



# ASTIGMATISMO

## AUTOR

**Prof. Earl L. Smith III:** University of Houston

## REVISOR

**Prof. Emeritus Barry L. Cole:** University of Melbourne

## INTRODUÇÃO E REVISÃO

Este capítulo inclui uma revisão de:

- Classificação de astigmatismo
- Modelos de olhos esquemáticos para astigmatismo
- Formação da imagem: astigmatas não corrigidos
- Efeitos da correção com lentes no tamanho da imagem retiniana
- Acomodação ocular em astigmatas corrigidos

Astigmatismo (**a** = não, **stigma** = ponto) é uma ametropia que existe quando os raios de uma fonte pontual distante não são focados pelo sistema óptico do olho num único ponto (ou seja, quando o olho não forma uma imagem pontual de um objecto pontual distante). Em vez disso, a imagem de um objecto pontual consiste em dois focos em forma de linha perpendiculares que estão separados por uma determinada distância. O astigmatismo é a ametropia mais comum na população humana. Quase todos os olhos (cerca de 90%) apresentam um grau mensurável de astigmatismo, mas felizmente a magnitude desta ametropia é relativamente pequena na maioria dos indivíduos.

A causa mais comum para o astigmatismo é uma superfície refractiva toroidal. A superfície anterior da córnea, por exemplo, geralmente não é esférica (ou seja, a potência da córnea não é a mesma em todos os meridianos). A superfície posterior da córnea, bem como as superfícies do cristalino, podem também ser astigmáticas. No entanto, mesmo quando as superfícies da córnea e lenticulares são esféricas, um descentramento ou inclinação do cristalino em relação ao eixo óptico da córnea causaria 'astigmatismo oblíquo' e contribuiria para o astigmatismo total do olho.

## CLASSIFICAÇÃO DO ASTIGMATISMO

O tipo de astigmatismo que está associado a um olho não acomodado é normalmente classificado com base nas posições em relação à retina das duas linhas focais formadas por uma fonte pontual distante e com base nas posições dos meridianos principais, ou seja, os meridianos com a maior e menor potência refractiva. Se o meridiano mais potente é aproximadamente vertical ( $+ / - 30$  graus), o astigmatismo é classificado como 'a favor-da-regra'. Se o meridiano mais potente está perto da horizontal ( $+ / - 30$  graus), é referido como 'contra-a-regra'. O termo 'astigmatismo oblíquo' é usado para descrever a situação quando os meridianos principais encontram-se dentro de 15 graus dos eixos 135 ou 45 graus.

A figura 7.1 abaixo ilustra a classificação dos erros refractivos astigmáticos, de acordo com a posição relativa das linhas focais (ou seja, as imagens de uma fonte pontual distante) em relação à retina.

7.1a representa um **astigmatismo miópico composto**. O termo 'composto' indica que ambos os focos de linha estão localizados do mesmo lado da retina. Neste caso, ambos os focos estão localizados no vítreo, indicando que os dois meridianos principais têm erros refractivos míopes.

7.1B representa um **astigmatismo miópico simples**. 'Simples' indica que um meridiano é emetropico, ou seja, uma linha focal é formada na retina.

7.1c é um **astigmatismo misto**, que significa que um meridiano é míope e a sua linha focal está à frente do vítreo, mas que o outro meridiano é hipermetrópico e a linha focal está atrás da retina.

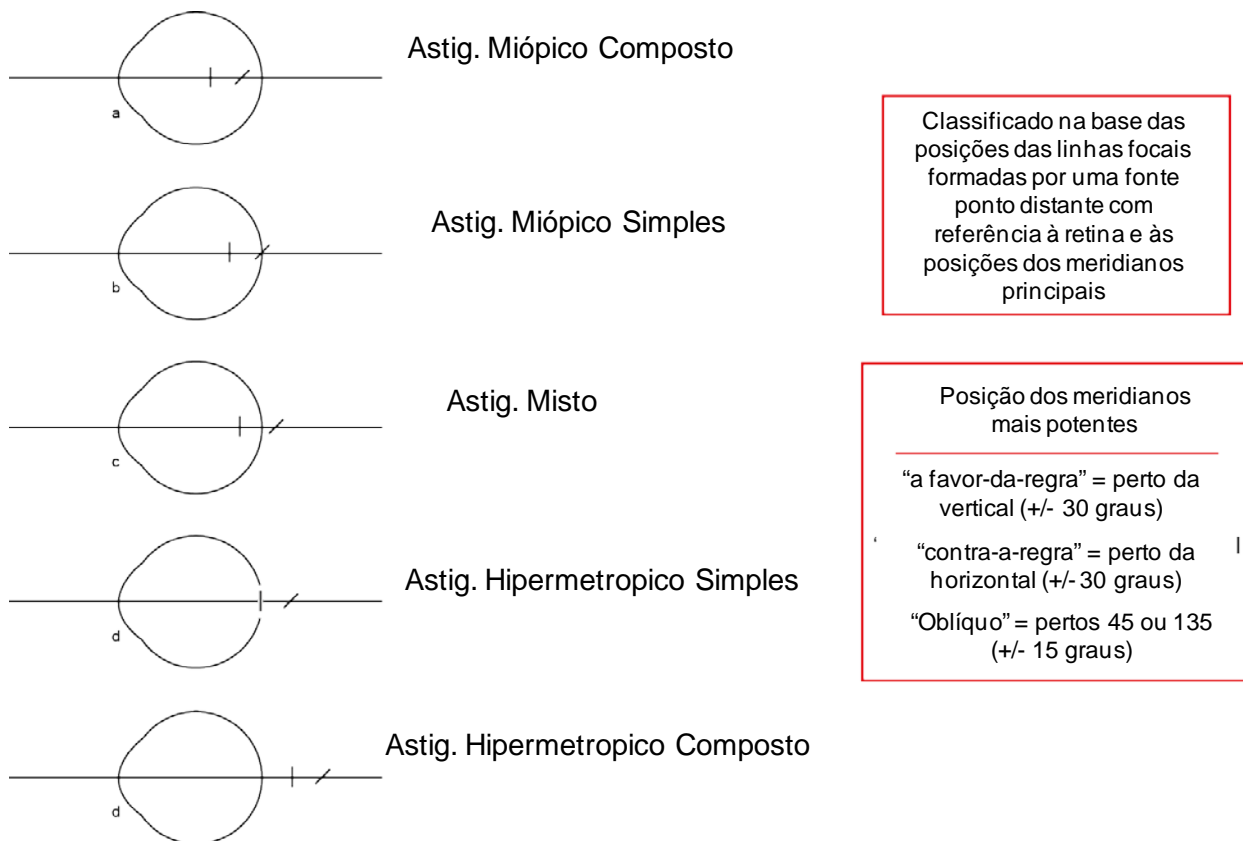
7.1d ilustra um **astigmatismo hipermetrópico simples**. Uma linha focal é formada na retina, enquanto a outra linha focal é formada atrás da retina.

7.1e representa um **astigmatismo hipermetrópico composto** onde os dois meridianos são hipermetrópicos e as linhas focais formam-se atrás da retina.

Nas seções seguintes, consideraremos três aspectos da óptica de olhos astigmáticos:

- 1) Formação de imagem na condição não corrigida,
- 2) Efeitos de óculos e lentes de contacto sobre o tamanho e a forma da imagem da retina, e
- 3) Requisitos acomodativos oculares em olhos astigmáticos corrigidos.

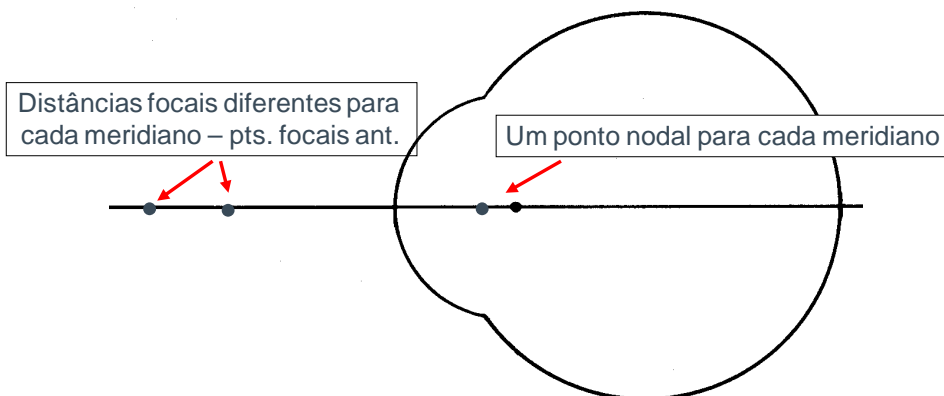
Tal como acontece com ametropias esféricas, muitas destas questões estudam-se melhor usando um olho esquemático reduzido.



