

## Componentes

Córnea  
Câmara ant. e postr.  
Íris e pupila  
Cristalino  
Humor vítreo  
Retina

## Sist. óptico

Pontos cardinais  
Pupilas entr., saída  
Profund. foco, campo  
< e eixos do olho

## Modelos

Olho estático  
Olho dinâmico

## Img. Purkinje

## Ametropias

Ametropias esféricas  
Refracção ocular e  
lentes de correcção  
Astigmatismo

## Acomodação

Percurso e amplitude  
de acomodação  
Acomod. pt. óculos

## Convergência

# Sistema Óptico do Olho

## Óptica Visual

S. Mogo

Departamento de Física  
Universidade da Beira Interior

2020 / 21

## Componentes

Córnea  
Câmara ant. e postr.  
Íris e pupila  
Cristalino  
Humor vítreo  
Retina

## Sist. óptico

Pontos cardinais  
Pupilas entr., saída  
Profund. foco, campo  
< e eixos do olho

## Modelos

Olho estático  
Olho dinâmico

## Img. Purkinje

## Ametropias

Ametropias esféricas  
Refracção ocular e  
lentes de correcção  
Astigmatismo

## Acomodação

Percurso e amplitude  
de acomodação  
Acomod. pt. óculos

## Convergência

1

### Componentes refractivos do olho

Córnea  
Câmara anterior e câmara posterior  
Íris e pupila  
Cristalino  
Humor vítreo  
Retina

2

### O olho como sistema óptico

Pontos cardinais do olho  
Pupilas de entrada e de saída  
Profundidade de foco e profundidade de campo  
Ângulos de referência e eixos do olho

3

### Modelos esquemáticos do olho

Modelos estáticos do olho  
Modelos dinâmicos do olho

4

### Imagens de Purkinje

5

### Ametropias esféricas e astigmáticas

Ametropias esféricas  
Refracção ocular e lentes de correcção  
Astigmatismo

6

### Acomodação

Percurso de acomodação e amplitude de acomodação  
Acomodação ocular e acomodação no ponto dos óculos

7

### Convergência

Componentes

- Córnea
- Câmara ant. e postr.
- Íris e pupila
- Cristalino
- Humor vítreo
- Retina

Sist. óptico

- Pontos cardinais
- Pupilas entr., saída
- Profund. foco, campo
- < e eixos do olho

Modelos

- Olho estático
- Olho dinâmico

Img. Purkinje

Ametropias

- Ametropias esféricas
- Refracção ocular e lentes de correcção
- Astigmatismo

Acomodação

- Percurso e amplitude de acomodação
- Acomod. pt. óculos

Convergência

# O olho do ponto de vista físico

O olho humano pode ser estudado segundo diferentes abordagens:



- como um órgão do corpo humano: anatomia, patologia;
- como um sistema óptico: máquina fotográfica;
- como um sensor de luz: fotometria;
- como um processador de dados: olho  $\times$  cérebro;
- como um par: visão 3D;
- ...

## Componentes

Córnea  
Câmara ant. e postr.  
Íris e pupila  
Cristalino  
Humor vítreo  
Retina

## Sist. óptico

Pontos cardinais  
Pupilas entr., saída  
Profund. foco, campo  
< e eixos do olho

## Modelos

Olho estático  
Olho dinâmico

## Img. Purkinje

## Ametropias

Ametropias esféricas  
Refracção ocular e  
lentes de correcção  
Astigmatismo

## Acomodação

Percurso e amplitude  
de acomodação  
Acomod. pt. óculos

## Convergência

1

### Componentes refractivos do olho

Córnea  
Câmara anterior e câmara posterior  
Íris e pupila  
Cristalino  
Humor vítreo  
Retina

2

### O olho como sistema óptico

Pontos cardinais do olho  
Pupilas de entrada e de saída  
Profundidade de foco e profundidade de campo  
Ângulos de referência e eixos do olho

3

### Modelos esquemáticos do olho

Modelos estáticos do olho  
Modelos dinâmicos do olho

4

### Imagens de Purkinje

5

### Ametropias esféricas e astigmáticas

Ametropias esféricas  
Refracção ocular e lentes de correcção  
Astigmatismo

6

### Acomodação

Percurso de acomodação e amplitude de acomodação  
Acomodação ocular e acomodação no ponto dos óculos

7

### Convergência

- Córnea
- Câmara ant. e postr.
- Íris e pupila
- Cristalino
- Humor vítreo
- Retina

- Pontos cardinais
- Pupilas entr., saída
- Profund. foco, campo
- $\angle$  e eixos do olho

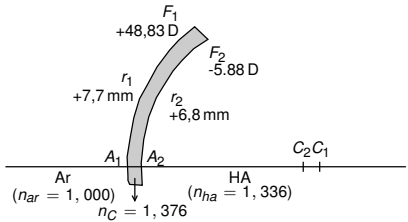
- Olho estático
- Olho dinâmico

- Ametropias esféricas
- Refracção ocular e lentes de correcção
- Astigmatismo

- Percurso e amplitude de acomodação
- Acomod. pt. óculos

# Componentes refractivos do olho

## Córnea



- Menisco positivo;
- diâmetro  $\cong 12 \text{ mm}$  (ligeiramente maior na horizontal);
- espessura ao centro:  $0,5\text{-}0,6 \text{ mm}$ ;
- coberta por uma película muito fina de fluido lacrimal (tão fina que não afecta apreciavelmente a potência).

## Componentes

**Córnea**  
Câmara ant. e postr.  
Íris e pupila  
Cristalino  
Humor vítreo  
Retina

## Sist. óptico

- Pontos cardinais
- Pupilas entr., saída
- Profund. foco, campo
- ◁ e eixos do olho

## Modelos

Olho estático  
Olho dinâmico

Imq. Purkinje

## Ametropias

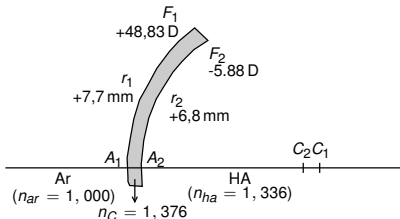
## Acomodação

Percurso e amplitude  
de acomodação

Acomod. pt. óculos

## Convergência

# Componentes refrativos do olho



- Potência da superfície anterior da córnea:

$$F = \frac{n' - n}{r} \Leftrightarrow F_1 = \frac{n_c - n_{ar}}{r_1} = \frac{1,376 - 1}{7,7 \times 10^{-3}} = +48,83 \text{ D}$$

- **Potência total da córnea:**  $F_c = F_1 + F_2 + \frac{d}{n_c} F_1 F_2 = +42,84 \text{ D}$

## Componentes

**Córnea**  
Câmara ant. e postr.  
Íris e pupila  
Cristalino  
Humor vítreo  
Retina

## Sist. óptico

- Pontos cardinais
- Pupilas entr., saída
- Profund. foco, campo
- ◁ e eixos do olho

## Modelos

Olho estático  
Olho dinâmico

Imq. Purkinje

## Ametropias

Ametropias esféricas  
Refracção ocular e  
lentes de correcção  
Astigmatismo

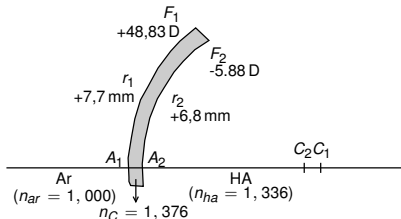
## Acomodação

Percurso e amplitude  
de acomodação

Acomod. pt. óculos

## Convergência

# Componentes refrativos do olho



- Potência da superfície anterior da córnea:

$$F = \frac{n' - n}{r} \Leftrightarrow F_1 = \frac{n_c - n_{ar}}{r_1} = \frac{1,376 - 1}{7,7 \times 10^{-3}} = +48,83 \text{ D}$$

- Potência da superfície posterior da córnea:

$$F = \frac{n' - n}{r} \Leftrightarrow F_2 = \frac{n_{ha} - n_c}{r_2} = \frac{1,336 - 1,376}{6,8 \times 10^{-3}} = -5,88 \text{ D}$$

- **Potência total da córnea:**  $F_c = F_1 + F_2 + \frac{d}{n_c} F_1 F_2 = +42,84 \text{ D}$

Componentes

- Córnea
- Câmara ant. e postr.
- Íris e pupila
- Cristalino
- Humor vítreo
- Retina

Sist. óptico

- Pontos cardinais
- Pupilas entr., saída
- Profund. foco, campo
- ◁ e eixos do olho

Modelos

- Olho estático
- Olho dinâmico

Img. Purkinje

Ametropias

- Ametropias esféricas
- Refracção ocular e lentes de correcção
- Astigmatismo

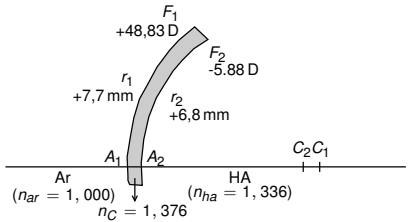
Acomodação

- Percurso e amplitude de acomodação
- Acomod. pt. óculos

Convergência

# Componentes refractivos do olho

## Córnea



- Potência da superfície anterior da córnea:

$$F = \frac{n' - n}{r} \Leftrightarrow F_1 = \frac{n_c - n_{ar}}{r_1} = \frac{1,376 - 1}{7,7 \times 10^{-3}} = +48,83 \text{ D}$$

- Potência da superfície posterior da córnea:

$$F = \frac{n' - n}{r} \Leftrightarrow F_2 = \frac{n_{ha} - n_c}{r_2} = \frac{1,336 - 1,376}{6,8 \times 10^{-3}} = -5,88 \text{ D}$$

- Potência total da córnea:  $F_c = F_1 + F_2 + \frac{d}{n_c} F_1 F_2 = +42,84 \text{ D}$





## Componentes

Córnea  
Câmara ant. e postr.  
**Íris e pupila**  
Cristalino  
Humor vítreo  
Retina

## Sist. óptico

Pontos cardinais  
Pupilas entr., saída  
Profund. foco, campo  
< e eixos do olho

## Modelos

Olho estático  
Olho dinâmico

## Img. Purkinje

## Ametropias

Ametropias esféricas  
Refracção ocular e  
lentes de correcção  
Astigmatismo

## Acomodação

Percurso e amplitude  
de acomodação  
Acomod. pt. óculos

## Convergência

# Componentes refractivos do olho

## Íris e pupila

- A **pupila** é uma abertura circular existente na **íris**;
- em condições normais a pupila reage a:
  - variações de iluminação;
  - variações de iluminação apresentadas apenas ao olho que não está a ser examinado;
  - estímulos próximos;
  - etc.;
- o diâmetro pupilar varia com a idade:
  - aos 10 anos: 4,8-7,6 mm, dependente da iluminação;
  - aos 45 anos: 4,0-6,2 mm;
  - aos 80 anos: 3,4-5,2 mm e reage menos à luz.



