

# 21

# INSTRUMENTOS NÁUTICOS USADOS NA NAVEGAÇÃO ASTRONÔMICA. O SEXTANTE E O CRONÔMETRO

## 21.1 INTRODUÇÃO

Conforme estudado no capítulo anterior, o navegante, para obter uma **linha de posição (LDP) astronômica**, necessita medir a **altura** de um astro e conhecer a **hora exata** correspondente ao instante da observação.

Usando como argumento de entrada a hora precisa da observação, transformada em **Hora Média de Greenwich (HMG)**, o navegante calcula as **coordenadas horárias** do astro (**AHG e Dec**), utilizando o **Almanaque Náutico**.

Com as **coordenadas horárias** do astro e as **coordenadas geográficas (Latitude e Longitude)** da sua **posição estimada** (ou **posição assumida**) no instante da observação, o navegante resolve o **triângulo de posição**, obtendo a **altura calculada (ae)** e o **Azimute Verdadeiro (Az)** do astro observado.

A **altura** medida é, depois de várias correções, transformada em **altura verdadeira (a)** do astro.

Com a diferença entre as alturas **verdadeira e calculada** e o **Azimute Verdadeiro** do astro observado é, então, traçada uma **LDP astronômica**.

A **altura** do astro é medida com um **sextante**. A **hora precisa** correspondente ao instante da observação é obtida através de um **cronômetro**. Estes dois **instrumentos náuticos**, fundamentais para a **Navegação Astronômica**, serão estudados neste capítulo.

## 21.2 O SEXTANTE

### 21.2.1 DEFINIÇÃO

O **sextante** é um instrumento de reflexão destinado à medida de ângulos e que, a bordo, é principalmente empregado na obtenção das **alturas** dos astros acima do horizonte. Este instrumento, que há quase trezentos anos se reveste do aspecto de um verdadeiro símbolo para a navegação, torna dispensável qualquer suporte fixo para sua utilização. Ele pode ser usado tanto em uma pequena embarcação como nos maiores navios, possibilitando ao observador compensar os efeitos do balanço e da arfagem (caturro) do navio ou embarcação.

Além da **Navegação Astronômica**, o sextante também pode ser empregado na **Navegação Costeira**, na medição de **ângulos horizontais**, permitindo que o navio seja localizado em relação a pontos de terra pelo método de “segmentos capazes”, ou na medição de **ângulos verticais**, para obtenção da **distância** a objeto de **altitude conhecida**, conforme estudado no Volume I deste Manual.

O nome **sextante** deriva do vocábulo latino “**sextans**”, a sexta parte do círculo, isto é,  $360^\circ \div 6 = 60^\circ$ , que é o comprimento do **arco** do **sextante**. Entretanto, em virtude do **princípio ótico** utilizado, o sextante, embora tenha um arco de apenas  $60^\circ$ , permite medir ângulos até  $120^\circ$  (na realidade, os fabricantes costumam estender a graduação até cerca de  $140^\circ$ ).

### 21.2.2 NOMENCLATURA E PARTES COMPONENTES DO SEXTANTE

Os **sextantes náuticos** podem ser classificados em dois tipos, de acordo com o **dispositivo de leitura** dos ângulos medidos: **sextante de micrômetro** e **sextante de vernier**.

Quase todos os **sextantes** atualmente encontrados a bordo dos navios e embarcações são do tipo **sextante de micrômetro**. Por isso, serão apresentadas as partes componentes deste tipo de **sextante**, com a respectiva nomenclatura. Entretanto, será, também, explicada a leitura de ângulos em um **sextante de vernier**, por ser esta a única diferença notável entre os dois tipos de **sextante**.

São as seguintes as partes componentes e a nomenclatura de um **sextante de micrômetro** (ilustradas no diagrama da figura 21.1 e nas fotografias das figuras 21.2 e 21.3):

A – **SETOR**: corpo do instrumento, constituído por uma liga de alumínio ou bronze, fundida em uma só peça.

B – **ARCO**: peça que arremata o **setor**, graduada de grau em grau, de  $0^\circ$  a  $120^\circ$  (geralmente, a graduação estende-se  $5^\circ$  a  $10^\circ$  para a direita do zero e  $5^\circ$  a  $10^\circ$  além do valor de  $120^\circ$ ). Nos sextantes mais antigos, o **arco** era arrematado por uma lâmina fina, de metal mais nobre e menos sujeito a deformações, denominada **limbo**, no qual era gravada a graduação do instrumento. Hoje, entretanto, a graduação é, em geral, feita diretamente no **arco**.

Figura 21.1 – Partes Componentes e Nomenclatura do Sextante

**B<sub>1</sub> – CREMALHEIRA:** montada por baixo do **arco**, possui dentes muito precisos, onde trabalha o parafuso sem fim do **micrômetro**, que permite que sejam dados pequenos deslocamentos à **alidade**.

**C – ALIDADE:** braço móvel que tem rotação em torno de um eixo que passa no centro do **espelho grande (espelho índice)** e é perpendicular ao plano do **arco graduado**. A sua extremidade inferior possui um **índice** e se apóia suavemente sobre a graduação do **arco**. A **alidade** gira em torno do centro de curvatura do **arco (limbo)**.

**C<sub>1</sub> – BOTÃO DE PRESSÃO:** permite que a **alidade** seja destravada ou travada em qualquer posição do **arco**.

**D – TAMBOR DO MICRÔMETRO:** tambor graduado de minuto em minuto, de 0 a 60, acionado para dar à **alidade**, por intermédio do **parafuso sem fim**, movimentos diferenciais (pequenos deslocamentos).

**D<sub>1</sub> – VERNIER DO MICRÔMETRO:** proporciona maior rigor na leitura dos ângulos. Existem os graduados de 0 a 10, permitindo leituras com precisão do **décimo de minuto** (ou seja, 6 segundos) e os graduados de 0 a 5, permitindo leituras com precisão de **0,2 minuto** (isto é, 12 segundos).

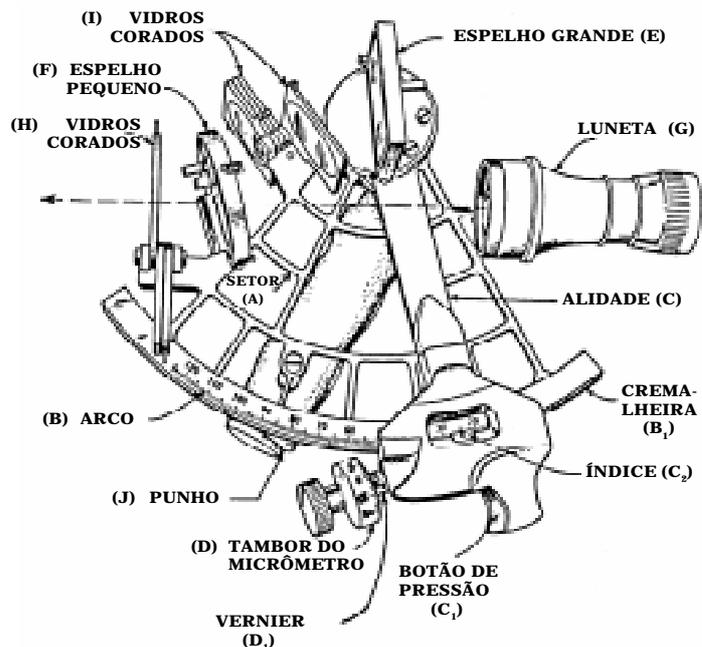
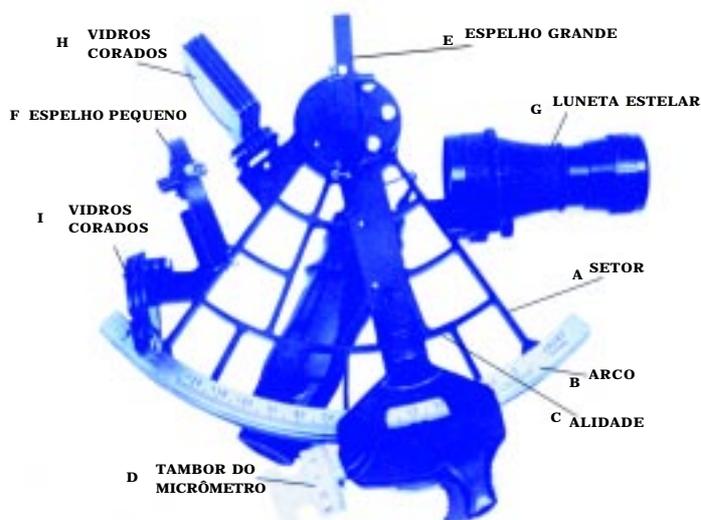


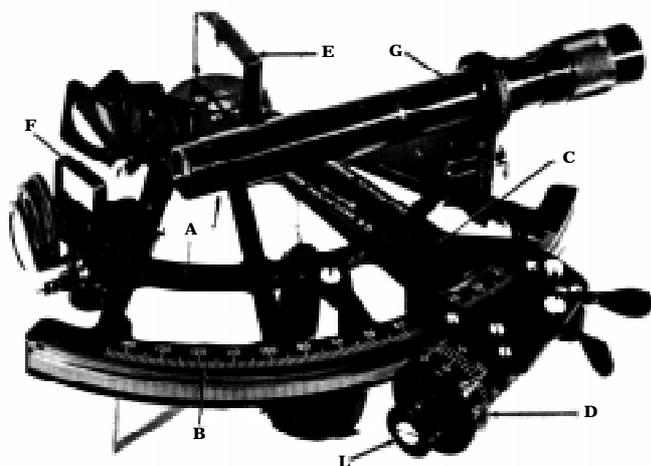
Figura 21.2 – Sextante de Micrômetro



**E – ESPELHO GRANDE:** montado na **alidade**, perpendicular ao plano do **arco**, tem sua face inteiramente espelhada. Também é chamado de **espelho índice**.

