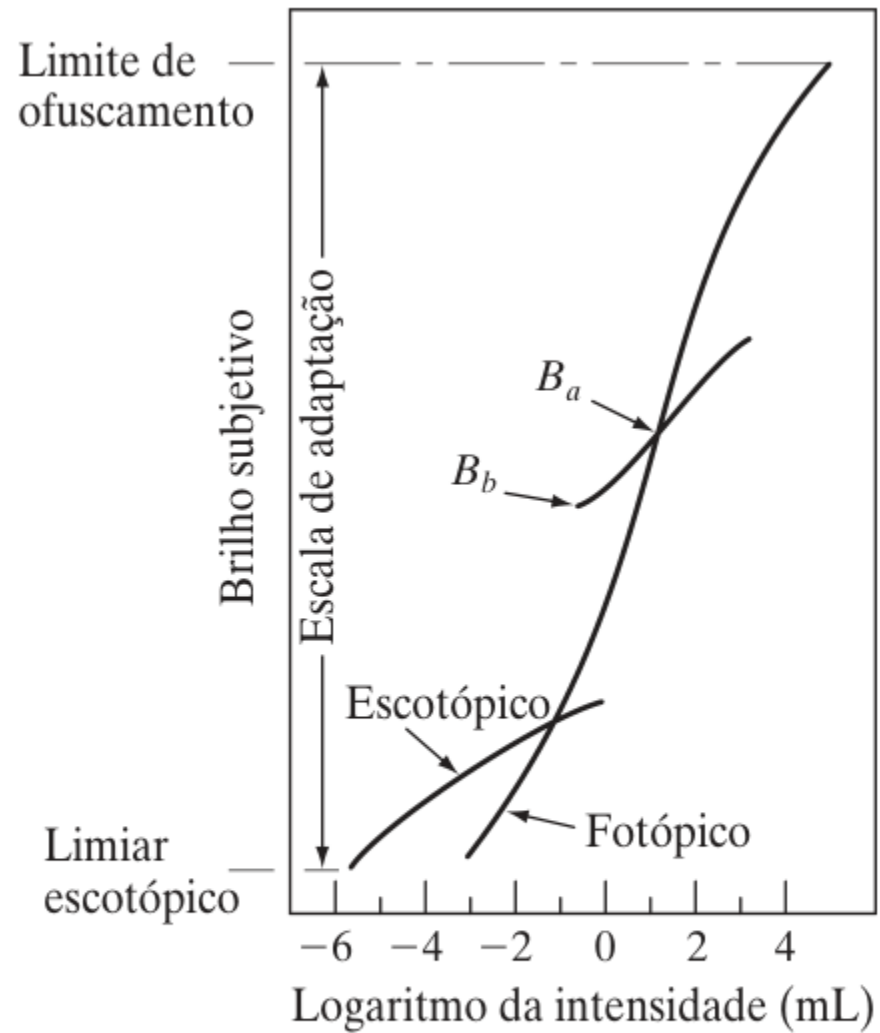


Figura 2.4 Escala de sensações subjetivas ao brilho mostrando um nível particular de adaptação.

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.