Componentes

- Córnea
- Câmara ant. e postr.
- Íris e pupila
- Cristalino**
- Humor vítreo
- Retina

Sist. óptico

- Pontos cardinais
- Pupilas entr., saída
- Profund. foco, campo
- < e eixos do olho

Modelos

- Olho estático
- Olho dinâmico

Img. Purkinje

Ametropias

- Ametropias esféricas
- Refracção ocular e lentes de correcção
- Astigmatismo

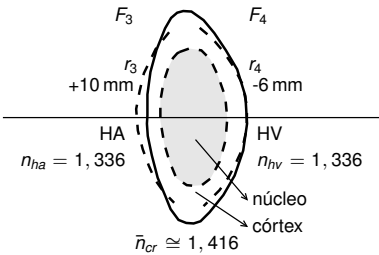
Acomodação

- Percurso e amplitude de acomodação
- Acomod. pt. óculos

Convergência

# Componentes refractivos do olho

## Cristalino



- O índice de refracção é maior no núcleo ( $\cong 1,41$ ) e diminui para a periferia (1,385-1,375);
- assume-se normalmente um valor fictício de 1,416.

- Potência da superfície anterior do cristalino:

$$F = \frac{n' - n}{r} \Leftrightarrow F_3 = \frac{n_{cr} - n_{ha}}{r_3} = \frac{1,416 - 1,336}{10 \times 10^{-3}} = +8,00 \text{ D}$$

- Potência da superfície posterior do cristalino:

$$F = \frac{n' - n}{r} \Leftrightarrow F_4 = \frac{n_{hv} - n_{cr}}{r_4} = \frac{1,336 - 1,416}{-6 \times 10^{-3}} = +13,33 \text{ D}$$

- Potência total cristalino:  $F_{cr} = F_3 + F_4 + \frac{d}{n_{cr}} F_3 F_4 = +21,66 \text{ D}$

(assumindo  $d = 4,4 \text{ mm}$ )

Componentes

- Córnea
- Câmara ant. e postr.
- Íris e pupila
- Cristalino**
- Humor vítreo
- Retina

Sist. óptico

- Pontos cardinais
- Pupilas entr., saída
- Profund. foco, campo
- < e eixos do olho

Modelos

- Olho estático
- Olho dinâmico

Img. Purkinje

Ametropias

- Ametropias esféricas
- Refracção ocular e lentes de correcção
- Astigmatismo

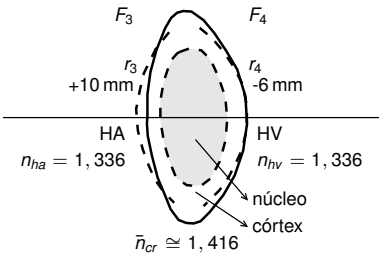
Acomodação

- Percurso e amplitude de acomodação
- Acomod. pt. óculos

Convergência

# Componentes refractivos do olho

## Cristalino



- O índice de refração é maior no núcleo ( $\cong 1,41$ ) e diminui para a periferia (1,385-1,375);
- assume-se normalmente um valor fictício de 1,416.

- Potência da superfície anterior do cristalino:

$$F = \frac{n' - n}{r} \Leftrightarrow F_3 = \frac{n_{cr} - n_{ha}}{r_3} = \frac{1,416 - 1,336}{10 \times 10^{-3}} = +8,00 \text{ D}$$

- Potência da superfície posterior do cristalino:

$$F = \frac{n' - n}{r} \Leftrightarrow F_4 = \frac{n_{hv} - n_{cr}}{r_4} = \frac{1,336 - 1,416}{-6 \times 10^{-3}} = +13,33 \text{ D}$$

- Potência total cristalino:  $F_{cr} = F_3 + F_4 + \frac{d}{n_{cr}} F_3 F_4 = +21,66 \text{ D}$

(assumindo  $d = 4,4 \text{ mm}$ )

Componentes

- Córnea
- Câmara ant. e postr.
- Íris e pupila
- Cristalino**
- Humor vítreo
- Retina

Sist. óptico

- Pontos cardinais
- Pupilas entr., saída
- Profund. foco, campo
- < e eixos do olho

Modelos

- Olho estático
- Olho dinâmico

Img. Purkinje

Ametropias

- Ametropias esféricas
- Refracção ocular e lentes de correcção
- Astigmatismo

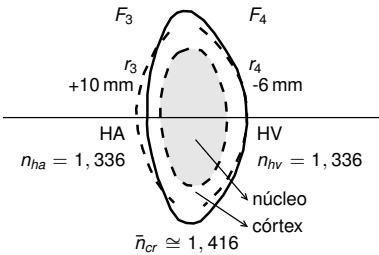
Acomodação

- Percurso e amplitude de acomodação
- Acomod. pt. óculos

Convergência

# Componentes refractivos do olho

## Cristalino



- O índice de refração é maior no núcleo ( $\cong 1,41$ ) e diminui para a periferia (1,385-1,375);
- assume-se normalmente um valor fictício de 1,416.

- Potência da superfície anterior do cristalino:

$$F = \frac{n' - n}{r} \Leftrightarrow F_3 = \frac{n_{cr} - n_{ha}}{r_3} = \frac{1,416 - 1,336}{10 \times 10^{-3}} = +8,00 \text{ D}$$

- Potência da superfície posterior do cristalino:

$$F = \frac{n' - n}{r} \Leftrightarrow F_4 = \frac{n_{hv} - n_{cr}}{r_4} = \frac{1,336 - 1,416}{-6 \times 10^{-3}} = +13,33 \text{ D}$$

- **Potência total cristalino:**  $F_{cr} = F_3 + F_4 + \frac{d}{n_{cr}} F_3 F_4 = +21,66 \text{ D}$

(assumindo  $d = 4,4 \text{ mm}$ )

Componentes

Córnea  
Câmara ant. e postr.  
Íris e pupila  
Cristalino  
**Humor vítreo**  
Retina

Sist. óptico

Pontos cardinais  
Pupilas entr., saída  
Profund. foco, campo  
< e eixos do olho

Modelos

Olho estático  
Olho dinâmico

Img. Purkinje

Ametropias

Ametropias esféricas  
Refracção ocular e  
lentes de correcção  
Astigmatismo

Acomodação

Percurso e amplitude  
de acomodação  
Acomod. pt. óculos

Convergência

# Componentes refractivos do olho

Humor vítreo

- Gel transparente que preenche o segmento posterior do globo ocular;  
(superfície posterior do cristalino até à retina)
- índice de refração  $n_{hv} \cong 1,336 (\cong n_{ha})$ ;
- composição química muito semelhante à do humor aquoso mas mais viscoso.

Componentes

- Córnea
- Câmara ant. e postr.
- Íris e pupila
- Cristalino
- Humor vítreo
- Retina**

Sist. óptico

- Pontos cardinais
- Pupilas entr., saída
- Profund. foco, campo
- $\angle$  e eixos do olho

Modelos

- Olho estático
- Olho dinâmico

Img. Purkinje

Ametropias

- Ametropias esféricas
- Refração ocular e lentes de correcção
- Astigmatismo

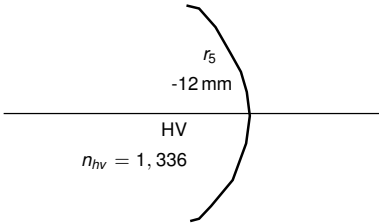
Acomodação

- Percurso e amplitude de acomodação
- Acomod. pt. óculos

Convergência

# Componentes refractivos do olho

Retina



- Do ponto de vista óptico a retina é vista como um alvo onde se forma a imagem;
- superfície esférica com raio de curvatura  $r_5 \cong -12\text{ mm}$ .



Componentes

Córnea  
Câmara ant. e postr.  
Íris e pupila  
Cristalino  
Humor vítreo  
**Retina**

Sist. óptico

Pontos cardinais  
Pupilas entr., saída  
Profund. foco, campo  
e eixos do olho

Modelos

Olho estático  
Olho dinâmico

Img. Purkinje

Ametropias

Ametropias esféricas  
Refracção ocular e  
lentes de correcção  
Astigmatismo

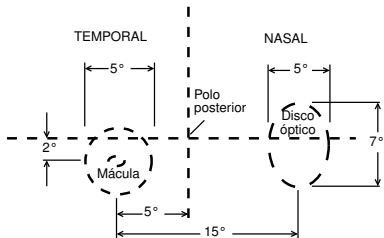
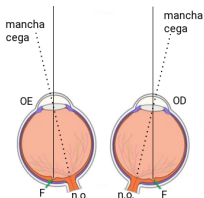
Acomodação

Percurso e amplitude  
de acomodação  
Acomod. pt. óculos

Convergência

# Componentes refractivos do olho

Retina



- Possui uma região mais sensível denominada **mácula**;
- dentro desta, um zona chamada **fóvea**;
- possui ainda uma região que não é sensível à luz — **disco óptico** ou **papila**.  
(corresponde à inserção do nervo óptico)

## Componentes

Córnea  
Câmara ant. e postr.  
Íris e pupila  
Cristalino  
Humor vítreo  
**Retina**

## Sist. óptico

- Pontos cardinais
- Pupilas entr., saída
- Profund. foco, campo
- ◁ e eixos do olho

## Modelos

Olho estático  
Olho dinâmico

Imq. Purkinje

## Ametropias

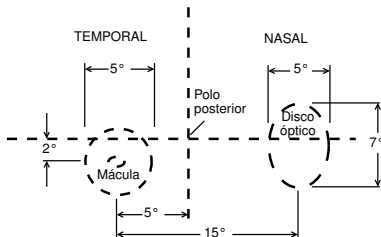
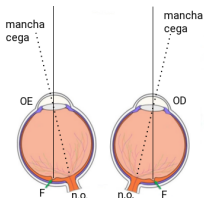
Ametropias esféricas  
Refracção ocular e  
lentes de correcção  
Astigmatismo

## Acomodação

Percurso e amplitude  
de acomodação

## Convergência

# Componentes refrativos do olho



- A retina é formada por células fotossensíveis:
  - **cones** e **bastonetes**;
- na fóvea há mais cones, fora dela há mais bastonetes;
- no disco óptico não há cones nem bastonetes — **mancha cega**.

Então porque não percebemos uma falha com a dimensão da mancha cega em todos os cenários visuais?

Componentes

- Córnea
- Câmara ant. e postr.
- Íris e pupila
- Cristalino
- Humor vítreo
- Retina**

Sist. óptico

- Pontos cardinais
- Pupilas entr., saída
- Profund. foco, campo
- < e eixos do olho

Modelos

- Olho estático
- Olho dinâmico

Img. Purkinje

Ametropias

- Ametropias esféricas
- Refracção ocular e lentes de correcção
- Astigmatismo

Acomodação

- Percurso e amplitude de acomodação
- Acomod. pt. óculos

Convergência

# Componentes refractivos do olho

## Retina

Tape o seu OE e fixe a cruz.  
O que acontece?