**F – ESPELHO PEQUENO:** montado no raio extremo esquerdo do **setor** do **sextante**, tem metade da face espelhada e metade transparente, de modo a permitir a visada direta ao **horizonte**; também é chamado de **espelho do horizonte**. Os dois espelhos são, por construção, dispostos perpendicularmente ao plano do **arco (limbo)**, que é o **plano geométrico do instrumento**, e de modo a ficarem paralelos quando o **índice** da **alidade** estiver exatamente sobre o **zero** da graduação do **arco**.

Figura 21.3 – Sextante de Micrômetro com Luneta Astronômica



G – **LUNETAS**: nas figuras 21.1 e 21.2, o **sextante** apresenta uma **luneta estelar**, de grande objetiva e, portanto, de grande campo ( $10^\circ$  ou  $12^\circ$ ) e boa iluminação. Esta luneta fornece imagem direta e pouco aumentada (2 a 4 vezes). É própria para observações nos crepúsculos, facilitando a visada das estrelas. Pode, também, servir à medida de ângulos entre pontos de terra. Muitos sextantes modernos apenas possuem esta luneta, adequada para observações do **Sol** ou **estrelas**. Existe, ainda, a **luneta**

**astronômica**, que é uma luneta inversora, mais longa e provida de retículos, sendo recomendada para observações de maior precisão. Este tipo de **luneta** é mostrado no sextante da figura 21.3. A **luneta** é montada com o seu eixo paralelo ao **plano do arco**. A ampliação da **luneta** permite ao observador determinar a tangência entre a **imagem refletida** do **astro** e a **imagem direta** do **horizonte** com muito maior precisão do que seria possível a olho nu. Além disso, muitas vezes torna possível observar um **astro** que não seria visível sem o seu auxílio.

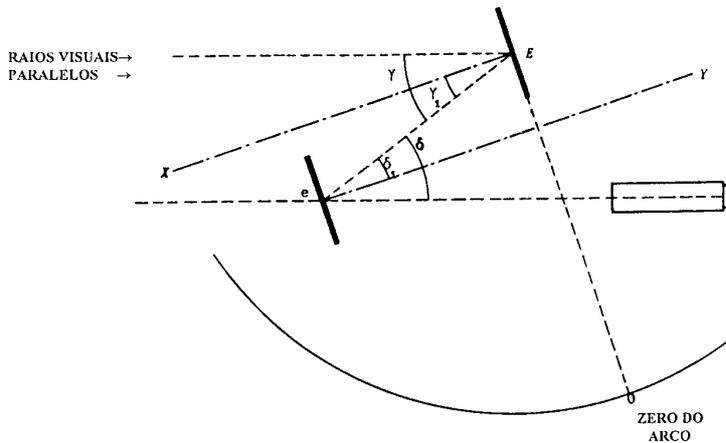
H e I – **VIDROS CORADOS**: em frente de cada espelho existe um jogo de **vidros corados**, que são filtros destinados a atenuar a intensidade dos raios luminosos por ocasião das observações do Sol (e, eventualmente, da Lua). Em alguns **sextantes** modernos, os **vidros corados** são substituídos por **filtros polaróides** (filtros polarizadores de densidade variável), sendo possível, através deles, graduar a intensidade da luz. Os **vidros corados** convencionais consistem de quatro, ou mais, filtros de densidade crescente, montados perpendicularmente ao **arco** e capazes de girar, de modo que possam ser colocados ou retirados da linha de visada do **espelho grande** e do **espelho pequeno**, conforme necessário.

J – **PUNHO**: peça de madeira ou de material plástico, destinada ao manejo do sextante. No seu interior são, geralmente, montadas as pilhas do dispositivo de iluminação do **arco** do **sextante**.

### 21.2.3 PRINCÍPIO ÓTICO DO SEXTANTE

Os **sextantes** são fabricados de modo que, por construção, os dois espelhos (**espelho grande** e **espelho pequeno**) são perpendiculares ao plano do **arco graduado (limbo)**, que é o **plano geométrico do instrumento**, e de maneira a ficarem paralelos quando o **índice** da **alidade** estiver no **zero** da graduação do **arco**. Isto é ilustrado na figura 21.4, onde se atua no **sextante** para obter a superposição das imagens **direta** e **refletida** de um mesmo objeto. É nulo o ângulo medido no espaço, por serem paralelos os raios visuais vindos do objeto (imagens coincidentes). A esta posição da **alidade** corresponde o **zero** do **arco graduado (limbo)**.

**Figura 21.4 - O Espelho Grande e o Espelho Pequeno são Paralelos com a Alidade a Zero**



Por serem iguais os ângulos  $\gamma$  e  $\delta$  (alternos internos), também o serão as suas metades  $\gamma_1$  e  $\delta_1$ . Daí se conclui que as **normais** aos dois espelhos, **EX** e **eY**, são paralelas e que, portanto, nesta posição (**índice da alidade no zero do arco**), os espelhos **grande (E)** e **pequeno (e)** do **sextante** devem estar **paralelos**.

Procuramos agora, na figura 21.5, deslocando a alidade, obter a superposição da imagem refletida de um objeto (astro **B**) com a direta de outro (horizonte **A**). Suponhamos, então, que, para obter a superposição das imagens direta de **A** e duplamente refletida de **B**, tenha sido a **alidade** deslocada para a posição **M** do arco (**limbo**). Descreveu, portanto, a partir do zero, isto é, da posição de paralelismo dos espelhos, o ângulo  $\beta$ .

**Figura 21.5 - Princípio Óptico de Dupla Reflexão**

Desejamos determinar o valor do ângulo  $\alpha$ , formado, no olho do observador, pelos raios visuais dirigidos aos dois objetos, ou seja, o ângulo formado entre a primeira e a última direções do raio duplamente refletido.

Da figura 21.5, obtêm-se:

- No triângulo **CeE**:  $\alpha + 2\delta + (180^\circ - 2\gamma) = 180^\circ$

$$\alpha = 2(\gamma - \delta)$$

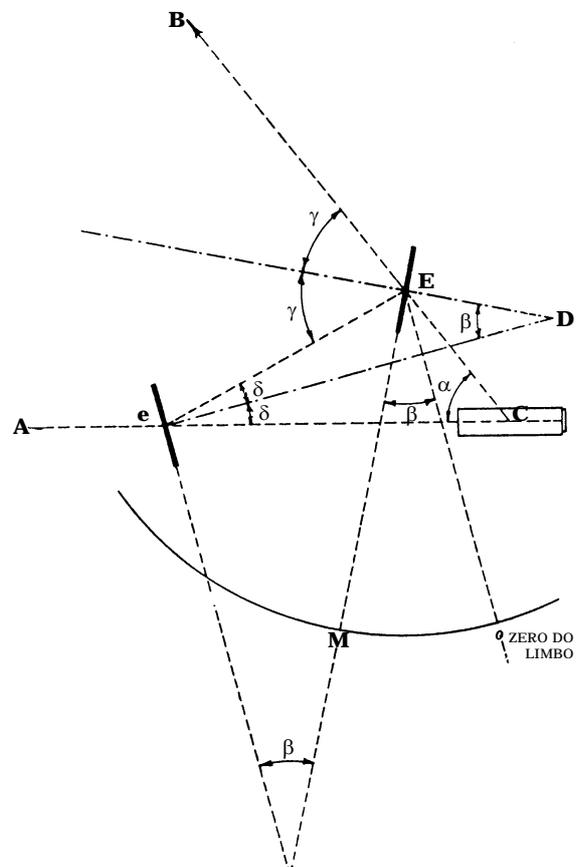
- No triângulo **DeE**:  $\delta + \beta + (180^\circ - \gamma) = 180^\circ$

$$\beta = \gamma - \delta$$

- Portanto:  $\alpha = 2\beta$

Conclui-se, portanto, que o ângulo cujo valor desejávamos ( $\alpha$ ) é igual ao dobro do ângulo formado pelos espelhos ( $\beta$ ). Pode-se, então, dizer que, se um raio luminoso sofre duas reflexões sucessivas em um mesmo plano, em dois espelhos planos, o ângulo formado entre o raio da primeira incidência e o da última reflexão é igual ao dobro do ângulo formado pelos dois espelhos.

