

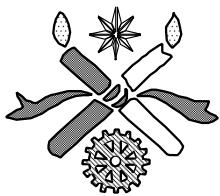
Desenho de Elementos Ópticos
Guia dos trabalhos práticos
2010/2011

Docente responsável: Sandra Mogo

6 de Maio de 2011

Conteúdo

1 Cálculo das aberrações de Seidel	5
2 Desenho de lentes de ponto focal: construção da elipse de Tscherning	7
3 Desenho de lentes com erro oblíquo médio nulo: construção da elipse de Percival	9
4 Desenho de lentes com erro tangencial nulo	11
5 Estudo da distorção em lentes oftálmicas	13
6 Lentes asféricas	15
7 Desempenho de lentes oftálmicas comerciais	17

**Desenho de Elementos Ópticos**
Guia do trabalho prático

1 Cálculo das aberrações de Seidel

Objectivos

Tomar conhecimento prático das técnicas de cálculo que permitem obter as aberrações de Seidel de uma lente oftálmica.

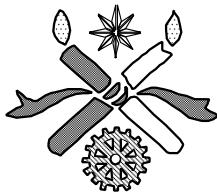
Material e equipamento utilizado

- Computador.

Procedimento

1. Introduza os parâmetros de entrada que definem a lente oftálmica (raios, parâmetros de asfericidade, índices de refracção, espessura), as condições de trabalho (raio e posição da pupila, campo, altura e campo relativo) e obtenha as potencias do primeiro e do segundo dioptrô bem como a potência esferométrica.
2. Descreva o traçado de raios paraxial para o raio marginal e para o raio principal. Ambos traçados devem ser realizados para o índice n_d .
3. Descreva o traçado de raios real para os raios marginal, principal, de bordo superior e de bordo inferior para o índice n_d . Para os raios marginal e principal, descreva também o traçado de raios real para os índices $n_{F'}$ e $n_{C'}$.
4. Partindo dos dados obtidos para o traçado de raios real do raio principal, descreva as focais sagital e tangencial para este raio.
5. Determine as alturas de impacto no plano imagem paraxial do raio principal e dos raios de bordo superior e de bordo inferior.
6. Determine os valores das aberrações e os seus módulos.
7. Construa uma tabela da qual façam parte todas as aberrações para valores de altura e campo normalizados compreendidos entre 0,1 e 1,0 com um incremento de 0,1.
8. Com base na tabela, construa um gráfico que permita analisar as aberrações laterais: esférica lateral em função da altura normalizada, junto com o coma tangencial, a distorção e a cromática lateral em função do campo normalizado.
9. Com base na tabela, construa um gráfico que permita analisar as aberrações axiais: esférica axial e cromática axial em função da altura normalizada, junto com as curvaturas (sagital, tangencial e de campo) e o astigmatismo em função do campo normalizado.
10. Com base nos dois gráficos construídos, analise a importância relativa de cada aberração e indique quais vale a pena corrigir.

11. Explique por que razão as aberrações esférica e cromática axiais se representam em função da abertura e o resto das aberrações se representam em função do campo.
12. Com base no gráfico onde representou as aberrações laterais, construa um novo gráfico mas desta vez tomando o módulo das aberrações. Inclua para cada aberração uma curva de ajuste de tipo potencial com a respectiva equação. Comente o expoente obtido.
13. Com base no gráfico onde representou as aberrações axiais, construa um novo gráfico mas desta vez tomando o módulo das aberrações. Inclua para cada aberração uma curva de ajuste de tipo potencial com a respectiva equação. Comente o expoente obtido.
14. Com base nos dois gráficos anteriores comente a validade da terceira ordem de aproximação para cada aberração.
15. Modificando o raio da primeira superfície e calculando o da segunda de maneira que se conserve a potência da lente, estude a evolução do astigmatismo em função do factor de forma da lente (“*bending*”). Indique a forma mais conveniente.
16. Se o campo total for reduzido, a evolução do astigmatismo com o campo será melhor descrita pelas previsões de terceira ordem?