**Figura 7.1:** Diferentes classificações de astigmatismo. (from H. Obstfeld, *Optics in Vision*. Butterworth, London, 1982)

## MODELOS DE OLHO ESQUEMÁTICO PARA ASTIGMATISMO

Astigmatismo é uma ametropia refractiva. Uma vez que modelos de olhos reduzidos têm uma única superfície refractiva equivalente, os olhos astigmáticos são modelados usando olhos reduzidos com uma superfície de refração toroidal ou astigmática. Dado que cada meridiano principal terá o seu próprio erro refractivo, cada meridiano principal também terá o seu próprio ponto remoto, os seus próprios pontos focais e o seu próprio ponto nodal. Os principais planos para os meridianos principais coincidirão com o ápice da superfície refractiva equivalente. Claro que só pode haver um comprimento axial, no entanto, indivíduos com astigmatismo também podem ter uma ametropia esférica que é axial por natureza. Por outras palavras, a distância entre o plano principal do olho astigmático não vai sempre ser igual à de um indivíduo com uma ametropia refractiva esférica (isto é, 22.22 mm). Ver Figura 7.2.



**Figura 7.2:** No astigmatismo, cada meridiano tem um ponto focal anterior e um ponto nodal

## FORMAÇÃO DE IMAGEM: ASTIGMATAS NÃO CORRIGIDOS

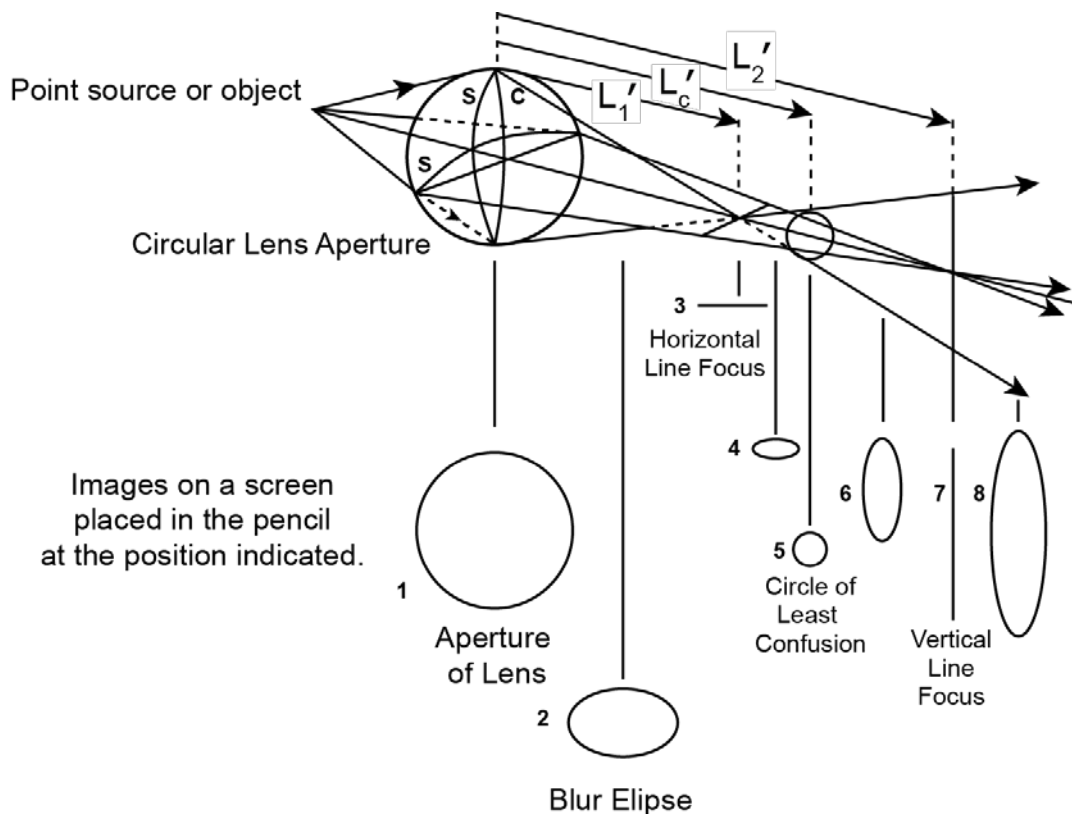
A acuidade visual de astigmatas não corrigidos será influenciada pelo tipo de astigmatismo e as características espaciais dos optotipos usados para medir a acuidade visual. Os efeitos do astigmatismo na imagem retiniana e, portanto, desempenho visual, pode ser observados tendo em conta os efeitos desta ametropia sobre a forma da imagem retiniana de um ponto distante e na forma da imagem retiniana para um objecto expandido. Os cálculos necessários são praticamente idênticos aos descritas no capítulo 4 para ametropia esférica, no entanto, com astigmatas é necessário executar esses cálculos para ambos os meridianos principais. Resumindo, é análogo ao cálculo de tamanho de imagem para dois olhos diferentes, cada um dos quais representa um dos principais meridianos.

Suponha que um paciente tem um astigmatismo composto, miópico, a favor-a-regra e um erro refractivo ocular de  $-5.00 / -5.00 \times 180$ . Suponha também que a ametropia esférica do paciente é refractiva por natureza (ou seja, a distância entre o plano principal e a retina é 22.22 mm) e que a pupila do paciente tem 10 mm de diâmetro (e como acontece nas ametropias esféricas, situa-se no plano principal).

### OBJECTO PONTUAL

A forma da imagem retiniana de um ponto distante pode ser obtida, considerando as posições das linhas focais em relação à retina. A Figura 7.3 ilustra o feixe astigmático produzido pela sobreposição das secções transversais nos dois meridianos principais. Conforme apresentado pela inserção na Fig. 7.3, os erros refractivos oculares para os meridianos horizontais e verticais são  $-5.00$  D e  $-10.00$  D, respectivamente. Por conseguinte, a potência refractiva total do meridiano vertical do olho será  $+70$  D (ou seja, 10 D mais potente do que um olho emetropico) enquanto a potência refractiva do meridiano horizontal será de  $+65$  D. Os raios de luz de um objecto distante que interfere com o meridiano vertical irão, depois da refacção, convergir para formar uma linha focal horizontal no ponto 3 e subsequentemente divergir na orientação vertical à medida que esses raios se aproximam da retina. Os raios que afectam o meridiano horizontal deste olho irão convergir para formar uma linha focal vertical. Uma vez que o meridiano horizontal é menos míope do que o meridiano vertical, a linha focal vertical resultante será formada a uma distância maior da superfície refractiva equivalente e concomitantemente mais perto para a retina. Depois de formar a linha focal vertical no ponto 7, a luz refractada por este meridiano horizontal irá divergir em direcção à retina no meridiano horizontal após o ponto 7.

As dimensões horizontais e verticais da imagem na retina são delineadas pelos raios que entram no sistema óptico à margem da pupila (conforme representado pelos raios em 7.3). Como pode ser visto em 7.3, após a formação da linha focal horizontal em 3, os raios de luz refraccionados pelo meridiano vertical vão divergir mais antes de cruzarem a retina, do que os raios refraccionados pelo meridiano horizontal (que vem de um foco em 7). Uma vez que a pupila, a qual é a abertura limitante do olho, é circular, a secção transversal do feixe refractado na superfície retiniana irá ser elíptico com, neste caso, está ao longo do eixo vertical. No entanto, deve ser observado que a forma transversal do feixe refractado irá variar em tamanho e forma com a distância da superfície refractiva equivalente de refacção. Por exemplo, se a retina foi deslocada para a frente para que fosse localizado em frente ao ponto 3, a imagem resultante da retina seria novamente elíptica mas, neste caso, o eixo longo da elipse seria horizontal. Claro, que se a retina estivesse no pontos 3 ou  $f_h$ , o feixe refraccionado formaria uma linha. A imagem da retina seria circular, se a retina estivesse localizada no círculo de menor confusão, ou seja, o ponto dióptrico médio entre os pontos focais secundários dos meridianos horizontais e verticais.



**Figura 7.3:** Feixe astigmático para um sistema com uma abertura circular

As dimensões físicas da imagem retiniana elíptica podem ser calculadas usando uma abordagem geométrica. A posição das linhas focais para cada meridiano deve ser calculada e então as respectivas dimensões da retina podem ser calculadas usando as relações de triângulos semelhantes.

Para o **meridiano vertical**:

Vergência da luz após refração

$$L'_v = L + F$$

$$L'_v = 0 + 70 \text{ D} = 70 \text{ D}$$

Posição da imagem

$$l'_v = n' / L'_v$$

$$l'_v = 1.333 / 70 \text{ D}$$

$$l'_v = 0.01905 \text{ m}$$

Ou seja, a linha focal horizontal é formada a 19.05 mm do plano principal do olho e 3.17 mm em frente à retina (22.22 mm – 19.05 milímetros).

Da Fig. 7.3, pode ver que o triângulo formado pela pupila como a base e o ponto 3 como o ápice é semelhante ao triângulo formado pela dimensão vertical da imagem retiniana e do ponto 3. Portanto, o tamanho da imagem vertical ( $h'_v$ ) pode ser calculado usando a seguinte relação, ou seja, as relações das bases e alturas de triângulos semelhantes.

