

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

Percorso 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

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

Percorso 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

Percorso de acomodação e amplitude de acomodação

Acomodação ocular e acomodação no ponto dos óculos

7 Convergência

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

Percorso 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 × cérebro;
- como um par: visão 3D;
- ...

<https://emojipedia.org/1g/g5/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

ângulos e eixos do olho

Modelos

Olho estático

Olho dinâmico

Img. Purkinje

Ametropias

Ametropias esféricas

Refracção ocular e lentes de correção

Astigmatismo

Acomodação

Percorso 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 correção
Astigmatismo

6

Acomodação

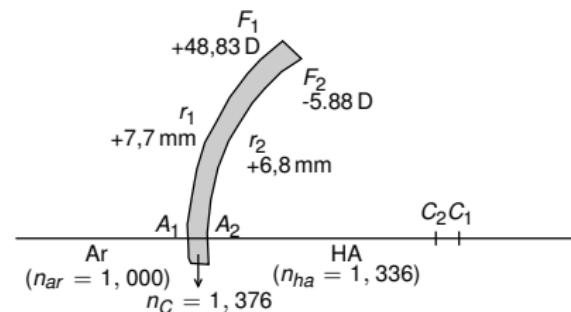
Percorso de acomodação e amplitude de acomodação
Acomodação ocular e acomodação no ponto dos óculos

7

Convergência

Componentes refractivos do olho

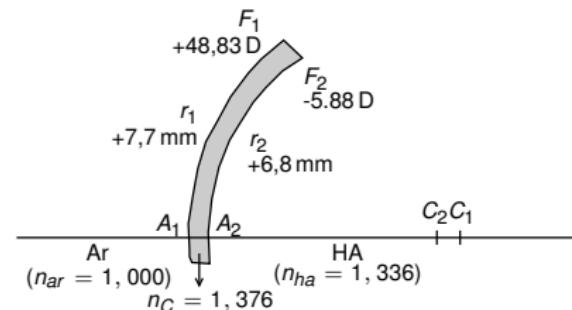
Córnea



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

Componentes refractivos do olho

Córnea



- Potência da superfície anterior da córnea:

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

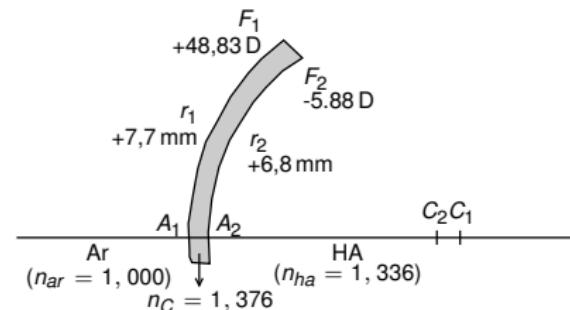
- Potência da superfície posterior da córnea:

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

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

Componentes refractivos do olho

Córnea



- Potência da superfície anterior da córnea:

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

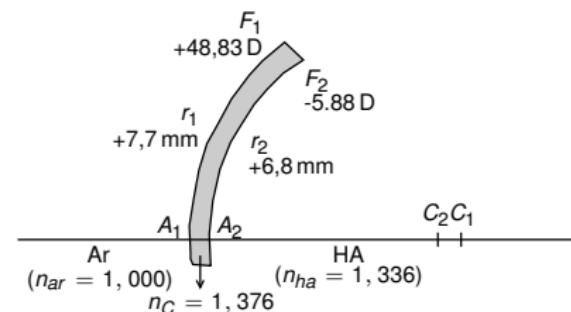
- Potência da superfície posterior da córnea:

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

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

Componentes 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:

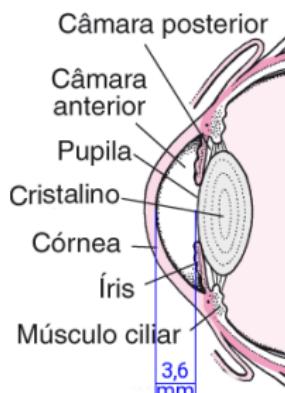
$$F = \frac{n' - n}{r} \Leftrightarrow F_2 = \frac{n_{ha} - n_c}{r_2} = \frac{1,336 - 1,376}{6,8 \times 10^{-3}} = -5,88 \text{ D}$$

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

Componentes refractivos do olho

Câmara anterior e câmara posterior

As câmaras anterior e posterior encontram-se preenchidas pelo humor aquoso, líquido constituído por 98 % de água.



- Índice de refracção: $n_{ha} = 1,336$;
- profundidade da c. anterior: $\cong 3,6$ mm (importante porque afecta a potência total do olho)
- se a profundidade da câmara anterior diminuir em 1 mm, a potência do olho aumenta $\cong 1,4$ D.

<https://www.msdmanuals.com>

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

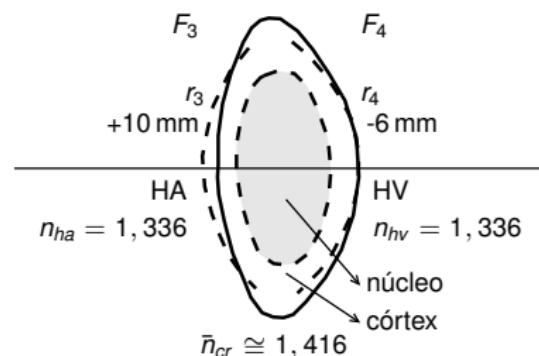
Percorso e amplitude
de acomodação

Acomod. pt. óculos

Convergência

Componentes refractivos do
olho

Cristalino



- Lente biconvexa;
- diâmetro $\cong 9$ mm;
- superfície anterior mais plana que a posterior.

O cristalino muda de forma sempre que queremos focar um objecto próximo — **acomodação**:

- ambas superfícies ficam mais curvas (+ a anterior);
- aumenta a espessura ao centro;
- diminui a profundidade da câmara anterior.

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

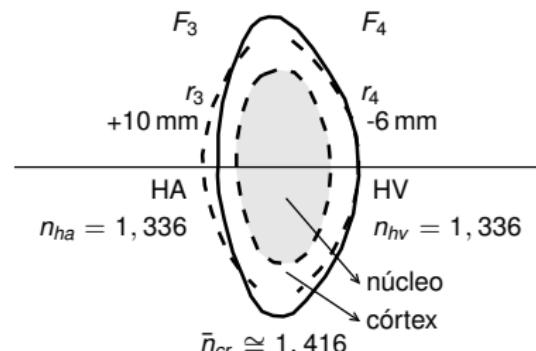
Percorso e amplitude
de acomodação

Acomod. pt. óculos

Convergência

Componentes refractivos do
olho

Cristalino



- O índice de refracção é maior no núcleo ($\approx 1,41$) 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

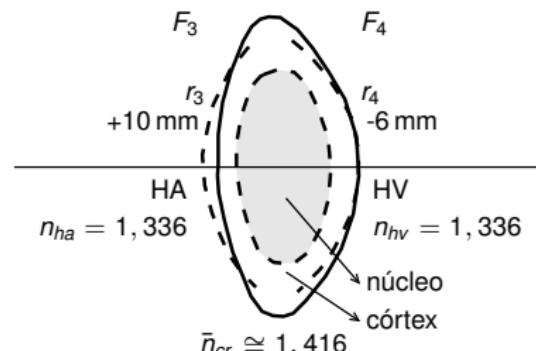
Percorso e amplitude
de acomodação

Acomod. pt. óculos

Convergência

Componentes refractivos do
olho

Cristalino



- O índice de refracção é maior no núcleo ($\approx 1,41$) 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

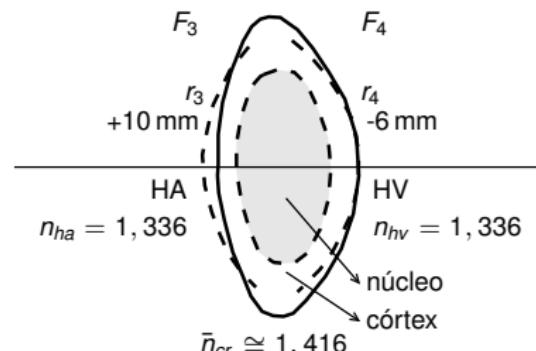
Percorso e amplitude
de acomodação

Acomod. pt. óculos

Convergência

Componentes refractivos do
olho

Cristalino



- O índice de refracção é maior no núcleo ($\approx 1,41$) 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 refractivos do olho

Humor vítreo

Componentes

Córnea

Câmara ant. e postr.