Desenho de Elementos Ópticos
Guia do trabalho prático

2 Desenho de lentes de ponto focal: construção da elipse de Tscherning

Objectivos

Aprender a corrigir o astigmatismo oblíquo de uma lente oftálmica esférica de potência dada. Construir a elipse de Tscherning para objectos próximos e para objectos distantes.

Material e equipamento utilizado

- Computador.

Procedimento

1. Familiarize-se com as rotinas que lhe são fornecidas, identificando cada um dos campos de entrada e de saída do programa.

Como entradas o operador pode introduzir o índice de refracção da lente, as componentes esférica e cilíndrica, a potência da superfície anterior (por vezes denominada “base”), a espessura da lente (em mm), a distância do vértice posterior da lente ao centro de rotação ocular, a vergência associada ao objecto e o número de Abbe.

As saídas aparecem divididas em dois grupos. No primeiro grupo representam-se os valores das potências tangencial e sagital da lente cujos dados se introduziram, em função do ângulo de rotação ocular expresso em grau.

O segundo grupo de saídas apresenta os valores do erro de astigmatismo oblíquo ($OAE = F_T - F_S$ - oblique astigmatism error) e do erro oblíquo médio ($MOE = \frac{F_T + F_S}{2} - F'_v$ - mean oblique error) em função do ângulo de rotação ocular. Neste grupo de saídas apresentam-se ainda a distorção (em %) e a aberração cromática transversal (TCA - transverse chromatic aberration) (em Δ).

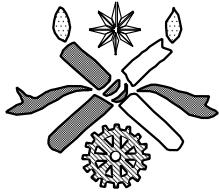
2. Considere uma lente esférica com índice de refracção 1,523, número de Abbe 58, distância do vértice posterior da lente ao centro de rotação ocular 27 mm, potência ao vértice posterior 4.00 D, espessura 4 mm e objecto situado no infinito (vergência 0.00 D). Encontre os valores de potência do primeiro dioptro (base), F_1 , tais que o astigmatismo oblíquo seja aproximadamente nulo nos 40° de campo angular contemplados pelo programa. Para isso, parta de um valor inicial de $F_1 = 1.00$ D e incremente os valores de F_1 em intervalos de 0.50 D, enquanto observa o gráfico do erro de astigmatismo oblíquo (OAE) e os valores de F_T e F_S . A lente encontrar-se-à corrigida de astigmatismo quando atingir um valor de F_1 para o qual os valores do erro de astigmatismo oblíquo em função do campo se distribuam à volta de 0.00 D, e as curvas $F_T(\alpha)$ e $F_S(\alpha)$ sejam coincidentes. Esse valor de F_1 corresponde ao *desenho de Ostwald* para a lente em estudo. Continue a aumentar os valores de F_1 até que o erro de astigmatismo oblíquo se volte a anular. Este segundo valor corresponde ao *desenho de Wollaston* para a lente em estudo.

3. Repita o procedimento para lentes com os mesmos parâmetros da anterior mas com potências ao vértice posterior de 7.00, 4.00, 1.00, -2.00, -5.00, -8.00, e -11.00 D. Construa uma tabela com os valores de F_1 e F'_v (dois valores de F_1 para cada valor de F'_v). Represente os valores da tabela num gráfico,

tomando a potência ao vértice posterior como eixo das abcissas. O gráfico obtido representa a *ellipse de Tscherning para um objecto distante*, $n = 1,523$ e distância do vértice posterior ao centro de rotação ocular de 27 mm.

4. Repita o procedimento do ponto anterior para os mesmos valores de F'_v mas considerando um objecto situado a 33 cm do observador (vergência -3.00 D). O gráfico obtido representa a *ellipse de Tscherning para um objecto próximo*, $n = 1,523$, distância do vértice posterior ao centro de rotação ocular de 27 mm e vergência objecto de -3.00 D.
5. Compare a distorção resultante para uma lente de ponto focal com desenho de Ostwald com a sua correspondente de desenho de Wollaston.