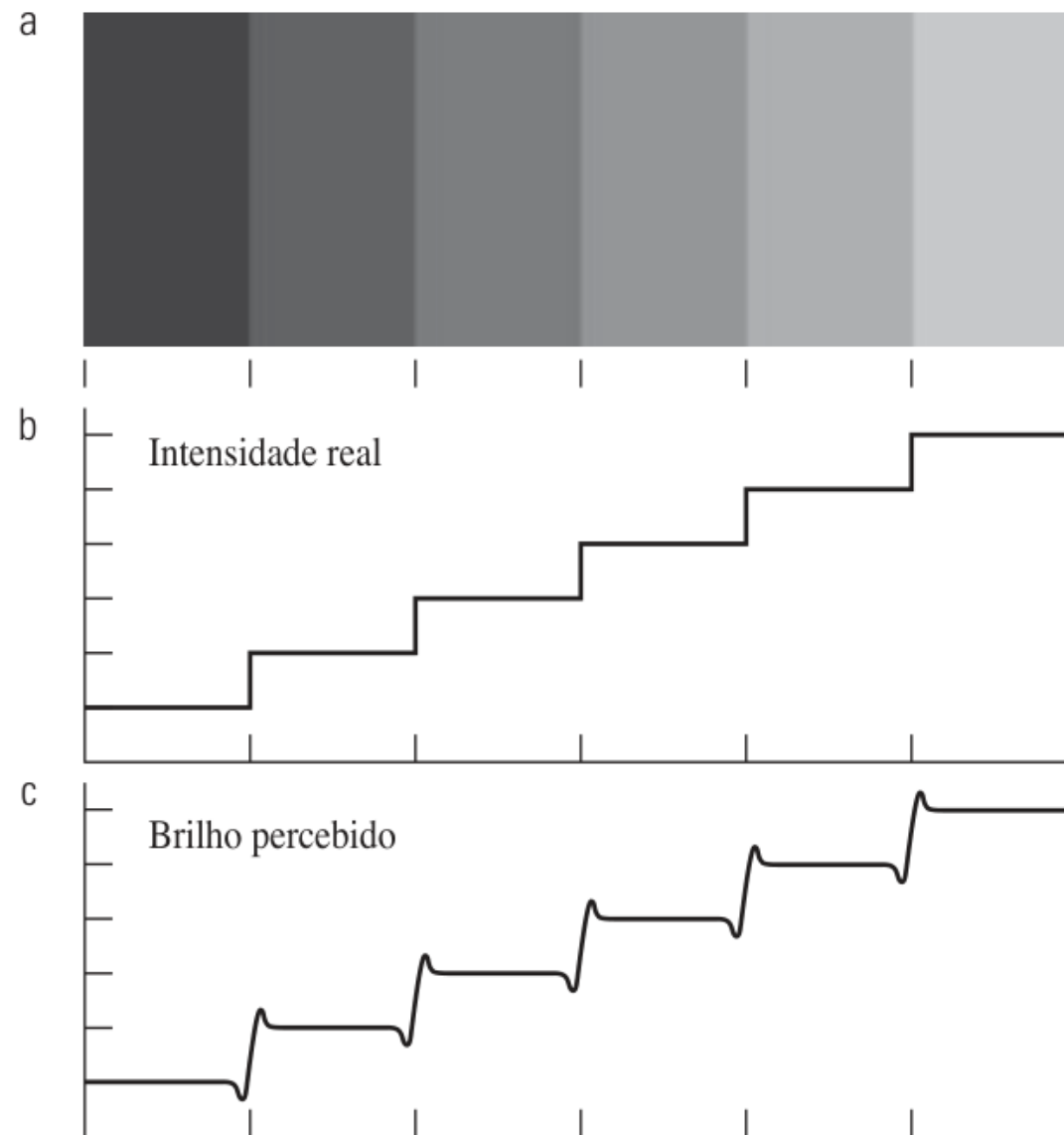


Figura 2.7 Ilustração do efeito de bandas de Mach. O brilho percebido não é uma simples função da intensidade real.