<http://open.lib.umn.edu/intropsych/chapter/4-2-seeing/>

# Outline

## Sistema óptico do olho

S. Mogo

### Componentes

Córnea  
Câmara ant. e postr.  
Íris e pupila  
Cristalino  
Humor vítreo  
Retina

### Sist. óptico

Pontos cardinais  
Pupilas entr., saída  
Profund. foco, campo  
< e eixos do olho

### Modelos

Olho estático  
Olho dinâmico

### Img. Purkinje

### Ametropias

Ametropias esféricas  
Refracção ocular e  
lentes de correcção  
Astigmatismo

### Acomodação

Percurso e amplitude  
de acomodação  
Acomod. pt. óculos

### Convergência

1

#### Componentes refractivos do olho

Córnea  
Câmara anterior e câmara posterior  
Íris e pupila  
Cristalino  
Humor vítreo  
Retina

2

#### O olho como sistema óptico

Pontos cardinais do olho  
Pupilas de entrada e de saída  
Profundidade de foco e profundidade de campo  
Ângulos de referência e eixos do olho

3

#### Modelos esquemáticos do olho

Modelos estáticos do olho  
Modelos dinâmicos do olho

4

#### Imagens de Purkinje

5

#### Ametropias esféricas e astigmáticas

Ametropias esféricas  
Refracção ocular e lentes de correcção  
Astigmatismo

6

#### Acomodação

Percurso de acomodação e amplitude de acomodação  
Acomodação ocular e acomodação no ponto dos óculos

7

#### Convergência



Componentes

- Córnea
- Câmara ant. e postr.
- Íris e pupila
- Cristalino
- Humor vítreo
- Retina

Sist. óptico

- Pontos cardinais
- Pupilas entr., saída
- Profund. foco, campo
- $\angle$  e eixos do olho

Modelos

- Olho estático
- Olho dinâmico

Img. Purkinje

Ametropias

- Ametropias esféricas
- Refracção ocular e lentes de correcção
- Astigmatismo

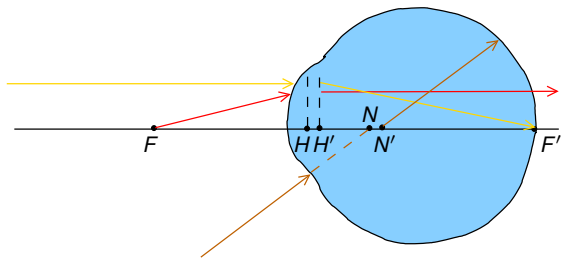
Acomodação

- Percurso e amplitude de acomodação
- Acomod. pt. óculos

Convergência

# O olho como sistema óptico

## Pontos cardinais do olho



### Utilidade:

- podemos prever várias informações sobre os objectos e as imagens formadas, nomeadamente a sua **localização** e o seu **tamanho**.









## Componentes

- Córnea
- Câmara ant. e postr.
- Íris e pupila
- Cristalino
- Humor vítreo
- Retina

## Sist. óptico

Pontos cardinais  
Pupilas entr., saída  
Profund. foco, campo  
e eixos do olho

## Modelos

Olho estático  
Olho dinâmico

Img. Purkinje

## Ametropias

Ametropias esféricas  
Refracção ocular e  
lentes de correcção  
Astigmatismo

## Acomodação

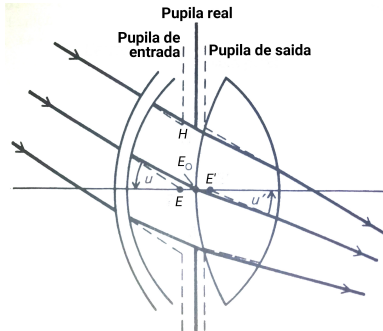
Percurso e amplitude  
de acomodação  
Acomod. pt. óculos

## Convergência

## O olho como sistema óptico

## Pupilas de entrada e de saída

Tomando a pupila real,  $E_O$ , como objecto para o cristalino:



- obtemos a pupila de saída do sistema,  $E'$ ;
- situada atrás da pupila real mas mt perto dela;
- $\cong 3\%$  maior que a pupila real.

## Componentes

Córnea  
Câmara ant. e postr.  
Íris e pupila  
Cristalino  
Humor vítreo  
Retina

## Sist. óptico

Pontos cardinais  
**Pupilas entr., saída**  
Profund. foco, campo  
< e eixos do olho

## Modelos

Olho estático  
Olho dinâmico

## Img. Purkinje

## Ametropias

Ametropias esféricas  
Refracção ocular e  
lentes de correcção  
Astigmatismo

## Acomodação

Percurso e amplitude  
de acomodação  
Acomod. pt. óculos

## Convergência

# O olho como sistema óptico

## Pupilas de entrada e de saída

### Exercício:

Determine o tamanho e a posição da pupila de entrada do olho.

Componentes

- Córnea
- Câmara ant. e postr.
- Íris e pupila
- Cristalino
- Humor vítreo
- Retina

Sist. óptico

- Pontos cardinais
- Pupilas entr., saída**
- Profund. foco, campo
- $\angle$  e eixos do olho

Modelos

- Olho estático
- Olho dinâmico

Img. Purkinje

Ametropias

- Ametropias esféricas
- Refracção ocular e lentes de correcção
- Astigmatismo

Acomodação

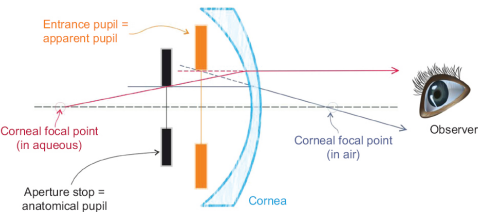
- Percurso e amplitude de acomodação
- Acomod. pt. óculos

Convergência

# O olho como sistema óptico

## Pupilas de entrada e de saída

Exercício:  
Determine o tamanho e a posição da pupila de entrada do olho.



**Figure 6** Graphical illustration of the anatomical pupil, as imaged through the optical system of the cornea (not to scale).  
**Note:** The anatomical pupil is the "aperture stop," and the magnified "apparent pupil" is the entrance pupil of the optical system.

<https://www.dovepress.com/clear-cornea-cataract-surgery-pupil-size-and-shape-changes-along-with-peer-reviewed-fulltext-article-OPHT>

## Componentes

Córnea  
Câmara ant. e postr.  
Íris e pupila  
Cristalino  
Humor vítreo  
Retina

## Sist. óptico

Pontos cardinais  
**Pupilas entr., saída**  
Profund. foco, campo  
< e eixos do olho

## Modelos

Olho estático  
Olho dinâmico

## Img. Purkinje

## Ametropias

Ametropias esféricas  
Refracção ocular e  
lentes de correcção  
Astigmatismo

## Acomodação

Percurso e amplitude  
de acomodação  
Acomod. pt. óculos

## Convergência

# O olho como sistema óptico

## Pupilas de entrada e de saída

### Exercício:

Determine o tamanho e a posição da pupila de saída do olho.



Componentes

- Córnea
- Câmara ant. e postr.
- Íris e pupila
- Cristalino
- Humor vítreo
- Retina

Sist. óptico

- Pontos cardinais
- Pupilas entr., saída
- Profund. foco, campo**
- $\angle$  e eixos do olho

Modelos

- Olho estático
- Olho dinâmico

Img. Purkinje

Ametropias

- Ametropias esféricas
- Refração ocular e lentes de correção
- Astigmatismo

Acomodação

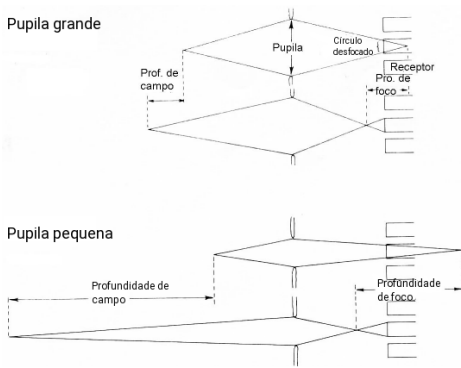
- Percurso e amplitude de acomodação
- Acomod. pt. óculos

Convergência

# O olho como sistema óptico

## Profundidade de foco e profundidade de campo

O **diâmetro pupilar** influencia grandemente este processo:



Puell, M.. Óptica Fisiológica: El sistema óptico del ojo y la visión binocular. Universidad Complutense de Madrid. 2014.

- Córnea
- Câmara ant. e postr.
- Íris e pupila
- Cristalino
- Humor vítreo
- Retina

- Pontos cardinais
- Pupilas entr., saída
- Profund. foco, campo
- < e eixos do olho

- Olho estático
- Olho dinâmico

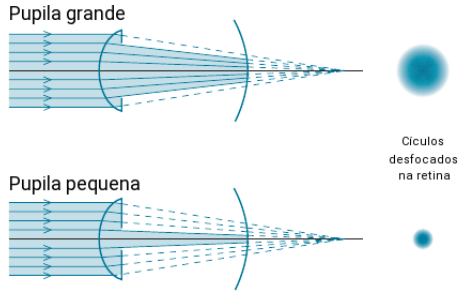
- Ametropias esféricas
- Refracção ocular e lentes de correcção
- Astigmatismo

- Percurso e amplitude de acomodação
- Acomod. pt. óculos

# O olho como sistema óptico

## Profundidade de foco e profundidade de campo

Ao diminuir de tamanho, a pupila impede a passagem dos raios periféricos que contribuem para a distorção da imagem retiniana.



Schwartz, S.. Geometrical and Visual Optics: A Clinical Introduction. 2nd. Ed., McGrawHill, 2013.

Isto ocorre até ao limite imposto pela **difracção**:

- para um diâmetro pupilar muito pequeno ocorre difracção devido ao comportamento ondulatório da luz.



# O olho como sistema óptico

## Profundidade de foco e profundidade de campo

**Difracção** → fenómeno que acontece quando a luz passa por algum obstáculo. Faz com que a luz deixe de seguir as leis do óptica geométrica e pareça espalhar-se após atravessar orifícios ou fendas.



O padrão de difracção apresentado quando a luz atravessa um orifício circular (p.ex. a pupila) tem a forma de um disco circular rodeado de anéis claros e escuros:



Disco de Airy

O disco central contém cerca de 84 % da luz existente em todo o padrão de difracção.

