

Óptica Geométrica  
Guia dos trabalhos práticos  
2020/2021

Sandra Mogo

26 de Abril de 2021



## Conteúdo

0	Introdução	5
1	Reflexão e refração da luz	7
2	Dispersão da luz	9
3	Superfícies reflectoras	11
4	Determinação de distâncias focais	13
5	Índice de refração, prismas e reflexão interna total	15
6	Telescópio com lentes	19
7	Construção de um queratómetro em banco óptico	23
8	Refractómetro: optómetro de Young	27





## UNIVERSIDADE DA BEIRA INTERIOR Departamento de Física

### Óptica Geométrica

## 0 Introdução

Os trabalhos experimentais de Óptica Geométrica são realizados no Laboratório de Ensino de Óptica (LEO) do Centro de Óptica (CO-UBI), localizado no piso -1 do edifício principal da UBI. Ainda antes de se dirigir ao laboratório, deve ler atentamente as Normas de Segurança que lhe foram distribuídas via Moodle.

Nos laboratórios de Óptica Geométrica deve realizar um mínimo de 8 trabalhos experimentais, separados em duas séries de 4 trabalhos, com elaboração de um total de quatro relatórios. Na primeira série de trabalhos deve realizar dois relatórios:

- Relatório 1:  
T1: Reflexão e refração da luz  
T2: Dispersão da luz
- Relatório 2:  
T3: Superfícies reflectoras  
T4: Determinação de distâncias focais

Na segunda série de trabalhos deve realizar outros dois relatórios, um sobre um sobre um tema obrigatório, e outro sobre um tema à escolha entre 3 possíveis:

- Relatório 3:  
T5: Índice de refração, prismas e reflexão interna total
- Relatório 4: (escolher entre T6, T7 e T8)  
T6: Construção de telescópios de Kepler e de Galileu em banco óptico  
T7: Construção de um queratómetro em banco óptico  
T8: Construção de um refractómetro em banco óptico

### Sugestões:

#### Antes do laboratório:

- Leia atentamente o manual de laboratório;
- consulte as referências bibliográficas associadas a cada guia de trabalho prático;
- assegure-se de que compreendeu toda a teoria associada ao trabalho antes de iniciar a sua realização experimental.

#### Durante a realização do trabalho:

- Esboce um esquema da montagem (sempre que aplicável) anotando todos os valores relevantes para a experiência bem como todos os dados relevantes acerca do material e instrumentação usada. Deve anotar dados suficientes para que alguém que não conheça a experiência consiga reproduzir a montagem;
- anote todas as medições e observações que efectuar, bem como as condições em que foram realizadas;

- anote as medições com toda a precisão que o instrumento de medida lhe permitir, lembre-se que anotar 20 não é o mesmo que anotar 20,0;
- no mínimo deve realizar três leituras para cada parâmetro que medir;
- sempre que possível, efectue cálculos que lhe permitam concluir se os dados que está a obter fazem sentido.

### **Após a realização do trabalho:**

- Apresente os dados de forma a facilitar a sua interpretação, *i.e.*, sob a forma de tabela ou em forma gráfica;
- se os valores teóricos forem conhecidos, não se esqueça de os comparar com os valores que obteve experimentalmente;
- efectue o tratamento de erros de forma a permitir perceber o que fez;
- retire conclusões. Se o objectivo do trabalho era medir um valor, apresente-o juntamente com o valor que calculou para o seu erro e compare-o com o valor que esperava obter;
- se os valores que obteve se afastam dos valores esperados, não atire todas as culpas para os erros nem para a falta de sensibilidade dos aparelhos de medida, tente perceber o que se passou.

### **Mais algumas recomendações:**

- Escreva o seu relatório de forma que se precisar lê-lo daqui a alguns anos seja capaz de perceber o que fez. Não tente explicar-me o que fez, explique-o a si próprio de forma a tornar o relatório um elemento para sua consulta futura;
- seja tão conciso quanto possível, lembre-se que a classificação não é proporcional ao número de páginas entregues;
- se tiver tempo, seja original e criativo, tente melhorar o guia de trabalho prático que seguiu;
- também é boa política efectuar medições e cálculos adicionais que lhe permitam verificar os valores que obteve.

**Óptica Geométrica**  
Guia do trabalho prático

## 1 Reflexão e refração da luz

### Objectivos

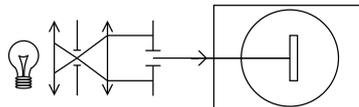
1. Verificação experimental da lei da reflexão;
2. estudar o comportamento dos raios luminosos quando mudam de meio óptico.

### Material e equipamento utilizado

- Fonte de luz branca colimada;
- disco de Hartl;
- espelho plano, espelho côncavo e espelho convexo;
- espelho plano para usar com pó de giz;
- pó de giz;
- lâmina de faces paralelas;
- alvo.