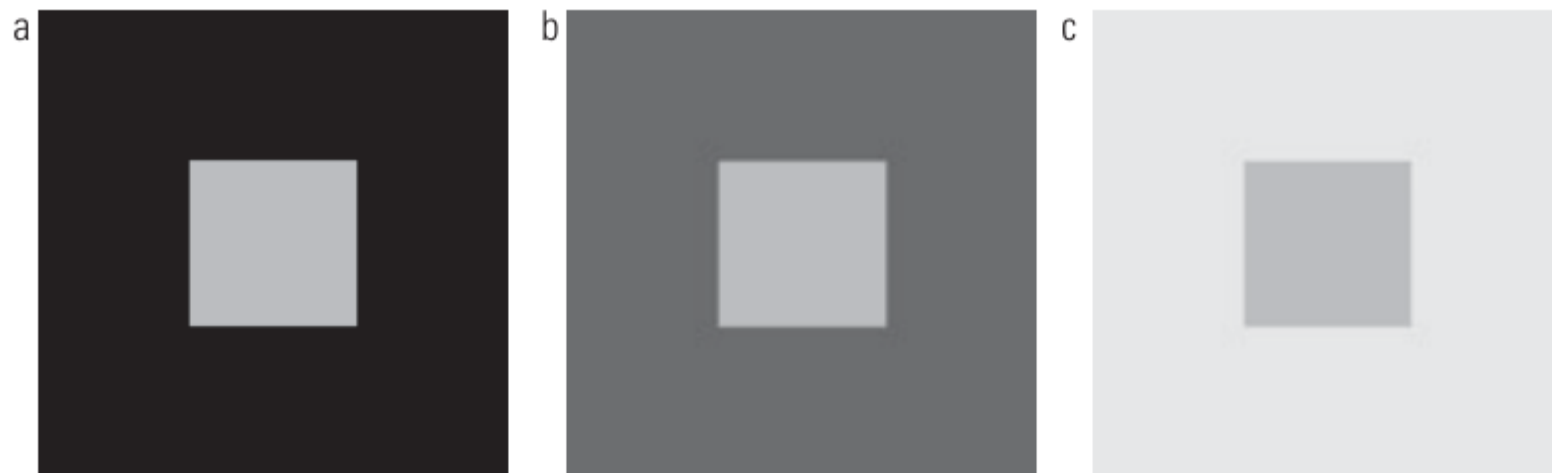