Tamanho da imagem vertical

$$h'_v / 3.17 \text{ mm} = \text{tamanho da pupila} / 19.05 \text{ mm}$$

$$h'_v = (10 \text{ mm} / 19.05 \text{ mm}) (3.17 \text{ mm})$$

$$h'_v = 1.66 \text{ mm}$$

ou seja, a dimensão vertical ou eixo longo da imagem da retina é 1.66 mm.

Para o **meridiano horizontal**:

Vergência da luz depois da refração

$$L'_h = L + F_h$$

$$L'_h = 0 + 65 \text{ D} = +65 \text{ D}$$

Posição da imagem

$$l'_h = n' / L'_h$$

$$l'_h = 1.333 / 65 \text{ D}$$

$$l'_h = 0.02051 \text{ m}$$

ou seja, linha focal vertical é formada a 20.51 mm atrás da superfície refractiva equivalente do olho, e 1.71 mm em frente à retina.

Tamanho da imagem horizontal

$$h'_h / 1.71 \text{ mm} = 10 \text{ mm} / 20.51 \text{ mm}$$

$$h'_h = (10 \times 1.71 \text{ mm}) / 20.51 \text{ mm}$$

$$h'_h = 0.834 \text{ mm}$$

Portanto, a dimensão horizontal da imagem na retina é 0.834 mm, essencialmente, metade do tamanho da dimensão vertical.

## O OBJECTO EXPANDIDO

O tamanho 'definido' da imagem retiniana de um objecto expandido num olho astigmático não corrigido pode ser calculado considerando os raios principais nos dois meridianos principais. Na Figura 7.4a os raios principais e o feixe astigmático para os dois meridianos principais de um olho com astigmatismo miópico composto não corrigido (-5.00 / - 5.00 X 180) são apresentados como seções transversais, sobrepostas. Neste exemplo, o objecto distante é um quadrado (com lados verticais e margens inferior e superior horizontais); os lados do quadrado subtendem ângulos visuais de 0.1 radianos no plano principal do olho. Embora os dois meridianos do olho tenham potências refractivas diferentes, os dois raios principais são virtualmente idênticos, porque neste caso a ametropia, ambas as componentes esférica e astigmática, são refractivas por natureza. Consequentemente, o tamanho da imagem retiniana definida será a mesmo para os dois meridianos e pode ser calculado multiplicando-se o ângulo da refração associado aos raios principais pela distância entre o plano principal e o retiniano.

Ângulo de refração (para ambos os meridianos)

$$i' = i / n'$$

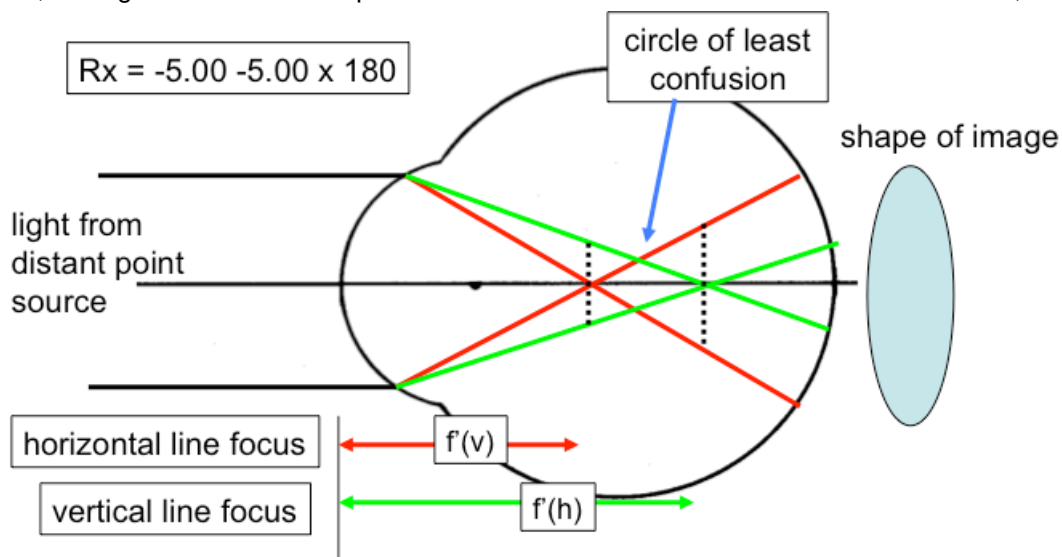
$$i' = (0.75)(0.1 \text{ rad}) = 0.075 \text{ rad}$$

Tamanho da imagem retiniana (para ambos os meridianos)

$$h' = (0.075 \text{ rad}) (22.22 \text{ mm})$$

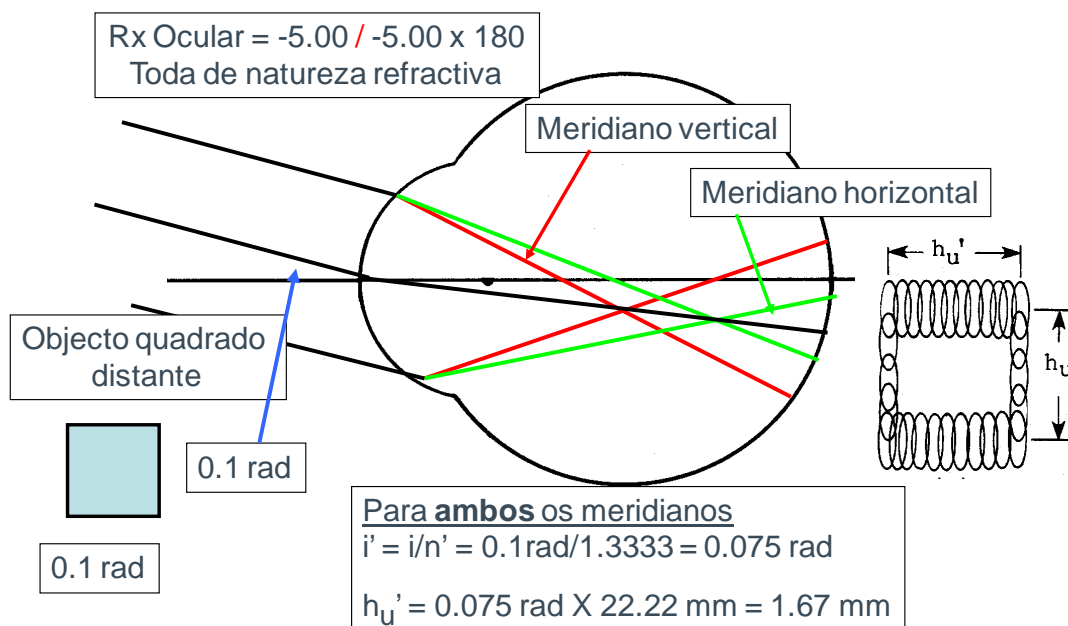
$$h' = 1.67 \text{ mm}$$

Daí, a imagem da retina será quadrada e as dimensões horizontais e verticais serão 1,67 mm.



**Figura 7.4a:** Imagem retiniana no olho astigmático não corrigido – fonte pontual

Uma vez que cada ponto da imagem da retina não corrigida será um verticalmente orientado desfocagem 'oval', o **verdadeiro** tamanho físico da imagem da retina é maior do que o descrito pelos raios principais e, neste caso, será assimétrico. Conforme apresentado pelo detalhe na Fig. 7.4b, os lados verticais da imagem retiniana terão 3.33 mm de comprimento. Este valor foi determinado adicionando o comprimento que as elipses desfocadas ultrapassam na parte superior e inferior do tamanho da imagem definida (ou seja, 1,66 mm, a dimensão do longo eixo da elipse desfocada) para o tamanho da imagem 'definido' determinado pelo raio principal. A dimensão total da imagem no meridiano horizontal será 2.50 mm (1,67 mm mais 0.834 mm).