### Procedimento

1. Faça incidir um feixe de luz delgado e paralelo tangencialmente ao disco de Hartl, coincidindo com o diâmetro cujas extremidades indicam  $0^\circ$ .
2. Posicione o espelho plano na superfície do disco de Hartl e fixe ao disco uma folha de papel vegetal onde pode marcar o percurso dos raios.



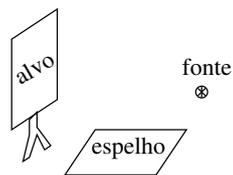
3. Rode o disco de Hartl de modo a fazer variar o ângulo de incidência entre  $0^\circ$  e  $90^\circ$  e registre numa tabela os valores correspondentes para o ângulo de reflexão.
4. Repita o procedimento para os espelhos côncavo e convexo.



5. Repita o procedimento para a lâmina de faces paralelas, observando desta vez os raios incidente, reflectido e refractado na primeira superfície da lâmina.
6. Represente graficamente  $\sin \theta_i = f \sin \theta_t$ , sendo  $\theta_i$  e  $\theta_t$  os ângulos de incidência e de refração na primeira superfície da lâmina.



7. Coloque o espelho plano sobre a plataforma circular e faça incidir o feixe luminoso sobre o espelho de modo a obter o respectivo feixe reflectido no alvo.
8. Espalhe o pó de giz sobre o espelho e observe o que sucede à imagem no alvo. Compare os dois tipos de reflexão que ocorrem (com e sem o pó de giz no espelho).



## Bibliografia

- Born, M., Wolf, E., *Principles of optics*. 7th edition, Cambridge University Press, Cambridge, 1999.
- Schwartz, S., *Geometrical and Visual Optics*, 3rd edition, McGraw-Hill Education, 2019.

**Óptica Geométrica**  
Guia do trabalho prático

## 2 Dispersão da luz

### Objectivos

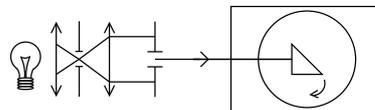
1. Estudar a dispersão da luz por um prisma óptico.

### Material e equipamento utilizado

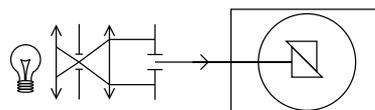
- Fonte de luz branca colimada;
- disco de Hartl;
- 2 prismas ópticos;
- lente plano-convexa;
- corpo trapezoidal;
- alvo.

### Procedimento

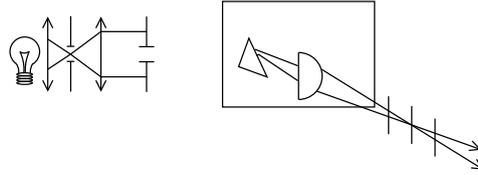
1. Faça incidir um feixe delgado e paralelo de luz branca tangencialmente a uma folha de papel. Coloque o prisma no percurso do feixe de modo que este incida próximo do vértice.
2. Rode o prisma até que o ângulo entre o feixe emergente e a normal à superfície de emergência seja o maior possível. Registe a cor da radiação mais e menos desviada.



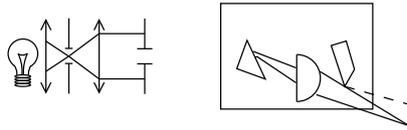
3. Coloque o segundo prisma encostado ao primeiro e em posição invertida em relação a ele. Comente o efeito que ocorre.



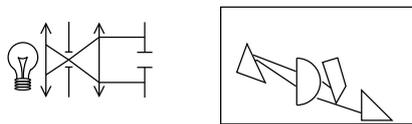
4. Retire o segundo prisma e coloque a lente plano-convexa no seu lugar mas a alguma distância do primeiro prisma. Registe as cores observadas em três posições: no foco da lente, antes do foco e depois do foco.



5. Utilize o corpo trapezoidal para bloquear a luz vermelha do feixe e anote a cor que observa na posição do ponto focal da lente. Repita este passo mas agora bloqueando a luz violeta.



6. Bloqueie agora todas as cores excepto a vermelha. Coloque o segundo prisma no percurso do feixe vermelho de modo que este incida próximo do vértice e observe o raio emergente. Compare os efeitos observados devido ao primeiro e ao segundo prisma.



## Bibliografia

- Born, M., Wolf, E., *Principles of optics*. 7th edition, Cambridge University Press, Cambridge, 1999.
- Schwartz, S., *Geometrical and Visual Optics*, 3rd edition, McGraw-Hill Education, 2019.

Óptica Geométrica  
Guia do trabalho prático

### 3 Superfícies reflectoras

#### Objectivos

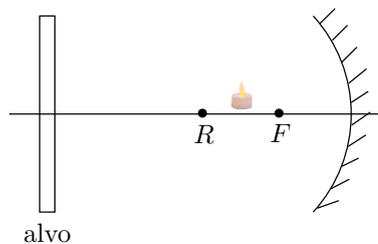
1. Estudar as características das imagens dadas por espelhos esféricos;
2. determinar a distância focal de espelhos côncavos e convexos.