O ângulo formado pelos espelhos ( $\beta$ ) é igual ao ângulo **OEM**, medido no **arco (limbo)**, pois são alternos internos. Os fabricantes dão à graduação do **arco** o dobro



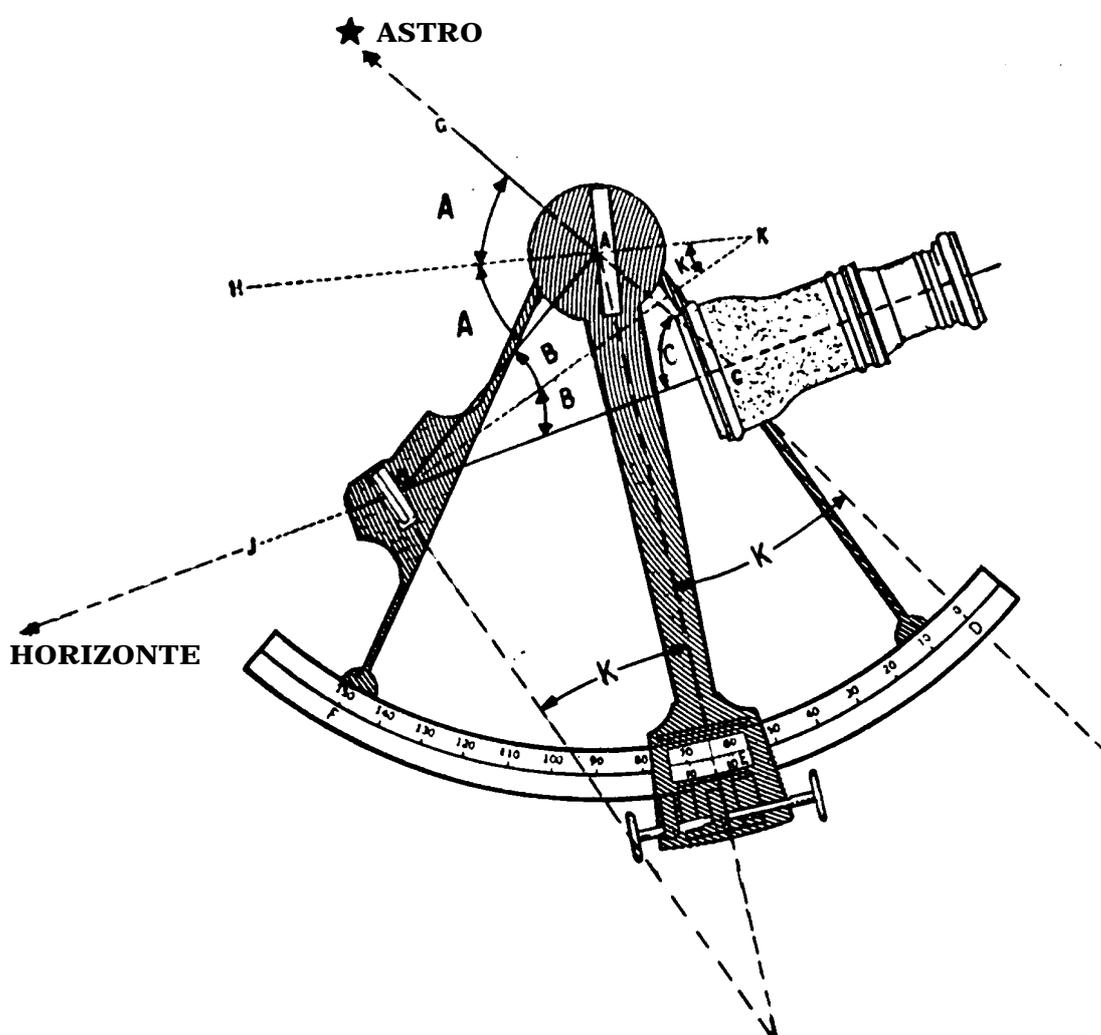
dos valores reais dos ângulos, lendo-se, então, ali, diretamente, os valores dos ângulos **ACB**, formado no olho do observador entre a imagem direta de um objeto (**A**) e a imagem refletida do outro (**B**).

Vejamos agora a aplicação do **princípio ótico** do **sextante** diretamente no instrumento (figura 21.6).

Quando utilizamos o **sextante** para obter a altura de um **astro** acima do **horizonte**, queremos medir o ângulo **C**, no centro da **luneta**, entre o **astro** e o **horizonte**.

Para isto, é necessário deslocar a **alidade** do **sextante** ao longo do **arco graduado**, de modo a obter a superposição da **imagem refletida do astro** com a **imagem direta do horizonte**.

Figura 21.6 - Princípio Ótico do Sextante



Com a **alidade** deslocada para a posição de superposição das imagens, o ângulo por ela descrito, a partir do **zero** do **arco** (ângulo **K**) é igual ao ângulo entre os espelhos nesta posição, pois já vimos que os espelhos ficam paralelos quando o índice está em zero (os ângulos são, assim, alternos internos).

Estes ângulos são, também, iguais ao ângulo formado no ponto **K**, entre as **normais** aos dois espelhos.

O raio luminoso vindo do **astro** sofre uma dupla reflexão, inicialmente no **espelho grande** (em **A**) e depois no **espelho pequeno** (em **B**), antes de alcançar o centro da **luneta** (em **C**), sendo o **ângulo de incidência** em cada espelho igual ao **ângulo de reflexão**.

– Assim, no triângulo **ABC**:  $C = 2(A - B)$  e

no triângulo **ABK**:  $K = (A - B)$

– Desta forma:  $C = 2K$

Conclui-se, portanto, que o ângulo cujo valor desejamos, isto é, a altura do astro (**C**), é igual ao dobro do ângulo formado pelos espelhos, ou igual ao dobro do ângulo formado entre o **índice da alidade** e o **zero do arco graduado (K)**.

Podemos, então, dizer que o sextante baseia-se no seguinte **PRINCÍPIO ÓTICO**:

“Se um raio luminoso sofre duas reflexões sucessivas, em dois espelhos planos, o ângulo formado entre o raio da primeira incidência e o da última reflexão é igual ao dobro do ângulo formado pelos dois espelhos”.

Por isso, o **sextante**, tendo um arco de apenas 60°, é capaz de medir ângulos até 120°. Ademais, em virtude do **princípio ótico** em que é baseado o **sextante**, a graduação do **arco** representa o dobro dos ângulos reais entre os valores marcados e o **zero do arco**.

## 21.2.4 LEITURA DE ÂNGULOS NO SEXTANTE

### a. LEITURA DE ÂNGULOS NO SEXTANTE DE MICRÔMETRO

Neste tipo de **sextante** (no qual se enquadram praticamente todos os sextantes modernos), a uma rotação completa do **tambor do micrômetro** corresponde o deslocamento de 1° (um grau) da **alidade** ao longo do **arco graduado do sextante**.

O **tambor do micrômetro** apresenta 60 divisões. Como uma volta completa do mesmo equivale a 1°, cada uma de suas divisões representa **1 minuto de arco**.

Fixado à alidade, há um **vernier**, normalmente subdividido em 10 partes, que permite leituras com precisão de 0,1'(ou 6 segundos).

Para efetuar a leitura da **altura** de um **astro** acima do **horizonte**, após deslocar a **alidade**, por meio do **botão de pressão** (movimento geral) e do **tambor micrométrico** (movimento diferencial), de modo a obter a superposição da **imagem refletida do astro** com a **imagem direta do horizonte**, observa-se inicialmente a posição do **índice da alidade** sobre o **arco graduado**, para a **leitura do valor da altura em graus**.

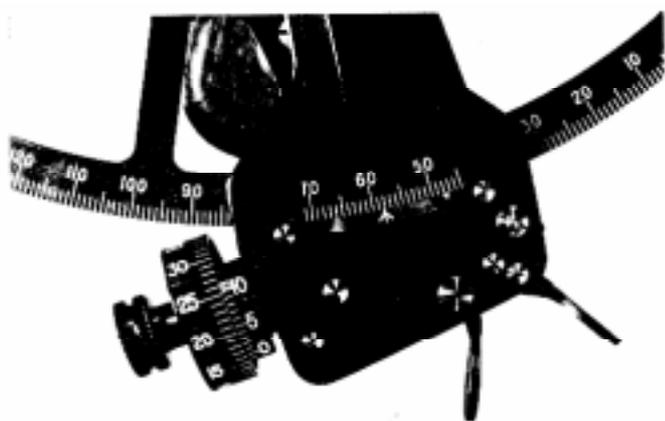
Em seguida, procede-se à leitura do valor dos **minutos**, no **tambor micrométrico** (o **índice do tambor** é o zero do **vernier**).

Finalmente, para ler o **vernier** (que fornece o **décimo de minuto**), observa-se o valor da divisão que está alinhada com uma divisão do **tambor do micrômetro**.

Assim sendo, para fazer a leitura do ângulo observa-se primeiro a posição do **índice** da **alidade** na graduação do **arco**. Na figura 21.7, verifica-se que o **índice** está entre as graduações de  $58^\circ$  e  $59^\circ$ . Isto indica que o valor inteiro do ângulo é  $58^\circ$ .

Em seguida, procede-se à leitura do número de **minutos de arco**. Como vimos, o **índice** do **tambor micrométrico** é o **zero** do **vernier**. Na figura 21.7, observa-se que este **índice** encontra-se entre  $16'$  e  $17'$  do **tambor**. Então, o valor do ângulo é  $58^\circ 16'$ , mais a leitura do **vernier**.

**Figura 21.7 – Leitura do Sextante de Micrômetro:  $58^\circ 16,3'$**

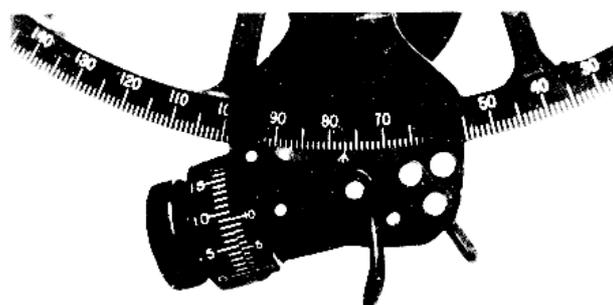


Para leitura do **vernier**, que fornece o valor do **décimo de minuto de arco**, verifique qual a graduação do **vernier** que está alinhada com uma das graduações do **tambor micrométrico**. Na figura 21.7, constata-se que a terceira marca do **vernier** está exatamente alinhada com uma graduação do **tambor**. Desta forma, o valor total da leitura do **sextante** mostrada é  $58^\circ$  no **arco**, mais  $16'$  no **tambor micrométrico** e mais  $0,3'$  no **vernier**, ou seja  $58^\circ 16,3'$ .