**Figura 7.4b:** Tamanho de imagem da retina no olho astigmático não corrigido – objecto quadrado distante

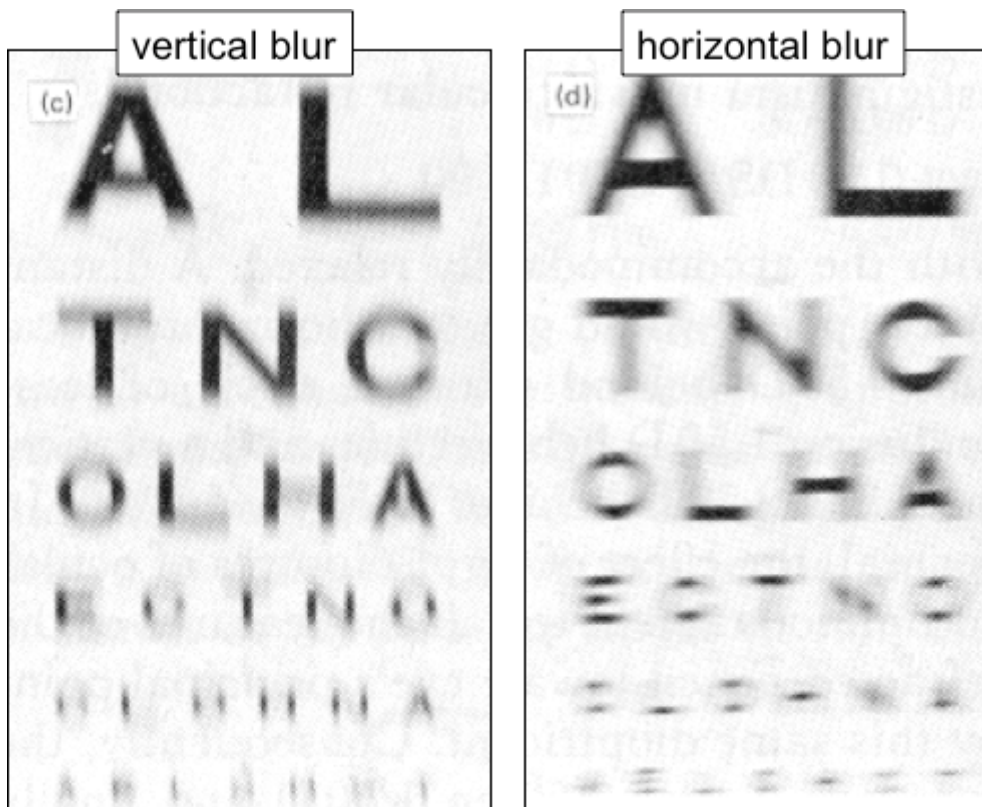
**Nota:** No olho astigmático, a orientação da linha focal que está mais distante do plano principal do olho será sempre paralela ao meridiano ocular que tem potência mais elevada, mais refractivo, assim, a 90 graus do eixo do eixo negativo do cilindro da lente correctiva. É importante manter esta relação em mente quando estiver a usar o círculo horário de Parent ou uma carta astigmática para determinar o eixo do cilindro adequado para seu paciente. Para interpretar correctamente os resultados de uma carta astigmática, é fundamental garantir que é utilizada uma quantidade suficiente de lente positiva na miopização. Deve adicionar potência positiva suficiente para posicionar as duas linhas focais no vítreo em frente à retina. Nessa situação, pode ter certeza que a linha focal posterior estará mais próxima da retina e o paciente irá ver as linhas na carta astigmática paralelas ao meridiano ocular mais potente como a mais escura e mais nítida em comparação a todas as outras linhas.

## VISÃO EM ASTIGMATAS NÃO CORRIGIDOS

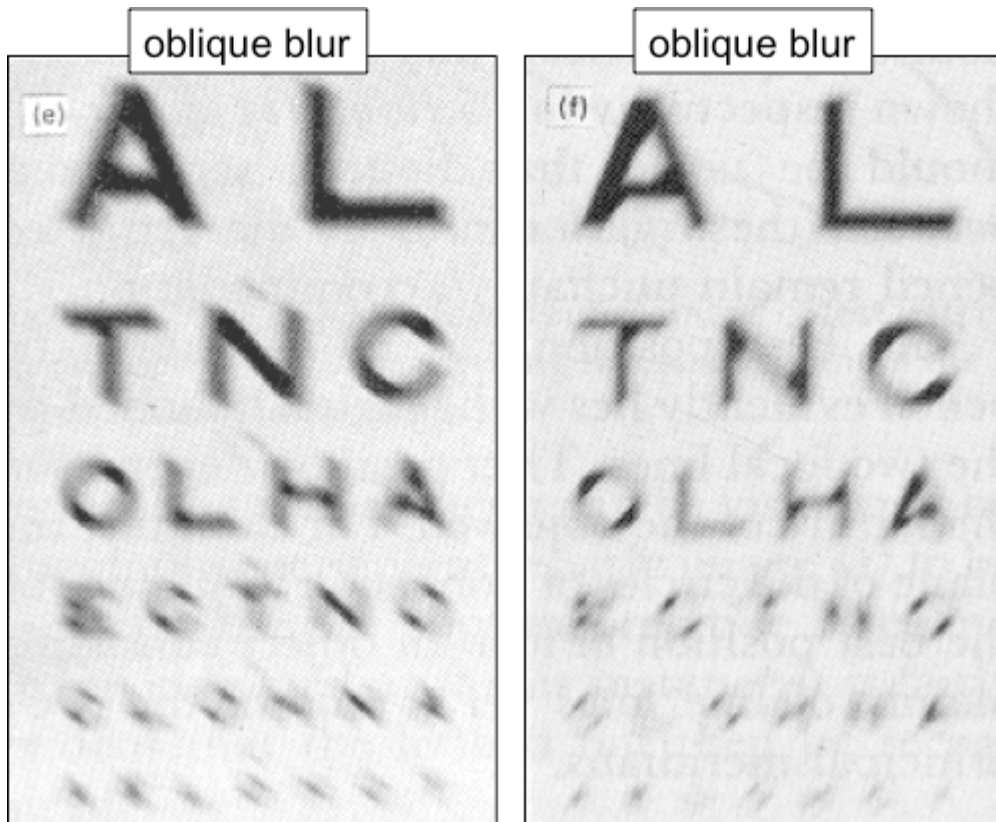
Porque a imagem final num olho astigmático não corrigido é geralmente assimétrica (em qualquer momento que o círculo de menor confusão não caia na retina), os astigmatas geralmente vêm alguns alvos visuais melhores do que outros. A este respeito, os défices visuais exactos dependerão da magnitude e da classificação do astigmatismo e também sobre o tipo de estímulo visual que é empregue. Por exemplo, considere dois alvos E. Em ambos os casos os detalhes orientados verticalmente seriam distorcidos em menor grau do que os detalhes horizontais (para um míope astigmata composto, a favor-da-regra, descrito acima). No entanto, uma vez que os detalhes críticos do E rodado são verticais, o astigmata não corrigido descrito acima seria capaz de resolver o E rodado mais facilmente do que o E orientado de forma tradicional. E como seria de esperar, se perguntar quais as linhas mais nítidas num círculo horário de Parent, este paciente indicaria que as linhas das 12:00 e 06:00 são as mais nítidas, as mais distintas (i.e. menos desfocadas).

As cartas de acuidade visual de Snellen são constituídos por, letras maiúsculas as quais são dominadas pelos componentes horizontais e verticais. Os astigmatas a favor- e contra-a-regra que possuem erros refractivos de igual magnitude terão tipicamente as mesmas acuidades visuais nestas cartas. A visibilidade de qualquer letra vai depender de que linha focal está mais próxima da retina e a forma exacta da letra. Consequentemente, para as linhas de letras perto do limite de resolução, os astigmatas não corrigidos corretamente irão identificar algumas letras e outras não (ou seja, eles vão perder muitas vezes pelo menos algumas letras em várias linhas antes e atingirem uma linha de letras que são simplesmente muito pequenas para ler). (Figura 7.5) As pessoas com astigmatismo oblíquo de igual magnitude geralmente irão apresentar uma acuidade visual mais baixa do que os astigmatas a favor- ou contra-a-regra, porque tanto as características horizontais e como as verticais da carta de Snellen vão estar mais desfocadas e poucas letras Snellen têm características essenciais que são orientadas obliquamente. (Figura 7.6)





**Figura 7.5:** Visão em astigmatas não corrigidos – 'a favor-da-regra' (Esq) e 'contra-a-regra' (Dir)



**Figura 7.6:** Visão em astigmatas não corrigidos – 45 graus (Esq) e 135 graus (Dir)

## EFEITOS DE CORREÇÃO DE LENTES NO TAMANHO DA IMAGEM RETINIANA

## LENTES DE CONTACTO

-10 D

-5 D

-5.00 / -5.00 x 180

N

Uma vez que é refractiva  
Para um dado meridiano  
MO=MOR

**MOR** = 
$$\frac{F(\text{emetrope})}{F_{\text{olho}} + F_{\text{lente}} - d(F_{\text{olho}})(F_{\text{lente}})}$$

**MOR vertical** = 
$$\frac{+60 \text{ D}}{+70 \text{ D} - 10 \text{ D} - [0.0 \text{ m}(70 \text{ D})(-10 \text{ D})]} = \frac{60}{60} = 1.0$$

**MOR horizontal** = 
$$\frac{+60 \text{ D}}{+65 \text{ D} - 5 \text{ D} - [0.0 \text{ m}(65 \text{ D})(-5 \text{ D})]} = \frac{60}{60} = 1.0$$

**Figura 7.7:** Magnificação Oftálmica Relativa com correção de astigmatismo em lentes de contacto

Porque a ametropia é inteiramente refrativa por natureza, a MO será igual à MOR e a maneira mais fácil de determinar esses valores é considerar a potência equivalente da combinação da lente do olho em ambos os meridianos principais.