Íris e pupila

Cristalino

Humor vítreo

Retina

Sist. óptico

Pontos cardinais

Pupilas entr., saída

Profund. foco, campo

ângulos e eixos do olho

Modelos

Olho estático

Olho dinâmico

Img. Purkinje

Ametropias

Ametropias esféricas

Refracção ocular e
lentes de correcção

Astigmatismo

Acomodação

Percorso e amplitude
de acomodação

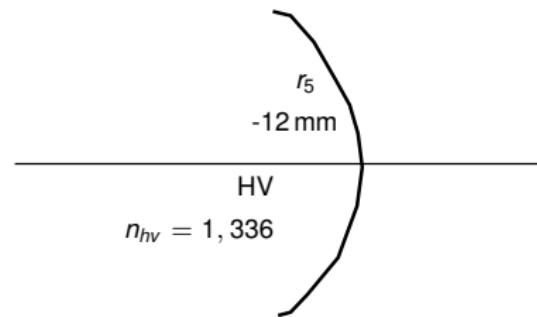
Acomod. pt. óculos

Convergência

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

Componentes refractivos do olho

Retina



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

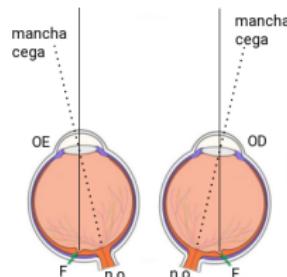
Ametropias

Ametropias esféricas
Refracção ocular e
lentes de correção
Astigmatismo

Acomodação

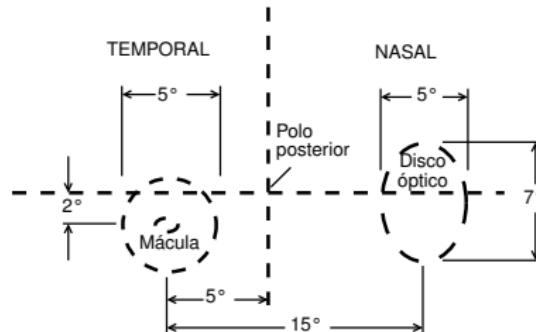
Percorso e amplitude
de acomodação
Acomod. pt. óculos

Convergência



Componentes refractivos do olho

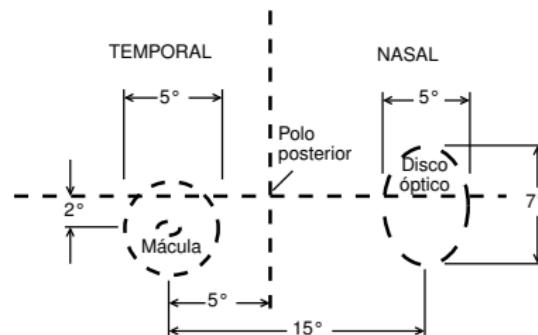
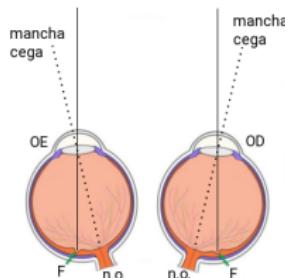
Retina



- 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 refractivos do olho

Retina



- 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?

Sistema
óptico do olho

S. Mogo

Componentes

Córnea

Câmara ant. e postr.

Íris e pupila

Cristalino

Humor vítreo

Retina

Componentes refractivos do olho

Retina

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



Modelos

Olho estático

Olho dinâmico

Img. Purkinje

Ametropias

Ametropias esféricas

Refracção ocular e
lentes de correcção

Astigmatismo

Acomodação

Percorso e amplitude
de acomodação

Acomod. pt. óculos

Convergência

<http://open.lib.umn.edu/intropsyc/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

Percorso 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

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

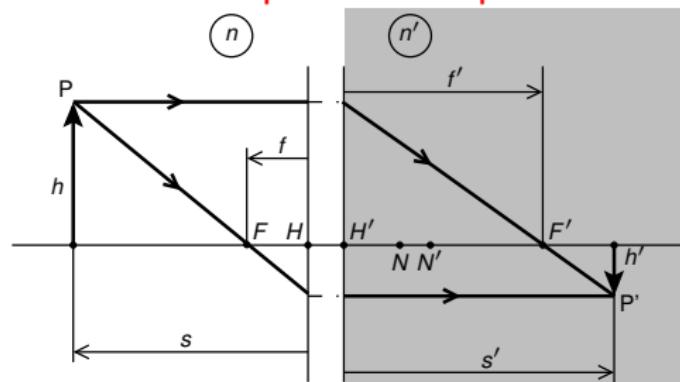
7

Convergência

O olho como sistema óptico

O olho como sistema não equifocal

O olho humano é um exemplo de sistema óptico não equifocal.



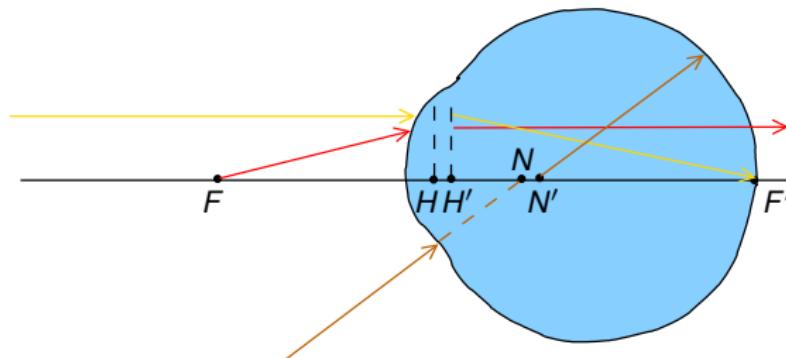
O 1º e o último meio têm índices de refracção diferentes.

Este tipo de sistema costuma possuir 6 pontos cardinais:

- 2 pontos focais, F e F' ;
- 2 pontos principais, H e H' ;
- 2 pontos nodais, N e N' .