**Figura 21.8 – Leitura do Sextante de Micrômetro:  $77^\circ 00,1'$**

Utilizando-se a mesma seqüência de leitura para a figura 21.8, isto é, observando-se primeiro a posição do **índice** da **alidade** no **arco graduado**, lendo-se em seguida o **tambor micrométrico** e, por último, o **vernier**, verifica-se que o valor do ângulo indicado no sextante mostrado na figura é  $77^\circ 00,1'$ .

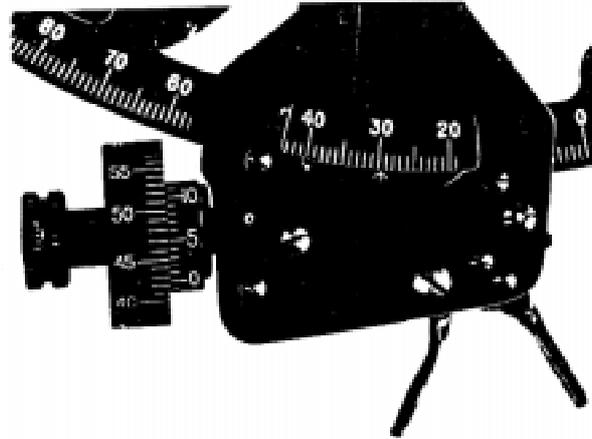
Na figura 21.9, o ângulo medido tem o valor de  $29^\circ 42,5'$ .



### **b. LEITURA DE ÂNGULOS NO SEXTANTE DE VERNIER**

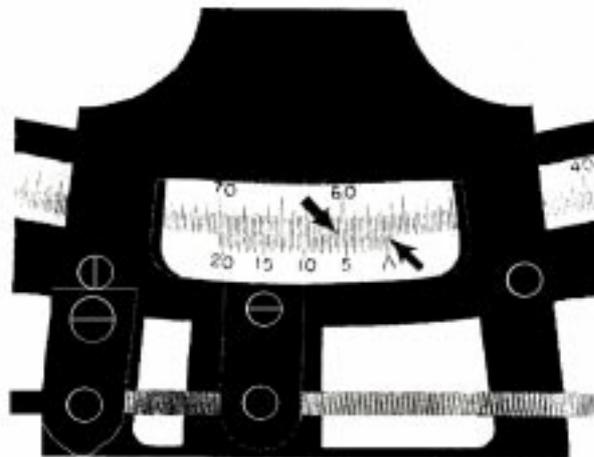
Os **sextantes de vernier** são de modelo antigo, raramente encontrados em serviço hoje em dia. É um pouco mais difícil obter uma leitura precisa com esse tipo de instrumento, mas o princípio envolvido é o mesmo.

Neste tipo de **sextante** a leitura de um ângulo é feita em apenas duas etapas: leitura do **arco (limbo)** e do **vernier**.

**Figura 21.9 - Leitura do Sextante de Micrômetro:  $29^{\circ} 42,5'$** 

Examinando a figura 21.10, verifica-se que o **arco (limbo)** está graduado de 20 em 20 minutos e que às 40 divisões do **vernier** correspondem 39 divisões ( $13^{\circ}$ ) da graduação do **arco (limbo)**. Daí resulta que a menor leitura possível de ser feita no **sextante** equivale a  $1/40$  da menor graduação do **arco (limbo)**, ou seja, 30 segundos ( $0,5'$ ). Assim, o **vernier** é graduado de  $0,5'$  em  $0,5'$ .

Na figura 21.10, estando o **índice** da alidade, que corresponde ao **zero** do vernier, entre  $56^{\circ} 20'$  e  $56^{\circ} 40'$  da escala do **arco (limbo)**, e estando a divisão 6' ( $12^{\text{a}}$  graduação) do **vernier** alinhada com uma das divisões da graduação do **arco (limbo)**, teremos para o ângulo medido o valor de  $56^{\circ} 26,0'$ .

**Figura 21.10 - Leitura do Sextante de Vernier:  $56^{\circ} 26,0'$** 

### 21.2.5 ERROS DO SEXTANTE

Um sextante pode apresentar erros ou defeitos que, se não forem corrigidos ou computados nos cálculos, poderão prejudicar os resultados das observações ou, até mesmo, torná-los inúteis para uso em **Navegação Astronômica**.

Os erros ou defeitos podem ser classificados em **defeitos de construção** e **erros que admitem retificação**. Os **defeitos de construção**, raros em **sextantes** de boa qualidade, podem ser corrigidos apenas por técnicos especializados, em oficina própria. Da mesma forma, avarias decorrentes de acidentes com o **sextante** (choques ou quedas, principalmente) muitas vezes só podem ser reparadas por pessoal especializado.

Ao se adquirir um **sextante**, ou por ocasião do seu recebimento a bordo, o instrumento deve ser cuidadosamente examinado, e rejeitado sempre que nele for constatado algum dos defeitos relacionados no Apêndice a este capítulo.

Os **erros que admitem retificação**, entretanto, podem ser verificados e corrigidos pelo navegante.

### 21.2.6 ERROS QUE ADMITEM RETIFICAÇÃO

O **sextante** deve ser usado com cuidado e guardado perfeitamente travado em sua caixa. O descuido ou o uso freqüente acarretam o aparecimento de certos erros cuja retificação deve e pode ser executada pelo próprio navegante.

Cada **sextante** é acompanhado de um Manual que descreve o procedimento para “**retificação do sextante**”, isto é, como devem ser verificados e corrigidos os erros ajustáveis do instrumento.

São os seguintes os **erros que admitem retificação**:

**a. O zero do micrômetro não coincide com os graus exatos do arco graduado**

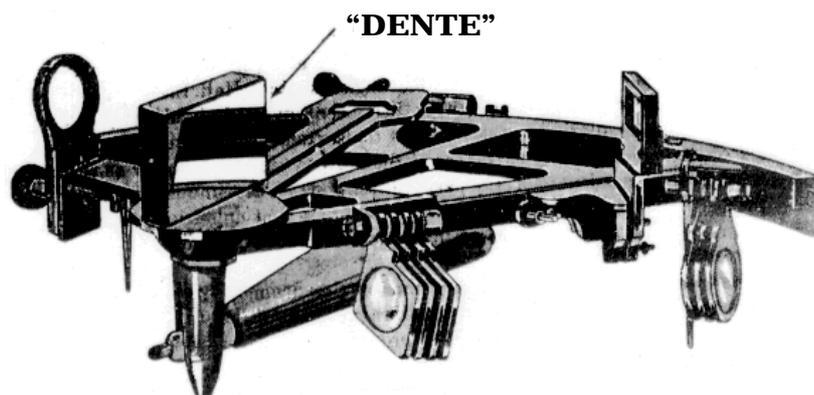
– **Verificação**: este erro existe quando, para uma posição qualquer da **alidade**, ao colocar o **zero do tambor do micrômetro** alinhado com o **zero do vernier**, o **índice da alidade** não coincide exatamente com uma **marca de grau do arco graduado**.

– **Correção**: ajustar o **índice da alidade**, alinhando-o com qualquer divisão do **arco graduado**; desapertar o parafuso que fixa o **tambor do micrômetro** (parte L, figura 21.3); ajustar o **zero do tambor** (fazendo sua coincidência com o **zero do vernier**) e fixar novamente o **tambor do micrômetro**, apertando seu parafuso.

**b. O espelho grande (espelho índice) não é perpendicular ao plano do arco graduado**

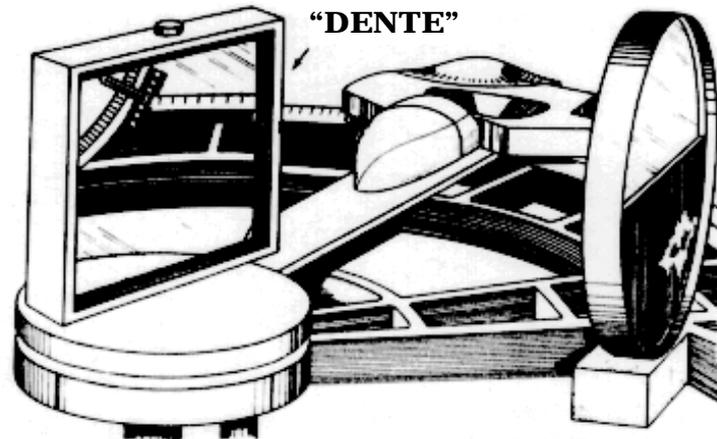
– **Verificação**: empunhar o **sextante** com a mão esquerda, na horizontal, e colocar a **alidade** aproximadamente a meio do **arco graduado** (posição correspondente à leitura de 50° ou 60°). Ajeitar a posição do instrumento frente ao rosto, de forma que, ao olhar para o **espelho grande (espelho índice)** se veja a **imagem refletida de uma parte do arco**. Esta imagem deve estar no **prolongamento da parte do arco que se vê diretamente**. Se houver um “**dente**”, conforme mostrado nas figuras 21.11 e 21.12, o **espelho grande não estará perpendicular ao plano do arco**, sendo necessário corrigir sua posição.

**Figura 21.11 - Perpendicularismo do Espelho Grande ao Plano do Arco**



– **Correção:** trazer a **imagem refletida** do arco ao prolongamento da **imagem direta**, manobrando por tentativas com o **parafuso de retificação** existente na parte posterior (dorso) do **espelho grande**.