Nota: Na realização deste trabalho a espessura da lente é sempre 1 mm para lentes negativas e de valor igual à potência ao vértice posterior mas expressa em milímetro para lentes positivas (ex. para uma lente de $F'_v = 7.00$ D, a espessura é 7 mm).



Desenho de Elementos Ópticos
Guia do trabalho prático

3 Desenho de lentes com erro oblíquo médio nulo: construção da elipse de Percival

Objectivos

Aprender a corrigir o erro oblíquo médio de uma lente oftálmica esférica de potência dada. Construir a elipse de Percival para objectos próximos e para objectos distantes.

Material e equipamento utilizado

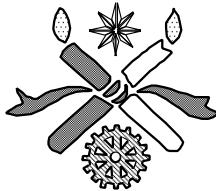
- Computador.

Procedimento

1. Considere uma lente esférica com índice de refracção 1,523, número de Abbe 58, distância do vértice posterior da lente ao centro de rotação ocular 27 mm, potência ao vértice posterior 4.00 D, espessura 4 mm e objecto situado no infinito (vergência 0.00 D). Encontre os valores de potência do primeiro dioptrô (base), F_1 , tais que o erro oblíquo médio seja aproximadamente nulo nos 40° de campo angular contemplados pelo programa. Para isso, parta de um valor inicial de $F_1 = 1.00$ D e incremente os valores de F_1 em intervalos de 0.50 D, enquanto observa o gráfico do erro oblíquo médio (MOE) e os valores de F_T e F_S . A lente encontrar-se-à corrigida de erro oblíquo médio quando atingir um valor de F_1 para o qual os valores do erro de astigmatismo oblíquo em função do campo se distribuam à volta de 0.00 D, e as curvas $F_T(\alpha)$ e $F_S(\alpha)$ sejam simétricas em relação ao valor de potência ao vértice posterior. Esse valor de F_1 corresponde ao *desenho de Ostwald* para a lente em estudo. Continue a aumentar os valores de F_1 até que o erro oblíquo médio se volte a anular. Este segundo valor corresponde ao *desenho de Wollaston* para a lente em estudo.
2. Repita o procedimento para lentes com os mesmos parâmetros da anterior mas com potências ao vértice posterior de 10.00, 7.00, 4.00, 1.00, -2.00, -5.00, -8.00, e -11.00 D. Construa uma tabela com os valores de F_1 e F'_v (dois valores de F_1 para cada valor de F'_v). Represente os valores da tabela no mesmo gráfico da aula anterior. A nova curva obtida representa a *elipse de Percival para um objecto distante*, $n = 1,523$ e distância do vértice posterior ao centro de rotação ocular de 27 mm.
3. Repita o procedimento do ponto anterior para os mesmos valores de F'_v mas considerando um objecto situado a 33 cm do observador (vergência -3.00 D). A curva obtida deve ser representada no mesmo gráfico que foi realizado na aula anterior e representa a *elipse de Percival para um objecto próximo*, $n = 1,523$, distância do vértice posterior ao centro de rotação ocular de 27 mm e vergência objecto de -3.00 D.
4. Compare a distorção resultante para uma lente sem erro oblíquo médio com desenho de Ostwald com a sua correspondente de desenho de Wollaston.

Nota: Na realização deste trabalho a espessura da lente é sempre 1 mm para lentes negativas e de valor igual à potência ao vértice posterior mas expressa em milímetro para lentes positivas (ex. para uma lente de $F'_v = 7.00$ D, a espessura é 7 mm).

3 DESENHO DE LENTES COM ERRO OBLÍQUO MÉDIO NULO: CONSTRUÇÃO DA ELIPSE DE PERCIVAL



Desenho de Elementos Ópticos

Guia do trabalho prático

4 Desenho de lentes com erro tangencial nulo: influência da distância do vértice posterior da lente ao centro de rotação ocular

Objectivos

Aprender a desenhar lentes com erro tangencial nulo. Estudar a influência da distância ao vértice no comportamento do astigmatismo oblíquo e no erro oblíquo médio, para lentes positivas e negativas.