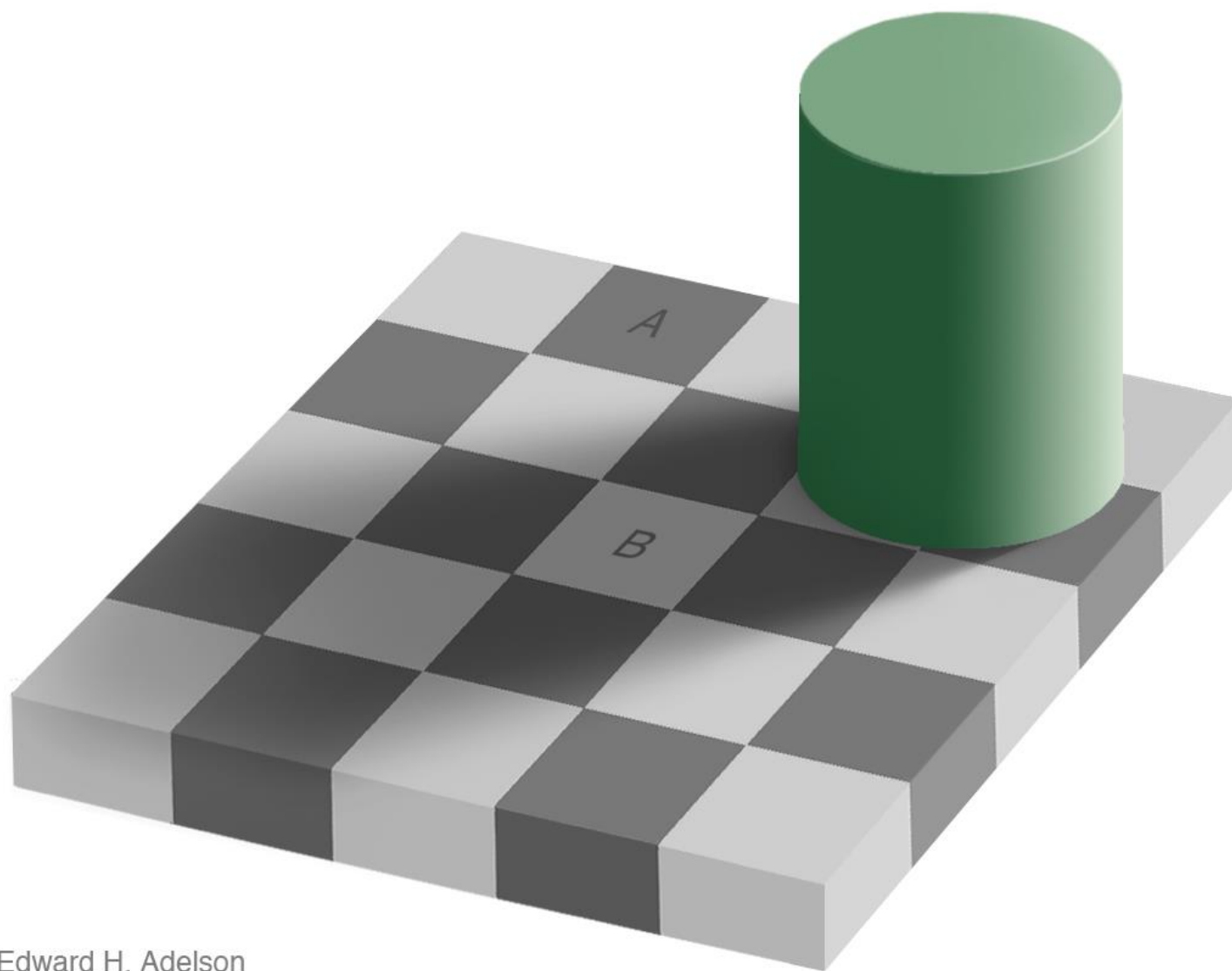
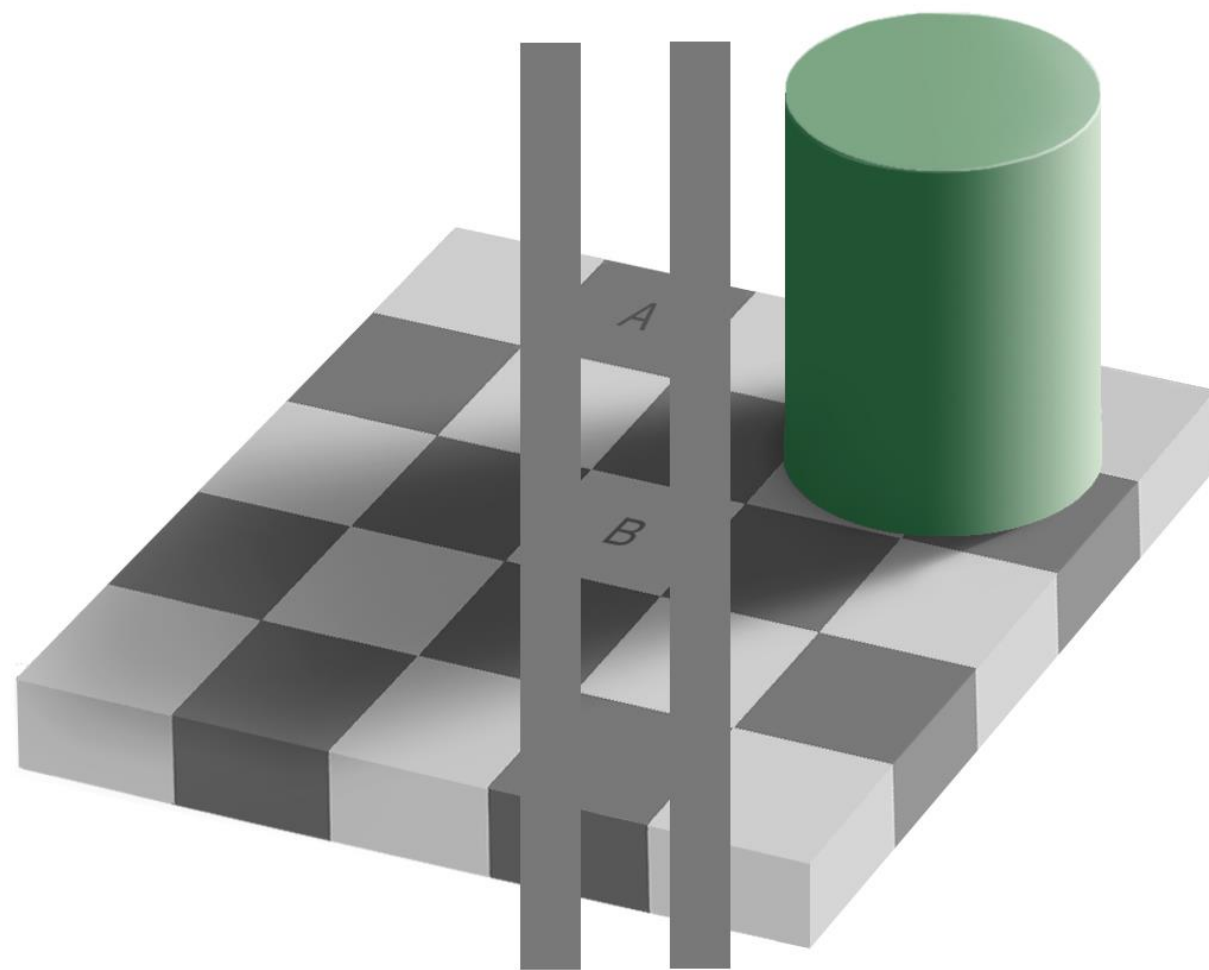