**Figura 21.12 – Verificação do Perpendicularismo do Espelho Grande (Detalhe)**



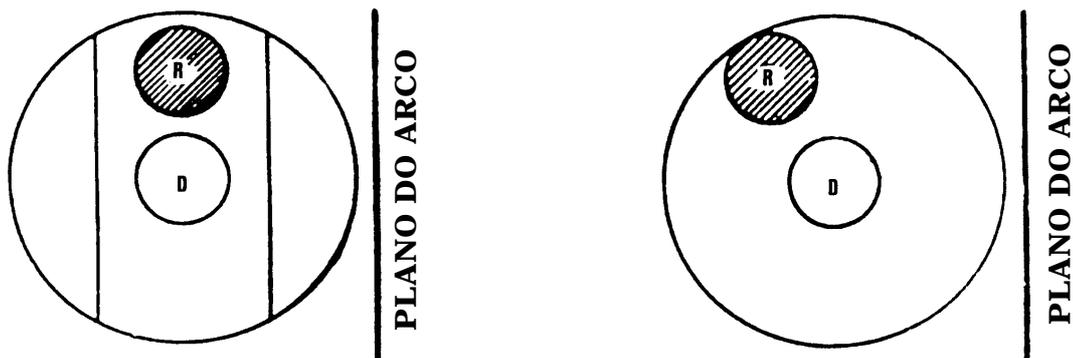
O ESPELHO GRANDE NÃO ESTÁ PERPENDICULAR AO PLANO DO ARCO

### c. O espelho pequeno não é perpendicular ao plano do arco

#### 1º processo: visando um objeto distante

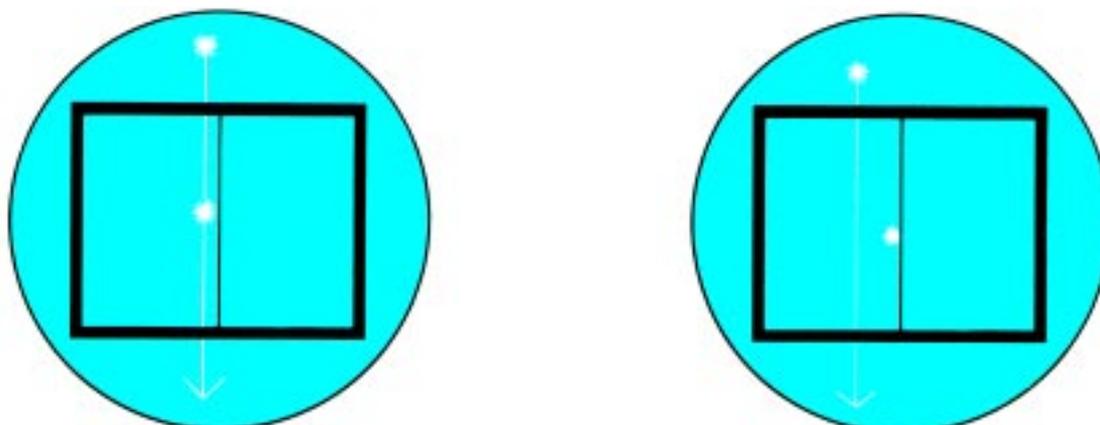
– **Verificação:** com o **sextante** na posição normal de observação, isto é, mantido na vertical, levar a **alidada** às proximidades do **zero** e visar um objeto bem definido, à distância de mais de 1 km (mastro, chaminé ou torre) ou o **Sol** (ou uma **estrela**) em baixa altura. Então, mover o **tambor micrométrico** de modo a deslocar a **alidada** de um lado para outro do **zero do arco**. As duas imagens do objeto, a **direta** e a **refletida**, devem se apresentar no mesmo vertical, conforme mostrado nas figuras 21.13(a) e 21.14(a). Movendo o **tambor do micrômetro**, a **imagem refletida** deve passar exatamente sobre a **imagem direta**, coincidindo precisamente quando ambas se superpõem. Caso isto ocorra, o **espelho pequeno** está **perpendicular ao plano do instrumento** e nenhum ajuste é necessário.

**Figura 21.13 – Verificação do Perpendicularismo do Espelho Pequeno pelo Sol**



(a) ESPELHO PEQUENO PERPENDICULAR

(b) ESPELHO PEQUENO NÃO ESTÁ PERPENDICULAR

**Figura 21.14 - Perpendicularismo do Espelho Pequeno**

(a) ESPELHO PEQUENO PERPENDICULAR

(b) ESPELHO PEQUENO NÃO ESTÁ PERPENDICULAR

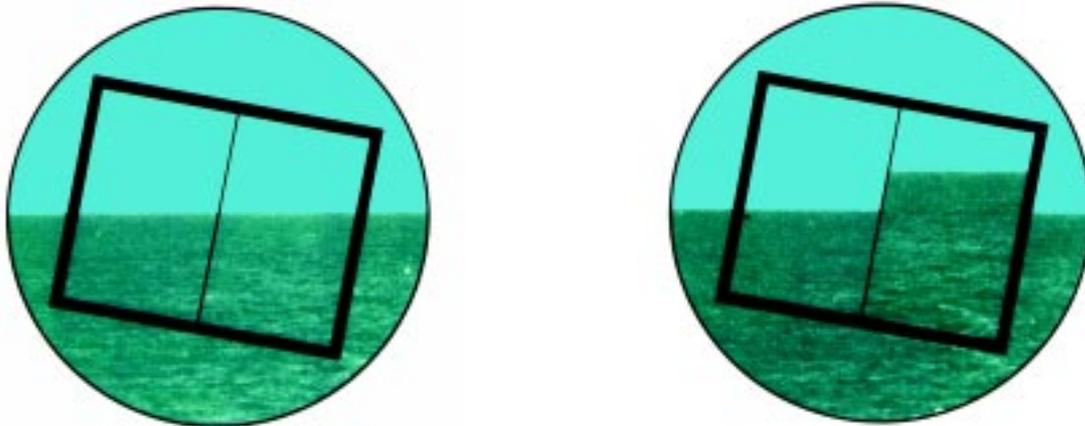
Quando estivermos observando o **Sol** para verificação do perpendicularismo do **espelho pequeno**, é particularmente útil o emprego da **luneta astronômica** com dois retículos paralelos ao **plano do limbo**, pois facilita averiguar se a **imagem direta** e a **imagem refletida** estão no mesmo vertical, como mostrado na figura 21.13(a). Caso as imagens se apresentem como nas figuras 21.13(b) e 21.14(b), isto é, sem estar no mesmo vertical, passando uma ao lado da outra, sem coincidir exatamente, quando se move o **tambor do micrômetro**, então o **espelho pequeno** não está perpendicular ao plano do arco, existindo um erro (“**side error**”) a ser ajustado.

– **Correção:** atuar no parafuso de retificação localizado na parte de cima do dorso do **espelho pequeno** (“**horizon glass**”), até que as duas imagens fiquem no mesmo vertical e paralelas ao plano do arco, como nas figuras 21.13(a) e 21.14(a). Outra maneira é colocar o índice da **alidade** e o **tambor do micrômetro** exatamente a **zero** e atuar no parafuso de retificação citado até que a **imagem direta** e a **imagem refletida** sejam trazidas exatamente em coincidência.

### 2º processo: com o horizonte do mar

– **Verificação:** levar a **alidade** às proximidades do **zero** e, com o **sextante** na posição normal de observação, isto é, mantido na vertical, visar o **horizonte do mar**. Atuar no **tambor do micrômetro** até que as imagens **direta** e **refletida** do **horizonte** se apresentem em alinhamento perfeito. Em seguida, balancear o instrumento, isto é, fazê-lo girar em torno do seu eixo ótico, observando como se apresentam as imagens **direta** e **refletida** do **horizonte**; se as imagens permanecerem alinhadas com o **sextante** inclinado, como na figura 21.15(a), o **espelho pequeno** está perpendicular ao **plano do arco**, não sendo necessária qualquer retificação. Se as imagens se apresentarem escalonadas, como na figura 21.15(b), o **espelho pequeno** não está perpendicular ao **plano do instrumento**, existindo um erro (“**side error**”), que deve ser retificado.

– **Correção:** atuar no parafuso de retificação anteriormente citado (na parte de cima do dorso do **espelho pequeno**), até que, mesmo balanceando o **sextante**, as imagens **direta** e **refletida** do **horizonte** permanecem corretamente alinhadas, como na figura 21.15(a).

**Figura 21.15 – Verificação do Perpendicularismo do Espelho Pequeno pelo Horizonte**

(a) ESPELHO PEQUENO PERPENDICULAR

(b) ESPELHO PEQUENO NÃO ESTÁ PERPENDICULAR

Em alguns **sextantes**, existem dois parafusos para ajustagem do perpendicularismo do **espelho pequeno**. Neste caso, é importante lembrar que um aperto dado em um dos parafusos deve ser precedido de um afrouxamento igual do outro. Na caixa do **sextante** encontra-se uma chave especial para trabalhar nesses parafusos.

A verificação do perpendicularismo do **espelho pequeno** pelo **horizonte do mar** é mais simples e mais popular entre os navegantes.

**d. Com a alidade a zero, os dois espelhos não se apresentam paralelos entre si**

**1º processo: visando um objeto distante**

– **Verificação:** com o **sextante** na vertical e a **alidade** rigorosamente a **zero**, visar um objeto bem definido, à distância de mais de 1 km (mastro, chaminé, torre, Sol ou estrela). Se as duas imagens, a **direta** e a **refletida**, não se apresentarem coincidentes, há **erro de paralelismo** dos espelhos.

– **Correção:** manobrar com o parafuso de retificação existente na base do dorso do **espelho pequeno**, de modo a trazer as imagens **direta** e **refletida** do objeto à coincidência em movimento vertical.

**2º processo: com o horizonte do mar**

– **Verificação:** com o **sextante** exatamente a zero, visar o **horizonte** do mar. Se as imagens **direta** e **refletida** do horizonte aparecerem em perfeito alinhamento, os espelhos estão paralelos entre si. Se formarem um “dente”, há erro de paralelismo dos espelhos.