O olho como sistema óptico

Pontos cardinais do olho



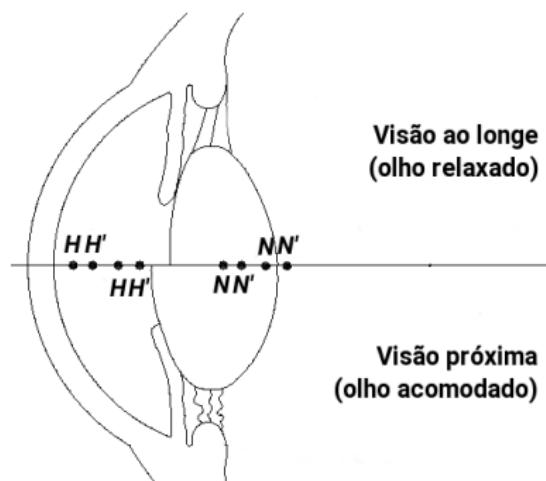
Utilidade:

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

O olho como sistema óptico

Pontos cardinais do olho

Variação da posição dos pontos principais e dos pontos nodais do olho devido ao mecanismo de acomodação:

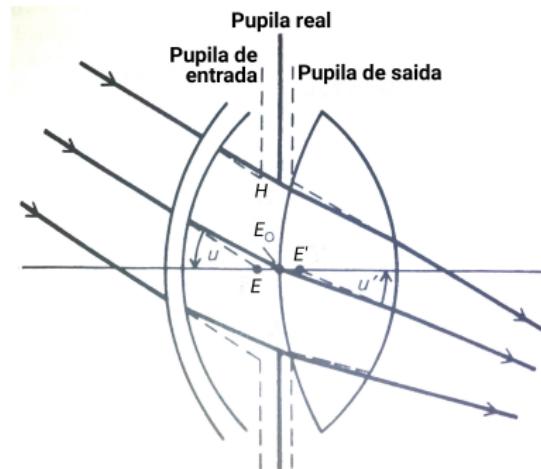


Puell, M.. Óptica Fisiológica: El sistema óptico del ojo y la visión binocular. Universidad Complutense de Madrid. 2014.

O olho como sistema óptico

Pupilas de entrada e de saída

A pupila real funciona como diafragma de abertura do sistema óptico do olho.



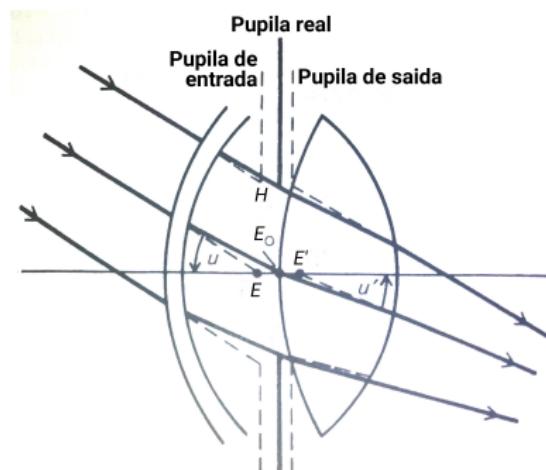
Rabbatts, R., Bennett & Rabbatts' Clinical Visual Optics (4th ed.), Butterworth-Heinemann/Elsevier, 2007.

Os pontos E e E' são pontos conjugados (i.e., pares de pontos objecto/imagem).

O olho como sistema óptico

Pupilas de entrada e de saída

Tomando a pupila real, E_O , como objecto para a córnea:

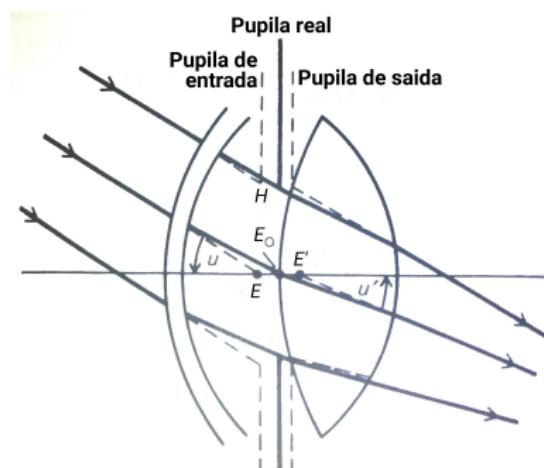


- obtemos a pupila de entrada do sistema, E ;
- situada $\cong 3$ mm atrás da superf. anterior da córnea;
- $\cong 13\%$ maior que a pupila real.

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 muito perto dela;
- $\cong 3\%$ maior que a pupila real.

O olho como sistema óptico

Pupilas de entrada e de saída

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

Percorso e amplitude
de acomodação

Acomod. pt. óculos

Convergência

Exercício:

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

O olho como sistema óptico

Pupilas de entrada e de saída

Exercício:

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

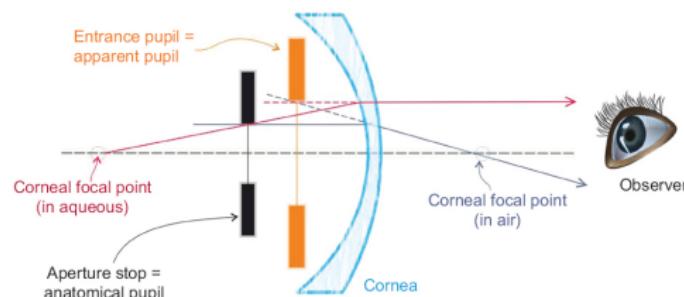


Figure 6 Graphical illustration of the anatomical pupil, as imaged through the optical system of the cornea (not to scale).

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-OPTH>

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

Percorso e amplitude
de acomodação
Acomod. pt. óculos

Convergência

O olho como sistema óptico

Pupilas de entrada e de saída

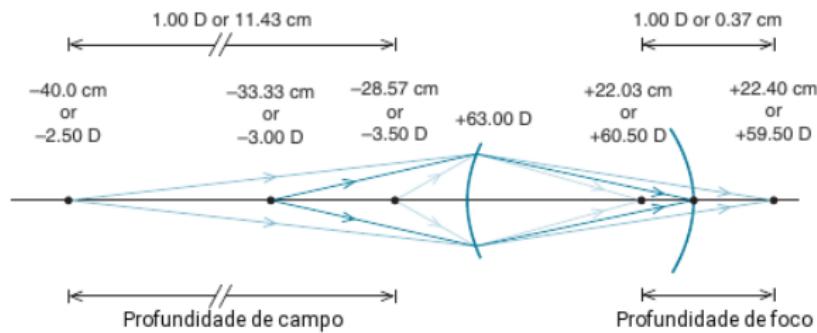
Exercício:

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

O olho como sistema óptico

Profundidade de foco e profundidade de campo

Profundidade de foco → distância à frente ou atrás da retina em que se pode formar a imagem continuando a ser percebida como estando nítida.



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

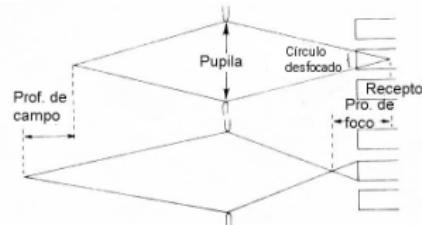
Profundidade de campo → distância em que se pode mover um objecto de maneira que continue a ser percebido como estando nítido (sem acomodar).

O olho como sistema óptico

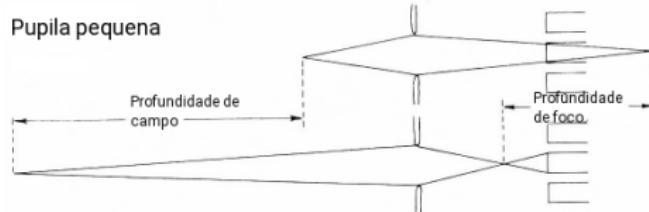
Profundidade de foco e profundidade de campo

O diâmetro pupilar influencia grandemente este processo:

Pupila grande



Pupila pequena



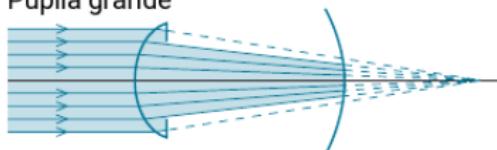
Puell, M.. Óptica Fisiológica: El sistema óptico del ojo y la visión binocular. Universidad Complutense de Madrid. 2014.