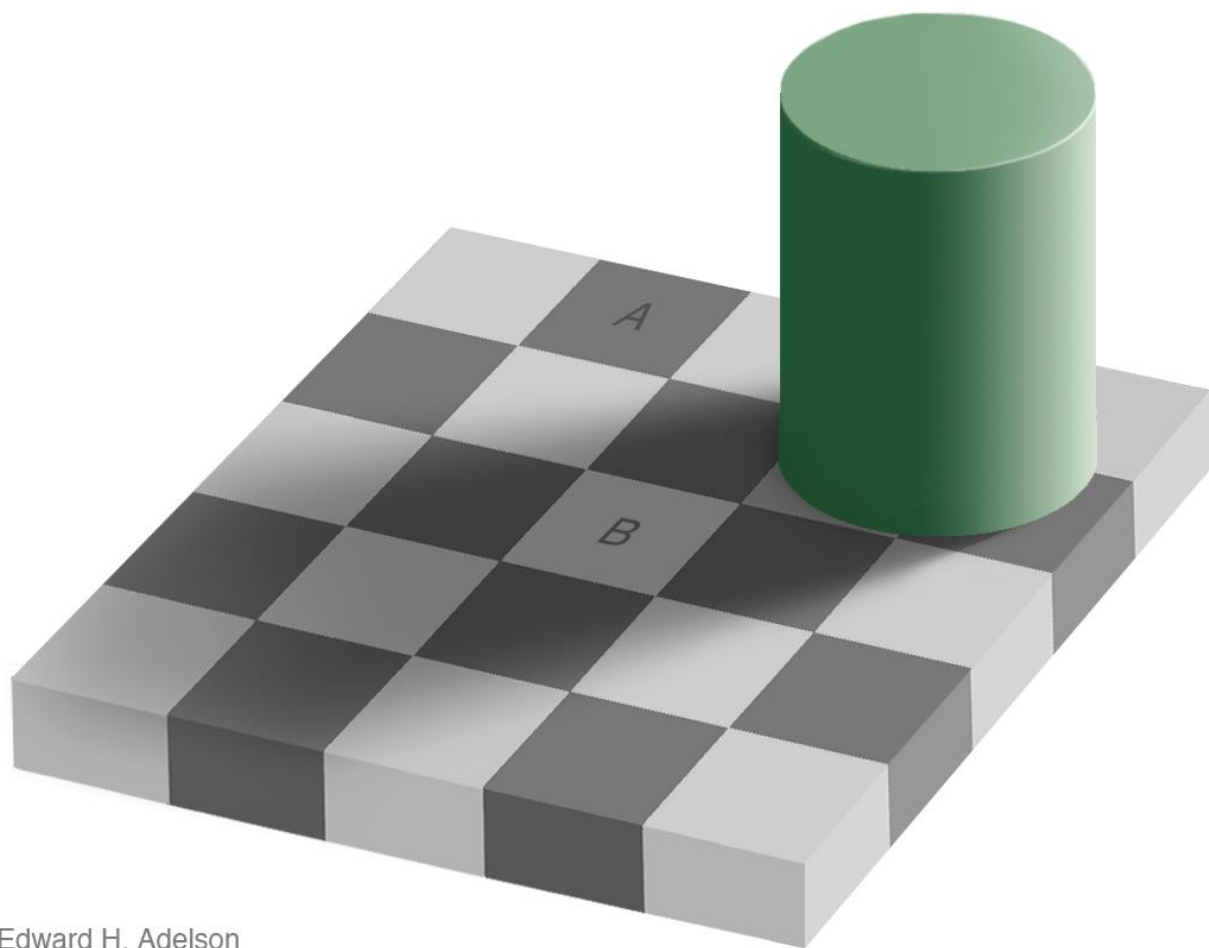