#### Material e equipamento utilizado

- Fonte de luz branca colimada;
- espelho côncavo ( $f = 250$  mm);
- espelho convexo ( $f = 250$  mm);
- objecto pequeno: vela.

#### Procedimento

1. Situe o espelho côncavo em frente ao alvo e coloque o objecto entre eles.



2. Efectue três testes, colocando o objecto a diferentes distâncias do espelho:

**Teste A:** objecto situado entre o espelho e o seu foco;

**Teste B:** objecto situado entre o foco e o centro de curvatura do espelho;

**Teste C:** objecto situado para além do centro de curvatura do espelho.

Para cada teste, desloque o alvo para a frente e para trás, procurando ver neste uma imagem (real) do objecto; caso não consiga, procure ver no próprio espelho uma imagem (virtual) do objecto. Registe, em cada caso, as características da imagem observada.

3. Repita o procedimento anterior para o espelho convexo.



4. Situe o espelho côncavo em frente ao alvo e marque a posição do seu foco.

5. Coloque o objecto a uma distância um pouco superior à distância focal do espelho. Localize a posição da sua imagem real. Meça as distâncias do objecto ao foco e da imagem ao foco,  $x_o$  e  $x_i$ , respectivamente.
6. Repita o procedimento anterior para cinco distâncias diferentes e construa uma tabela com os valores de  $x_o$ ,  $x_i$  e  $1/x_o$ .
7. Represente graficamente  $x_i$  em função de  $1/x_o$ ; deverá obter uma linha recta. Determine o seu declive e compare-o com o valor do quadrado da distância focal do espelho.

#### **Bibliografia**

- Born,M., Wolf,E., *Principles of optics*. 7th edition, Cambridge University Press, Cambridge, 1999.
- Schwartz,S., *Geometrical and Visual Optics*, 3rd edition, McGraw-Hill Education, 2019.

**Óptica Geométrica**  
Guia do trabalho prático

## 4 Determinação de distâncias focais

### Objectivos

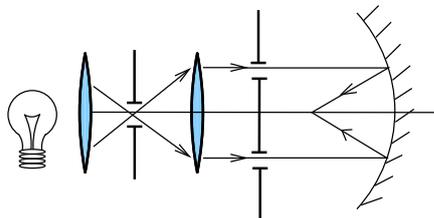
1. Determinar a distância focal de lentes côncavas e convexas;
2. verificar a validade da equação de Newton.

### Material e equipamento utilizado

- Fonte de luz branca colimada;
- lente côncava ( $f = 500$  mm);
- lente convexa ( $f = 500$  mm);
- objecto pequeno: vela;
- alvo;
- compasso;
- placa de dois orifícios.

### Procedimento

1. Proceda à montagem dos elementos de acordo com a figura seguinte, começando por colimar o feixe.

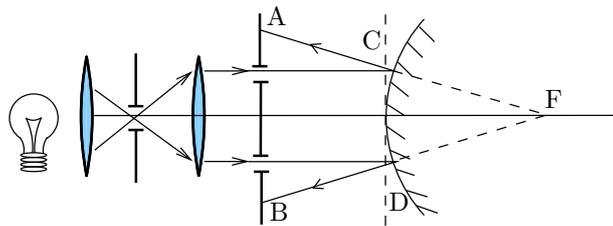


2. Uma colimação cuidadosa dá origem a um feixe cilíndrico formado por raios paralelos que incidem na placa de dois orifícios, a qual, deixa passar apenas dois feixes luminosos delgados que são paralelos. Esses dois feixes incidem no espelho e são reflectidos para o seu foco. Deixando o espelho fixo, desloque a placa de dois orifícios até encontrar o ponto exacto onde os dois feixes reflectidos se encontram.

3. Utilize um compasso para medir a distância focal pretendida, entre a placa de dois orifícios e o vértice do espelho. Acabou de determinar a distância focal de um espelho côncavo pelo método dos feixes paralelos.



4. Na mesma montagem, substitua o espelho côncavo por um espelho convexo. Desta vez, os dois feixes luminosos provenientes da placa de dois orifícios, são reflectidos na superfície do espelho voltando a encontrar a placa nos pontos A e B. O prolongamento desses raios reflectidos será o foco virtual do espelho.



5. Calcule a posição do foco, observando que os triângulos ABF e CDF são semelhantes. Desta forma, acabou de determinar a distância focal de um espelho convexo pelo método de Hartmann.



6. Utilizando o mesmo princípio que lhe permitiu determinar as distâncias focais dos espelhos, substitua o espelho por uma lente convexa e determine a posição do seu foco.
7. Repita para uma lente côncava.

## Bibliografia

- Born, M., Wolf, E., *Principles of optics*. 7th edition, Cambridge University Press, Cambridge, 1999.
- Schwartz, S., *Geometrical and Visual Optics*, 3rd edition, McGraw-Hill Education, 2019.