Componentes

- Córnea
- Câmara ant. e postr.
- Íris e pupila
- Cristalino
- Humor vítreo
- Retina

Sist. óptico

- Pontos cardinais
- Pupilas entr., saída
- Profund. foco, campo**
- $\angle$  e eixos do olho

Modelos

- Olho estático
- Olho dinâmico

Img. Purkinje

Ametropias

- Ametropias esféricas
- Refracção ocular e lentes de correcção
- Astigmatismo

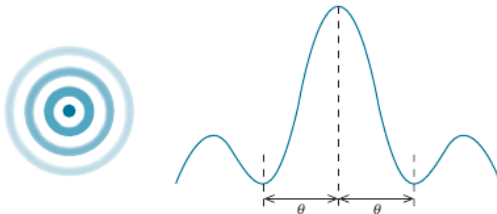
Acomodação

- Percurso e amplitude de acomodação
- Acomod. pt. óculos

Convergência

# O olho como sistema óptico

## Profundidade de foco e profundidade de campo



No olho, o ângulo subtendido pelo disco central no ponto nodal é obtido por:

$$\omega = 2\theta = 2,44 \frac{\lambda}{\phi_{\text{pup}}}$$

onde  $\lambda$  é o c.d.o. da luz e  $\phi_{\text{pup}}$  é o diâmetro da pupila.

## Componentes

- Córnea
- Câmara ant. e postr.
- Íris e pupila
- Cristalino
- Humor vítreo
- Retina

## Sist. óptico

Pontos cardinais  
Pupilas entr., saída  
Profund. foco, campo  
e eixos do olho

## Modelos

Olho estático  
Olho dinâmico

Img. Purkinje

## Ametropias

- Ametropias esféricas
- Refracção ocular e lentes de correcção
- Astigmatismo

## Acomodação

Percurso e amplitude  
de acomodação  
Acomod. pt. óculos

## Convergência



[http://arte-digital.org/fotografia/Foco\\_e\\_%20profundidade\\_de\\_campo.pdf](http://arte-digital.org/fotografia/Foco_e_%20profundidade_de_campo.pdf)  
<https://www.tecmundo.com.br/internet/8739-fotografia-entenda-as-prioridades-de-abertura-e-velocidade.htm>



- Córnea
- Câmara ant. e postr.
- Íris e pupila
- Cristalino
- Humor vítreo
- Retina

- Pontos cardinais
- Pupilas entr., saída
- Profund. foco, campo
- ◀ e eixos do olho

- Olho estático
- Olho dinâmico

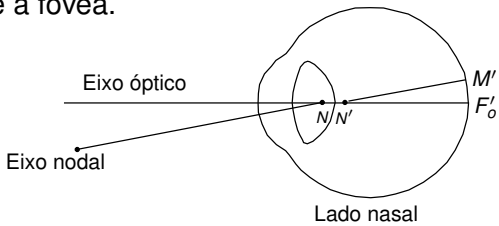
- Ametropias esféricas
- Refracção ocular e lentes de correcção
- Astigmatismo

- Percurso e amplitude de acomodação
- Acomod. pt. óculos

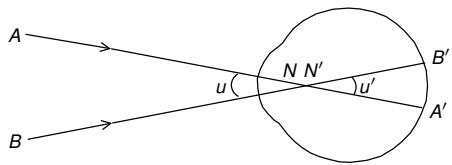
# O olho como sistema óptico

Ângulos de referência e eixos do olho

**Eixo nodal** → linha quebrada que une o ponto de fixação com o ponto nodal objecto e emerge do ponto nodal imagem até à fóvea.



Permite conhecer o tamanho angular dos objectos a partir do ângulo subtendido pelos mesmos no ponto nodal.





## Componentes

Córnea  
Câmara ant. e postr.  
Íris e pupila  
Cristalino  
Humor vítreo  
Retina

## Sist. óptico

Pontos cardinais  
Pupilas entr., saída  
Profund. foco, campo  
◀ e eixos do olho

## Modelos

Olho estático  
Olho dinâmico

## Img. Purkinje

## Ametropias

Ametropias esféricas  
Refracção ocular e  
lentes de correcção  
Astigmatismo

## Acomodação

Percurso e amplitude  
de acomodação  
Acomod. pt. óculos

## Convergência

# O olho como sistema óptico

## Ângulos de referência e eixos do olho

**Eixo de fixação** → linha que passa pelo ponto de fixação e o eixo de rotação do olho.



Utiliza-se como referência para a medição dos movimentos oculares.



**Ângulo  $\gamma$**  → ângulo entre o eixo de fixação e o eixo óptico.

## Componentes

Córnea  
Câmara ant. e postr.  
Íris e pupila  
Cristalino  
Humor vítreo  
Retina

## Sist. óptico

Pontos cardinais  
Pupilas entr., saída  
Profund. foco, campo  
◀ e eixos do olho

## Modelos

Olho estático  
Olho dinâmico

## Img. Purkinje

## Ametropias

Ametropias esféricas  
Refracção ocular e  
lentes de correcção  
Astigmatismo

## Acomodação

Percurso e amplitude  
de acomodação  
Acomod. pt. óculos

## Convergência

# O olho como sistema óptico

## Ângulos de referência e eixos do olho

**Linha do olhar** ou **linha de visão** → une o ponto de fixação com o centro da fóvea.

- Diferentes autores consideram que a linha de visão é o eixo visual ou o eixo nodal.



A localização do centro da pupila pode mudar quando esta muda de diâmetro  $\Rightarrow$  inconveniente do uso do eixo visual.



Componentes

- Córnea
- Câmara ant. e postr.
- Íris e pupila
- Cristalino
- Humor vítreo
- Retina

Sist. óptico

- Pontos cardinais
- Pupilas entr., saída
- Profund. foco, campo
- ◀ e eixos do olho

Modelos

- Olho estático
- Olho dinâmico

Img. Purkinje

Ametropias

- Ametropias esféricas
- Refracção ocular e lentes de correcção
- Astigmatismo

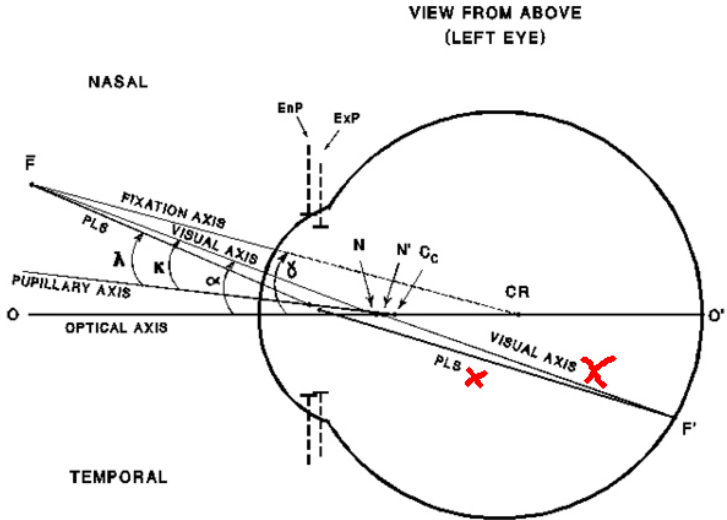
Acomodação

- Percurso e amplitude de acomodação
- Acomod. pt. óculos

Convergência

# O olho como sistema óptico

## Ângulos de referência e eixos do olho



# Outline

## Sistema óptico do olho

S. Mogo

### Componentes

Córnea  
Câmara ant. e postr.  
Íris e pupila  
Cristalino  
Humor vítreo  
Retina

### Sist. óptico

Pontos cardinais  
Pupilas entr., saída  
Profund. foco, campo  
< e eixos do olho

### Modelos

Olho estático  
Olho dinâmico

### Img. Purkinje

### Ametropias

Ametropias esféricas  
Refracção ocular e  
lentes de correcção  
Astigmatismo

### Acomodação

Percurso e amplitude  
de acomodação  
Acomod. pt. óculos

### Convergência

1

#### Componentes refractivos do olho

Córnea  
Câmara anterior e câmara posterior  
Íris e pupila  
Cristalino  
Humor vítreo  
Retina

2

#### O olho como sistema óptico

Pontos cardinais do olho  
Pupilas de entrada e de saída  
Profundidade de foco e profundidade de campo  
Ângulos de referência e eixos do olho

3

#### Modelos esquemáticos do olho

Modelos estáticos do olho  
Modelos dinâmicos do olho

4

#### Imagens de Purkinje

5

#### Ametropias esféricas e astigmáticas

Ametropias esféricas  
Refracção ocular e lentes de correcção  
Astigmatismo

6

#### Acomodação

Percurso de acomodação e amplitude de acomodação  
Acomodação ocular e acomodação no ponto dos óculos

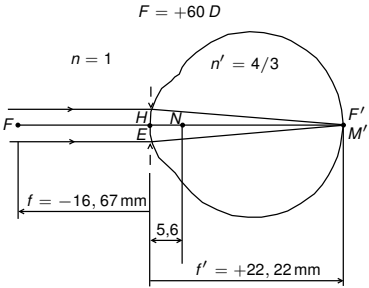
7

#### Convergência

# Modelos esquemáticos do olho

## Olho reduzido

Para a maior parte dos nossos objectivos, a imagem óptica pode ser estudada com base numa simplificação denominada **olho reduzido**.



- As 4 superfícies oculares refractoras são substituídas por uma única;
- $F = +60 D$
- $n = 4/3$
- $f = -16,67 \text{ mm}$
- $f' = 22,22 \text{ mm}$
- $r = 5,56 \text{ mm}$
- $H \equiv H' \equiv$  vértice do olho
- $N \equiv N' \equiv$  centro de curvatura
- eixo óptico  $\equiv$  eixo visual  $\rightarrow$  linha que passa por  $H$  e  $N$
- $E \equiv E' \equiv E_O$

Componentes

- Córnea
- Câmara ant. e postr.
- Íris e pupila
- Cristalino
- Humor vítreo
- Retina

Sist. óptico

- Pontos cardinais
- Pupilas entr., saída
- Profund. foco, campo
- $\angle$  e eixos do olho

Modelos

- Olho estático
- Olho dinâmico

Img. Purkinje

Ametropias

- Ametropias esféricas
- Refracção ocular e lentes de correcção
- Astigmatismo

Acomodação

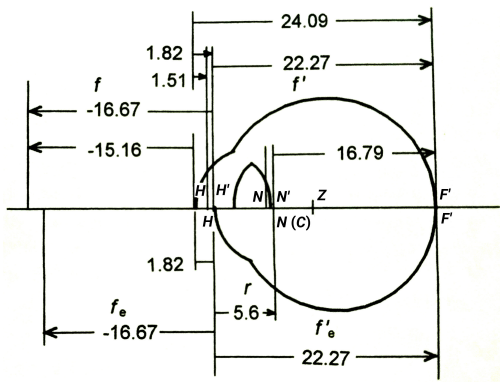
- Percurso e amplitude de acomodação
- Acomod. pt. óculos

Convergência

# Modelos esquemáticos do olho

## Olho esquemático de Gulstrand-Emsley

No **olho esquemático de Gulstrand-Emsley** consideram-se 3 superfícies refractoras: a córnea e as superfícies anterior e posterior do cristalino.