Para o meridiano vertical

$$F_{\text{lente}} = -10.0 \text{ D}$$

$$F_{\text{olho}} = +70.0 \text{ D}$$

$$\text{MOR} = (F_{\text{emetrope}}) / (\text{combinação olho ametropia} - \text{lente})$$

$$\text{MOR} = +60 \text{ D} / +70.0 \text{ D} - 10.0 \text{ D} - [(0)(70.0 \text{ D})(-10.0 \text{ D})]$$

$$\text{MOR} = 60.0 \text{ D} / 60.0 \text{ D}$$

Portanto,  $\text{MOR} = \text{MO} = 1.0$

Para o meridiano horizontal

$$F_{\text{lente}} = -5.00 \text{ D}$$

$$F_{\text{olho}} = +65.0 \text{ D}$$

$$\text{MOR} = +60.0 \text{ D} / +65.0 \text{ D} - 5.0 \text{ D}$$

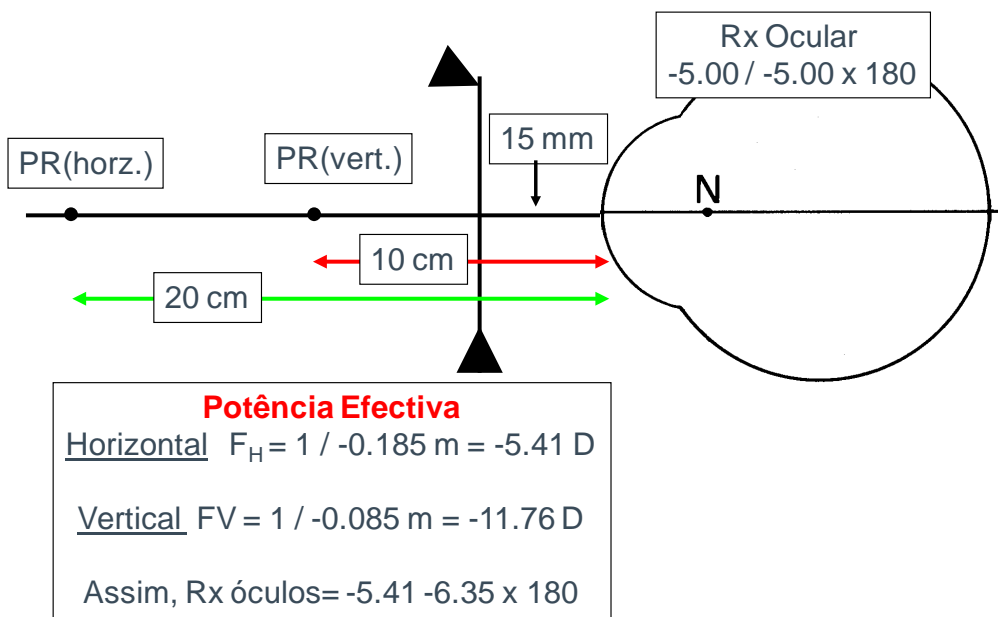
Portanto,  $\text{MOR} = \text{MO} = 1.0$

Para este olho astigmático, a imagem retiniana será idêntica em todos os aspectos à que se formou num olho emetrope, ou seja, o tamanho e a forma da imagem será a mesma que numa emetropia.

A MO para os dois meridianos principais será sempre igual a 1.0 quando os astigmatas são corrigidos no plano principal. No entanto, se o astigmata também tem uma ametropia esférica que é axial por natureza, a MOR para um determinado meridiano não será igual à MO embora as MORs para os dois meridianos principais sejam iguais. Por exemplo, no exemplo acima, a componente esférica do erro refractivo poderia ter sido axial por natureza, ou seja, além de ter uma córnea que tinha 5,0 D de astigmatismo, o comprimento axial do olho poderia ter sido maior do que o normal. Nesta situação, a MOR teria sido superior a 1.0 para ambos os meridianos, mas a MO ainda seria igual a 1.0 (ver capítulo 4 e os efeitos da lente de contacto na MOR em míopes axiais).

## LENTE DE ÓCULOS

Na ametropia refrativa corrigida com óculos, a MOR e MO variam em função da potência e a posição da lente de correção. Como resultado, quando os astigmatas são corrigidos com óculos, a MOR e MO para os dois meridianos principais podem ser bastante diferentes. Para ilustrar este ponto considere os efeitos ao corrigir o astigmata miópico composto descrito acima com óculos posicionados 15 mm à frente do plano principal do olho (ver Fig. 7.8). Novamente, vamos supor que o erro refractivo é inteiramente refractivo por natureza e que a Rx ocular do paciente é -5.00 / -5.00 X 180.



**Figura 7.8:** Correção com lente oftálmica do astigmatismo

Primeiro, calcule a potência equivalente apropriada para o plano da lente.

Para o **meridiano horizontal**

O ponto remoto do olho para o meridiano horizontal está 20 cm ( $1 / -5.0 \text{ D}$ ) à frente do plano principal. O novo plano da lente está 1.5 cm à frente do plano principal do olho, portanto, o meridiano horizontal do plano da lente deve ter uma distância focal secundária de 18.5 cm ( $20 - 1.5 \text{ cm}$ ). Portanto, a potência da lente no meridiano horizontal deve ser:

$$F_h = 1 / -0.185 \text{ m}$$

$$F_h = -5.41 \text{ D}$$

Para o **meridiano vertical**

O ponto remoto do olho do meridiano vertical é 10 cm à frente do plano principal do olho e, consequentemente, 8.5 cm à frente do plano lente. Portanto, a potência da lente do óculo no meridiano vertical deve ser:

$$F_v = 1 / -0.085 \text{ m}$$

$$F_v = -11.76 \text{ D}$$

Assim, a Rx da lente é:  $-5.41 / -6.35 \times 180$ .

Uma vez que a ametropia é inteiramente refractiva,  $MOR = MO$  para um determinado meridiano e qualquer desses valores pode ser calculado de várias maneiras. As duas estratégias mais directas envolvem o cálculo da MOR usando a abordagem da potência equivalente e MO usando a relação entre o ponto remoto e a lente do óculo.

### A MOR para o meridiano horizontal

$$F_{\text{lente}} = -5.41 \text{ D}$$

$$F_{\text{olho}} = +65.0 \text{ D}$$

$$F_{\text{emetrope}} = +60.0 \text{ D}$$

$$t = 0.015 \text{ m}$$

$$\text{MOR}_h = F_{\text{emetrope}} / F_{\text{olho}} + F_{\text{lente}} - [t(F_{\text{olho}})(F_{\text{lente}})]$$

$$\text{MOR}_h = 60.0 \text{ D} / 65.0 \text{ D} - 5.41 \text{ D} - [(0.015 \text{ m})(65.0 \text{ D})(-5.41 \text{ D})]$$

$$\text{MOR}_h = 60.0 \text{ D} / 64.86 \text{ D}$$

$$\text{MOR}_h = 0.925$$

### A MOR para o meridiano vertical

$$F_{\text{lente}} = -11.76 \text{ D}$$

$$F_{\text{olho}} = +70.0 \text{ D}$$

$$\text{MOR}_v = 60.0 \text{ D} / 70.0 \text{ D} - 11.76 \text{ D} - [(0.015 \text{ m})(70.0 \text{ D})(-11.76 \text{ D})]$$

$$\text{MOR}_v = 60.0 \text{ D} / 70.59 \text{ D}$$

$$\text{MOR}_v = 0.85$$

### A MO para o meridiano horizontal

$$\text{MO}_h = (\text{distância entre o PR}_h \text{ e plano do óculo}) / (\text{distância entre o PR}_h \text{ plano principal})$$

$$\text{MO}_h = 18.5 \text{ cm} / 20.0 \text{ cm}$$

$$\text{MO}_h = 0.925$$

### A MO para o meridiano vertical

$$\text{MO}_v = 0.85 \text{ cm} / 10.0 \text{ cm}$$

$$\text{MO}_v = 0.85$$

Os cálculos acima indicam que a lente do óculo diminuiu a imagem retiniana em relação à condição não corrigida e ao olho emetrope padrão. Mas mais importante, demonstram que a magnificação de uma imagem da retina expandida, em foco será diferente para os dois meridianos principais, ou seja, que a imagem retiniana será distorcida de forma que a imagem da retina não é idêntica à forma do objecto. Considere a forma da imagem retiniana resultante de um objecto distante quadrado que possui lados horizontais e verticais que subtendem ângulos visuais de 0.1 radianos. Conforme demonstrado na página 7, a imagem da retina definida para este objecto no estado não corrigido seria um quadrado com lados de 1.67 mm de comprimento (esse objecto também produziria uma imagem quadrada 1.67 mm num olho emetrope). Para determinar o tamanho da imagem retiniana no estado corrigido, pode multiplicar o tamanho da imagem retiniana não corrigida pela MO para cada meridiano, mantendo em mente que a MO para o meridiano horizontal determina as dimensões horizontais da imagem da retina em foco e a MO para o meridiano vertical determina as dimensões verticais. Então, para este exemplo as dimensões da imagem retiniana corrigida seriam:

### Meridiano horizontal

$$h'_h = \text{MO}_h \times (\text{tamanho da imagem horizontal não corrigida})$$

$$h'_h = 0.925 \times 1.67 \text{ mm}$$

$$h'_h = 1.54 \text{ mm}$$

**Nota:** Estas seriam as dimensões para ambos os lados horizontal e vertical da imagem retiniana formada num olho míope esférico com uma ametropia refractiva de -5.41 D.