**Óptica Geométrica**  
Guia do trabalho prático

## 5 Índice de refração, prismas e reflexão interna total

### Objectivos

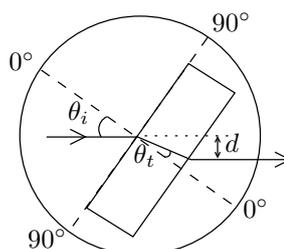
1. Determinar o índice de refração do material que constitui uma lâmina de faces paralelas;
2. determinar o índice de refração do material que constitui um prisma;
3. determinar o ângulo crítico a partir do qual ocorre reflexão interna total.

### Material e equipamento utilizado

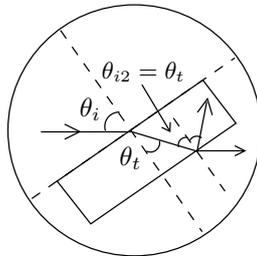
- Laser de HeNe;
- lente cilíndrica;
- disco de Hartl;
- lâmina de faces paralelas;
- prisma óptico.

### Procedimento

1. Faça incidir um feixe de luz delgado e paralelo tangencialmente ao disco de Hartl, coincidindo com o diâmetro cujas extremidades indicam  $0^\circ$ .
2. Posicione a lâmina de faces paralelas na superfície do disco de Hartl (com a sua primeira superfície tangente ao diâmetro cujas extremidades indicam  $90^\circ$ ) e fixe ao disco uma folha de papel vegetal onde pode marcar o percurso dos raios.
3. Rode o disco de Hartl de modo a fazer variar o ângulo de incidência entre  $0^\circ$  e  $90^\circ$  e registe numa tabela os valores correspondentes para os ângulos de reflexão e refração.
4. Com estes dados, determine o índice de refração da lâmina.
5. Verifique que o raio luminoso que emerge da lâmina é paralelo ao raio incidente sobre a primeira face da lâmina e que o seu desvio lateral verifica a relação:  $d = \frac{a \sin(\theta_i - \theta_t)}{\cos \theta_t}$ , sendo  $a$  a largura da lâmina,  $\theta_i$  o ângulo da luz incidente e  $\theta_t$  o ângulo de refração nessa primeira face.



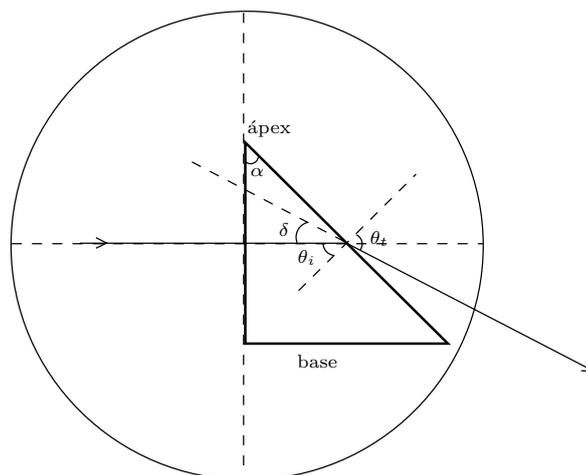
6. Quando o ângulo de incidência for  $90^\circ$ , o ângulo de refração na primeira face da lâmina assume um valor máximo que define o ângulo de refração limite.
7. Quando o ângulo de incidência na segunda face da lâmina (igual ao ângulo de refração na primeira face) for igual ao ângulo de refração limite, deixa de haver refração na segunda face da lâmina e toda a luz passa a ser reflectida.



8. Determine o ângulo de reflexão interna total.
9. Sabendo o ângulo de reflexão interna total, calcule o índice de refração da lâmina e compare-o com o que foi obtido anteriormente.
10. O índice de refração que determinou permite-lhe concluir que a lâmina de faces paralelas é de vidro? Considere o índice de refração de diferentes tipo de vidro 1,5-1,7.

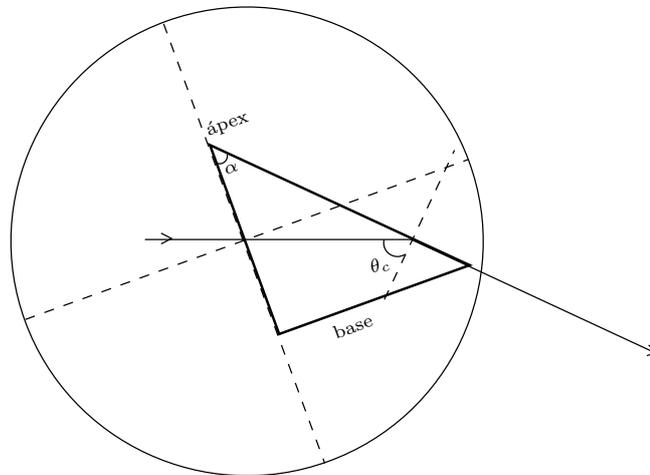


11. Sobre o disco de Hartl, substitua a lâmina de faces paralelas pelo prisma óptico e fixe ao disco uma folha de papel vegetal onde pode marcar o percurso dos raios.