Componentes

- Córnea
- Câmara ant. e postr.
- Íris e pupila
- Cristalino
- Humor vítreo
- Retina

Sist. óptico

- Pontos cardinais
- Pupilas entr., saída
- Profund. foco, campo
- $\angle$  e eixos do olho

Modelos

- Olho estático
- Olho dinâmico

Img. Purkinje

Ametropias

- Ametropias esféricas
- Refracção ocular e lentes de correcção
- Astigmatismo

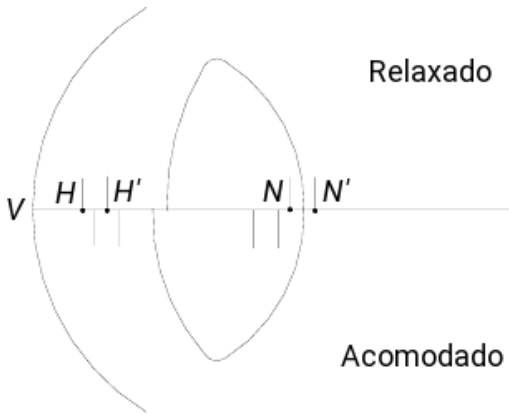
Acomodação

- Percurso e amplitude de acomodação
- Acomod. pt. óculos

Convergência

# Modelos esquemáticos do olho

## Olho esquemático acomodado



Puell, M.. Óptica Fisiológica: El sistema óptico del ojo y la visión binocular. Universidad Complutense de Madrid. 2014.

# Modelos esquemáticos do olho

## Olho esquemático de Bennett-Rabbetts

## Componentes

Córnea  
Câmara ant. e post.  
Íris e pupila  
Cristalino  
Humor vítreo  
Retina

## Sist. óptico

Pontos cardinais  
Pupilas entr., saída  
Profund. foco, campo  
< e eixos do olho

## Modelos

Olho estático  
Olho dinâmico

## Img. Purkinje

## Ametropias

Ametropias esféricas  
Refracção ocular e  
lentes de correcção  
Astigmatismo

## Acomodação

Percurso e amplitude  
de acomodação  
Acomod. pt. óculos

## Convergência

Quantity		Accommodation					
		Relaxed	2.5 D	5.0 D	7.5 D	10.0 D	Elderly
Radii of curvature							
cornea	$r_1$	+7.80	+7.80	+7.80	+7.80	+7.80	+7.80
crystalline: first surface	$r_2$	+11.00	+8.60	+7.00	+6.00	+5.20	+9.25
crystalline: second surface*	$r_3$	-6.47515	-5.909	-5.504	-5.063	-4.750	-6.130
Axial separations							
depth of anterior chamber	$d_1$	3.60	3.475	3.37	3.28	3.21	2.95
thickness of crystalline	$d_2$	3.70	3.825	3.93	4.02	4.09	4.45
depth of vitreous body	$d_3$	16.79	16.79	16.79	16.79	16.79	16.69
overall axial length †		24.09	24.09	24.09	24.09	24.09	24.09
Mean refractive indices							
air	$n_1$	1	1	1	1	1	1
aqueous humour	$n_2$	1.336	1.336	1.336	1.336	1.336	1.336
crystalline	$n_3$	1.422	1.422	1.422	1.422	1.422	1.406
vitreous humour	$n_4$	1.336	1.336	1.336	1.336	1.336	1.336
Surface powers							
cornea	$F_1$	+43.08	+43.08	+43.08	+43.08	+43.08	+43.08
crystalline: first surface	$F_2$	+7.82	+10.00	+12.29	+14.33	+16.54	+7.57
crystalline: second surface	$F_3$	+13.28	+14.55	+15.63	+16.98	+18.10	+11.42
Equivalent powers							
crystalline	$F_L$	+20.83	+24.16	+27.38	+30.63	+33.78	+18.71
eye	$F_0$	+60.00	+62.85	+62.62	+68.40	+71.12	+58.45
Equivalent focal lengths of eye							
first (PF)	$f_0$	-16.67	-15.91	-15.24	-14.62	-14.06	-17.10
second (P'F')	$f'_0$	+22.27	+21.26	+20.36	+19.53	+18.79	+22.85
Distances from corneal vertex							
first principal point	$A_1P$	+1.51	+1.62	+1.71	+1.80	+1.87	+1.33
second principal point‡	$A_1P'$	+1.82	+1.95	+2.05	+2.15	+2.23	+1.61
first nodal point	$A_1N$	+7.11	+6.97	+6.83	+6.71	+6.60	+7.07
second nodal point	$A_1N'$	+7.42	+7.29	+7.17	+7.06	+6.95	+7.36
entrance pupil	$A_1E$	+3.05	+2.93	+2.83	+2.75	+2.68	+2.44
exit pupil	$A_1E'$	+3.70	+3.56	+3.44	+3.33	+3.25	+3.01
first principal focus	$A_1F$	-15.16	-14.29	-13.53	-12.82	-12.19	-15.78
second principal focus	$A_1F'$	+24.09	+23.21	+22.41	+21.68	+21.01	+24.47
Refractive state (principal point)							
	$K$	0	-2.50	-5.00	-7.50	-10.00	+1.00
Distance of near point from corneal vertex							
			-398.5	-198.3	-131.6	-98.1	

All linear distances are in millimetres and powers in dioptres.

\* This radius is specified to three or more places of decimals solely to 'fine-tune' the resulting refractive state, and does not imply that an eye has to be constructed to this degree of precision.

† The accurate value of 24.0859 was used in the reversed ray traces for the accommodating and elderly eyes.

‡ Rounding errors explain the apparent differences between PP' and NN' for the various eyes.

# Outline

## Sistema óptico do olho

S. Mogo

### Componentes

Córnea  
Câmara ant. e postr.  
Íris e pupila  
Cristalino  
Humor vítreo  
Retina

### Sist. óptico

Pontos cardinais  
Pupilas entr., saída  
Profund. foco, campo  
< e eixos do olho

### Modelos

Olho estático  
Olho dinâmico

### Img. Purkinje

### Ametropias

Ametropias esféricas  
Refracção ocular e  
lentes de correcção  
Astigmatismo

### Acomodação

Percurso e amplitude  
de acomodação  
Acomod. pt. óculos

### Convergência

1

#### Componentes refractivos do olho

Córnea  
Câmara anterior e câmara posterior  
Íris e pupila  
Cristalino  
Humor vítreo  
Retina

2

#### O olho como sistema óptico

Pontos cardinais do olho  
Pupilas de entrada e de saída  
Profundidade de foco e profundidade de campo  
Ângulos de referência e eixos do olho

3

#### Modelos esquemáticos do olho

Modelos estáticos do olho  
Modelos dinâmicos do olho

4

#### Imagens de Purkinje

5

#### Ametropias esféricas e astigmáticas

Ametropias esféricas  
Refracção ocular e lentes de correcção  
Astigmatismo

6

#### Acomodação

Percurso de acomodação e amplitude de acomodação  
Acomodação ocular e acomodação no ponto dos óculos

7

#### Convergência

Componentes

- Córnea
- Câmara ant. e postr.
- Íris e pupila
- Cristalino
- Humor vítreo
- Retina

Sist. óptico

- Pontos cardinais
- Pupilas entr., saída
- Profund. foco, campo
- $\angle$  e eixos do olho

Modelos

- Olho estático
- Olho dinâmico

Img. Purkinje

Ametropias

- Ametropias esféricas
- Refracção ocular e lentes de correcção
- Astigmatismo

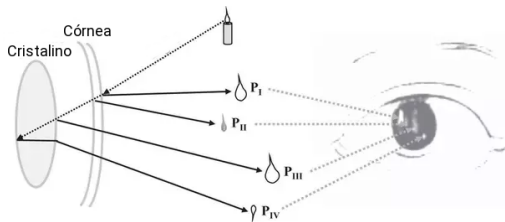
Acomodação

- Percurso e amplitude de acomodação
- Acomod. pt. óculos

Convergência

# Imagens de Purkinje

**Imagens de Purkinje** → são reflexões a partir das várias superfícies refractoras do olho.



<https://www.quora.com/What-are-Purkinje-images>

Quando a luz incide numa superfície refractora, há uma pequena parte do feixe que é reflectida.







Componentes

Córnea  
Câmara ant. e postr.  
Íris e pupila  
Cristalino  
Humor vítreo  
Retina

Sist. óptico

Pontos cardinais  
Pupilas entr., saída  
Profund. foco, campo  
< e eixos do olho

Modelos

Olho estático  
Olho dinâmico

Img. Purkinje

Ametropias

Ametropias esféricas  
Refracção ocular e  
lentes de correcção  
Astigmatismo

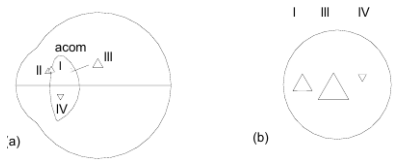
Acomodação

Percurso e amplitude  
de acomodação  
Acomod. pt. óculos

Convergência

# Imagens de Purkinje

## Purkinje III



Puell, M.. Óptica Fisiológica: El sistema óptico del ojo y la visión binocular. Universidad Complutense de Madrid. 2014.

- Produzida por reflexão na superfície anterior do cristalino;
- é a > das imagens de Purkinje devido a que a curvatura da superf. anterior do cristalino é < que as da córnea;
- é a menos intensa devido à:
  - pequena diferença entre  $n_{\text{ha}}$  e  $n_{\text{cristalino}}$ ;
  - superf. anterior do cristalino ser menos lisa que a da córnea;
  - existência de  $n$  variável no cristalino.
- durante a acomodação torna-se mais pequena devido ao aumento da curvatura da superfície anterior do cristalino.



Componentes

- Córnea
- Câmara ant. e postr.
- Íris e pupila
- Cristalino
- Humor vítreo
- Retina

Sist. óptico

- Pontos cardinais
- Pupilas entr., saída
- Profund. foco, campo
- < e eixos do olho

Modelos

- Olho estático
- Olho dinâmico

Img. Purkinje

Ametropias

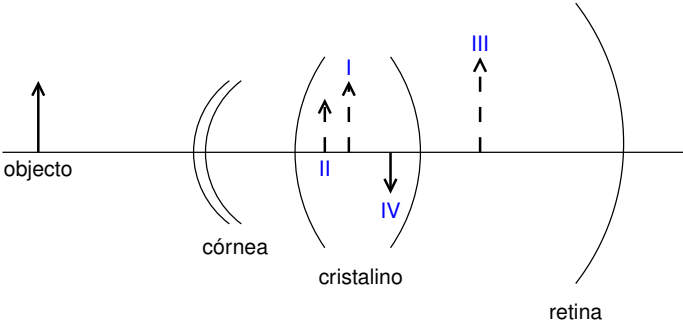
- Ametropias esféricas
- Refracção ocular e lentes de correcção
- Astigmatismo

Acomodação

- Percurso e amplitude de acomodação
- Acomod. pt. óculos

Convergência

# Imagens de Purkinje



Componentes

- Córnea
- Câmara ant. e postr.
- Íris e pupila
- Cristalino
- Humor vítreo
- Retina

Sist. óptico

- Pontos cardinais
- Pupilas entr., saída
- Profund. foco, campo
- $\angle$  e eixos do olho

Modelos

- Olho estático
- Olho dinâmico

Img. Purkinje

Ametropias

- Ametropias esféricas
- Refracção ocular e lentes de correcção
- Astigmatismo

Acomodação

- Percurso e amplitude de acomodação
- Acomod. pt. óculos

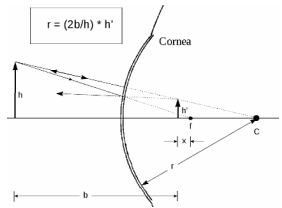
Convergência

# Imagens de Purkinje

Utilidade

## Purkinje I:

- determinação do raio de curvatura da córnea — **queratometria e topografia corneal**;



- medição do ângulo  $\kappa$  (entre o eixo pupilar e o eixo nodal) — **teste de Hirschberg**.