Material e equipamento utilizado

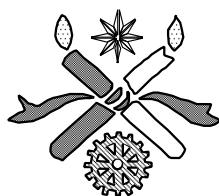
- Computador.

Procedimento

1. Considere uma lente esférica com índice de refracção 1,523, número de Abbe 58, distância do vértice posterior da lente ao centro de rotação ocular 27 mm, potência ao vértice posterior 4.00 D, espessura 4 mm e objecto situado no infinito (vergência 0.00 D). Encontre os valores de potência do primeiro dioptro (base), F_1 , tais que o erro tangencial seja aproximadamente nulo nos 40° de campo angular contemplados pelo programa. Para isso, parta de um valor inicial de $F_1 = 1.00$ D e incremente os valores de F_1 em intervalos de 0.50 D, enquanto observa o gráfico do erro oblíquo médio (MOE) e os valores de F_T . A lente encontrar-se-á corrigida de erro tangencial quando atingir um valor de F_1 para o qual os valores de $F_T(\alpha)$ se distribuem uniformemente em torno ao valor de potência ao vértice posterior. Esse valor de F_1 corresponde ao *desenho de Ostwald* para a lente em estudo. Continue a aumentar os valores de F_1 até que o erro tangencial se volte a anular. Este segundo valor corresponde ao *desenho de Wollaston* para a lente em estudo.
2. Repita o procedimento para lentes com os mesmos parâmetros da anterior mas com potências ao vértice posterior de 7.00, 4.00, 1.00, -2.00, -5.00, -8.00, e -11.00 D e obtenha os valores de F_1 que minimizam $F_T - F'_v$. Construa uma tabela com os valores de F_1 e F'_v (dois valores de F_1 para cada valor de F'_v). Represente os valores da tabela no mesmo gráfico da aula anterior. A nova curva obtida representa a *ellipse de erro tangencial mínimo para um objecto distante*, $n = 1,523$ e distância do vértice posterior ao centro de rotação ocular de 27 mm.
3. Repita o procedimento do ponto anterior para os mesmos valores de F'_v mas considerando um objecto situado a 33 cm do observador (vergência -3.00 D). A curva obtida deve ser representada no mesmo gráfico que foi realizado na aula anterior e representa a *ellipse de erro tangencial mínimo para um objecto próximo*, $n = 1,523$, distância do vértice posterior ao centro de rotação ocular de 27 mm e vergência objecto de -3.00 D.
4. Considere F_{1a} e F_{1b} os valores de F_1 que tornam nulo o erro tangencial (desenhos de Ostwald e Wollaston). Para uma lente com potência ao vértice posterior +4.00 D, faça $F_1 = F_{1a}$ e varie a distância do vértice posterior da lente ao centro de rotação ocular no intervalo 21 – 33 mm. Determine o erro de astigmatismo oblíquo (OAE) e o erro oblíquo médio (MOE) a 35° e represente os seus valores num gráfico em função da distância ao vértice. Repita o procedimento para $F_1 = F_{1b}$.

5. Repita o procedimento anterior para uma lente de -5.00 D.

Nota: Na realização deste trabalho a espessura da lente é sempre 1 mm para lentes negativas e de valor igual à potência ao vértice posterior mas expressa em milímetro para lentes positivas (ex. para uma lente de $F'_v = 7.00$ D, a espessura é 7 mm).

**Desenho de Elementos Ópticos**
Guia do trabalho prático**5 Estudo da distorção em lentes oftálmicas****Objectivos**

Estudar a influência da forma da lente numa lente oftálmica de potência dada. Estudar a influência do índice de refracção na distorção de uma lente para uma determinada potência.

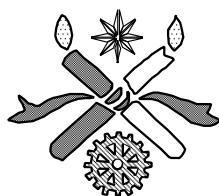
Material e equipamento utilizado

- Computador.