12. Meça e registe o valor do ângulo do prisma,  $\alpha$ , e o valor do ângulo de desvio,  $\delta$ .
13. Determine o índice de refração do prisma.
14. Rode o prisma até que o feixe emergente deixe de ser visto.
15. Desenhe o contorno do prisma no papel, marcando o ponto em que o feixe se reflecte internamente, o ponto de entrada do feixe incidente e o ponto de saída do feixe reflectido.

16. Retire o prisma e desenhe os feixes incidente e reflectido na superfície interna do prisma. Meça o ângulo entre esses feixes e tenha em conta que este ângulo é duplo do ângulo crítico, já que o ângulo de incidência é igual ao ângulo de reflexão.



17. Utilizando o índice de refração que calculou para o prisma, calcule o valor do ângulo crítico aplicando a expressão  $\sin \theta_c = 1/n$ , derivada da lei de Snell.
18. Determine a diferença percentual entre o valor experimental que mediu para o ângulo crítico e o valor que calculou no ponto anterior.
19. O índice de refração que determinou permite-lhe concluir que o prisma é de vidro? Considere o índice de refração de diferentes tipos de vidro 1,5-1,7.

## Bibliografia

- Born, M., Wolf, E., *Principles of optics*. 7th edition, Cambridge University Press, Cambridge, 1999.
- Schwartz, S., *Geometrical and Visual Optics*, 3rd edition, McGraw-Hill Education, 2019.



**Óptica Geométrica**  
Guia do trabalho prático

## 6 Telescópio com lentes

### Objectivos

1. Construir um telescópio de Kepler e determinar o seu aumento;
2. construir um telescópio de Galileu e determinar o seu aumento;
3. efectuar um estudo comparativo entre os telescópios de Kepler e de Galileu.

### Material e equipamento utilizado

- Fonte de luz branca colimada;
- lente +500 mm;
- lente +200 mm;
- lente -200 mm;
- alvo;
- diapositivo com objecto.

### Esquema da montagem

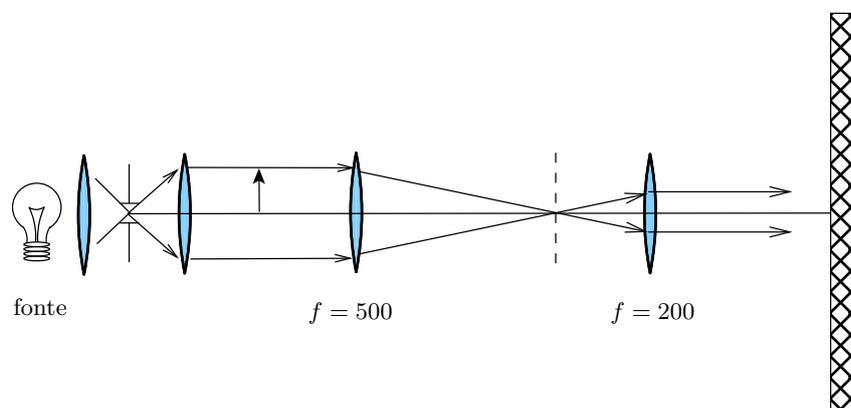


Figura 1: Esquema de montagem do telescópio de Kepler.

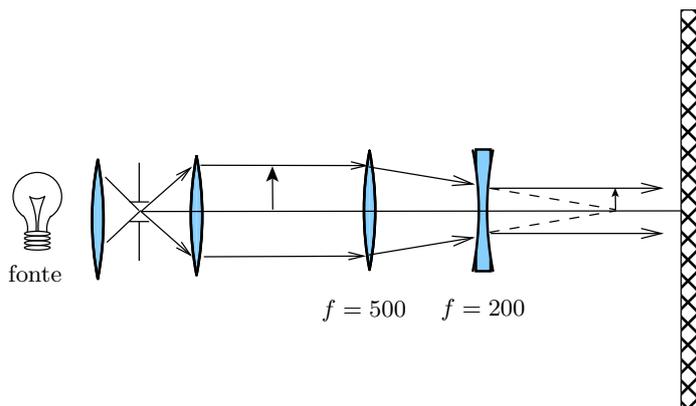


Figura 2: Esquema de montagem do telescópio de Galileu.

## Procedimento experimental

### A. Telescópio de Kepler

1. Proceda à montagem de todos os componentes ópticos de acordo com a Figura 1, começando por colimar o feixe de luz.
2. Identifique a lente que serve de objectiva e a lente que serve de ocular.
3. Determine o aumento do telescópio através do tamanho do feixe paralelo.
4. Determine o aumento do telescópio através das distâncias focais da objectiva e da ocular.
5. Compare os valores obtidos nas alíneas anteriores.
6. Observe a imagem formada pela ocular e anote todas as suas características.



### B. Telescópio de Galileu

1. Proceda à montagem de todos os componentes ópticos de acordo com a Figura 2, começando por colimar o feixe de luz.
2. Identifique a lente que serve de objectiva e a lente que serve de ocular.
3. Determine o aumento do telescópio através do tamanho do feixe paralelo.
4. Determine o aumento do telescópio através das distâncias focais da objectiva e da ocular.
5. Compare os valores obtidos nas alíneas anteriores.
6. Observe a imagem formada pela ocular e anote todas as suas características.
7. Movimente o objecto ao longo do eixo e conclua se o tamanho da imagem depende da sua posição.