## Componentes

Córnea  
Câmara ant. e postr.  
Íris e pupila  
Cristalino  
Humor vítreo  
Retina

## Sist. óptico

Pontos cardinais  
Pupilas entr., saída  
Profund. foco, campo  
< e eixos do olho

## Modelos

Olho estático  
Olho dinâmico

## Img. Purkinje

## Ametropias

Ametropias esféricas  
Refracção ocular e  
lentes de correcção  
Astigmatismo

## Acomodação

Percurso e amplitude  
de acomodação  
Acomod. pt. óculos

## Convergência

# Imagens de Purkinje

## Utilidade

### Purkinje I e IV:

- a posição relativa das Purkinje I e IV, pode ser usada em alguns **sistemas de seguimento ocular** para determinar a posição do olhar ou para medir o movimento do olho em relação à cabeça.

# Outline

## Sistema óptico do olho

S. Mogo

### Componentes

Córnea  
Câmara ant. e postr.  
Íris e pupila  
Cristalino  
Humor vítreo  
Retina

### Sist. óptico

Pontos cardinais  
Pupilas entr., saída  
Profund. foco, campo  
< e eixos do olho

### Modelos

Olho estático  
Olho dinâmico

### Img. Purkinje

### Ametropias

Ametropias esféricas  
Refracção ocular e  
lentes de correcção  
Astigmatismo

### Acomodação

Percurso e amplitude  
de acomodação  
Acomod. pt. óculos

### Convergência

1

#### Componentes refractivos do olho

Córnea  
Câmara anterior e câmara posterior  
Íris e pupila  
Cristalino  
Humor vítreo  
Retina

2

#### O olho como sistema óptico

Pontos cardinais do olho  
Pupilas de entrada e de saída  
Profundidade de foco e profundidade de campo  
Ângulos de referência e eixos do olho

3

#### Modelos esquemáticos do olho

Modelos estáticos do olho  
Modelos dinâmicos do olho

4

#### Imagens de Purkinje

5

#### Ametropias esféricas e astigmáticas

Ametropias esféricas  
Refracção ocular e lentes de correcção  
Astigmatismo

6

#### Acomodação

Percurso de acomodação e amplitude de acomodação  
Acomodação ocular e acomodação no ponto dos óculos

7

#### Convergência





## Componentes

Córnea  
Câmara ant. e postr.  
Íris e pupila  
Cristalino  
Humor vítreo  
Retina

## Sist. óptico

Pontos cardinais  
Pupilas entr., saída  
Profund. foco, campo  
< e eixos do olho

## Modelos

Olho estático  
Olho dinâmico

## Img. Purkinje

## Ametropias

Ametropias esféricas  
Refracção ocular e  
lentes de correcção  
Astigmatismo

## Acomodação

Percurso e amplitude  
de acomodação  
Acomod. pt. óculos

## Convergência

# Ametropias

## Classificação

- **Ametropias esféricas:**
  - o sistema refractivo do olho é simétrico em torno do seu eixo óptico;
  - o olho consegue formar uma imagem pontual a partir de um objecto pontual mas não o faz sobre a retina;
  - **miopia**, **hipermetropia**.
- **Ametropias cilíndricas:**
  - o olho não consegue formar uma imagem pontual a partir de um objecto pontual;
  - **astigmatismo**.
- **Ametropias irregulares.**

Componentes

- Córnea
- Câmara ant. e postr.
- Íris e pupila
- Cristalino
- Humor vítreo
- Retina

Sist. óptico

- Pontos cardinais
- Pupilas entr., saída
- Profund. foco, campo
- <1 e eixos do olho

Modelos

- Olho estático
- Olho dinâmico

Img. Purkinje

Ametropias

- Ametropias esféricas
- Refracção ocular e lentes de correcção
- Astigmatismo

Acomodação

- Percurso e amplitude de acomodação
- Acomod. pt. óculos

Convergência

# Ametropias

## Causas

- **Axiais** → referem-se ao comprimento do globo ocular.
- **Refractivas**
  - de curvatura
  - de índice

## Componentes

Córnea  
Câmara ant. e postr.  
Íris e pupila  
Cristalino  
Humor vítreo  
Retina

## Sist. óptico

Pontos cardinais  
Pupilas entr., saída  
Profund. foco, campo  
< e eixos do olho

## Modelos

Olho estático  
Olho dinâmico

## Img. Purkinje

## Ametropias

Ametropias esféricas  
Refracção ocular e  
lentes de correcção  
Astigmatismo

## Acomodação

Percurso e amplitude  
de acomodação  
Acomod. pt. óculos

## Convergência

# Ametropias

## Parâmetros ópticos

- **Ponto remoto** → é o ponto mais afastado do olho que este pode ver nitidamente sem intervenção da acomodação.

→ é o ponto conjugado da retina em condições de máxima relaxação da acomodação.



- **Ponto próximo** → é o ponto mais próximo do olho que este pode ver nitidamente.

→ é o ponto conjugado da retina em condições de máxima estimulação da acomodação.





Componentes

Córnea  
Câmara ant. e postr.  
Íris e pupila  
Cristalino  
Humor vítreo  
Retina

Sist. óptico

Pontos cardinais  
Pupilas entr., saída  
Profund. foco, campo  
< e eixos do olho

Modelos

Olho estático  
Olho dinâmico

Img. Purkinje

Ametropias

Ametropias esféricas  
Refracção ocular e  
lentes de correcção  
Astigmatismo

Acomodação

Percurso e amplitude  
de acomodação  
Acomod. pt. óculos

Convergência

# Refracção ocular e lentes de correção

**Refracção ocular,  $R_{oc}$**   $\rightarrow$  é a recíproca da distância ao  
objecto multiplicada pelo índice de refracção do meio.

$$\text{Vergência: } V = \frac{n}{s} \Rightarrow R_{oc} = \frac{1}{r}$$

(onde  $r$  — distância do olho ao PR)

**Comprimento dióptrico do olho,  $R'_{oc}$**   $\rightarrow$  é a recíproca da  
distância à fóvea multiplicada pelo índice de refracção do  
meio.

$$\text{Vergência imagem: } V' = \frac{n'}{s'} \Rightarrow R'_{oc} = \frac{n_{\text{olho}}}{r'}$$

(onde  $r'$  — comprimento axial do olho)

**Potência do olho,  $F_{oc}$** : se o indivíduo for emétrope

$$R_{oc} = \frac{1}{\infty} = 0 \Rightarrow F_{oc} = R'_{oc}$$

Caso seja amétrope:  $V' - V = F \Rightarrow R'_{oc} - R_{oc} = F_{oc}$

# Refracção ocular e lentes de correcção

Componentes

Córnea

Câmara ant. e postr.

Íris e pupila

Cristalino

Humor vítreo

Retina

Sist. óptico

Pontos cardinais

Pupilas entr., saída

Profund. foco, campo

< e eixos do olho

Modelos

Olho estático

Olho dinâmico

Img. Purkinje

Ametropias

Ametropias esféricas

Refracção ocular e lentes de correcção

Astigmatismo

Acomodação

Percurso e amplitude de acomodação

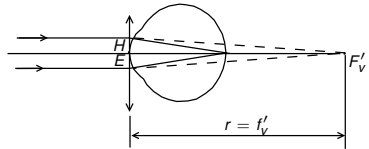
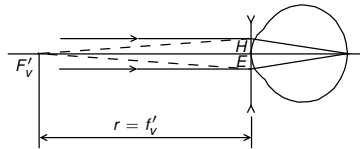
Acomod. pt. óculos

Convergência

## Princípio de correcção das ametropias:

- fazer coincidir o foco imagem da lente compensadora com o PR do indivíduo.
- a lente forma no seu foco imagem, uma imagem nítida de um objecto situado no infinito;
- o olho foca na retina, objectos situados no PR;
- se a correcção for feita em LC: distância focal imagem da LC é igual à distância ao PR:

$$f'_V = \overline{H \times PR} = r \Rightarrow \boxed{F'_V = R_{oc}}$$





## Componentes

Córnea  
Câmara ant. e postr.  
Íris e pupila  
Cristalino  
Humor vítreo  
Retina

## Sist. óptico

Pontos cardinais  
Pupilas entr., saída  
Profund. foco, campo  
< e eixos do olho

## Modelos

Olho estático  
Olho dinâmico

## Img. Purkinje

## Ametropias

Ametropias esféricas  
**Refracção ocular e  
lentes de correcção**  
Astigmatismo

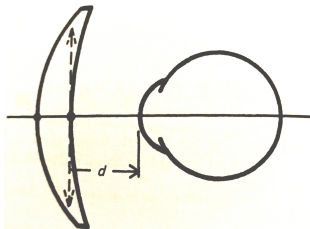
## Acomodação

Percurso e amplitude  
de acomodação  
Acomod. pt. óculos

## Convergência

# Refracção ocular e lentes de correccção

A potência da lente compensadora **espessa** é universalmente aceite como sendo a sua **potência ao vértice posterior**, *i.e.*, é a recíproca da distância entre o vértice posterior da lente e o seu foco imagem,  $f'_V$ .



**Distância ao vértice,  $d$**  → distância entre o vértice posterior da lente e o olho.

- Córnea
- Câmara ant. e postr.
- Íris e pupila
- Cristalino
- Humor vítreo
- Retina

- Pontos cardinais
- Pupilas entr., saída
- Profund. foco, campo
- $\angle$  e eixos do olho

- Olho estático
- Olho dinâmico

- Ametropias esféricas
- Refracção ocular e lentes de correcção
- Astigmatismo

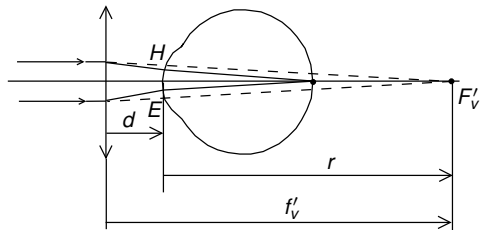
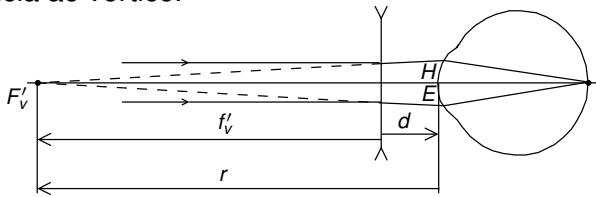
- Percurso e amplitude de acomodação
- Acomod. pt. óculos

# Refracção ocular e lentes de correcção

Se a lente correctora for para colocar em óculos, há que saber a distância ao vértice.