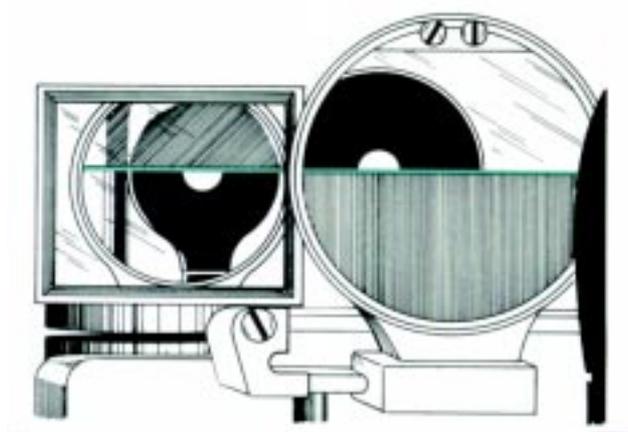
– **Correção:** manobrar com o parafuso de retificação situado na base do dorso do **espelho pequeno**, de modo a trazer as imagens **direta** e **refletida** do **horizonte** a um exato alinhamento (o mais perfeito que a vista permitir).

### e. O eixo ótico da luneta não é paralelo ao plano do instrumento

Embora normalmente incluído entre os **erros que admitem retificação**, o erro proveniente de o **eixo ótico da luneta** não estar paralelo ao **plano do instrumento** é de difícil verificação e retificação a bordo de um navio, ou embarcação, no mar.

Se for encontrada extrema dificuldade em trazer uma **estrela** ao **horizonte** com o **sextante**, é possível que o **eixo ótico da luneta** não esteja paralelo ao **plano do arco** do instrumento. Conforme mencionado, isto é geralmente difícil de ajustar a bordo, mas há uma maneira rápida e prática de verificar se a **luneta** está fora de alinhamento. Segure-se o **sextante** na posição vertical com a mão esquerda, com o **espelho pequeno** na direção do observador e a **alidade** próxima a **zero**. O observador, então, visa o **espelho grande**, mantendo o **sextante** em uma posição tal que a **imagem refletida** da linha de centro do **espelho pequeno** fique exatamente alinhada com a linha de centro real. Nesta posição, deve ser possível ver diretamente através da **luneta**, sendo a linha de visada a mesma que a trajetória percorrida pelos raios luminosos de uma estrela, quando uma observação de altura está sendo feita. Se a **luneta** está fora de alinhamento, o observador não poderá visar diretamente através dela, como mostrado na figura 21.16.

**Figura 21.16 - Verificação do Alinhamento da Luneta do Sextante**



Alguns sextantes têm **parafusos de retificação** na base da **luneta**, para ajustar sua linha de visada. Entretanto, em geral esta operação deve ser feita em uma oficina de ótica. Para verificar e retificar o paralelismo do **eixo ótico da luneta**, o procedimento é o seguinte.

- **Verificação:** a seguinte rotina de trabalho deve ser cumprida:

1. Colocar o **sextante** em cima de uma mesa horizontalizada, fixando a **luneta** à **gola** e imobilizando-a a qualquer distância do **plano do instrumento**.

2. Olhando no **plano do arco (plano do limbo)**, visar uma antepara afastada cerca de 4 metros e nela traçar uma linha horizontal que esteja na mesma altura do **plano do limbo**.

3. Com uma régua graduada, medir, conforme é mostrado na figura 21.17, a distância do **plano do limbo** à mesa; será a medida **A**. Medir, também, da mesma forma, a distância do **centro ótico da luneta** à mesa; será a medida **B** (ter o cuidado de materializar o **centro ótico da luneta**, na sua **ocular**).

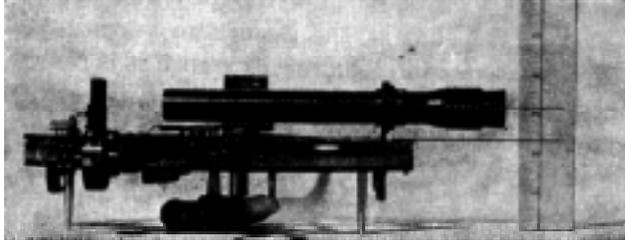
4. Calcular a distância do **centro ótico da luneta** ao **plano do limbo**, pela diferença **B - A**.

5. Na antepara, medir o comprimento **B - A** para cima da linha já traçada e traçar nova linha paralela à primeira, à distância acima calculada.

6. Olhar através da **luneta**. Focalizar a **ocular** de modo a avistar bem os traços na antepara. Se a segunda linha reta estiver a meio da luneta, ela estará com seu **eixo**

**ótico** paralelo ao **plano do instrumento**; caso contrário, deverá ser processada a necessária retificação.

**Figura 21.17 – Verificação do Paralelismo entre o Eixo Ótico da Luneta e o Plano do Arco**



– **Correção:** o não paralelismo do **eixo ótico** ao **plano do sextante** resulta de não estar a **gola** da **luneta** perpendicular e esse mesmo plano; assim sendo, a retificação da posição da **gola** acarretará a eliminação do erro apresentado pelo **eixo ótico** da **luneta**. Agindo-se nos **pa-**

**arafusos de retificação** existentes no suporte da **gola**, a ajustagem terá sido completada quando se tiver levado o **centro ótico** da **luneta** a coincidir com a segunda linha horizontal traçada na antepara.

Os tipos de **parafusos de retificação** variam conforme o fabricante do instrumento. Deve-se procurar identificá-los, cuidando para não confundí-los com os parafusos de fixação da **gola**, que não devem ser trabalhados.

#### **OBSERVAÇÕES:**

(1) A **retificação do sextante**, isto é, a correção dos erros ajustáveis, deve ser feita na ordem apresentada.

(2) As operações indicadas em **c** e **d** estão de tal forma relacionadas que dificilmente podem ser efetuadas sem interferência mútua, isto é, a obtenção do **paralelismo** dos espelhos afeta o **perpendicularismo** do **espelho pequeno**, e vice-versa. Deste modo, sobretudo quando os desajustes são inicialmente grandes, após efetuar a operação indicada em **d**, é necessário retocar a indicada em **c**, e assim por diante, por aproximações sucessivas.

(3) É necessário ter presente que o **perpendicularismo** dos espelhos e o **paralelismo** da **luneta** são indispensáveis à obtenção de **alturas** rigorosas. Já um erro não muito grande no **paralelismo** dos espelhos não traz influência sobre as alturas medidas, pois pode ser determinado e seu valor aplicado a todas as leituras, de modo a garantir o rigor das observações efetuadas; é a este erro que se dá o nome de **erro instrumental**, conforme veremos adiante.

(4) Os **sextantes de plástico** devem ser sempre retificados antes de cada série de observações.

## **21.2.7 ERROS QUE PODEM SER COMPUTADOS**

### **I – ERRO DE EXCENTRICIDADE**

Muitos **sextantes** apresentam **erro de excentricidade** do eixo de rotação da **alidade** em relação ao centro do **arco do limbo**. Este erro, que provém da construção, varia com a **altura** a medir e só pode ser determinado em oficina própria. É aqui classificado, entretanto, por ser possível, computando-o, isentar de seu efeito o valor final da medida.

Os construtores normalmente fornecem, em certificado, uma tabela com as correções para as diversas **alturas**, variando de 15° em 15°. Este certificado vem, em geral, na parte interna da tampa da caixa do sextante.

Nos **sextantes** de qualidade, o **erro de excentricidade** é muito pequeno (ou, até mesmo, nulo), dispensando sua inclusão no valor da altura observada, sem afetar o rigor da medida.

## II - ERRO INSTRUMENTAL

As retificações do **perpendicularismo do espelho pequeno ao plano do limbo** e do **paralelismo do espelho pequeno ao espelho grande** (com o **índice em zero**) estão de tal forma relacionadas que a alteração de uma das ajustagens pode modificar a outra.

A retificação do **perpendicularismo do espelho pequeno** deve ser feita com precisão. Quando a retificação do **paralelismo do espelho pequeno** for considerada boa, ainda pode restar um pequeno **erro residual**, denominado **erro instrumental (ei)**.

Assim, **erro instrumental (ei)** é o erro residual resultante de uma pequena imperfeição do **paralelismo** entre os espelhos, com a **alidade em zero**.

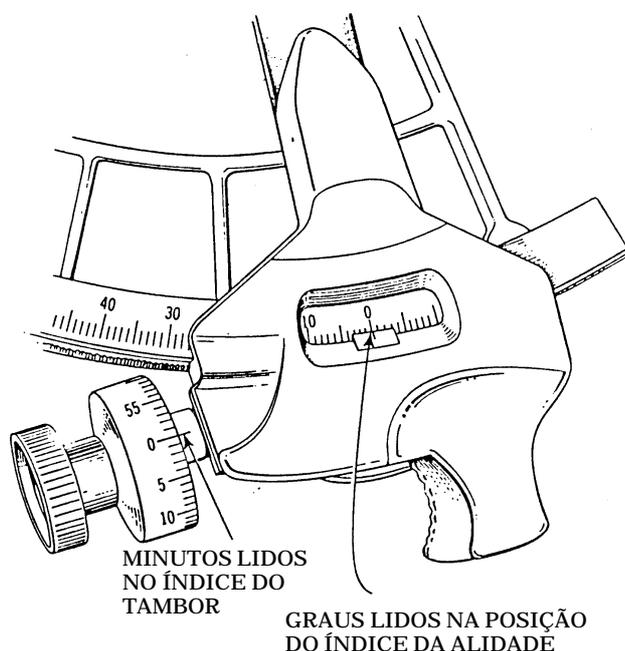
O **erro instrumental (ei)** deve ser determinado freqüentemente, de preferência antes de cada série de observações, e computado no cálculo da **altura verdadeira (a)** do astro.