### C. Comparação entre os dois instrumentos

1. Compare a imagem obtida com o telescópio de Kepler com aquela obtida com o telescópio de Galileu.
2. Se existir diferença entre as imagens, explique porquê.
3. Compare o comprimento do telescópio de Kepler com aquele do telescópio de Galileu.

**Bibliografia**

- Born,M., Wolf,E., *Principles of optics*. 7th edition, Cambridge University Press, Cambridge, 1999.
- Schwartz,S., *Geometrical and Visual Optics*, 3rd edition, McGraw-Hill Education, 2019.
- Yu,F., Yang.X., *Optical engineering*. Cambridge University Press, Cambridge, 1997.



**Óptica Geométrica**  
Guia do trabalho prático

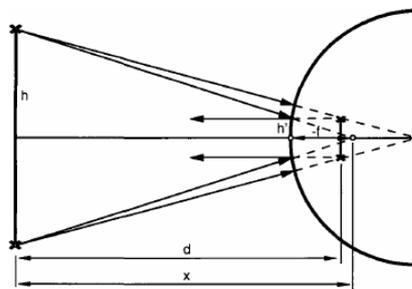
## 7 Construção de um queratómetro em banco óptico

### Objectivos

1. Estudo do princípio de funcionamento do queratómetro;
2. estudo dos vários elementos constituintes do queratómetro;
3. determinação da potência em diferentes meridianos de uma córnea de prova.

### Introdução

Os queratómetros (também conhecidos por oftalmómetros) são instrumentos usados para medir o raio de curvatura na zona central da superfície anterior da córnea. O princípio de funcionamento do queratómetro consiste em utilizar a córnea como um espelho convexo e medir o tamanho da imagem, dada pela córnea, de um objecto de tamanho conhecido (mira).



Considerando os dois triângulos rectângulos semelhantes, na figura:

$$\frac{h'}{h} = -\frac{f}{x},$$

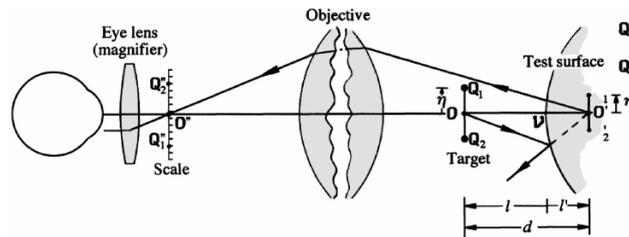
onde  $h$  e  $h'$  são os tamanhos do objecto e da imagem, respectivamente,  $f$  é a distância focal do espelho (córnea) e  $x$  é a distância do objecto (mira) ao plano focal. Como a distância focal de um espelho é igual a metade do seu raio de curvatura,  $f = r/2$ , a expressão pode ser reescrita como:

$$\frac{h'}{h} = -\frac{r}{2x},$$

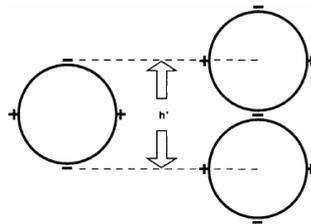
onde  $r$  é o raio de curvatura do espelho. A distância  $x$  não é conhecida, no entanto, pode sem cometer um grande erro, ser considerada aproximadamente igual à distância  $d$ , entre o objecto e a sua imagem. Assim, a expressão pode voltar a ser reescrita como:

$$\frac{h'}{h} = -\frac{r}{2d}.$$

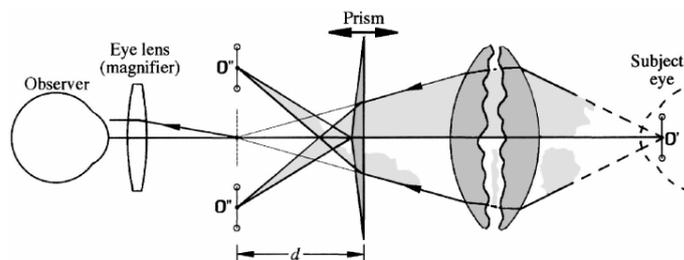
Como a imagem formada pela córnea é virtual e formada dentro do olho, o seu tamanho não pode ser medido directamente. Por esta razão, a imagem virtual  $O'$  formada dentro do olho pode servir de objecto para uma lente objectiva de modo a ser formada uma imagem real  $O''$ . O tamanho desta imagem real pode ser obtido colocando uma escala graduada no plano de  $O''$ .