O olho como sistema óptico

Profundidade de foco e profundidade de campo

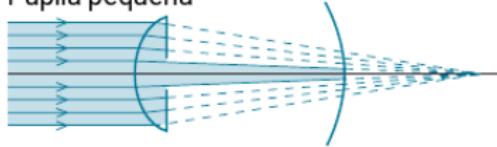
Ao diminuir de tamanho, a pupila impede a passagem dos raios periféricos que contribuem para a distorção da imagem retiniana.

Pupila grande



Círculos
desfocados
na retina

Pupila pequena



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.

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

▫ eixos do olho

Modelos

Olho estático

Olho dinâmico

Img. Purkinje

Ametropias

Ametropias esféricas

Refracção ocular e
lentes de correcção

Astigmatismo

Acomodação

Percorso e amplitude
de acomodação

Acomod. pt. óculos

Convergência

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 da 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:

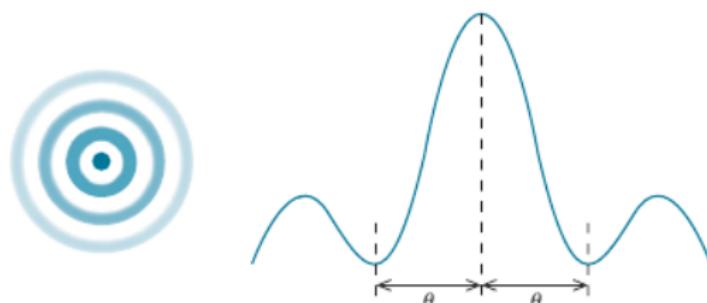


Disco de Airy

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

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 λ é o c.d.o. da luz e ϕ_{pup} é o diâmetro da pupila.

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

ângulos e eixos do olho

Modelos

Olho estático

Olho dinâmico

Img. Purkinje

Ametropias

Ametropias esféricas

Refracção ocular e
lentes de correcção

Astigmatismo

Acomodação

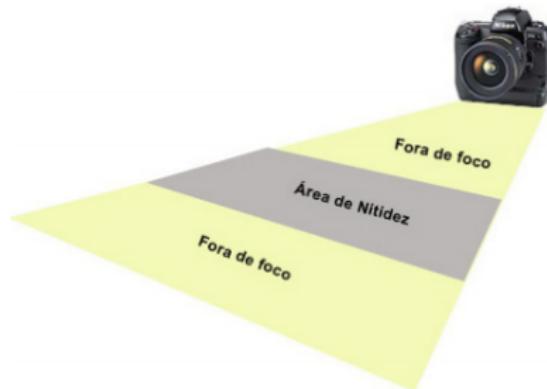
Percurso e amplitude
de acomodação

Acomod. pt. óculos

Convergência

O olho como sistema óptico

Profundidade de foco e profundidade de campo



Menor profundidade de campo



Maior profundidade de campo

http://arte-digital.org/fotografia/Foco_e_%20profundidade_de_campo.pdf

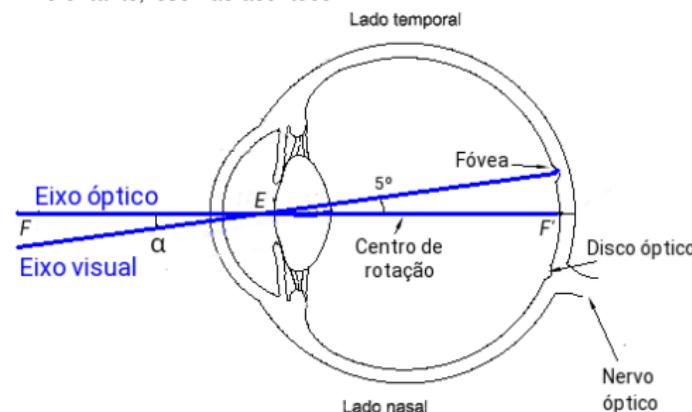
<https://www.tecmundo.com.br/internet/8739-fotografia-entenda-as-prioridades-de-abertura-e-velocidade.htm>

O olho como sistema óptico

Ângulos de referência e eixos do olho

Eixo óptico → linha reta imaginária que passa pelos centros de curvatura das superfícies dos elementos ópticos.

Era de esperar que a zona mais sensível da retina — fóvea — estivesse centrada com o **eixo óptico** do olho, no entanto, isso não acontece.



A fóvea costuma estar descentrada temporalmente e para baixo em relação ao ponto onde o eixo óptico toca na retina.



Ângulo α → ângulo entre os eixos óptico e visual ($\cong 5^\circ$).

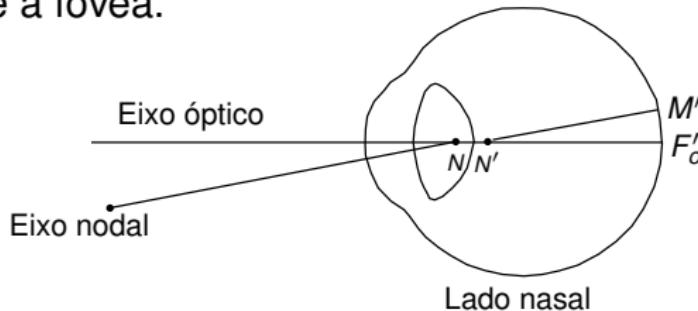
Puell, M.. Óptica Fisiológica: El sistema óptico del ojo y la visión binocular. Universidad Complutense de Madrid. 2014.

Eixo visual → refere-se ao raio que incide no centro da pupila de entrada de modo que o raio refractado conjugado incida na fóvea.

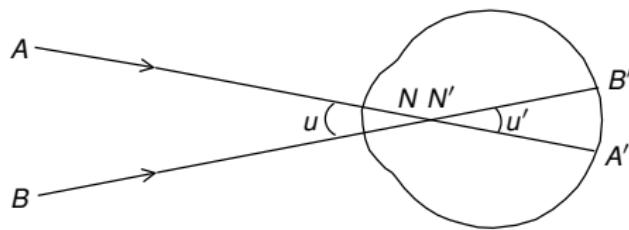
O olho como sistema óptico

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.



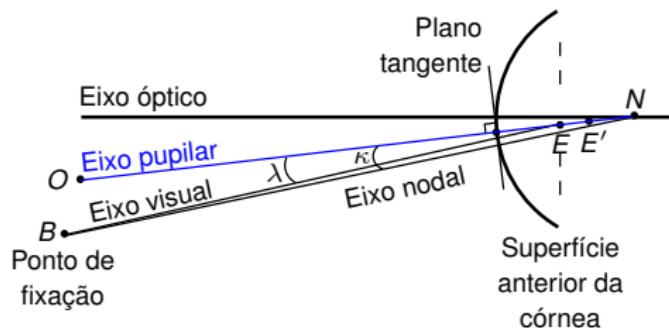
Permite conhecer o tamanho angular dos objectos a partir do ângulo subtendido pelos mesmos no ponto nodal.



O olho como sistema óptico

Ângulos de referência e eixos do olho

Eixo pupilar → linha que passa pelo centro da pupila de entrada e é perpendicular à córnea.



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

Utiliza-se como medida objectiva da quantidade de **fixação excêntrica**¹.

Ângulo λ → ângulo entre o eixo pupilar e o eixo visual.

Ângulo κ → ângulo entre o eixo pupilar e o eixo nodal.

¹Condição em que a fixação se realiza num ponto diferente da fóvea (adaptação a um estrabismo).

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 γ → ângulo entre o eixo de fixação e o eixo óptico.