Miopia

$$f'_v = r - d$$



Hipermetropia

$$f'_v = r + d$$

## Componentes

Córnea  
Câmara ant. e postr.  
Íris e pupila  
Cristalino  
Humor vítreo  
Retina

## Sist. óptico

Pontos cardinais  
Pupilas entr., saída  
Profund. foco, campo  
< e eixos do olho

## Modelos

Olho estático  
Olho dinâmico

## Img. Purkinje

## Ametropias

Ametropias esféricas  
Refracção ocular e  
lentes de correcção  
Astigmatismo

## Acomodação

Percurso e amplitude  
de acomodação  
Acomod. pt. óculos

## Convergência

# Refracção ocular e lentes de correccção

Se, por alguma razão, houver que mudar a distância ao vértice, a potência da lente oftálmica tem de ser ajustada:

$$f''_v = f'_v + \Delta d$$

onde:

$f''_v$  — distância focal ao vértice da nova lente;

$f'_v$  — distância focal ao vértice da lente original;

$\Delta d$  — variação de distância ao vértice.

## Componentes

- Córnea
- Câmara ant. e postr.
- Íris e pupila
- Cristalino
- Humor vítreo
- Retina

## Sist. óptico

Pontos cardinais  
Pupilas entr., saída  
Profund. foco, campo  
e eixos do olho

## Modelos

Olho estático  
Olho dinâmico

Imq. Purkinje

## Ametropias

Ametropias esféricas  
Refracção ocular e  
lentes de correcção  
**Astigmatismo**

## Acomodação

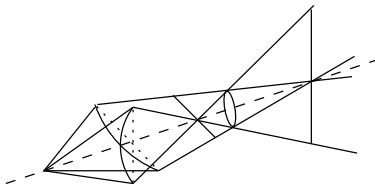
Percurso e amplitude  
de acomodação

## Convergência

# Astigmatismo

**Ametropias cilíndricas** → ocorrem quando o olho não é capaz de formar uma imagem pontual a partir de um objecto pontual.

- Dizemos que o olho tem **astigmatismo** se, em vez de um foco imagem, produz duas linhas focais, cuja localização em relação à retina dá lugar a diferentes tipos de astigmatismo.



# Astigmatismo

Componentes

- Córnea
- Câmara ant. e postr.
- Íris e pupila
- Cristalino
- Humor vítreo
- Retina

Sist. óptico

- Pontos cardinais
- Pupilas entr., saída
- Profund. foco, campo
- $\angle$  e eixos do olho

Modelos

- Olho estático
- Olho dinâmico

Img. Purkinje

Ametropias

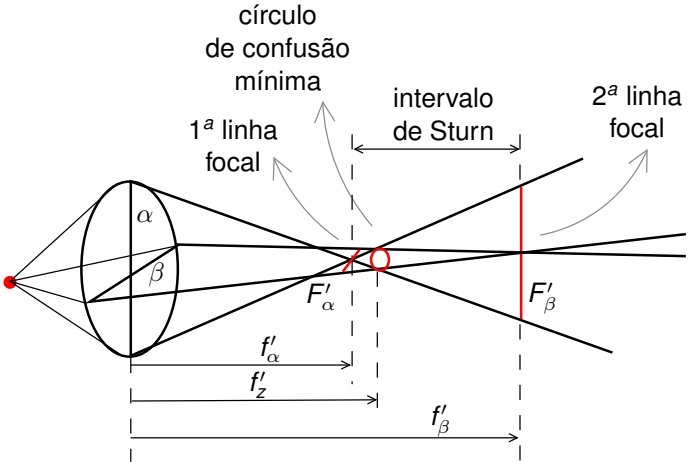
- Ametropias esféricas
- Refracção ocular e lentes de correcção

Astigmatismo

Acomodação

- Percurso e amplitude de acomodação
- Acomod. pt. óculos

Convergência



Componentes

Córnea  
Câmara ant. e postr.  
Íris e pupila  
Cristalino  
Humor vítreo  
Retina

Sist. óptico

Pontos cardinais  
Pupilas entr., saída  
Profund. foco, campo  
< e eixos do olho

Modelos

Olho estático  
Olho dinâmico

Img. Purkinje

Ametropias

Ametropias esféricas  
Refracção ocular e  
lentes de correcção

Astigmatismo

Acomodação

Percurso e amplitude  
de acomodação  
Acomod. pt. óculos

Convergência

# Astigmatismo

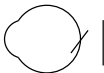
## Classificação

O astigmatismo é classificado de acordo com a posição das suas focais em relação à retina:

- **miópico simples**



- **hipermetrópico simples**



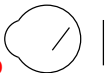
- **miópico composto**



- **hipermetrópico composto**



- **misto**



## Componentes

Córnea  
Câmara ant. e postr.  
Íris e pupila  
Cristalino  
Humor vítreo  
Retina

## Sist. óptico

Pontos cardinais  
Pupilas entr., saída  
Profund. foco, campo  
< e eixos do olho

## Modelos

Olho estático  
Olho dinâmico

## Img. Purkinje

## Ametropias

Ametropias esféricas  
Refracção ocular e  
lentes de correcção  
Astigmatismo

## Acomodação

Percurso e amplitude  
de acomodação  
Acomod. pt. óculos

## Convergência

# Astigmatismo

## Compensação

Para corrigir o olho astigmático, são usadas lentes astigmáticas com os seus meridianos principais alinhados com os meridianos principais do olho.



Astigmatismos irregulares:

- variação de potência ao longo do mesmo meridiano;
- muito difícil compensar com lentes oftálmicas;
- podem ser usadas LC ou lentes asféricas.

# Outline

## Sistema óptico do olho

S. Mogo

### Componentes

Córnea  
Câmara ant. e postr.  
Íris e pupila  
Cristalino  
Humor vítreo  
Retina

### Sist. óptico

Pontos cardinais  
Pupilas entr., saída  
Profund. foco, campo  
< e eixos do olho

### Modelos

Olho estático  
Olho dinâmico

### Img. Purkinje

### Ametropias

Ametropias esféricas  
Refracção ocular e  
lentes de correcção  
Astigmatismo

### Acomodação

Percurso e amplitude  
de acomodação  
Acomod. pt. óculos

### Convergência

1

#### Componentes refractivos do olho

Córnea  
Câmara anterior e câmara posterior  
Íris e pupila  
Cristalino  
Humor vítreo  
Retina

2

#### O olho como sistema óptico

Pontos cardinais do olho  
Pupilas de entrada e de saída  
Profundidade de foco e profundidade de campo  
Ângulos de referência e eixos do olho

3

#### Modelos esquemáticos do olho

Modelos estáticos do olho  
Modelos dinâmicos do olho

4

#### Imagens de Purkinje

5

#### Ametropias esféricas e astigmáticas

Ametropias esféricas  
Refracção ocular e lentes de correcção  
Astigmatismo

6

#### Acomodação

Percurso de acomodação e amplitude de acomodação  
Acomodação ocular e acomodação no ponto dos óculos

7

#### Convergência



## Componentes

- Córnea
- Câmara ant. e postr.
- Íris e pupila
- Cristalino
- Humor vítreo
- Retina

## Sist. óptico

Pontos cardinais  
Pupilas entr., saída  
Profund. foco, campo  
e eixos do olho

## Modelos

Olho estático  
Olho dinâmico

Imq. Purkinje

## Ametropias

## Acomodação

Percurso e amplitude  
de acomodação

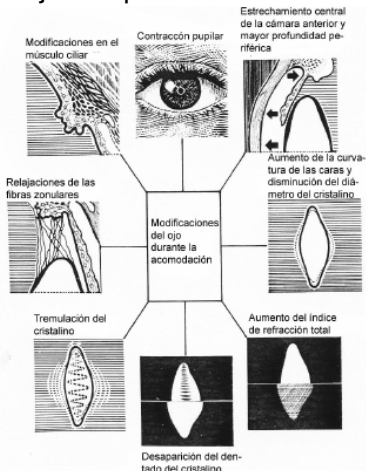
Acomod. pt. óculos

## Convergência

## Acomodação

### Definição

Num indivíduo jovem, o olho é capaz de focar a diferentes distâncias permitindo observar objectos distantes e objectos próximos — **mecanismo de acomodação**.



Puell, M.. Óptica Fisiológica: El sistema óptico del ojo y la visión binocular. Universidad Complutense de Madrid. 2014.

## Componentes

Córnea  
Câmara ant. e postr.  
Íris e pupila  
Cristalino  
Humor vítreo  
Retina

## Sist. óptico

Pontos cardinais  
Pupilas entr., saída  
Profund. foco, campo  
< e eixos do olho

## Modelos

Olho estático  
Olho dinâmico

## Img. Purkinje

## Ametropias

Ametropias esféricas  
Refracção ocular e  
lentes de correcção  
Astigmatismo

## Acomodação

Percurso e amplitude de  
acomodação  
Acomod. pt. óculos

## Convergência

# Acomodação

## Percurso de acomodação e amplitude de acomodação

- No estado de acomodação completamente relaxada, a retina está conjugada com o **ponto remoto**, *PR*.
- No estado de máxima acomodação, a retina está conjugada com o **ponto próximo de acomodação**, *PP*.

A distância entre o ponto remoto e o ponto próximo denomina-se **percurso de acomodação**.

O inverso desta distância denomina-se **amplitude de acomodação**, *AA*:

$$AA = \frac{1}{r} - \frac{1}{p}$$

onde *r* e *p* são as distâncias ao *PR* e ao *PP*, respectivamente.

## Componentes

Córnea  
Câmara ant. e postr.  
Íris e pupila  
Cristalino  
Humor vítreo  
Retina

## Sist. óptico

Pontos cardinais  
Pupilas entr., saída  
Profund. foco, campo  
< e eixos do olho

## Modelos

Olho estático  
Olho dinâmico

## Img. Purkinje

## Ametropias

Ametropias esféricas  
Refracção ocular e  
lentes de correcção  
Astigmatismo

## Acomodação

Percurso e amplitude  
de acomodação  
Acomod. pt. óculos

## Convergência

# Acomodação

## Percurso de acomodação e amplitude de acomodação

- Num olho emétrepe ou míope, o  $PP$  é sempre real e negativo;
- Num olho hipermetrópe, o  $PP$  só é real se a  $AA$  for maior que o erro refractivo do olho.