No entanto, como o olho realiza constantemente pequenos movimentos, torna-se difícil medir directamente o tamanho da imagem. Por esta razão, é utilizado um prisma que forma uma segunda imagem do objecto. Como os micro-movimentos do olho afectam ambas as imagens em simultâneo, é possível medir o tamanho da imagem original, deslocando o prisma de maneira que as duas imagens fiquem em posição tangencial. Para atingir esta posição, a distância que a segunda imagem percorreu é igual ao tamanho da imagem original.



Se todas as distâncias e potências forem fixas e conhecidas, o tamanho desta imagem real pode ser utilizado para calcular o raio de curvatura da córnea.

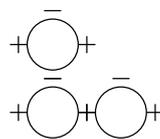


A maioria dos queratómetros existentes hoje em dia podem ser classificados em dois grandes grupos: os aparelhos que têm miras móveis e sistema duplicador fixo e aqueles que têm miras fixas e sistema duplicador móvel. Neste trabalho vamos debruçar-nos sobre o segundo tipo de instrumento.

O aparelho possui uma mira do tipo “*Bauch and Lomb*” e dois prismas ajustáveis e independentes que duplicam a imagem em dois meridianos perpendiculares entre si.

Quando está bem alinhado, o operador deve ver três imagens da mira do instrumento. Uma é produzida por luz desviada verticalmente pelo prisma que actua neste meridiano, outra é produzida por luz desviada horizontalmente pelo prisma que actua segundo o meridiano horizontal e, a outra é produzida por luz que não é afectada pelo movimento de nenhum dos prismas.

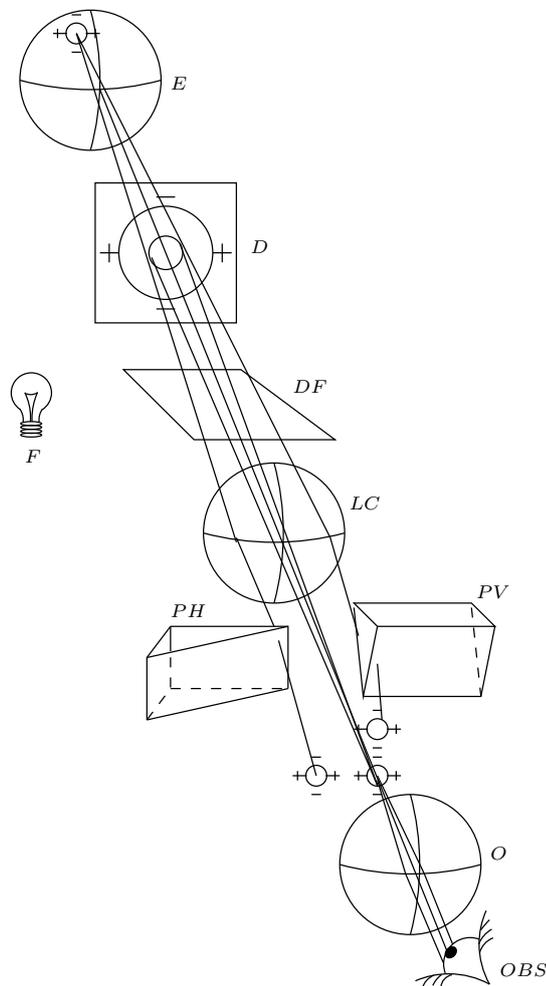
O aparelho encontra-se pronto para lermos uma medição quando as imagens da mira se encontrarem na posição seguinte:



## Material e equipamento utilizado

- Fonte luminosa colimada;
- diapositivo com mira;
- 2 prismas;
- divisor de feixe;
- objectiva e ocular microscópica;
- espelho convexo ou córnea de prova.

## Esquema da montagem



Onde:

*E* — espelho convexo;  
*D* — diapositivo com mira;  
*DF* — divisor de feixe;  
*LC* — lente convergente;

*PH* — prisma com base na horizontal;  
*PV* — prisma com base na vertical;  
*O* — ocular;  
*OBS* — observador.

### Procedimento experimental

1. Todos os componentes ópticos já se encontram dispostos de acordo com o esquema de montagem, pelo que deve apenas garantir que identificou cada componente e que a distância entre a objectiva e a ocular se mantém constante;
2. faça coincidir os sinais mais (+) das miras, movimentando o prisma que considerar adequado;
3. repita para os sinais menos (-);
4. determine o raio de curvatura da córnea de prova;
5. determine a potência da córnea de prova;
6. no relatório, indique a razão pela qual a distância entre a ocular e a objectiva tem de ser mantida fixa ao longo de todo o trabalho;
7. também no relatório, mostre que a relação entre o raio de curvatura da esfera e o deslocamento do prisma é linear.

### Bibliografia

- Benjamin,W., *Borish's Clinical Refraction*. 2nd ed., Butterworth-Heinemann, 2006.
- Born,M., Wolf,E., *Principles of optics*. 7th ed., Cambridge University Press, Cambridge, 1999.
- Henson,D., *Optometric instrumentation*. 2nd ed., Butterworth-Heinemann, Oxford, 1996.
- Schwartz,S., *Geometrical and Visual Optics*, 3rd edition, McGraw-Hill Education, 2019.
- Smith,G., *The Eye and Visual Optical Instruments*. Cambridge University Press, Cambridge, 2010.