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

Percorso e amplitude
de acomodação

Acomod. pt. óculos

Convergência

O olho como sistema óptico

Ângulos de referência e eixos do olho

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
& eixos do olho

Modelos

Olho estático

Olho dinâmico

Img. Purkinje

Ametropias

Ametropias esféricas
Refracção ocular e
lentes de correcção
Astigmatismo

Acomodação

Percorso e amplitude
de acomodação
Acomod. pt. óculos

Convergência

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

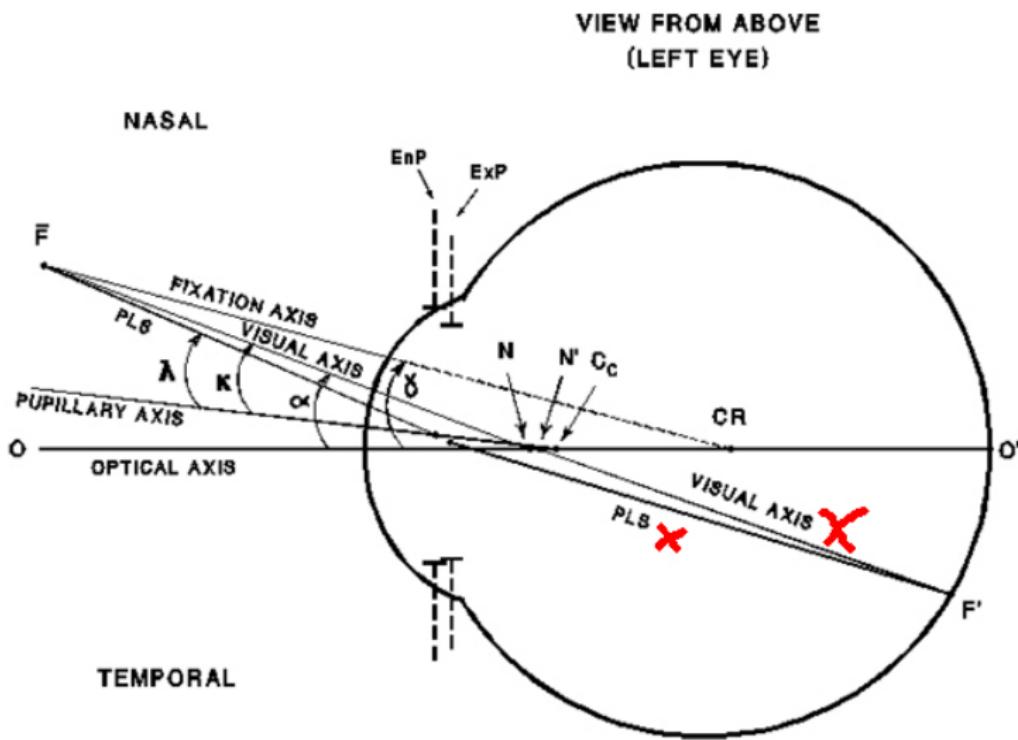
- Diferentes autores consideram que a linha de visão é o eixo visual ou o eixo nodal.



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

O olho como sistema óptico

Ângulos de referência e eixos do olho



Outline

Sistema óptico do olho

S. Mogo

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

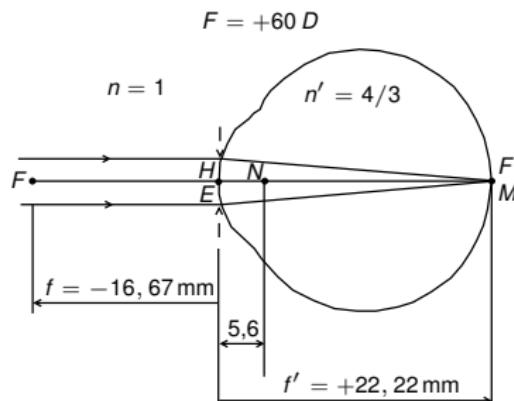
Percorso e amplitude de acomodação
Acomod. pt. óculos

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**.

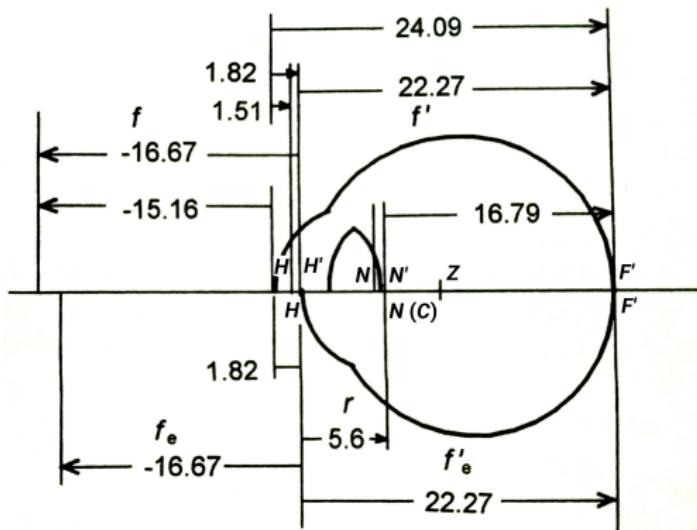


- As 4 superfícies oculares refractoras são substituídas por uma única;
- $F = +60\text{ D}$
- $n = 4/3$
- $f = -16,67\text{ mm}$
- $f' = 22,22\text{ mm}$
- $r = 5,56\text{ mm}$
- $H \equiv H' \equiv$ vértice do olho
- $N \equiv N' \equiv$ centro de curvatura
- eixo óptico \equiv eixo visual \rightarrow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