Figura 2.8 Exemplos de contraste simultâneo. Todos os quadrados menores possuem exatamente o mesmo nível de cinza, mas parecem progressivamente mais escuros à medida que o fundo da imagem fica mais claro.



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.

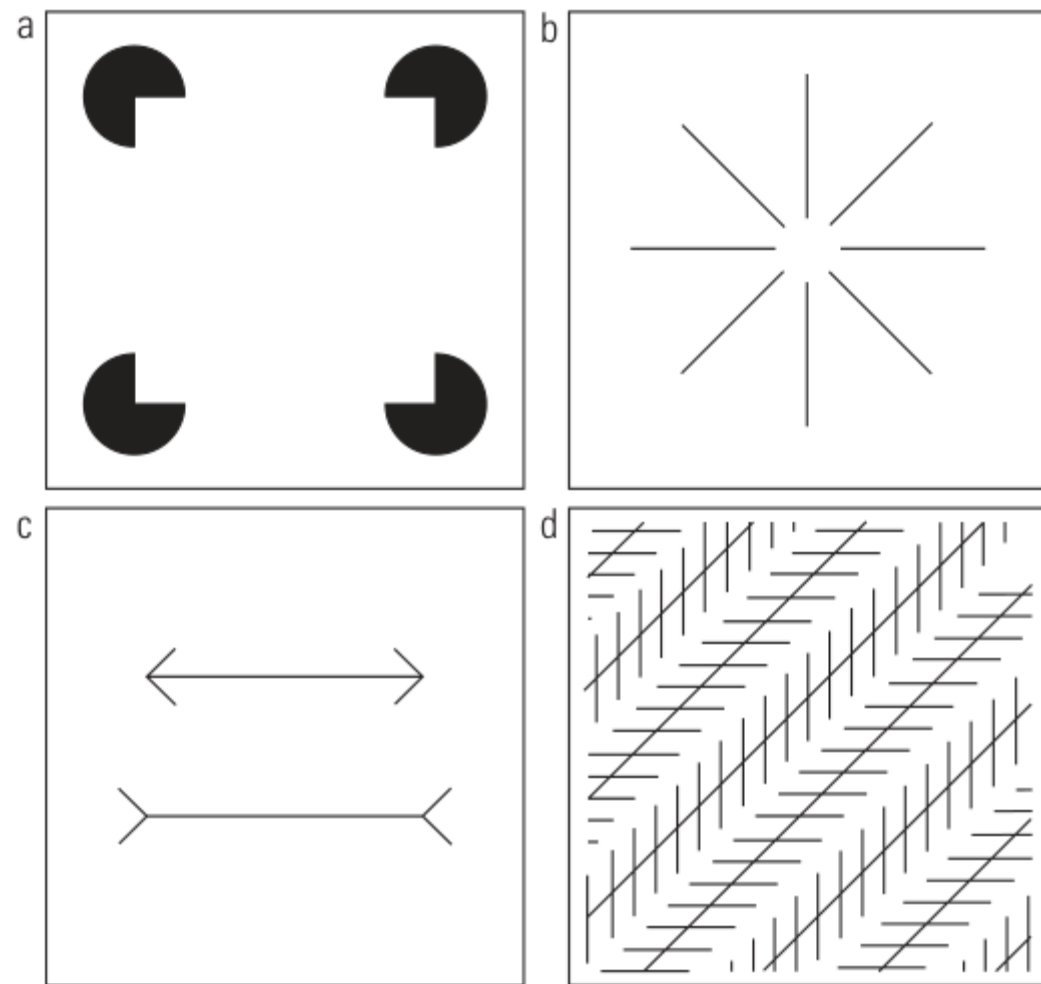


Figura 2.9 Algumas ilusões de ótica conhecidas.

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.