Componentes

- Córnea
- Câmara ant. e postr.
- Íris e pupila
- Cristalino
- Humor vítreo
- Retina

Sist. óptico

- Pontos cardinais
- Pupilas entr., saída
- Profund. foco, campo
- $\angle$  e eixos do olho

Modelos

- Olho estático
- Olho dinâmico

Img. Purkinje

Ametropias

- Ametropias esféricas
- Refração ocular e lentes de correcção
- Astigmatismo

Acomodação

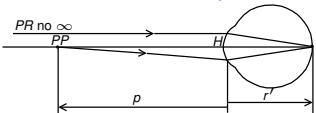
- Percurso e amplitude de acomodação
- Acomod. pt. óculos

Convergência

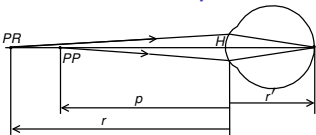
# Acomodação

## Percurso de acomodação e amplitude de acomodação

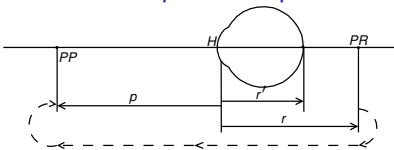
### Olho emétrepe:



### Olho míope:



### Olho hipermétrepe:



- Córnea
- Câmara ant. e postr.
- Íris e pupila
- Cristalino
- Humor vítreo
- Retina

- Pontos cardinais
- Pupilas entr., saída
- Profund. foco, campo
- < e eixos do olho

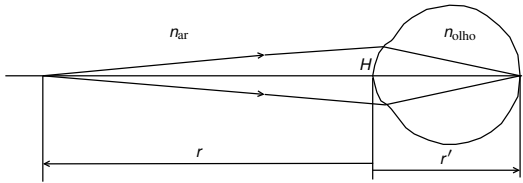
- Olho estático
- Olho dinâmico

- Ametropias esféricas
- Refracção ocular e lentes de correcção
- Astigmatismo

- Percurso e amplitude de acomodação
- Acomod. pt. óculos

# Acomodação

## Comprimento dióptrico do olho relaxado e acomodado



Sendo:  $R_{oc} = \frac{1}{r}$      $\wedge$      $R'_{oc} = \frac{n_{olho}}{r'}$ ,

podemos reescrever a AA como:

$$AA = \frac{1}{r} - \frac{1}{p} \quad \Leftrightarrow \quad AA = R_{oc} - \frac{1}{p} \quad \Leftrightarrow \quad R_{oc} = AA + \frac{1}{p}$$



Podemos agora encontrar o comprimento dióptrico do olho acomodado:

- Olho relaxado:  $R'_{oc} = R_{oc} + F_{oc}$
- Olho acomodado:  $R'_{oc} = AA + \frac{1}{p} + F_{oc}$

## Componentes

Córnea  
Câmara ant. e postr.  
Íris e pupila  
Cristalino  
Humor vítreo  
Retina

## Sist. óptico

Pontos cardinais  
Pupilas entr., saída  
Profund. foco, campo  
< e eixos do olho

## Modelos

Olho estático  
Olho dinâmico

## Img. Purkinje

## Ametropias

Ametropias esféricas  
Refracção ocular e  
lentes de correcção  
Astigmatismo

## Acomodação

Percurso e amplitude  
de acomodação  
**Acomod. pt. óculos**

## Convergência

# Acomodação

## Acomodação ocular e acomodação no ponto dos óculos

Na prática clínica a maior parte das medidas estão  
referidas em relação ao plano dos óculos.



Não é a refracção ocular mas sim a refracção no ponto dos  
óculos que é determinada.

Componentes

- Córnea
- Câmara ant. e postr.
- Íris e pupila
- Cristalino
- Humor vítreo
- Retina

Sist. óptico

- Pontos cardinais
- Pupilas entr., saída
- Profund. foco, campo
- $\angle$  e eixos do olho

Modelos

- Olho estático
- Olho dinâmico

Img. Purkinje

Ametropias

- Ametropias esféricas
- Refração ocular e lentes de correcção
- Astigmatismo

Acomodação

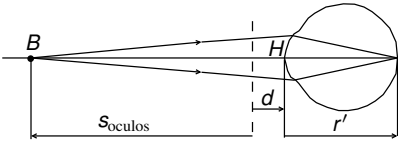
- Percurso e amplitude de acomodação
- Acomod. pt. óculos

Convergência

# Acomodação

## Acomodação ocular e acomodação no ponto dos óculos

Considerando um objecto próximo, B, situado a uma distância  $s_{\text{oculos}}$  do plano dos óculos:



- a acomodação ocular,  $A_{oc}$  difere da acomodação no ponto dos óculos,  $A_{\text{oculos}}$ , devido à separação entre a lente e o olho:  $s = s_{\text{oculos}} - d$



$$A_{\text{oculos}} = \frac{1}{s_{\text{oculos}}}$$

$$A_{oc} = \frac{1}{s_{\text{oculos}} - d} \Leftrightarrow s_{\text{oculos}} - d = \frac{1}{A_{oc}}$$

$$\frac{1}{A_{oc}} = \frac{1}{A_{\text{oculos}}} - d$$

# Outline

## Sistema óptico do olho

S. Mogo

### Componentes

Córnea  
Câmara ant. e postr.  
Íris e pupila  
Cristalino  
Humor vítreo  
Retina

### Sist. óptico

Pontos cardinais  
Pupilas entr., saída  
Profund. foco, campo  
< e eixos do olho

### Modelos

Olho estático  
Olho dinâmico

### Img. Purkinje

### Ametropias

Ametropias esféricas  
Refracção ocular e  
lentes de correcção  
Astigmatismo

### Acomodação

Percurso e amplitude  
de acomodação  
Acomod. pt. óculos

### Convergência

1

#### Componentes refractivos do olho

Córnea  
Câmara anterior e câmara posterior  
Íris e pupila  
Cristalino  
Humor vítreo  
Retina

2

#### O olho como sistema óptico

Pontos cardinais do olho  
Pupilas de entrada e de saída  
Profundidade de foco e profundidade de campo  
Ângulos de referência e eixos do olho

3

#### Modelos esquemáticos do olho

Modelos estáticos do olho  
Modelos dinâmicos do olho

4

#### Imagens de Purkinje

5

#### Ametropias esféricas e astigmáticas

Ametropias esféricas  
Refracção ocular e lentes de correcção  
Astigmatismo

6

#### Acomodação

Percurso de acomodação e amplitude de acomodação  
Acomodação ocular e acomodação no ponto dos óculos

7

#### Convergência



- Córnea
- Câmara ant. e postr.
- Íris e pupila
- Cristalino
- Humor vítreo
- Retina

- Pontos cardinais
- Pupilas entr., saída
- Profund. foco, campo
- $\angle$  e eixos do olho

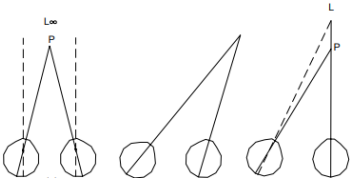
- Olho estático
- Olho dinâmico

- Ametropias esféricas
- Refracção ocular e lentes de correcção
- Astigmatismo

- Percurso e amplitude de acomodação
- Acomod. pt. óculos

# Convergência

**Convergência** → movimento dos eixos visuais quando o ponto de fixação varia de um ponto distante para um ponto próximo.



A convergência pode ser simétrica ou assimétrica.



**Ponto próximo de convergência** → ponto mais próximo dos olhos para o qual ainda é possível convergir. Se um objecto estiver mais próximo do que este ponto, passa a ser percebido em diplopia.

# Convergência

Componentes

- Córnea
- Câmara ant. e postr.
- Íris e pupila
- Cristalino
- Humor vítreo
- Retina

Sist. óptico

- Pontos cardinais
- Pupilas entr., saída
- Profund. foco, campo
- $\angle$  e eixos do olho

Modelos

- Olho estático
- Olho dinâmico

Img. Purkinje

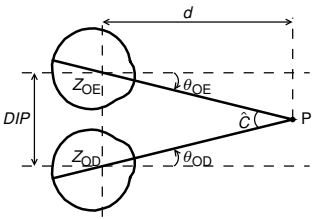
Ametropias

- Ametropias esféricas
- Refracção ocular e lentes de correcção
- Astigmatismo

Acomodação

- Percurso e amplitude de acomodação
- Acomod. pt. óculos

Convergência



$Z_{OE}, Z_{OD}$  — centros de rotação ocular

$DIP$  — distância interpupilar

$\hat{C}$  — **ângulo total de convergência**  $\rightarrow$  ângulo entre os dois eixos visuais quando dirigidos para o mesmo ponto de fixação:  $\hat{C} = \theta_{OD} + \theta_{OE}$ .

$$\tan \frac{\hat{C}}{2} = \frac{DIP/2}{d} \Rightarrow \boxed{\hat{C} = \frac{DIP}{d}}$$

(considerando que  $d$  é suficientemente grande e  $\hat{C}$  suficientemente pequeno para permitir a utilização da aproximação paraxial)

Componentes

Córnea  
Câmara ant. e postr.  
Íris e pupila  
Cristalino  
Humor vítreo  
Retina

Sist. óptico

Pontos cardinais  
Pupilas entr., saída  
Profund. foco, campo  
e eixos do olho

Modelos

Olho estático  
Olho dinâmico

Img. Purkinje

Ametropias

Ametropias esféricas  
Refração ocular e  
lentes de correcção  
Astigmatismo

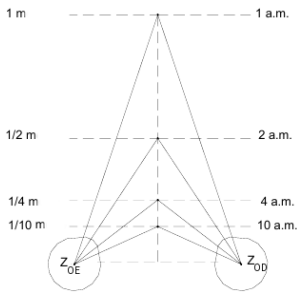
Acomodação

Percurso e amplitude  
de acomodação  
Acomod. pt. óculos

Convergência

# Convergência

## Unidades



**Ângulo métrico [a.m.]** → quantidade de convergência necessária para que os eixos visuais se encontrem à distância de 1 m.

- 1 a.m. de convergência  $\Rightarrow$  objecto a 1 m de distância
- 2 a.m. de convergência  $\Rightarrow$  objecto a 0,5 m de distância

**Dioptria prismática [ $\Delta$ ]**

Componentes

- Córnea
- Câmara ant. e postr.
- Íris e pupila
- Cristalino
- Humor vítreo
- Retina

Sist. óptico

- Pontos cardinais
- Pupilas entr., saída
- Profund. foco, campo
- < e eixos do olho

Modelos

- Olho estático
- Olho dinâmico

Img. Purkinje

Ametropias

- Ametropias esféricas
- Refracção ocular e lentes de correcção
- Astigmatismo

Acomodação

- Percurso e amplitude de acomodação
- Acomod. pt. óculos

Convergência



College of Optometrists

4.885 seguidores  
2 d

+ Seguir

"Optometry is about helping people to see as well and as clearly as possible. Your knowledge can make a real difference to people's lives every day." - Dr Susan Blakeney FCOptom #WorldSightDay

Visualizar tradução



15 gostaram