Modelos esquemáticos do olho

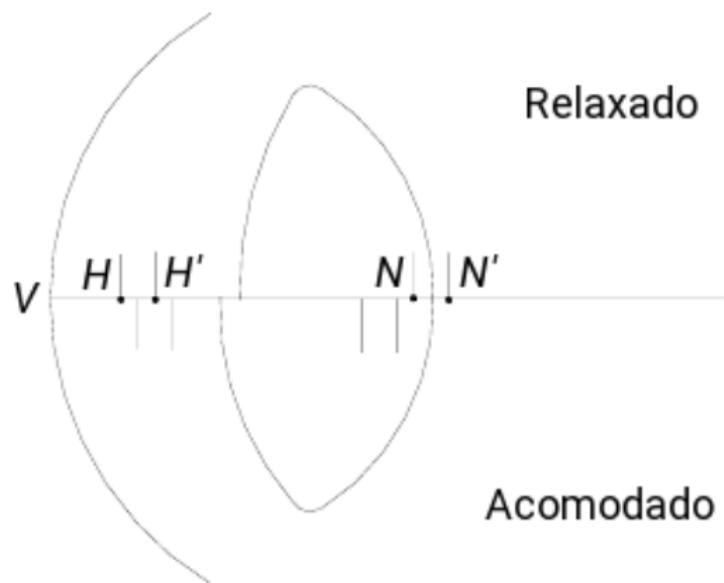
Olho esquemático de Gulstrand-Emsley

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



Modelos esquemáticos do olho

Olho esquemático acomodado



Modelos esquemáticos do olho

Olho esquemático de Bennett-Rabbets

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

Percorso 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
crystalline: first surface	r_2	+11.00	+8.60	+7.00	+6.00	+5.20
crystalline: second surface*	r_3	-6.47515	-5.909	-5.504	-5.063	-4.750
Axial separations						
depth of anterior chamber	d_1	3.60	3.475	3.37	3.28	3.21
thickness of crystalline	d_2	3.70	3.825	3.93	4.02	4.09
depth of vitreous body	d_3	16.79	16.79	16.79	16.79	16.69
overall axial length †		24.09	24.09	24.09	24.09	24.09
Mean refractive indices						
air	n_1	1	1	1	1	1
aqueous humour	n_2	1.336	1.336	1.336	1.336	1.336
crystalline	n_3	1.422	1.422	1.422	1.422	1.406
vitreous humour	n_4	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
crystalline: first surface	F_2	+7.82	+10.00	+12.29	+14.33	+16.54
crystalline: second surface	F_3	+13.28	+14.55	+15.63	+16.98	+18.10
Equivalent powers						
crystalline	F_L	+20.83	+24.16	+27.38	+30.63	+33.78
eye	F_o	+60.00	+62.85	+62.62	+68.40	+71.12
Equivalent focal lengths of eye						
first (PF)	f_o	-16.67	-15.91	-15.24	-14.62	-14.06
second (PF')	f'_o	+22.27	+21.26	+20.36	+19.53	+18.79
Distances from corneal vertex						
first principal point	A_1P	+1.51	+1.62	+1.71	+1.80	+1.87
second principal point‡	A_1P'	+1.82	+1.95	+2.05	+2.15	+2.23
first nodal point	A_1N	+7.11	+6.97	+6.83	+6.71	+6.60
second nodal point	A_1N'	+7.42	+7.29	+7.17	+7.06	+6.95
entrance pupil	A_1E	+3.05	+2.93	+2.83	+2.75	+2.68
exit pupil	A_1E'	+3.70	+3.56	+3.44	+3.33	+3.25
first principal focus	A_1F	-15.16	-14.29	-13.53	-12.82	-12.19
second principal focus	A_1F'	+24.09	+23.21	+22.41	+21.68	+21.01
Refractive state (principal point)	K	0	-2.50	-5.00	-7.50	-10.00
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

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 correção
Astigmatismo

6 Acomodação

Percurso e amplitude de acomodação
Acomod. pt. 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

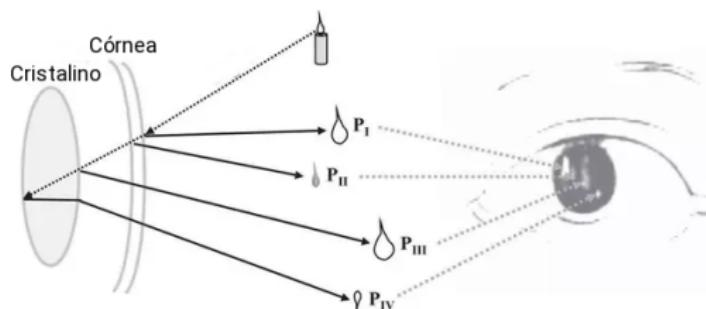
Acomodação

Percorso 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 correção

Astigmatismo

Acomodação

Percorso e amplitude
de acomodação

Acomod. pt. óculos

Convergência

Imagens de Purkinje

Purkinje I



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

- Produzida por reflexão na superfície anterior da córnea que actua como espelho convexo;
- virtual e direita;
- é a mais intensa devido à grande diferença entre n_{ar} e $n_{\text{córnea}}$;
- situa-se aproximadamente no plano pupilar;
- tamanho intermédio entre as produzidas pelas superfícies 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

▫ eixos do olho

Modelos

Olho estático

Olho dinâmico

Img. Purkinje

Ametropias

Ametropias esféricas

Refracção ocular e
lentes de correção

Astigmatismo

Acomodação

Percorso e amplitude
de acomodação

Acomod. pt. óculos

Convergência

Imagens de Purkinje

Purkinje II



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

- Produzida por reflexão na superfície posterior da córnea;
- intensidade muito fraca devido à pequena diferença entre n_{cornea} e n_{ha} ;
- situa-se muito perto da imagem de Purkinje I e, p.i., passa despercebida;
- tamanho ligeiramente menor que Purkinje I.

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 correção

Astigmatismo

Acomodação

Percorso 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_{ha} e $n_{cristalino}$;
 - 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 correção

Astigmatismo

Acomodação

Percorso e amplitude
de acomodação

Acomod. pt. óculos

Convergência

Imagens de Purkinje

Purkinje IV



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

- Produzida por reflexão na superfície posterior do cristalino;
- real e invertida;
- é a única formada por reflexão numa superfície côncava;
- intensidade maior do que a imagem de Purkinje III;
- tamanho menor do que a imagem de Purkinje I;
- durante a acomodação modifica-se pouco.

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

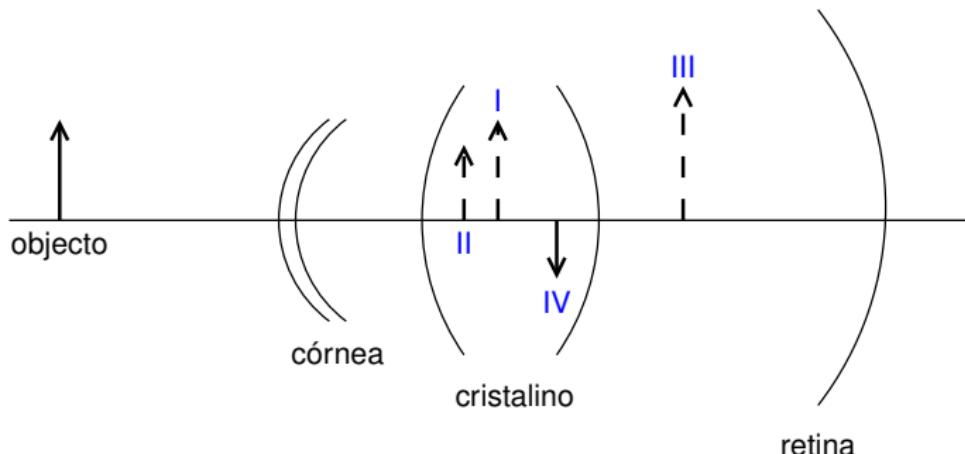
Ametropias esféricas
Refracção ocular e
lentes de correcção
Astigmatismo

Acomodação

Percorso e amplitude
de acomodação
Acomod. pt. óculos

Convergência

Imagens de Purkinje

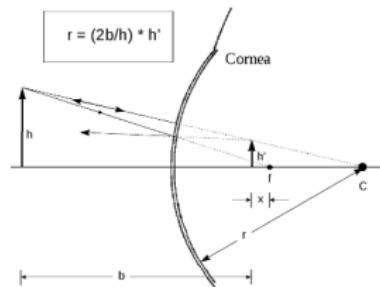


Imagens de Purkinje

Utilidade

Purkinje I:

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



- medição do ângulo κ (entre o eixo pupilar e o eixo nodal) — teste de Hirschberg.



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

Percorso 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

1

Componentes refractivos do olho

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

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

Percorso e amplitude de acomodação
Acomod. pt. óculos

Convergência

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

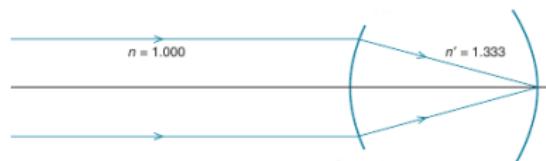
Percorso de acomodação e amplitude de acomodação
Acomodação ocular e acomodação no ponto dos óculos

7

Convergência

Ametropias

Olho emétrope → foca sobre a retina um feixe de raios paralelos procedente do infinito.



Um olho que não seja emétrope denomina-se **olho amétrope**:

- diz-se que possui um **erro de refracção** ou **erro refractivo**;
- a causa é um defeito óptico e existe um método óptico capaz de o corrigir.