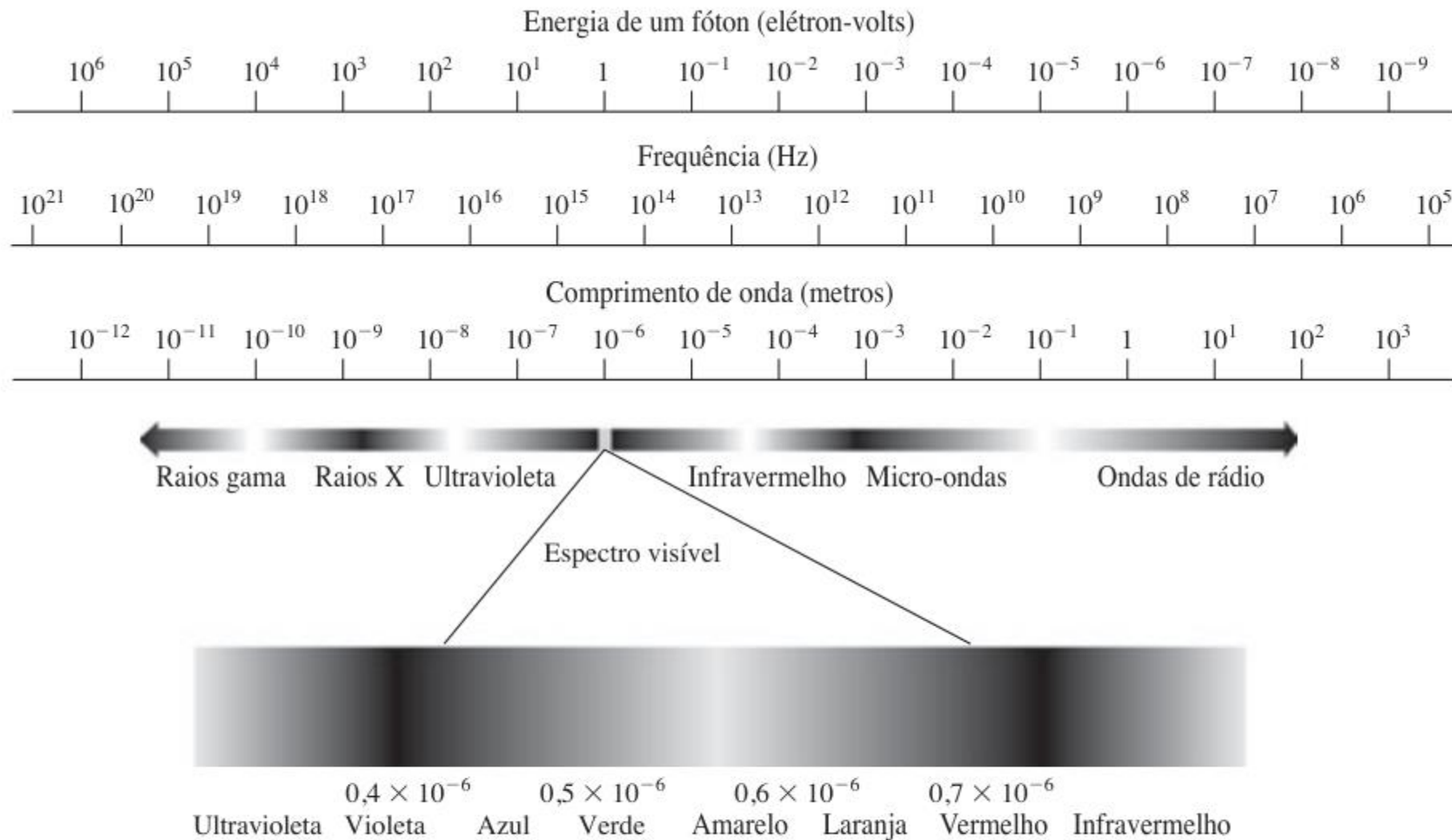
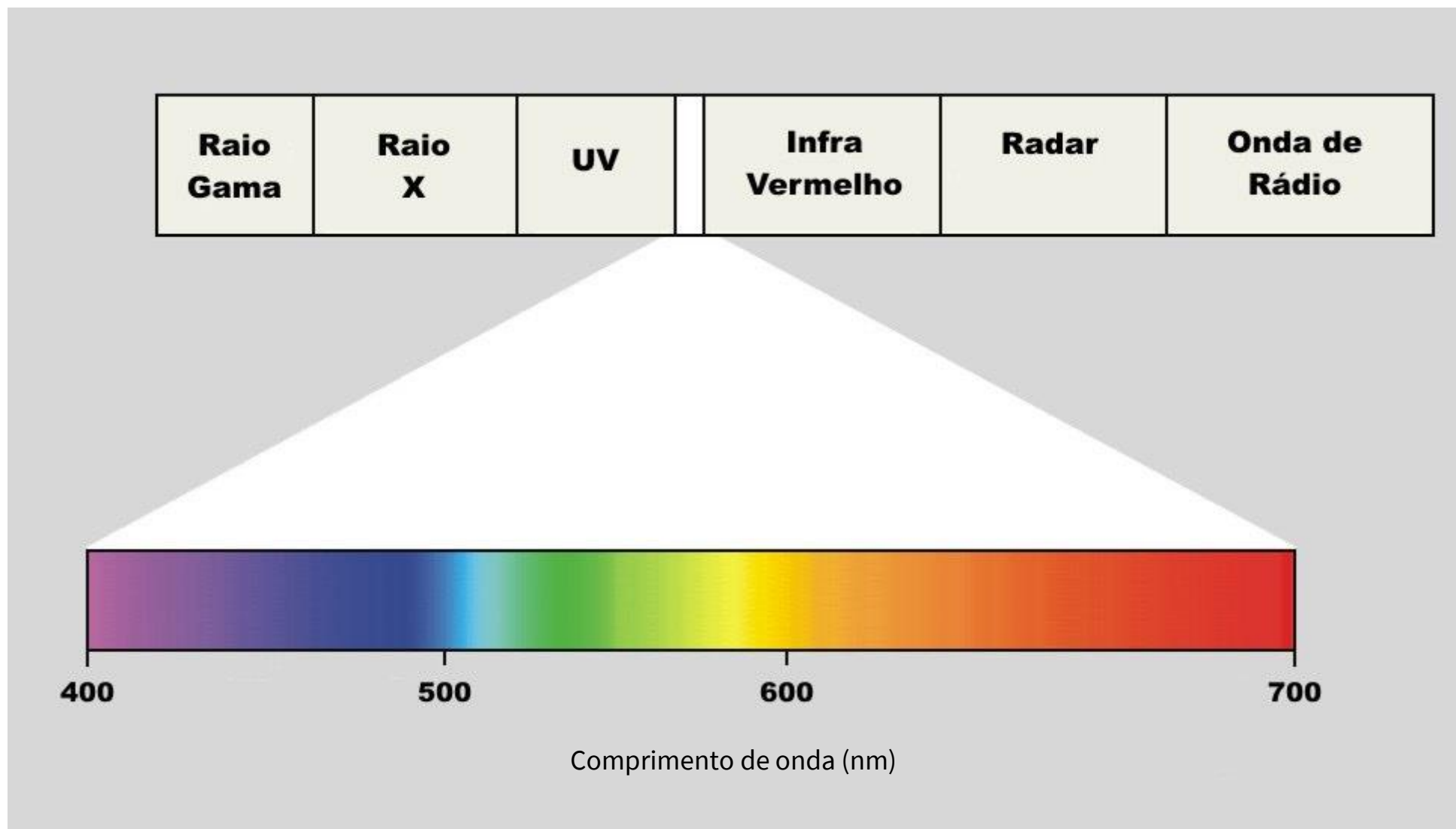


Figura 2.10 Espectro eletromagnético. O espectro visível foi ampliado na figura para facilitar a explicação, mas observe que o espectro visível representa uma parcela relativamente estreita do espectro EM.



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)

Radio

Microwave

Infrared

Visible

Ultraviolet

X-ray

Gamma ray

10^3

10^{-2}

10^{-5}

$.5 \times 10^{-6}$

10^{-8}

10^{-10}

10^{-12}

About the size of...