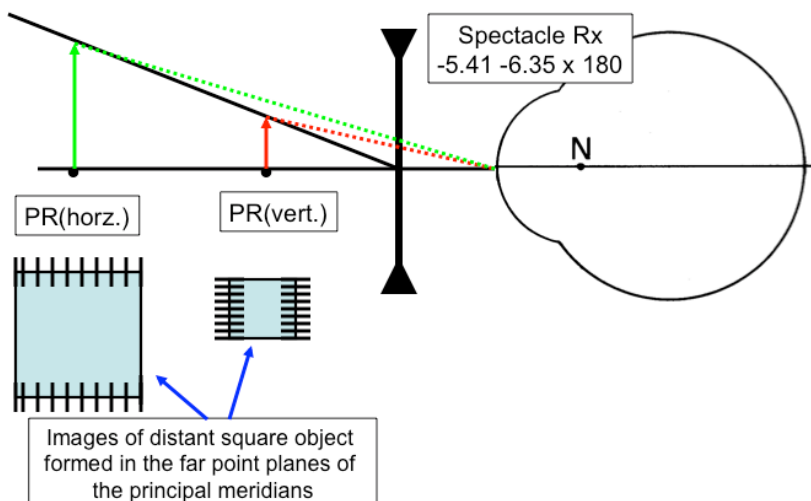
### Meridiano vertical

$$h'_v = 0.85 \times 1.67 \text{ mm}$$

$$h'_v = 1.42 \text{ mm}$$

Assim, a imagem da retina em foco resultante do objecto quadrado distante seria um rectângulo com o eixo longo do retângulo orientado horizontalmente. Uma regra importante a lembrar é que a maior magnificação da imagem (ou seja, o tamanho maior da imagem) num olho astigmático corrigido será sempre paralelo ao eixo do cilindro negativo da lente corrigida (no caso do meridiano horizontal).

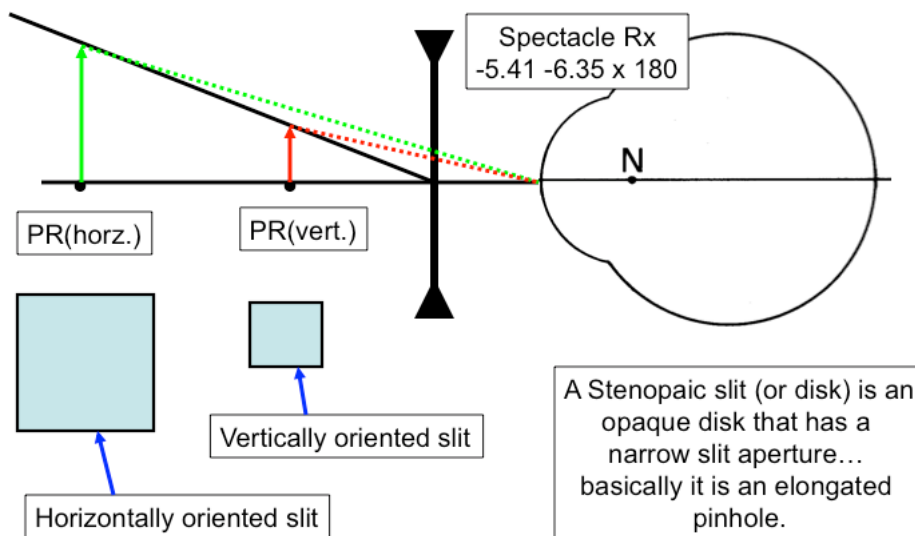
À primeira vista, o exemplo acima pode parecer confuso. Em olhos astigmáticos não corrigidos, o meridiano vertical produz uma linha focal horizontal para cada fonte pontual distante enquanto o meridiano horizontal produz uma linha focal vertical. Lembre-se que no exemplo acima, estávamos a lidar com um *objecto expandido e uma imagem em foco*. As diferenças resultantes em tamanho da imagem reflectem as diferenças nos tamanhos das imagens de objectos distantes, formadas pelos dois meridianos da lente correctiva em dois pontos remotos do olho. Como mostrado na Fig. 7.9, a imagem de um quadrado distante formada pelos meridianos horizontal e vertical da lente do óculo usado no exemplo acima pode ser ilustrada considerando os raios dos pontos extremos do objecto que passam através do centro óptico da lente de correctiva (novamente, os dois meridianos principais são ilustrados como cortes transversais sobrepostos). A imagem formada no ponto remoto para o meridiano horizontal do olho através da potência no meridiano horizontal da lente será um quadrado de 18.5 cm em frente à lente. Cada ponto deste quadrado será, na verdade, uma linha vertical (ou seja, o foco da linha formado pelo meridiano horizontal da lente). O meridiano vertical da lente irá formar uma imagem quadrada no ponto remoto vertical localizado 8.5 cm em frente à lente. Novamente, a imagem do objecto quadrado distante será um quadrado, mas cada ponto será representado como uma linha horizontal. Obviamente, a imagem formada no ponto extremo horizontal é fisicamente maior, mas o ponto a salientar é que o ângulo de incidência no plano principal do olho será diferente para essas duas imagens. E neste caso, o ângulo de incidência dos raios principais da imagem no ponto remoto horizontal será maior do que para a imagem no ponto remoto vertical. Consequentemente, desde que o comprimento axial do olho seja a mesma para ambos os meridianos, a imagem retiniana resultante será maior do que no meridiano horizontal.



**Figura 7.9:** Imagem de um quadrado formado por meridianos horizontais e verticais da lente do óculo

**Nota:** Considere o que aconteceria com as imagens na Fig 7.10 se colocasse uma fenda estenopeica em frente à lente correctiva; primeiro com a fenda orientada horizontalmente e, de seguida quando for orientada verticalmente. Uma fenda estenopeica é um disco opaco que tem uma abertura de central com cerca de 1 mm de largura (em essência um furo estenopeico alongado). Estes dispositivos simples foram em tempos muito usados para testar o astigmatismo. Colocando a fenda numa determinada orientação está, em certo sentido, isolando a potência de um meridiano e reduzindo a óptica de um sistema astigmático àquele de um sistema esférico. Os indivíduos astigmáticos iriam apresentar diferentes erros refractivos que variavam em função da orientação da fenda.





**Figura 7.10:** Impacto de uma fenda estenopeica nas imagens retinianas formadas pelas lentes dos óculos

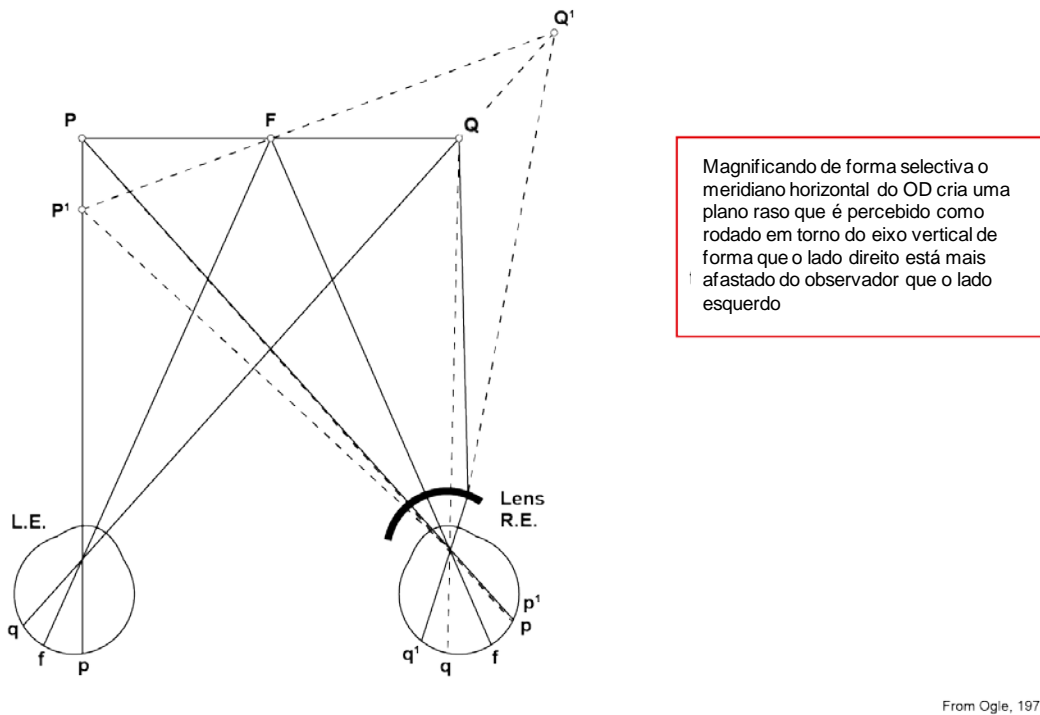
Conforme discutido no capítulo 4, as diferenças interoculares no tamanho da imagem podem produzir distorções no espaço visual percebido e, se for suficientemente grande, impedir a fusão. Considere os seguintes dois indivíduos. Os dois pacientes têm um olho esquerdo emetropo. O olho direito do paciente tem uma miopia refractiva -5.00 DS. O olho direito do paciente B tem astigmatismo miópico simples, que também é refractivo por natureza (plano/-5.00 X 180). Assuma que ambos os pacientes estão corrigidos com óculos posicionados 15 mm à frente do plano principal do olho. No paciente A, a imagem do olho direito seria menor do que a do olho esquerdo (cerca de 7,5%), mas as formas seriam idênticas. No paciente B, a dimensão horizontal da imagem do olho direito seria a mesma que no olho esquerdo, no entanto, as dimensões verticais no olho direito seriam menores do que aqueles no olho esquerdo, ou seja, as formas das imagens do olho esquerdo e direito do paciente B seriam diferentes. Qual paciente que pode ter dificuldades associadas a aniseiconia?