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.**

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

Percorso e amplitude
de acomodação
Acomod. pt. óculos

Convergência

Ametropias

Causas

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

Ametropias

Parâmetros ópticos

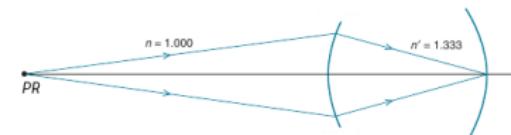
- **Ponto remoto** → é o ponto mais afastado do olho que este pode ver nitidamente sem intervenção da acomodação.
→ é o ponto conjugado da retina em condições de máxima relaxação da acomodação.



- **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.

Ametropias esféricas

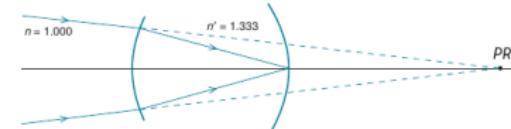
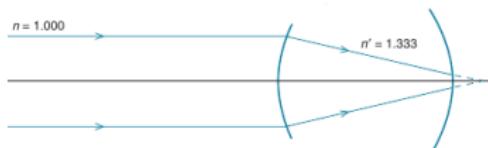
Olho míope



- Poder refringente em excesso:** tem maior potência que a necessária para focar na retina;
- Foco imagem:** situado à frente da retina;
- Ponto remoto:** situado entre o ∞ óptico e o olho;
- Tipo de raios a que está adaptado:** divergentes;
- como consegue focar objectos a distâncias mais curtas, obtém imagens retinianas maiores, logo, distingue melhor os detalhes.

Ametropias esféricas

Olho hipermetrópe



- **Poder refringente escasso:** tem menos potência que a necessária para focar na retina;
- **Foco imagem:** situado atrás da retina;
- **Ponto remoto:** virtual, situado atrás da retina;
- **Tipo de raios a que está adaptado:** convergentes;

Refracção ocular e lentes de correção

Refracção ocular, R_{oc} → 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} → 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

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

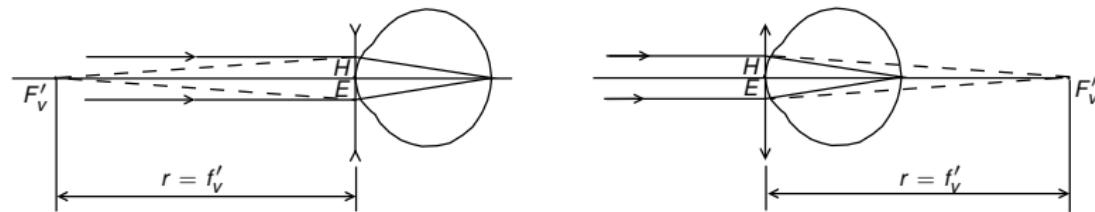
Caso seja amétrope: $V' - V = F \Rightarrow R'_{oc} - R_{oc} = F_{oc}$

Refracção ocular e lentes de correcção

Princípio de correcção das ametropias:

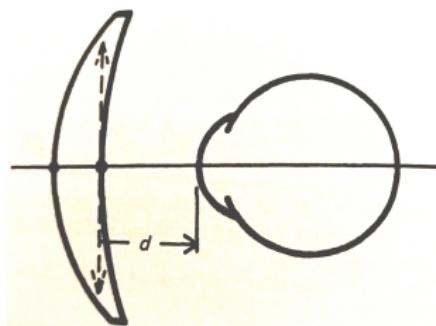
- fazer coincidir o foco imagem da lente compensadora com o PR do indivíduo.
 - a lente forma no seu foco imagem, uma imagem nítida de um objecto situado no infinito;
 - o olho foca na retina, objectos situados no PR;
 - se a correcção for feita em LC: distância focal imagem da LC é igual à distância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

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



Refracção ocular e lentes de correcção

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 .



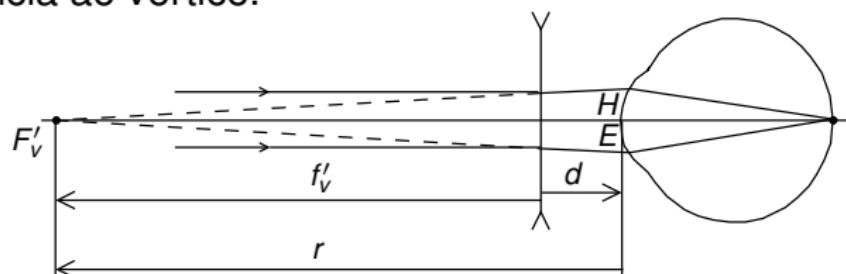
Distância ao vértice, d → distância entre o vértice posterior da lente e o olho.

Refracção ocular e lentes de correcção

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

Miopia

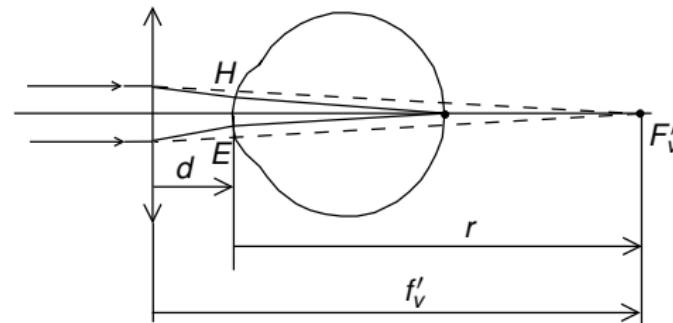
$$f'_v = r - d$$



Hipermetropia

Hipermetropia

$$f'_v = r + d$$



Refracção ocular e lentes de correcção

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;

Δd — 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

Img. Purkinje

Ametropias

Ametropias esféricas
Refracção ocular e
lentes de correcção
Astigmatismo

Acomodação

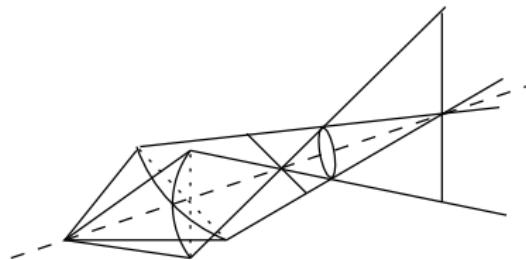
Percorso e amplitude
de acomodação
Acomod. pt. óculos

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.



Componentes

Córnea

Câmara ant. e postr.