Procedimento

1. Considere uma lente esférica com índice de refracção 1,523, número de Abbe 58, distância do vértice posterior da lente ao centro de rotação ocular 27 mm, potência ao vértice posterior 5.00 D, espessura 4 mm e objecto situado no infinito (vergência 0.00 D). Determine os valores de distorção, E , que a lente apresenta para uma rotação ocular de 35° e valores variáveis de potência do primeiro dioptrio (base). Considere valores de F_1 no intervalo $0.00 < F_1 < 30.00$ D e represente os pares de valores (F_1 , E_{35°) numa tabela. A partir da tabela, construa um gráfico no qual deve marcar com linhas verticais os valores de F_1 que correspondem aos desenhos de Ostwald e Wollaston para a lente de ponto focal em visão ao longe.
2. Repita o procedimento anterior para uma lente com potência ao vértice posterior -5.00 D e espessura 1 mm.
3. Com base nos resultados obtidos indique quais as aberrações que são mais afectadas pela forma da lente, o astigmatismo oblíquo, o erro oblíquo médio ou a distorção?
4. Considere agora as lentes de ponto focal, para o caso de objecto situado no infinito, com as seguintes potências ao vértice posterior -15.00, -11.00, -9.00, -7.00, -5.00, -3.00, -1.00, 1.00, 3.00, 5.00 e 7.00 D. Obtenha os valores de F_1 correspondentes aos desenhos de Ostwald e Wollaston e anote a distorção que aparece para uma rotação ocular de 35°. Registe os resultados numa tabela com os pares de valores (F'_v , E_{35°) e represente-os num gráfico com as duas curvas, correspondentes à distorção para as lentes do ramo de Ostwald e Wollaston.
5. Discuta a forma e a amplitude da distorção em função da potência ao vértice posterior da lente.

Nota: Na realização deste trabalho a espessura da lente é sempre 1 mm para lentes negativas e de valor igual à potência ao vértice posterior mas expressa em milímetro para lentes positivas (ex. para uma lente de $F'_v = 7.00$ D, a espessura é 7 mm).



Desenho de Elementos Ópticos
Guia do trabalho prático

6 Lentes asféricas

Objectivos

Demonstrar que é possível desenhar lentes oftálmicas com qualquer potência ao vértice posterior e com o primeiro dioptro cónico (ASFÉRICO). Estudar a influência do coeficiente de asfericidade na potência do primeiro dioptro para desenhar uma lente de ponto focal. Estudar a influência do coeficiente de asfericidade na potência ao vértice posterior da lente que se pretende desenhar.

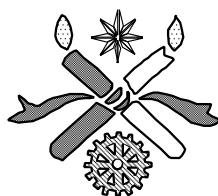
Material e equipamento utilizado

- Computador.

Procedimento

1. Considere uma lente esférica com índice de refracção 1,523, número de Abbe 58, distância do vértice posterior da lente ao centro de rotação ocular 27 mm, potência ao vértice posterior 4.00 D, espessura 4 mm e objecto situado no infinito (vergência 0.00 D). Supondo a lente esférica ($p = 1$), encontre o valor de F_1 para o qual a lente se comporta de acordo com o desenho de Ostwald de ponto focal. Em seguida, verificar que se tomarmos o primeiro dioptro como um elipsóide prolata com valores de p de 0.7 ou 0.8, é possível redesenhar uma lente mais plana (F_1 menor) e também de ponto focal.
2. Repita o procedimento anterior para uma lente de potência ao vértice posterior -8.00 D (espessura 1 mm), considerando para o desenho asférico elipsóides oblatas com valores de $p > 1$.
3. Com os mesmos parâmetros utilizados anteriormente, desenhe lentes oftálmicas asféricas de ponto focal com potências ao vértice posterior entre 8.00 D e 15.00 D (fora da elipse de Tscherning). Para cada valor de F'_v , considere sempre valores de $F_1 = F'_v + 1$ (desta forma o desenho é quase plano-côncavo e a redução de espessura ao centro é máxima). Determine para cada valor de F'_v o valor de p que torna nulo o erro de astigmatismo oblíquo (OAE). Registe os resultados numa tabela com os valores de F'_v e p e construa o gráfico correspondente aos pares de pontos (F'_v , p). Em seguida, repita este procedimento para $F_1 = F'_v + 3$ e $F_1 = F'_v + 5$.
4. Desenhe lentes oftálmicas asféricas de ponto focal para valores de potência ao vértice posterior compreendidos entre 8.00 D e 15.00 D. Para cada valor de F'_v , considere sempre valores de $F_1 = F'_v + 1$, e considere o valor de p que torna nulo o erro de astigmatismo oblíquo no ponto anterior. Registe numa tabela o valor do erro oblíquo médio (MOE) para um campo de rotação ocular de 30° e construa um gráfico onde deve representar os pares de valores (F'_v , MOE_{30°).