Embora num determinado sentido o paciente A tenha maiores diferenças de imagem retiniana interocular (por exemplo, em termos de área), é mais provável que o paciente B apresente sintomas associados à aniseiconia. Em geral, diferenças interoculares na magnificação afectam a habilidade em fundir as imagens dos dois olhos. Por outro lado, diferenças meridionais associadas com astigmatismo produzem distorções muito maiores na percepção do espaço. Muitas vezes, quando um indivíduo recebe um novo Rx que produz uma diferença interocular meridional no tamanho da imagem, o paciente indicará que a sua visão é clara, mas as coisas 'têm um aspecto estranho' através do novo Rx (ou as coisas não estão bem). É importante que ao optometrista reconheça quando um novo Rx irá potencialmente alterar o equilíbrio interocular habitual no tamanho da imagem retiniana. No entanto, em alguns casos pode ser necessário recorrer a uma nova forma de correcção. Também é importante reconhecer que um paciente que se adaptou a um desequilíbrio interocular temporariamente pode relatar sintomas semelhantes, se eles são corrigidos com um novo Rx que elimina esse desequilíbrio (por exemplo, comutação paciente B de óculos para lentes de contacto).

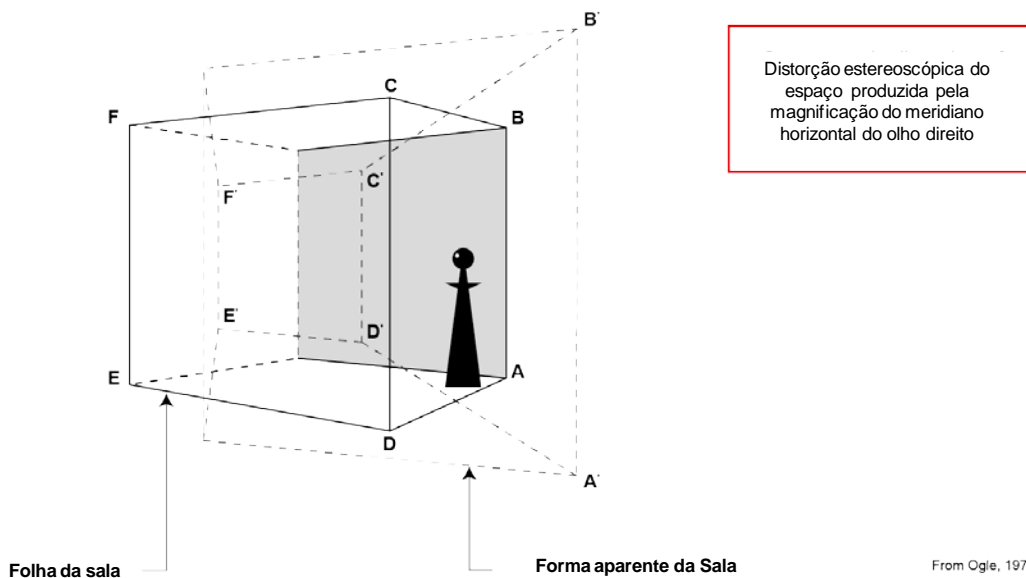
## MAGNIFICAÇÃO DO FACTOR DE FORMA

Como discutido no capítulo sobre afaquia, a magnificação angular também pode ser produzida pela forma da lente e correcção do óculo. Em geral com ametropias esféricas, a ampliação de forma apenas se torna significativa com potências elevadas e lentes positivas. No entanto, em astigmatas o desenho da lente do óculo pode afectar significativamente as diferenças meridionais no tamanho da imagem retiniana mesmo para cilindros de potência relativamente baixos. Lembre-se que o factor de forma S é directamente proporcional à espessura da lente e à potência da superfície frontal da lente do óculo. Considere as possíveis diferenças entre lentes de cilindros positivos e cilindros negativos. Com lentes de cilíndricas negativas, a superfície frontal é esférica; a superfície posterior é cilíndrica. Por outro lado, com lentes cilíndricas positivas, a superfície posterior é esférica enquanto a superfície frontal é cilíndrica. Como resultado, o grau de magnificação de forma será diferente nos principais meridianos de lentes de cilindros positivos (o factor de forma é constante em todos os meridianos para lentes de cilindro negativo).

Por conseguinte, deve estar ciente de que mudando a forma de uma lente do óculo de um cilindro positivo para um cilindro negativo e, vice-versa, poderá ter efeitos semelhantes àqueles descritos acima para a potência de correções astigmáticas. Na verdade, os pacientes que inadvertidamente vêm a forma das suas lentes de correção mudaram e reportam frequentemente sintomas semelhantes (por exemplo, o novo par de óculos faz as coisas parecerem estranhas) (ver Figura 7.11, 7.12 e 7.13).

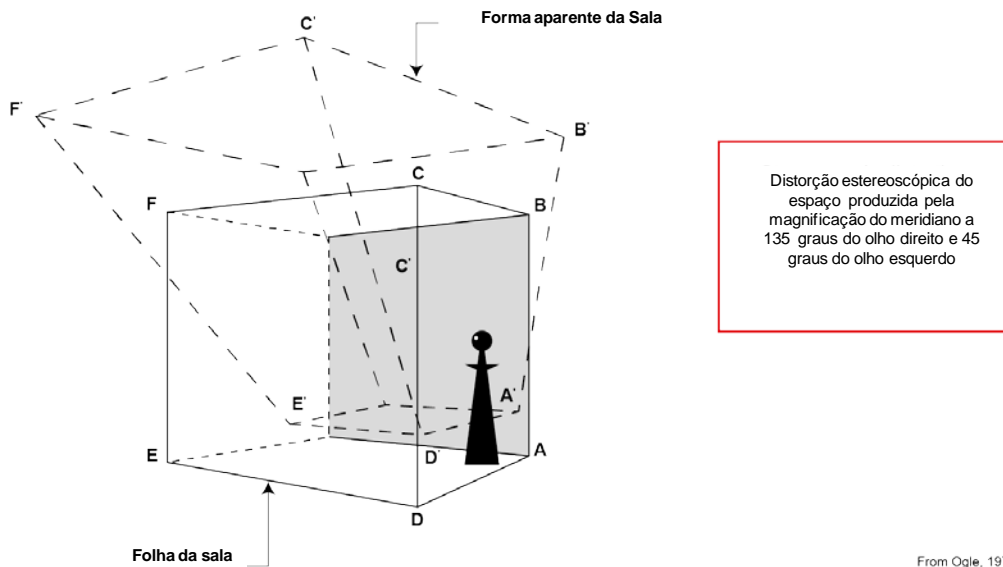


**Figura 7.11:** Impacto de magnificar selectivamente o meridiano horizontal do olho direito usando a lente do óculo (inspirado por K N Ogle. *Optics*. Springfield, Illinois, 1972)



**Figura 7.12:** Distorção estereoscópica do espaço pela magnificação no meridiano horizontal do olho direito (inspirado por K N Ogle. *Optics*. Springfield, Illinois, 1972)



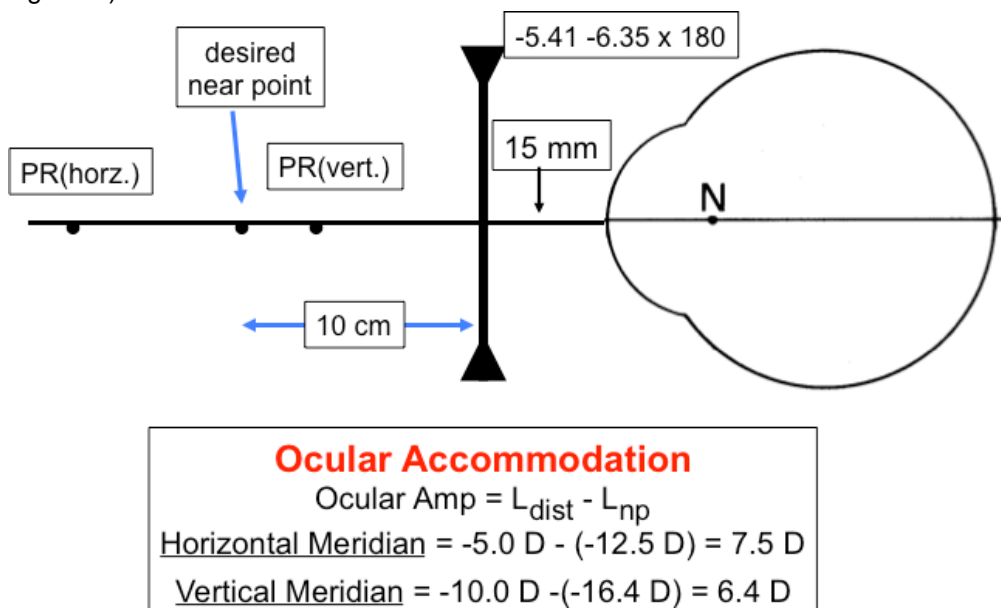


From Ogle, 1972.