Iris e pupila

Cristalino

Humor výtroc

Retina

Sist. óptico

Pontos cardinais

Pupilas entr. saída

Profund, foco, campo

→ e eixos do olho

Modelos

Olho estático

Olho dinâmico

Img. Purkinje

Ametropias

Ametropias esférica

Montagem óptica e lentes de corrección

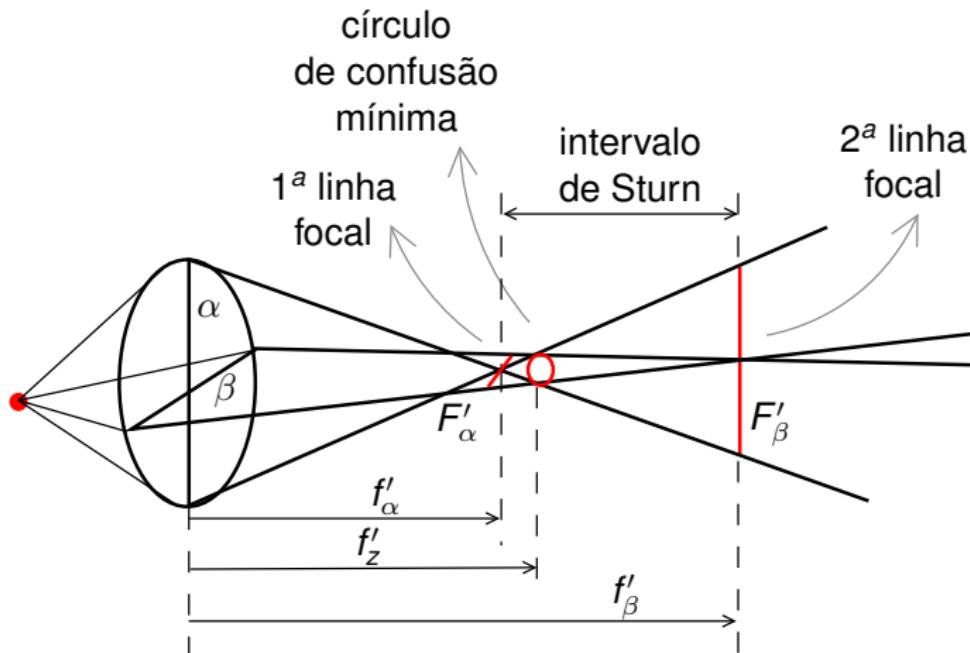
Astigmatismo

Acomoda

de acomodação

Acomod. pt. óculos

Comunicação



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**



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

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

Ametropias esféricas
Refracção ocular e lentes de correcção
Astigmatismo

6 Acomodação

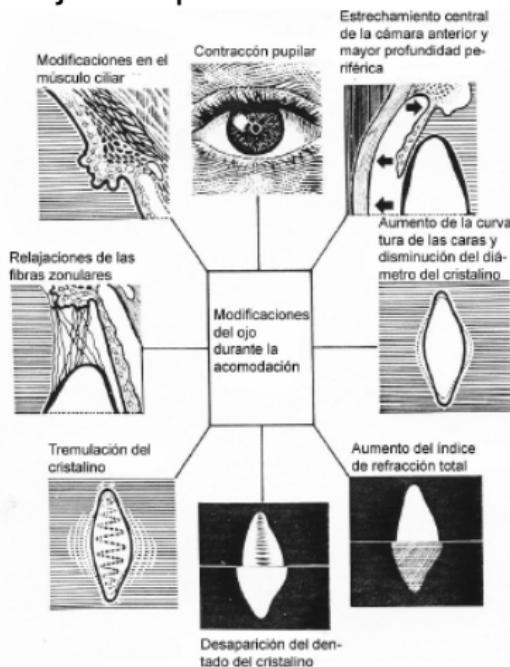
Percorso e amplitude de acomodação
Acomod. pt. óculos

7 Convergência

Acomodação

Definição

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



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

Acomodação

Percorso 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.

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

ângulos e eixos do olho

Modelos

Olho estático

Olho dinâmico

Img. Purkinje

Ametropias

Ametropias esféricas

Refracção ocular e

lentes de correcção

Astigmatismo

Acomodação

Percorso e amplitude
de acomodação

Acomod. pt. óculos

Convergência

Acomodação

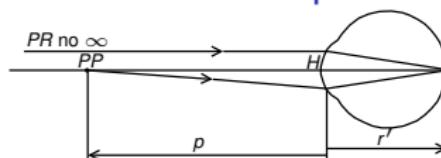
Percorso de acomodação e amplitude de
acomodação

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

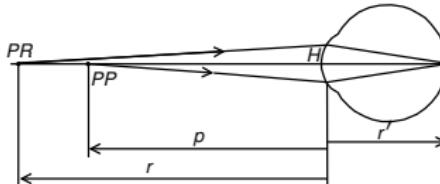
Acomodação

Percorso de acomodação e amplitude de acomodação

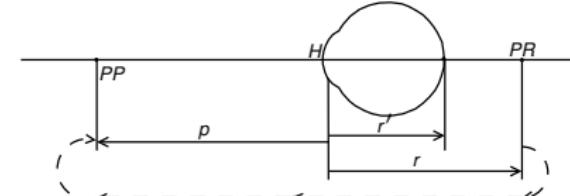
Olho emétrope:



Olho míope:

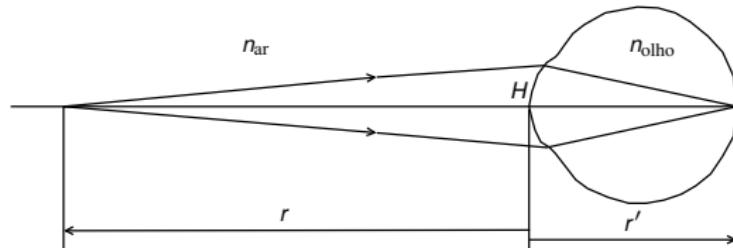


Olho hipermélope:



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:

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



Podemos agora encontrar o comprimento dióptrico do olho acomodado:

- Olho relaxado: $R'_{oc} = R_{oc} + F_{oc}$

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

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

Percorso 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.

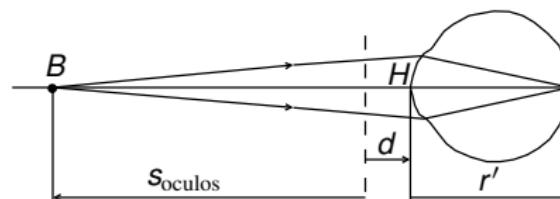


Não é a refracção ocular mas sim a refracção no ponto dos
óculos que é determinada.

Acomodação

Acomodação ocular e acomodação no ponto dos óculos

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



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

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

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

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

Outline

Sistema óptico do olho

S. Mogo

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 correção
Astigmatismo

6

Acomodação

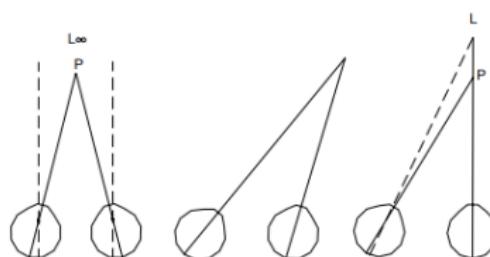
Percurso e amplitude de acomodação
Acomod. pt. óculos

7

Convergência

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.

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

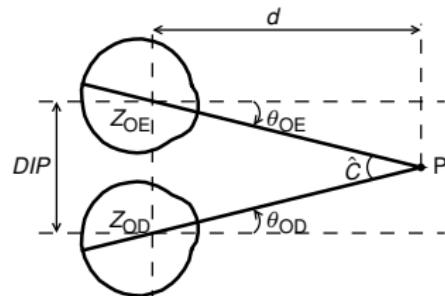
Ametropias esféricas
Refracção ocular e
lentes de correcção
Astigmatismo

Acomodação

Percorso e amplitude
de acomodação
Acomod. pt. óculos

Convergência

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: $\hat{C} = \theta_{OD} + \theta_{OE}$.

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

$$\hat{C} = \frac{DIP}{d}$$

(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
& eixos do olho

Modelos

Olho estático
Olho dinâmico

Img. Purkinje

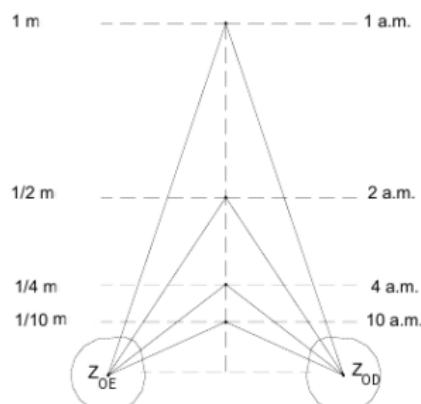
Ametropias

Ametropias esféricas
Refracção ocular e
lentes de correcção
Astigmatismo

Acomodação

Percorso 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 ⇒ objecto a 1 m de distância
- 2 a.m. de convergência ⇒ objecto a 0,5 m de distância

Dioptria prismática [△]

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

Percorso e amplitude
de acomodação

Acomod. pt. óculos

Convergência

WSD2018



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