## 21.2.8 DETERMINAÇÃO DO ERRO INSTRUMENTAL

### 1º processo: pelo horizonte do mar

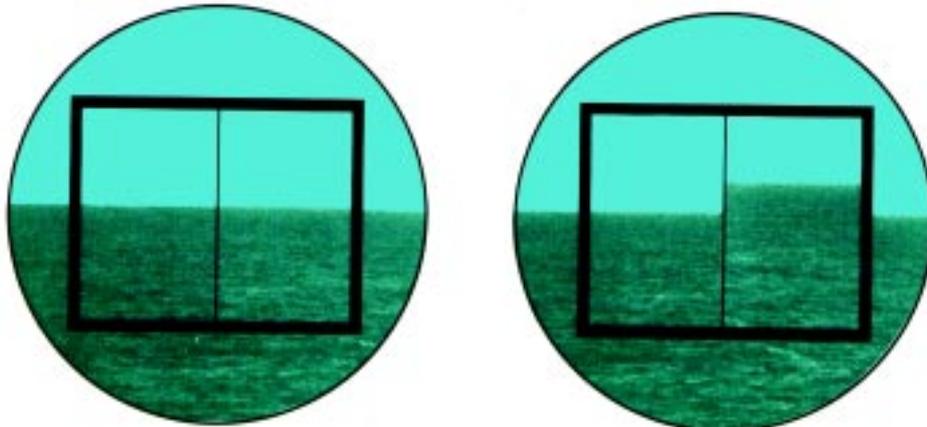
Levar a **alidade** a zero (figura 21.18) e visar o **horizonte** do mar. Se não houver **erro instrumental** as imagens direta e refletida do horizonte aparecerão exatamente alinhadas, como na figura 21.19(a). Se houver **erro instrumental**, as imagens direta e refletida do horizonte aparecerão formando um “dente”, como na figura 21.19(b).

**Figura 21.18 - Sextante Exatamente a Zero**



LEITURA DO SEXTANTE: 00°00,0'

**NOTA:** O SEXTANTE DA FIGURA PODE SER LIDO APENAS ATÉ O MINUTO DE ARCO INTEIRO, COM OS DÉCIMOS DE MINUTO ESTIMADOS A OLHO.

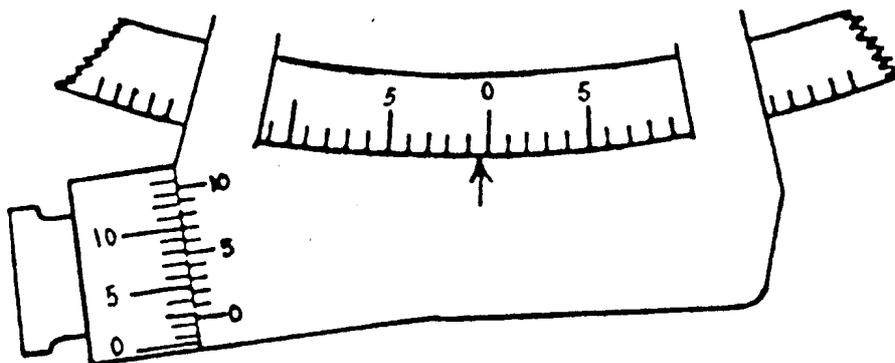
**Figura 21.19 - Determinação do Erro Instrumental pelo Horizonte**

(a) ERRO INSTRUMENTAL NULO

(b) ERRO INSTRUMENTAL PRESENTE

Para obter o valor do **erro instrumental**, atuar no **tambor do micrômetro**, de modo a trazer as imagens **direta** e **refletida** do **horizonte** para um alinhamento perfeito. Em seguida, fazer a leitura do **sextante**. Esta leitura dará o valor do **erro instrumental**.

Se o **índice da alidade** estiver à **esquerda do zero**, o **erro instrumental** é **negativo**, como na figura 21.20.

**Figura 21.20 - Índice à Esquerda do Zero (Índice Dentro da Graduação do Arco)**

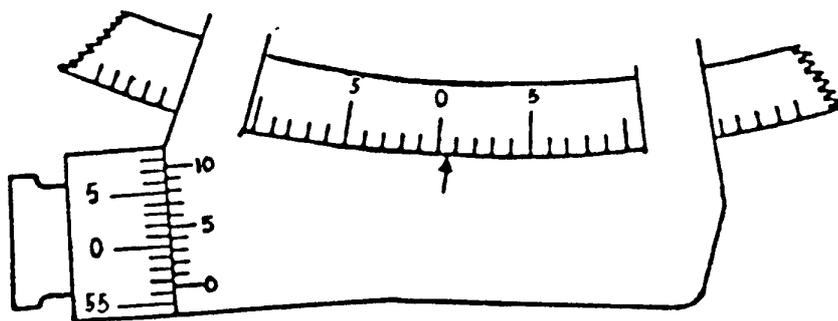
LEITURA DO SEXTANTE: 2,7' (DENTRO DO ARCO)

ERRO INSTRUMENTAL:  $ei = - 2,7'$

Se o **índice da alidade** estiver à **direita do zero**, o **erro instrumental** é **positivo**, como na figura 21.21.

Convém ter presente, nas leituras feitas com o **índice à direita do zero**, que as leituras do **micrômetro** e do **vernier**, feitas normalmente, devem ser subtraídas do valor da maior graduação do **tambor do micrômetro** (60'), o que equivale a considerar o **micrômetro** graduado em sentido oposto ao real.

**Figura 21.21 – Índice à Direita do Zero (Índice Fora do Arco Graduado)**



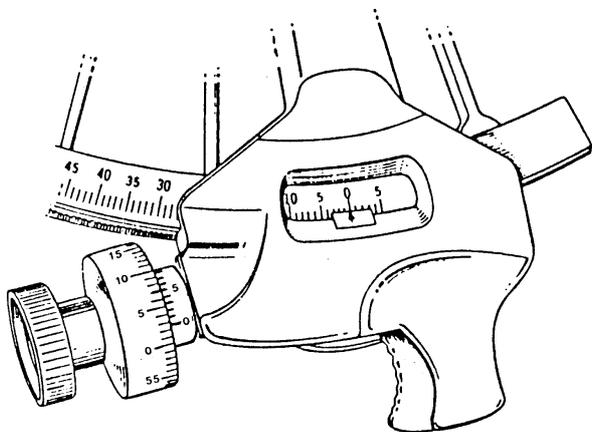
LEITURA DO SEXTANTE: 56,7' (ÍNDICE FORA DO ARCO)

ERRO INSTRUMENTAL:  $ei = 60' - 56,7' = + 3,3'$

A operação de determinação do **erro instrumental (ei)** deve ser repetida diversas vezes, sendo o valor de **ei** expresso pela **média** das observações efetuadas.

As figuras 21.22 e 21.23 mostram outros exemplos de leitura do **erro instrumental**, com o **índice à esquerda do zero** (dentro do **arco**) e com o **índice à direita do zero** (fora do **arco**), respectivamente.

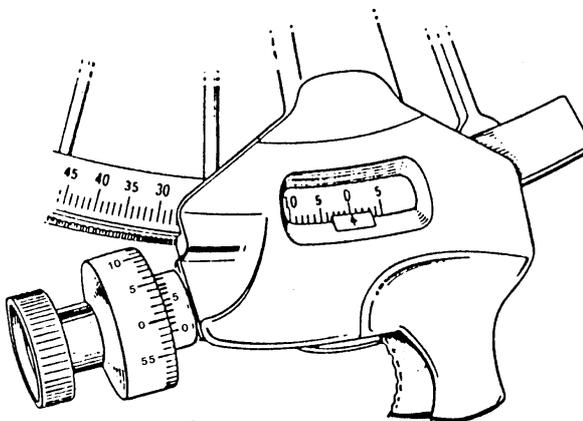
**Figura 21.22 – Determinação do Erro Instrumental (Índice à Esquerda do Zero)**



LEITURA DO SEXTANTE: 2,5' (ÍNDICE À ESQUERDA DO ZERO)

ERRO INSTRUMENTAL:  $ei = - 2,5'$

**Figura 21.23 – Determinação do Erro Instrumental (Índice à Direita do Zero)**



LEITURA DO SEXTANTE: 58,2' (ÍNDICE À DIREITA DO ZERO)

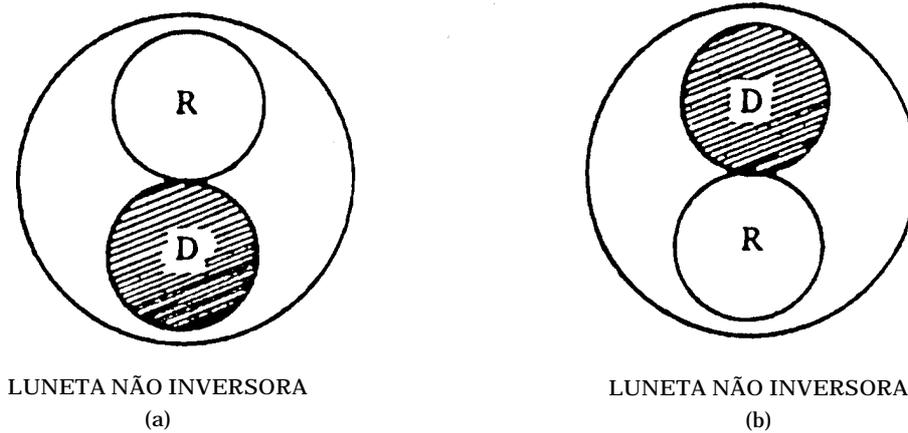
ERRO INSTRUMENTAL:  $ei = 60' - 58,2' = + 1,8'$

## 2º processo: pela observação do Sol

Levar a **alidade** às proximidades do **zero** do **sextante** e, com vidros corados para proteção (de preferência contrastantes), visar diretamente o **Sol**.