Óptica Geométrica  
Guia do trabalho prático

## 8 Refractómetro: optómetro de Young

### Objectivos

1. Estudo do princípio de funcionamento de um tipo de refractómetro;
2. medição do erro refractivo de cada olho para todos os elementos do grupo.

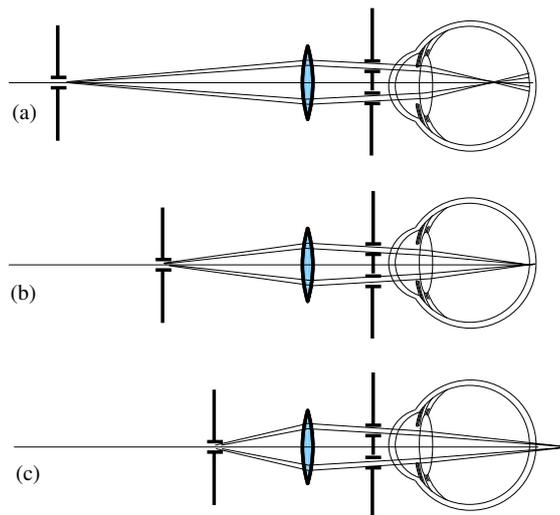
### Introdução

Neste tipo de optómetro o objecto utilizado é normalmente um único ponto luminoso que se pode mover para trás e para a frente até ser percebido como único pelo observador.

Quando a imagem do ponto luminoso não está correctamente focada sobre a retina, o observador percebe duas imagens desfocadas (figuras (a) e (c)). Quando a imagem se encontra focada sobre a retina, o ponto luminoso aparece como único (figura (b)).

A sensibilidade deste tipo de aparelho depende da separação entre os furos estenopeicos e esta é limitada pelo diâmetro pupilar, sendo que esta separação tem de ser inferior ao diâmetro da pupila. Normalmente usam-se orifícios com 1 mm de diâmetro e deprimidos entre si de 2 a 4 mm.

Na prática este optómetro não é usado na sua forma básica, no entanto, o seu princípio de funcionamento está incorporado em vários tipos de refractómetros, incluindo o refractómetro de Zeiss e alguns tipos de autorefractómetros.



### Material e equipamento utilizado

- Bancada óptica graduada;
- fonte luminosa com suporte;

- furo estenopeico com suporte;
- 2 lentes convexas com suporte;
- furo estenopeico duplo com suporte;
- apoio para encostar o queixo e a testa.

### Esquema da montagem

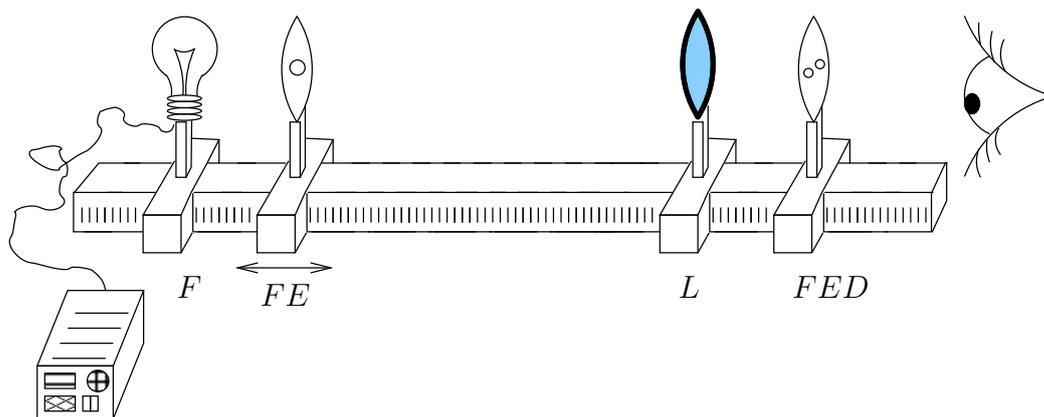


Figura 3: Esquema de montagem.

Onde:

$F$  — Fonte luminosa;  
 $FE$  — furo estenopeico;  
 $L$  — lente convergente;  
 $FED$  — furo estenopeico duplo.

### Procedimento experimental

1. Proceda à montagem de todos os componentes ópticos de acordo com a Figura 3;
2. selecione um elemento do grupo para servir de observador;
3. movimente o furo estenopeico  $FE$  de modo que o observador perceba apenas uma imagem;
4. determine a ametropia do elemento do grupo que seleccionou;
5. repita o procedimento para todos os elementos do grupo.

### Bibliografia

- Born, M., Wolf, E., *Principles of optics*. 7th ed., Cambridge University Press, Cambridge, 1999.
- Henson, D., *Optometric instrumentation*. 2nd ed., Butterworth-Heinemann, Oxford, 1996.
- Schwartz, S., *Geometrical and Visual Optics*, 3rd edition, McGraw-Hill Education, 2019.