Nota: Na realização deste trabalho a espessura da lente é sempre 1 mm para lentes negativas e de valor igual à potência ao vértice posterior mas expressa em milímetro para lentes positivas (ex. para uma lente de $F'_v = 7.00$ D, a espessura é 7 mm).

**Desenho de Elementos Ópticos**
Guia do trabalho prático**7 Desempenho de lentes oftálmicas comerciais****Objectivos**

Comparar os parâmetros geométricos de lentes reais com os que deveriam apresentar se se ajustassem aos desenhos estudados nas aulas práticas anteriores. Estudar o desempenho visual de lentes reais em visão próxima e visão ao longe.

Material e equipamento utilizado

- Computador;
- material necessário para medir potências, raios de curvatura e espessuras de lentes oftálmicas.

Procedimento

1. Para cada uma das duas lentes esféricas que lhe são fornecidas na aula, meça as suas potências ao vértice posterior, os raios de curvatura do primeiro e do segundo dioptrio e a sua espessura central. Os dados relativos ao índice de refracção e ao número de Abbe serão fornecidos na aula.

Lente	n_d	n. de Abbe	espessura [mm]	r_1 [mm]	F_1 [D]	r_2 [mm]	F_2 [D]	F'_v [D]
-------	-------	------------	----------------	------------	-----------	------------	-----------	------------

2. A partir dos valores de índice de refracção, potência ao vértice posterior e espessura de cada lente, determine os valores que deveriam tomar F_1 e F_2 para que a lente se comporte como sendo de:
 - (a) desenho de ponto focal de tipo Ostwald para visão ao longe;
 - (b) desenho de ponto focal de tipo Ostwald para leitura a 33 cm do observador;
 - (c) desenho de Percival de tipo Ostwald para visão ao longe;
 - (d) desenho de Percival de tipo Ostwald para leitura a 33 cm do observador;
 - (e) desenho tangencial de tipo Ostwald para visão ao longe;
 - (f) desenho tangencial de tipo Ostwald para leitura a 33 cm do observador;

Para cada um dos desenhos sugeridos, construa uma tabela semelhante à apresentada neste guia. Em todos os casos, considere que a distância entre o vértice posterior da lente e o centro de rotação ocular é de 27 mm.

3. Utilizando os valores da tabela, determine os valores do parâmetro de asfericidade, p , necessários para que as lentes propostas se comportem de acordo com os seis desenhos indicados no ponto anterior. Para cada caso indique o valor de p e o tipo de superfície cónica requerida.

7 DESEMPENHO DE LENTES OFTÁLMICAS COMERCIAIS

4. Utilizando os valores de tabela, faça variar a distância do vértice da lente ao centro de rotação ocular no intervalo 21 - 33 mm para ambas lentes e determine o erro de astigmatismo oblíquo (OAE) e o erro oblíquo médio (MOE) a 30° . Represente graficamente estes valores em função da distância ao vértice. A partir dos resultados obtidos, indique em que intervalo de valores as lentes apresentam melhor desempenho.
5. Utilizando os valores de tabela e os resultados de astigmatismo oblíquo e erro oblíquo médio, avalie o desempenho em visão extra-axial das lentes em visão ao longe (objecto no infinito), a distâncias intermédias (60 cm do observador) e em visão próxima (33 cm do observador).