Atuar no tambor do micrômetro de modo que as imagens **direta** e **refletida** do **Sol** se tangenciem, conforme mostrado na figura 21.24(a), com a imagem **refletida** acima da **direta**. Anotar, então, a **leitura** do **sextante** e determinar **L1 = 60' - LEITURA (índice à direita do zero)**.

Figura 21.24 - Determinação do Erro Instrumental pelo Sol

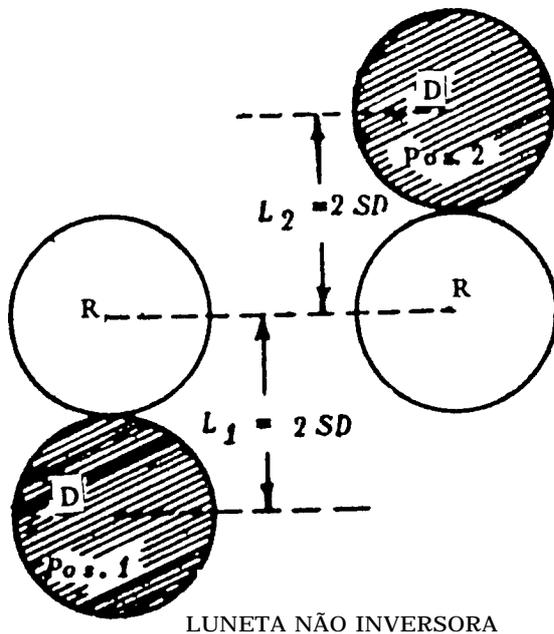


Em seguida, inverter a posição de tangência das imagens, como na figura 21.24(b), e efetuar a **leitura do sextante**, obtendo **L2 = LEITURA (índice à esquerda do zero)**.

O **erro instrumental (ei)** será expresso pela **semidiferença das duas leituras**:

$$ei = \frac{(L1 - L2)}{2} , \text{ com o sinal resultante da operação.}$$

Figura 21.25 - Verificação da Determinação do Erro Instrumental pelo Sol



**Verificação da precisão da operação:** como o centro da **imagem direta** do Sol, ao passar da posição 1 para a posição 2 (figura 21.25), desloca-se de **4** vezes o seu **semidiâmetro**, teremos:

$$SD = \frac{L1 + L2}{4}$$

O valor assim obtido para o **semidiâmetro** deve ser comparado com o **semidiâmetro do Sol** fornecido pelo **Almanaque Náutico**, para o dia considerado. Se a diferença entre o valor obtido pelo cálculo e o fornecido pelo Almanaque for grande, a observação foi mal feita e deve ser repetida.

É recomendável que se façam **3** leituras com a **imagem refletida** tangenciando o **limbo superior** da **imagem direta** e **3** leituras com a **imagem refletida** tangenciando o **limbo inferior** da **imagem direta**, obtendo-se os valores de **L1** e **L2** pela média das leituras efetuadas, para melhorar a precisão da determinação do **erro instrumental (ei)**.

Para determinação do **erro instrumental (ei)** do **sextante** pelo **Sol**, utiliza-se o modelo de cálculo DHN-0401, reproduzido, com um exemplo preenchido, na figura 21.26.

No exemplo em questão, tem-se:

L1 = 33'42" (obtida pela **média** de três leituras – **índice à direita do zero**)

$L_2 = 29'06''$  (obtida pela **média** de três leituras – **índice à esquerda do zero**)

$$ei = \frac{L_1 - L_2}{2} = \frac{+ 04' 36''}{2} = + 2' 18'' = + 2,3'$$

Para verificação da precisão da operação, determina-se o valor do **semidiâmetro do Sol** pelo cálculo:

$$SD = \frac{L_1 + L_2}{4} = \frac{62' 48''}{4} = 15' 42'' = 15,7'$$

Entra-se, então, no **Almanaque Náutico**, na data da determinação do **erro instrumental** (14/07/93) e obtém-se o valor do **semidiâmetro do Sol**:  $SD = 15,8'$ .

Comparando este valor com o obtido no cálculo, verifica-se que a determinação do **erro instrumental do sextante** foi precisa e, assim, merece confiança.

Quando o **erro instrumental (ei)** for superior a **3'**, a retificação do **sextante** deve ser refeita, a fim de reduzi-lo.

**Figura 21.26 - Determinação do Erro Instrumental pelo Sol**

S E X T A N T E			
Determinação do erro instrumental pelo sol.			
Direta Refletida	(lun. inverso- ra)	Refletida Direta	(lun. não in- versora)
Índice à direita do zero		Índice à esquerda do zero	
1º = 59	60	— 26	18 = 33 42
2º = 59	60	— 26	12 = 33 48
3º = 59	60	— 26	24 = 33 36
		$S_1 = 99\ 126$	
		$L_1 = \frac{S_1}{3} = 33\ 42$	
		$L_2 = 29\ 06$	
		$L_1 - L_2 = + 04\ 36$	
		$ei = \frac{L_1 - L_2}{2} = 02' 18''$	
		$S_2 = 87\ 18$	
		$L_2 = \frac{S_2}{3} = 29' 06''$	
Erro instrumental = + 02.3'			
Data 14/07/93			
Assinatura <i>alt. inf.</i>			

O B S E R V A Ç Õ E S
<b>Luneta de imagem invertida:</b>
a) Na primeira posição de tangência das imagens, quando a "direita" estiver em cima, as leituras a considerar serão iguais a 60' menos a leitura do instrumento.
b) A operação da fórmula, $ei = \frac{L_1 - L_2}{2}$ , é algébrica e o sinal obtido é o da própria correção.
c) O grau de aproximação com que foi determinado o erro pode ser aferido pelo Almanaque Náutico.
Assim, $\frac{L_1 + L_2}{4}$ deve ser comparado com o semidiâmetro fornecido pelo mencionado Almanaque, na data respectiva.
<b>Luneta de imagem direita:</b>
a) Na primeira posição de tangência, quando a "refletida" estiver em cima, as leituras a considerar serão iguais a 60' menos a leitura do instrumento.
b) Proceder da mesma forma quanto aos demais itens.
DEN 0401 - 3
9 - 1959 - 10.000

## 21.2.9 MEDIÇÃO DE ALTURAS COM O SEXTANTE

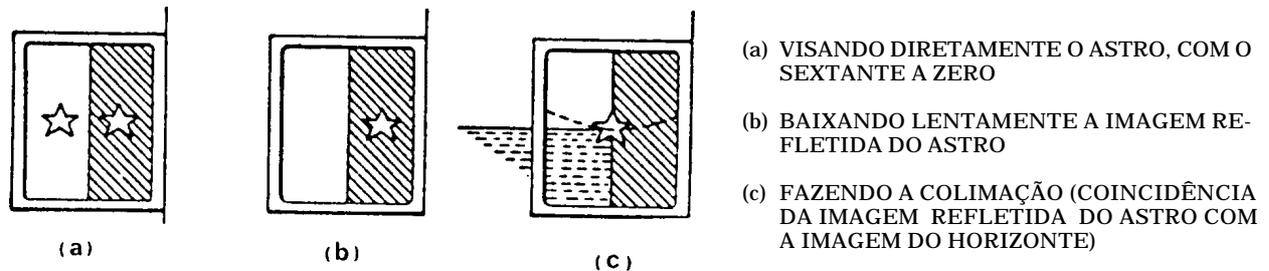
a. Fazer uma rápida verificação do **erro instrumental (ei)** antes de cada série de observações, visando o **horizonte do mar**.

b. Focalizar a luneta, com um objetivo distante ou com o **horizonte** do mar, durante o dia; ou com as **estrelas**, se for à noite. Convém que o observador faça, em seu próprio **sextante**, uma marca no tubo da **ocular**, indicando a posição de focalização para sua vista.

c. Colocar-se, com o **sextante** indicando zero, aproximadamente no **vertical do astro**, orientando-se na direção do seu **azimute**.

d. Visar o **astro** e, deslocando a **alidade** ao longo do **arco graduado**, ao mesmo tempo em que se abaixa lentamente o **sextante**, levar a **imagem refletida do astro** a coincidir com a **imagem direta do horizonte** (figura 21.27).

**Figura 21.27 – Coincidência da Imagem Refletida do Astro com a Imagem do Horizonte**



e. **Balancear**, então, o **sextante**, girando-o em torno do seu **eixo ótico**, sem perder de vista a imagem do astro, para determinar exatamente o **vertical do astro**, como mostrado na figura 21.28. O **balanceamento do sextante** é fundamental para a precisão da medida. Uma **altura** medida fora do vertical será sempre maior do que a **altura verdadeira do astro** no instante da observação (figura 21.29).

**Figura 21.28 – Balanceamento do Sextante**

f. Após **balancear o sextante** e determinar corretamente o **vertical do astro**, caprichar na **colimação** (coincidência da **imagem refletida do astro** com a **imagem direta do horizonte**), atuando no **tambor do micrômetro**.

g. Anotar a **hora do cronômetro** correspondente ao instante da observação (com precisão de 0,5<sup>s</sup>) e o valor da **altura instrumental** (com precisão de 0,1'). Anotar, também, a **Hora Legal** correspondente às observações, pois servirá para eliminar dúvidas.

h. Para reduzir a influência dos **erros acidentais**, observar, para cada astro, uma