**Figura 7.12:** Distorção estereoscópica do espaço pela magnificação no meridiano horizontal do olho direito (inspirado por K N Ogle. Optics. Springfield, Illinois, 1972)

## ACOMODAÇÃO OCULAR EM ASTIGMATAS CORRIGIDOS

Conforme discutido no capítulo 4, a lente do óculo pode ter um efeito substancial nas demandas acomodativas. Os efeitos das lentes correctivas na acomodação ocular dependem da posição da lente e da potência da lente. Uma vez que a potência do cilindro varia em cada meridiano, os indivíduos astigmáticos corrigidos com óculos são confrontados com uma situação difícil quando focam de longe para perto. O exemplo a seguir ilustra essas potenciais dificuldades. Suponha que um indivíduo míope (Rx ocular: -5.00/-5.00 x 180) usado nos exemplos anteriores é corrigido com óculos colocados 15 mm à frente do plano principal do olho (óculos Rx: -5.41/-6.35 x 180). Quanta acomodação é necessária para focar um objecto de infinito até 10 cm à frente do plano do óculo (ver Fig. 7.14)?



**Figura 7.14:** Acomodação no olho astigmático s corrigido com lentes oftálmicas

Uma vez que os meridianos verticais e horizontais da lente de correção têm potências diferentes que devem ser analisados separadamente. Em essência, é como determinar as exigências acomodativas para dois olhos diferentes.

## DEMANDA ACOMODATIVA COM ÓCULOS

A demanda acomodativa com referência ao plano dos óculos é a mesma para todos os meridianos porque acomodação oftálmica é independente da distância da lente correctiva. Então para os meridianos vertical e horizontal, a demanda acomodativa do óculo para o ponto 10 cm à frente do plano do óculo é de 10.00 D.

### **Demanda Acomodativa Ocular – Meridiano vertical**

Tal como acontece com ametropias esféricas, para determinar a demanda acomodativa ocular, deve determinar a alteração da vergência da luz no plano principal do olho para um objecto que esteja no infinito e para um objecto que esteja 10 cm à frente do plano do óculo. E para ambos os pontos objecto, os efeitos da lente correctiva devem ser tidos em conta. A este respeito, é necessário determinar as posições das imagens de um objecto ao longe e ao perto formado pela refração através da lente. A diferença de vergência para estas duas posições, medido em relação ao plano principal do olho representará a quantidade da potência ocular que deve ser incrementada para focar do infinito óptico até ao ponto a 10 cm. Mas cada meridiano principal deve ser considerado separadamente.

$$F_{\text{lente}} = -11.76 \text{ D}$$

Objecto longe, vergência de luz, deixando a lente do óculo

$$L' = L + F$$

$$L' = 0 - 11.76 \text{ D} = -11.76 \text{ D}$$

Objecto longe, a posição da imagem

$$l' = n' / L'$$

$$l' = 1 / -11.76 \text{ D} = -0.085 \text{ m}$$

Objecto longe, vergência de luz no plano principal do olho

$$L_{\text{fp}} = n / l$$

$$L_{\text{fp}} = 1 / (-0.085 \text{ m} - 0.015 \text{ m})$$

$$L_{\text{fp}} = -10 \text{ D}$$

Objecto perto, vergência de luz, deixando a lente do óculo

$$L' = L + F$$

$$L' = -10.0 \text{ D} - 11.76 \text{ D} = -21.76 \text{ D}$$

Objecto perto, posição da imagem

$$l' = n' / L'$$

$$l' = 1 / -21.76 \text{ D} = -0.046 \text{ m}$$

Objecto de perto, vergência de luz no plano principal do olho

$$L_{np} = n / l$$

$$L_{np} = 1 / (-0.046 \text{ m} - 0.015 \text{ m})$$

$$L_{np} = -16.4 \text{ D}$$

A demanda acomodativa ocular para o meridiano vertical é a diferença entre  $L_{np}$  e  $L_{fp}$ .

$$\text{Demanda Acomodativa} = -10.0 \text{ D} - (-16.4 \text{ D}) = 6.4 \text{ D}$$

Visualização através da lente do óculo, o olho deve acomodar 6.4 D no meridiano vertical para foco do infinito até o ponto 10 cm em frente à lente do óculo.

### Demanda acomodativa ocular – Meridiano horizontal

$$F_{\text{lente}} = -5.41 \text{ D}$$

Objecto longe, vergência de luz, deixando a lente do óculo

$$L' = L + F$$

$$L' = 0 - 5.41 \text{ D} = -5.41 \text{ D}$$

Objecto longe, a posição da imagem

$$l' = n' / L'$$

$$l' = 1 / -5.41 \text{ D} = -0.185 \text{ m}$$

Objecto longe, vergência de luz no plano principal do olho

$$L_{fp} = n / l$$

$$L_{fp} = 1 / (-0.185 \text{ m} - 0.015 \text{ m})$$

$$L_{fp} = -5.0 \text{ D}$$

Objecto perto, vergência de luz, deixando a lente do óculo

$$L' = L + F$$

$$L' = -10.0 \text{ D} - 5.41 \text{ D} = -15.41 \text{ D}$$

Objecto perto, posição da imagem

$$l' = n' / L'$$

$$l' = 1 / -15.41 \text{ D} = -0.065 \text{ m}$$

Objecto perto, vergência de luz para o plano principal do olho

$$L_{np} = n / l$$

$$L_{np} = 1 / (-0.065 \text{ m} - 0.015 \text{ m})$$

$$L_{np} = -12.5 \text{ D}$$

## Demanda acomodativa ocular

$$L_{fp} - L_{np} = -5.0 \text{ D} - (-12.5 \text{ D}) = 7.5 \text{ D}$$

A visualização através da lente do óculo, a potência do meridiano horizontal do olho deve ser 7.5 D para focar do infinito até um objecto de perto, localizado 10 cm à frente do plano do óculo.

Com base nos cálculos acima, este paciente teria de acomodar 6.4 D e 7.5 D nos meridianos verticais e horizontais, respectivamente, a fim de focar o objecto de perto. Uma vez que o aumento de potência associado à acomodação de perto é esférico (ou seja, o potência aumenta em todos os meridianos o mesmo valor), não será possível obter uma imagem retiniana nítida. Em vez disso, a imagem será degradada pelo que equivale a um erro refractivo astigmático não corrigido em magnitude equivalente à diferença nas demandas acomodativas oculares para os meridianos principais. A maioria dos livros didáticos sugere que nesta situação o paciente acomodaria cerca de 6.95 D para que o círculo de menor confusão estivesse localizado na retina. No entanto, estudos relativamente recentes sugerem que o olho acomodaria provavelmente para o meridiano vertical ou 6.4 D. Parece que o olho acomoda para a linha focal que está mais próximo da retina e que requer menor quantidade de esforço. Neste caso, o meridiano horizontal estaria fora de foco em cerca de 1.1 D.

Na ocasião, pode ter um paciente astigmático que experimenta problemas associados com as diferentes demandas acomodativas produzidas por correções de óculos. Normalmente esses pacientes terão correções cilíndricas relativamente altas, demandas de trabalho de perto muito grande, exigências visuais de perto que requerem uma visão espacial muito boa, por exemplo, pequenos detalhes, e são observadores muito críticos. Os sintomas do paciente seriam semelhantes aos de um astigmata não corrigido. Nessas situações, há um número de formas possíveis para resolver o problema. Se possível, o paciente pode ser corrigido com lentes de contacto. As lentes de contacto iriam praticamente eliminar o problema, porque com as lentes as demandas acomodativas de perto seriam as mesmas para todos os meridianos. Como alternativa, pode prescrever um segundo par de óculos monofocais para trabalho de perto que tenham uma correção cilíndrica diferente daquela para a visão de longe. Com esta estratégia você teria que determinar a correção astigmática apropriada para perto por cálculo ou subjetivamente. Outra abordagem seria para fornecer ao indivíduo uma adição para ambos os olhos para perto. Em essência, com esta abordagem você reduz a demanda acomodativa total para ambos os meridianos para que as diferenças interoculares da demanda ocular se tornem suficientemente pequenas para serem toleradas.

## BIBLIOGRAFIA

- H. Obstfeld, Optics in Vision. Butterworth, London, 1982.
- K N Ogle. Optics. Springfield, Illinois, 1972.