Buildings



Humans



Honeybee



Pinpoint



Protozoans



Molecules



Atoms



Atomic nuclei

Frequency
(Hz)

10^4

10^8

10^{12}

10^{15}

10^{16}

10^{18}

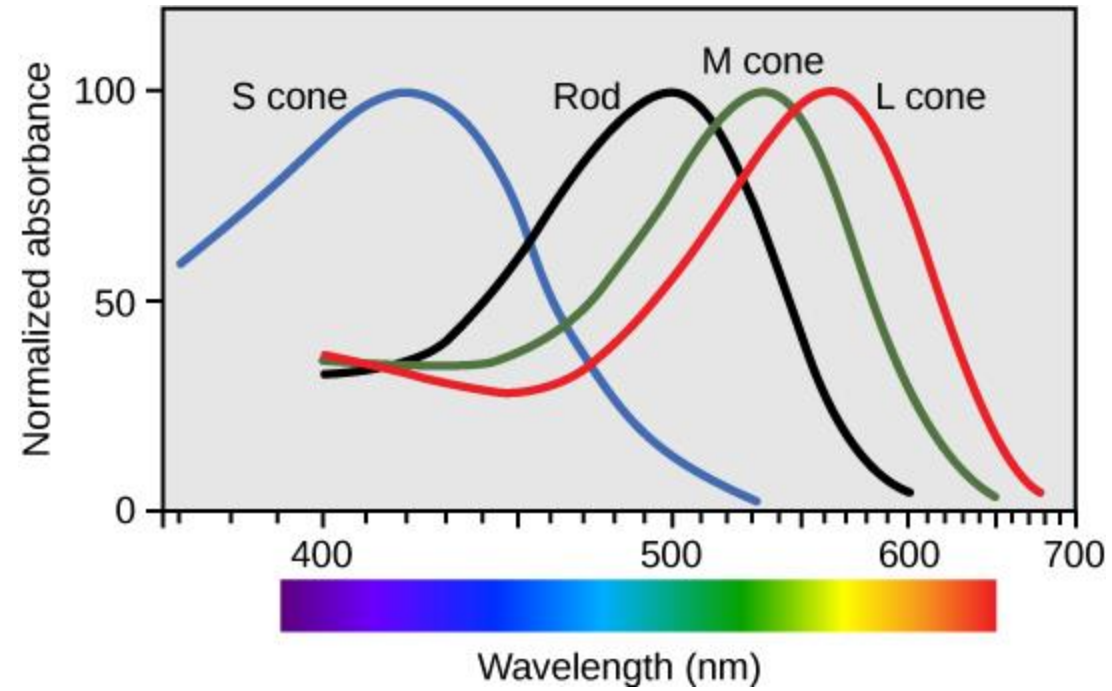
10^{20}

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*.





CC BY-SA 4.0 DEED

Atribuição-Compartilhagual 4.0 Internacional

Canonical URL : <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>

[See the legal code](#)


Você tem o direito de:


Compartilhar — copiar e redistribuir o material em qualquer suporte ou formato para qualquer fim, mesmo que comercial.

Adaptar — remixar, transformar, e criar a partir do material para qualquer fim, mesmo que comercial.

O licenciante não pode revogar estes direitos desde que você respeite os termos da licença.

De acordo com os termos seguintes:

 **Atribuição** — Você deve dar o [crédito apropriado](#), prover um link para a licença e [indicar se mudanças foram feitas](#). Você deve fazê-lo em qualquer circunstância razoável, mas de nenhuma maneira que sugira que o licenciante apoia você ou o seu uso.

 **Compartilhagual** — Se você remixar, transformar, ou criar a partir do material, tem de distribuir as suas contribuições sob a [mesma licença](#) que o original.

Sem restrições adicionais — Você não pode aplicar termos jurídicos ou [medidas de caráter tecnológico](#) que restrinjam legalmente outros de fazerem algo que a licença permita.



CC BY-SA 4.0 DEED

Attribution-ShareAlike 4.0 International

Canonical URL : <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>

[See the legal code](#)


You are free to:


Share — copy and redistribute the material in any medium or format for any purpose, even commercially.

Adapt — remix, transform, and build upon the material for any purpose, even commercially.

The licensor cannot revoke these freedoms as long as you follow the license terms.

Under the following terms:

 **Attribution** — You must give [appropriate credit](#), provide a link to the license, and [indicate if changes were made](#). You may do so in any reasonable manner, but not in any way that suggests the licensor endorses you or your use.

 **ShareAlike** — If you remix, transform, or build upon the material, you must distribute your contributions under the [same license](#) as the original.

No additional restrictions — You may not apply legal terms or [technological measures](#) that legally restrict others from doing anything the license permits.

Notices: